

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพาน	1-1
บทที่ 2 กลศาสตร์ของสะพาน	2-1
2.1 กลศาสตร์ของสะพาน	2-1
2.1.1 น้ำหนักบรรทุก	2-2
2.1.2 การหาแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพาน	2-8
2.1.3 การตอบสนองของโครงสร้างสะพานต่อน้ำหนักบรรทุก	2-12
2.1.4 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบสะพาน	2-17
2.2 โครงสร้างสะพาน	2-25
2.2.1 องค์ประกอบหลักของสะพาน	2-25
2.2.2 รูปว่างพื้นฐานขั้นส่วนโครงสร้าง	2-30
2.2.3 การพังทลายของโครงสร้าง	2-33
บทที่ 3 คุณสมบัติของคอนกรีต	3-1
3.1 คุณสมบัติของคอนกรีต	3-1
3.2 ความเสื่อมสภาพของคอนกรีต	3-7
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต	3-12
บทที่ 4 การตรวจสอบสภาพสะพานด้วยสายตา	4-1
4.1 บทนำ	4-1
4.2 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน	4-1
4.2.1 ความรับผิดชอบ	4-1
4.2.2 หน้าที่	4-3
4.3 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน	4-4
4.3.1 การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน	4-4
4.3.2 การระบุองค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ	4-6
4.3.3 การพัฒนาลำดับขั้นตอนการตรวจสอบ	4-7
4.3.4 การเตรียมบันทึก	4-9
4.3.5 การควบคุมการจราจร	4-9
4.3.6 ข้อคำนึงเป็นพิเศษต่างๆ	4-10



ໜ້າ

4.4	4.3.7 ການເຕີມຕົວເພີ່ມເຕີມ ຂໍ້ມູນຕອນກາຣທຽບສອບ	4-11
4.4.1	ແນວທາງພື້ນຖານຂອງກາຣທຽບສອບ	4-11
4.4.2	ກາຣທຽບສອບເຊື້ອນສ່ວນຕ່າງໆ ຂອງສະພານ	4-13
4.5	ເຄື່ອງນຶ່ມໂຄແລະອຸປະກອນ	4-14
4.5.1	ເຄື່ອງນຶ່ມມາຕຽບສູງ	4-14
4.5.2	ອຸປະກອນພິເສດ	4-18
4.6	ວິທີກາຣເຂົ້າທຽບສອບ	4-18
4.6.1	ອຸປະກອນໜ່ວຍໃນກາຣເຂົ້າໄປທຽບສອບ	4-19
4.6.2	ພາຫະໜ່ວຍໃນກາຣເຂົ້າໄປທຽບສອບ	4-20
4.7	ຄວາມປລອດກັບຢືນການປົງປັງຕິດັ່ງ	4-20
4.7.1	ກາຣວະຈັກຫາຄວາມປລອດກັບທ້າວ່າໄປ	4-20
4.7.2	ກາຣປ້ອງກັນບຸຄລາກຈາ	4-22
4.7.3	ສາເໜຸດຂອງກາຣເກີດອຸປັດຫຼຸດ	4-22
4.7.4	ກາຣປົງປັງຕິເພື່ອຄວາມປລອດກັບ	4-23
ບທທີ 5 ກາຣຮາຍງານຜລກາຣທຽບສອບສກາພ		5-1
5.1	ແບບບັນທຶກກາຣທຽບສອບ	5-1
5.1.1	ໝາວດຂໍ້ມູນທົ່ວໄປ	5-1
5.1.2	ໝາວດຂໍ້ມູນຂອງເຊື້ອນສ່ວນທີ່ໄດ້ຮັບກາຣທຽບສອບສກາພ	5-2
5.1.3	ໝາວດຂໍ້ມູນຂອງສິ່ງທີ່ໄດ້ຮັບກາຣປະເມີນຄວາມສາມາດກາຣໃໝ່ງານ	5-2
5.2	ກາຣກໍາໜັດເກີດທີ່ກາຣໃໝ່ກະແນນ	5-3
5.3	ກາຣວັບຮັມຂໍ້ມູນແລະກາຣບັນທຶກ	5-4
5.3.1	ກາຣເຕີມຕົວ	5-7
5.4	ຄວາມສໍາຄັນຂອງຮາຍງານ	5-11
5.4.1	ພື້ນທີ່ວິກຸດ	5-12
5.4.2	ກາຣຂໍ້ມູນບຳຈຸງ	5-12
5.4.3	ກາຣວິເຄາະທີ່ກາຣໃໝ່ກະແນນຄວາມສາມາດໃນກາຣຮັບນ້ຳໜັກ	5-12
5.4.4	ຄຸນກາພ	5-12
ບທທີ 6 ແນວທາງກາຣທຽບສອບເຊື້ອນສ່ວນຕ່າງໆ		6-1
6.1	ກາຣທຽບສອບພື້ນສະພານ	6-1
6.1.1	ໝົດຂອງສະພານ	6-1
6.1.2	ຮອຍຕ່ອຂອງພື້ນສະພານ	6-6
6.1.3	ຮະບປະວະບາຍນ້ຳ	6-13

	ຫນໍາ
6.1.4 ຄວາມປຸດດັກຍ	6-15
6.1.5 ປ້າຍແລະໄຟແສງສ່ວ່າງ	6-18
6.1.6 ດັນຊ່ວງກ່ອນໜຶ່ນສະພານ	6-21
6.1.7 ພັດກາຣໃຫ້ຄະແນນ	6-22
6.2 ກາຣຕຣາຈສອບໂຄຣສ້ວ່າງສ່ວນບນ	6-25
6.2.1 ກາຣຕຣາຈສອບໂຄຣສ້ວ່າງສ່ວ່າງທີ່ເປັນຄອນກົງລົດເລົມເໜີກ	6-25
6.2.2 ກາຣຕຣາຈສອບ Superstructure ທີ່ເປັນຄອນກົງລົດອັດແຮງ	6-28
6.2.3 ພັດກາຣໃຫ້ຄະແນນກາຣປະປະເມີນສະພາພອງ Superstructure ທີ່ເປັນຄອນກົງລົດ	6-35
6.3 ກາຣຕຣາຈສອບແຜ່ນຢາງຮອງຮັບສະພານ	6-39
6.3.1 ປະເທດຂອງ Bearing	6-40
6.3.2 ໜຶ່ນສ່ວນຂອງ Bearing	6-40
6.3.3 ກາຣຕຣາຈສອບ Bearing	6-41
6.3.4 ກາຣປະປະເມີນສະພາພອງ Bearing	6-43
6.4 ກາຣຕຣາຈສອບໂຄຣສ້ວ່າງສ່ວນລ່າງ	6-44
6.4.1 ຕອມ່ອົມຟ້າງ	6-44
6.4.2 ຕອມ່ອກລາງນໍ້າ	6-52
6.4.3 ກຳແພັງຕອມ່ອົມຟ້າງ	6-58
ບທທີ 7 ກາຣເກີບຕ້ວອຍ່າງແລະກາຣທດສອບວັສດຸ	7-1
7.1 ກາຣເກີບຕ້ວອຍ່າງແລະກາຣທດສອບວັສດຸ	7-1
7.2 ກາຣພິຈາລະນາຂໍ້ອກມາດເພື່ອທຳກາຣທດສອບ	7-1
7.3 ກາຣທດສອບແລະປະປະເມີນຜລ	7-2
7.3.1 ຫັ້ນຕອນກາຣປະປະເມີນຜລຄອນກົງລົດ	7-2
7.3.2 ຫັ້ນຕອນກາຣປະປະເມີນຜລສໍາໜັບເໜີກເສຣີມ	7-5
7.4 ຄອນກົງລົດ	7-6
7.4.1 ວິທີກາຣເກີບຕ້ວອຍ່າງຄອນກົງລົດທີ່ເໝາະສມ	7-6
7.4.2 ກາຣເຈາະຕ້ວອຍ່າງຄອນກົງລົດ	7-7
7.4.3 ກາຣສຸມເກີບຕ້ວອຍ່າງຈາກໜຶ່ນຄອນກົງລົດທີ່ແຕກຫັກ	7-7
7.4.4 ກາຣວິເຄຣະໜໍ້າແຮ່ປະກອບທິນແລະກາຣວິເຄຣະໜໍ້າທາງເຄມີ	7-7
7.4.5 ມາດຮາມ	7-8
7.4.6 ຄອນກົງລົດ	7-8
7.4.7 ກາຣຕຣາຈສອບທາງເຄມີ	7-8
7.4.8 ກາຣທດສອບຄອນກົງລົດເພື່ອທາກຳລັງອັດ	7-9
7.5 ເໜີກເສຣີມ	7-10
7.5.1 ວິທີກາຣສໍາວັດທາຕໍາແໜ່ງ	7-10



	หน้า
7.5.2 การหากำลังครากของเหล็กเสริม	7-7
7.5.3 ວິທີການເກີບຕ້ວອຢ່າງເຫຼັກເສີມ	7-11
7.6 ກາຣທດສອບແບບໄໝທໍາລາຍ	7-12
บทที่ 8 ກາຣທດສອບສະພານໃນສປາວະກາຮັບນໍ້າໜັກບຽກຈົງ	8-1
8.1 ບທນໍາ	8-1
8.2 ພັດກາຣທວຈວັດກາຍໃຫ້ນໍ້າໜັກບຽກຈົງແບບສົດິຕ	8-2
8.3 ພັດກາຣທວຈວັດກາຍໃຫ້ນໍ້າໜັກບຽກຈົງແບບພລວັດ	8-3
8.4 ກາຣວິເຄາະທີ່ຜລກາຣທວຈວັດ	8-4
8.4.1 ດ່າຄູນເພີ່ມທາງພລສາສຕ່ວ	8-4
8.4.2 ດ່າຄວາມຄືຂຽນໜາດທີ່ຂອງໂຄຮງສ້າງສະພານ	8-5
8.4.3 ດ່າວັດຖາສ່ວນຄວາມໜ່ວງຂອງໂຄຮງສ້າງສະພານ	8-6
8.5 ຕຳແໜ່ງແລະຈຳນວນທີ່ຈະກຳກາຣທດສອບ	8-7
8.6 ຕ້ວອຢ່າງຜລກາຣທວຈວັດພຸດີກຣວມໂຄຮງສ້າງສະພານທາງໜລວງ	8-7
บทที่ 9 ກາຣວິເຄາະທີ່ໂຄຮງສ້າງສະພານດ້ວຍໂປຣແກຣມຄອມພິວເຕອີ	9-1
9.1 ບທນໍາ	9-1
9.2 ໂປຣແກຣມໄຟ່ໄຟ່ເອລີເມນົດທີ່ໃຊ້ເຄາະທີ່ໂຄຮງສ້າງ	9-2
9.3 ທຸກໆກີ່ກາຣວິເຄາະທີ່ດ້ວຍວິຣີໄຟ່ໄຟ່ເອລີເມນົດ	9-2
9.3.1 ສມກາຣພື້ນຖານຂອງກລສາສຕ່ວໂຄຮງສ້າງ	9-2
9.3.2 ພັດກາຣວິເຄາະທີ່ແບບສົດິຕແລະແບບພລສາສຕ່ວ	9-5
9.4 ຫ້າມຕອນກາຣວິເຄາະທີ່ດ້ວຍວິຣີໄຟ່ໄຟ່ເອລີເມນົດ	9-6
9.5 ຫ້າມຕອນກາຣວິເຄາະທີ່ໂດຍໃຫ້ໂປຣແກຣມຄອມພິວເຕອີ	9-10
9.6 ກາຣທວຈສອບຄວາມຄຸກຕ້ອງຂອງແບບຈຳລອງ	9-13
9.7 ກາຣປັບແຕ່ງແບບຈຳລອງໄຟ່ໄຟ່ເອລີເມນົດ	9-13
9.8 ຕ້ວອຢ່າງກາຣວິເຄາະທີ່ສະພານດ້ວຍໂປຣແກຣມໄຟ່ໄຟ່ເອລີເມນົດ	9-13
บทที่ 10 ກາຣປະເມີນຄວາມແຂ້ງແຮງຂອງໂຄຮງສ້າງ	10-1
10.1 ພັດກາຣຂອງກາຣປະເມີນຄວາມແຂ້ງແຮງ	10-1
10.2 ຕ້ວອຢ່າງກາຣປະເມີນສປາພຂອງຫຸ້ນສ່ວນຕ່າງໆ ຂອງສະພານ	10-7
10.2.1 Concrete Slab Capacity Rating	10-7
10.2.2 ນໍ້າໜັກບຽກທີ່ຍົມໄໝໄດ້	10-12
บทที่ 11 ກາຣຄໍານວນກຳລັງຮັບນໍ້າໜັກຂອງໂຄຮງສ້າງ	11-1
11.1 ກຳລັງຂອງຫຸ້ນສ່ວນໂຄຮງສ້າງຄອນກວິດຂັດແຮງ	11-1

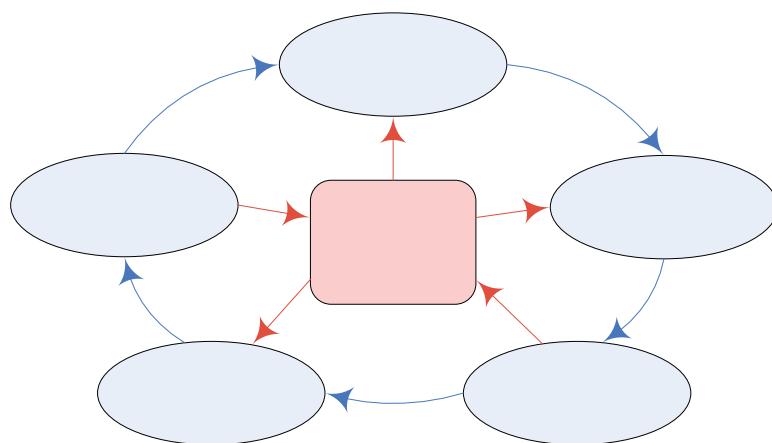
11.2 กำลังของขึ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	11-4
บทที่ 12 หลักการคำนวนผลจากน้ำหนักบรรทุกจร	12-1
12.1 น้ำหนักบรรทุกจร	12-1
12.2 หลักการทัวไปปของ Influence Lines	12-3
บทที่ 13 การคำนวนกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง	13-1
13.1 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักของ Box Girder	13-1
13.1.1 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักสามารถในการรับไมเมนต์ดัดของหน้าตัด	13-1
13.1.2 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด	13-7
13.1.3 การวิเคราะห์หากไมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	13-14
13.2 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักของ Plank	13-17
13.2.1 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักสามารถในการรับไมเมนต์ดัดของหน้าตัด	13-17
13.2.2 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด	13-23
13.2.3 การวิเคราะห์หากไมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	13-30
13.3 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักของ Multi-Beam	13-33
13.3.1 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักสามารถในการรับไมเมนต์ดัดของหน้าตัด	13-33
13.3.2 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด	13-39
13.3.3 การวิเคราะห์หากไมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	13-46
บทที่ 14 การปรับแก้ค่าที่ได้จากการประเมิน	14-1
14.1 หลักการของการปรับแก้ค่า Rating Factor	14-1
14.2 ตัวอย่างของการปรับแก้ค่า Rating Factor	14-4
14.2.1 Box-Girder Bridge	14-4

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสิ่งพาน

ระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสิ่งพานภายหลังการก่อสร้าง หรือการเปิดใช้งานสิ่งพาน ประกอบด้วยกระบวนการทำงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1-1 โดยเริ่มตั้งแต่การวางแผนการตรวจสอบ การตรวจสอบ การวางแผนการซ่อมแซม การซ่อมแซม และการปรับปรุงมาตรฐานการก่อสร้าง เป็นวงจรต่อเนื่องและสนับสนุนซึ่งกันและกันด้วยระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้พิจารณาประกอบการดำเนินการ โดยระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสิ่งพานที่มีประสิทธิภาพนั้น มีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้การดำเนินการต่างๆ ทุกๆ ขั้นตอนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เป็นไปได้อย่างมีความเหมาะสม รวดเร็ว และประยุกต์ง่าย ทั้งนี้เพื่อความมั่นคงแข็งแรงของสิ่งพาน ตลอดจนความปลอดภัยของผู้ใช้บริการสิ่งพาน ผู้ที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนของระบบควรให้ความสำคัญทั้งในส่วนที่ตนรับผิดชอบและภาระของทั้งระบบ เพื่อก่อให้เกิดการทำงานที่ประสานสอดคล้องกัน



รูปที่ 1-1 รูปแสดงระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสิ่งพาน



การวางแผนการตรวจสอบถือว่าเป็นขั้นตอนแรกในระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสุสาน และเป็นขั้นตอนที่มักจะถูกมองข้ามอยู่บ่อยๆ การวางแผนควรจะต้องอาศัยข้อมูลที่เกิดจากการดำเนินการต่างๆ ในอดีต เพื่อประกอบการตัดสินใจ การวางแผนการตรวจสอบที่ดีจะช่วยให้การตรวจสอบเป็นไปได้อย่างมีความถูกต้องมีการใช้บุคลากรอย่างเหมาะสม ประยุกต์เวลาและค่าใช้จ่าย การวางแผนการตรวจสอบจะต้องสะท้อนในแต่ละหน่วยงานจะมีความแตกต่างกันไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะทางกายภาพของสุสาน สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ปริมาณและลักษณะของการจราจรที่สุสานต้องแบกรับ รวมถึงความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ ตลอดจนข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและบุคลากร เป็นต้น การวางแผนการตรวจสอบสามารถทำได้ในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับนโยบายโดยผู้บริหารของหน่วยงาน ไปจนถึงระดับปฏิบัติการโดยทีมงานตรวจสอบ ซึ่งมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาและมาตรฐานการดำเนินการต่างๆ แตกต่างกันในแต่ละระดับ

การตรวจสอบเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการระบุความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสุสาน ประกอบด้วยขั้นตอน และรายละเอียดต่างๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบ และขึ้นส่วนที่ทำการตรวจสอบ ผู้ตรวจสอบควรจะต้องมีความรู้ความชำนาญในวิธีการตรวจสอบ และความเข้าใจทางด้านพุทธิกรรมสุสาน การตรวจสอบสามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะตามความถี่ในการตรวจสอบได้ดังนี้

1. การตรวจสอบปกติ (*Routine Inspection*) เป็นการตรวจสอบตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด เช่น การตรวจสอบประจำเดือน หรือการตรวจสอบประจำปี เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงสภาพของสุสานในช่วงเวลาต่างๆ หากสุสานเริ่มเกิดความเสียหาย จะได้มีมาตรการตรวจสอบความเสียหายเพิ่มเติม ซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาอีกครั้ง ได้ทันท่วงที โดยทั่วไปมักจะเป็นการทดสอบภายในที่ใช้ระยะเวลาและงบประมาณต่อหนึ่งสุสานไม่นานนัก
2. การตรวจสอบพิเศษ (*Special Inspection*) เป็นการตรวจสอบเพิ่มเติมภายหลังที่ทราบว่าสุสานเกิดความเสียหายขึ้น เป็นการตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดความเสียหาย ติดตามการขยายตัวของความเสียหาย หรือประเมินความสามารถของสุสานอย่างละเอียด เป็นต้น การตรวจสอบพิเศษในบางกรณีเป็นวิธีเฉพาะ มีข้อควรระวังและเทคนิคพิเศษที่ต้องใช้ จำเป็นจะต้องตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญพิเศษเท่านั้น
3. การตรวจสอบฉุกเฉิน (*Emergency Inspection*) เป็นการตรวจสอบเมื่อมีเหตุการณ์ฉุกเฉินเกิดขึ้นกับสุสาน เช่น ไฟไหม้ สารเคมีรั่วไหล ภัยธรรมชาติ หรือเวื้อยชนสุสาน หรือแผ่นดินไหว เป็นต้น การตรวจสอบแบบฉุกเฉินนี้จะกระทำไปพร้อมๆ กับมาตรการบรรเทาความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวสุสาน ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดผลกระทบกับประชาชนที่อยู่โดยรอบหรือต้องใช้สุสานในการสัญจรน้อยที่สุด ประกอบด้วยวิธีการตรวจสอบและประเมินความเสียหายในหลายระดับขึ้นอยู่กับสภาพความร้ายแรงของความเสียหายนั้นๆ

ในการตรวจสอบ จะต้องมีการบันทึกและจัดทำรายงานความเสียหายที่ตรวจพบเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนซ่อมแซมและบำรุงรักษา หรือแม้กระทั่งใช้ในการวางแผนการตรวจสอบครั้งต่อไปได้ การบันทึกความเสียหายนี้จะต้องมีรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย ไม่เกิดความสับสนในการนำข้อมูลไปใช้ต่อไป การวางแผนการซ่อมแซม และบำรุงรักษาผู้ที่ต้องมีการพิจารณาถึงความรุนแรงของความเสียหาย สภาพของภาระและประชาชนในพื้นที่ ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ศักยภาพของหน่วยงาน เทคนิคและความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม รวมถึงเทคโนโลยีทางด้านวัสดุ และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ประกอบด้วย

การซ่อมแซมหรือการบำรุงรักษาโดยบุคลากรที่มีความตันดและความชำนาญในกรรมวิธินั้นๆ จะทำให้การดำเนินการนั้นเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างสะพานเอง และภายหลังการซ่อมแซมควรมีการบันทึกอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบและซ่อมบำรุงสะพานในครั้งต่อๆ ไป รวมทั้งใช้เป็นกรณีศึกษาหรือข้อมูลทางด้านสถิติสำหรับการปรับปรุงมาตรฐานการก่อสร้างต่อไปได้ การจัดการฐานข้อมูลในส่วนนี้ ถึงว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก จะต้องมีการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อให้รองรับการข้อมูลในส่วนต่างๆ สะดวกต่อการจัดเก็บและนำไปใช้ และต้องมีความปลอดภัยในการรักษาข้อมูลอีกด้วย

บทที่ 2

กลศาสตร์ของสะพาน

2.1 กลศาสตร์ของสะพาน

สะพานเป็นสิ่งปลูกสร้างที่ความสำคัญมากต่อระบบการขนส่งทางบก การออกแบบสะพานนั้นทำได้มากมาย หลายแบบ โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องเชื่อมกับปัญหาเบลอกๆ ใหม่ๆ อยู่เสมอในการที่จะออกแบบสะพานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการง่ายๆ ของโครงสร้างสะพานก็คือจะประกอบไปด้วยระบบพื้นสะพานซึ่งจะพาดผ่านเป็นช่วงๆ (Span) โดยระบบพื้นนี้ จะวางอยู่บนระบบของคานซึ่งอาจเป็นได้ทั้งคานเหล็ก คอนกรีต หรือไม้

รูปแบบของสะพานมีอยู่หลายหลายมาก เช่น แบบ Arch แบบ Truss แบบ Concrete Box เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม พื้นฐานสำคัญที่ใช้มากที่สุดก็คือระบบพื้นวางบนคาน ซึ่งพื้นจะถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกลงสู่คาน แล้วคานก็จะถ่ายเทน้ำหนักลงสู่ฐานที่รองรับ ได้แก่ Bearing และตอนมอต่างๆ จากนั้นฐานรองรับเหล่านั้นจะถ่ายเทน้ำหนักทั้งหมดลงสู่พื้นดินต่อไป

สะพานต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาตั้งแต่ในอดีตต่างก็มีการเลือกใช้สถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน คานก็จะมีหลากหลาย เช่น คานก่อตัวหดดล่อนของเหล็กเสริมเป็นสนิม ตอม่อเมืองที่มีการทรุดตัว ฯลฯ แต่การจราจรก็ยังคงต้องดำเนินต่อไป ในวันหนึ่ง สะพานบางส่วนก็คงถึงวาระที่จะเสื่อมสภาพไปอย่างถาวร ฉะนั้น ณ วันนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดูแลรักษาสะพานให้ใช้งานได้นานเท่าที่จะทำได้ การซ่อมบำรุงสะพานจะปฏิบัติไม่ได้เลย หากเราไม่ได้เข้าใจถึงธรรมชาติและลักษณะของสะพานที่ได้รับการออกแบบมา ฉะนั้น จึงควรต้องมีความเข้าใจในภาวะแวดล้อม (Circumstances) และพฤติกรรมของสะพาน จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ของสะพานนั้นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

รูปแบบของสะพานมีความสำคัญยิ่งต่อพัฒนาการของสะพาน เพราะเป็นสิ่งที่กำหนดแนวทางพัฒนาการของสะพาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบรรทุกและการถ่ายเทน้ำหนักที่สะพานรองรับอยู่ พัฒนาการของสะพานจะส่งผลต่อสิ่งต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นกับสะพาน เช่น ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก และการเสื่อมสภาพของ Member ของสะพาน ซึ่งล้วนแต่เป็นข้อมูลสำคัญในการประเมินสภาพของสะพาน

ในบทนี้ จะได้บรรยายถึงสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อพัฒนาการของสะพาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหนักบรรทุก และแรงที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของสะพาน รวมถึงการสร้างความเข้าใจพัฒนาการต่างๆ ของสะพาน



2.1.1 น้ำหนักบรรทุก (Bridge Design Loading)

องค์ประกอบ (Members) ต่างๆ ของสะพานนั้น ได้ถูกออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยและคุ้มค่า น้ำหนักที่บรรทุกนั้นอาจจะเป็นแบบกระทำเป็นจุด (Concentrated Load) หรือแบบแผ่กระจาย (Distributed Load) ก็ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับวิธีการที่นำมาบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำเป็นจุด (Concentrated Load หรือ Point Load) เป็นน้ำหนักที่กระทำต่อ Member ของสะพานเพียงตัวเดียวหรือในพื้นที่แคบมากๆ น้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะ ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุด

น้ำหนักบรรทุกแผ่กระจาย (Distributed load) เป็นน้ำหนักที่กระทำต่อทั้งส่วนของ Member ของสะพาน ในปริมาณที่คงที่ น้ำหนักจากส่วนของสะพาน (Decks) ผิวนอน (Wearing Surface) และ แผงบังบันสะพาน (Parapets) ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจาย น้ำหนักบรรทุกร่อง (Secondary Loads) เช่น แรงลม ก็ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายเช่นกัน

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบสะพานนี้ จะขึ้นอยู่จากคุณภาพมาตรฐานและข้อกำหนดของสะพานทางหลวงของสำนักงานการทางและกາรขนส่งแห่งอเมริกา (American Association of State Highway and Transportation Officials– AASHTO) และจะแบ่งออกได้ เป็น 3 จำพวกหลัก ดังนี้

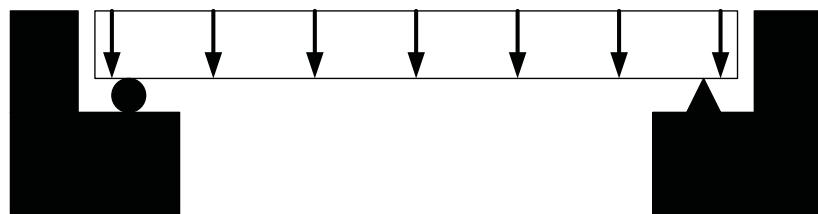
- ◆ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)
- ◆ น้ำหนักบรรทุกจรหลัก (Primary Live Load)
- ◆ น้ำหนักบรรทุกร่อง (Secondary Live Load)

2.1.1.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาที่เปลี่ยนไป เป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างอย่างถาวร ประกอบไปด้วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ก่อสะพาน (คูรปที่ 2-1) และยังรวมถึง น้ำหนักตัวเองขององค์อาคาร (Members Self Weight) อีกด้วย ของสะพานและน้ำหนักบรรทุกภาระยกอื่นๆ ด้วย

- ◆ ตัวอย่างน้ำหนักตัวเอง (Self Weight) : คน 1 ตัว ที่ยาว 20 เมตร และน้ำหนัก 50 กิโลกรัมต่อเมตร น้ำหนักรวมของคนเท่ากับ 1,000 กิโลกรัม ซึ่งถือว่าน้ำหนักตัวเองของคนนี้
- ◆ ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกคงที่จากภายนอก (External Dead Load) : คุปกรณ์สาธารณูปโภค เช่น ท่อประปา ที่ติดต่อกับคน ซึ่งจะนับรวมถึงน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในท่อด้วย น้ำหนักทั้งหมดนี้รวมกันแล้วจะเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมด

น้ำหนักรวมทั้งหมดของน้ำหนักบรรทุกคงที่ อาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างอายุการใช้งานของสะพาน เนื่องจากการปรับปรุงผิวการจราจร การติดตั้งแผงบัง (Parapets) การติดตั้งระบบสาธารณูปโภค และทางเดินสำหรับการตรวจสุขภาพ



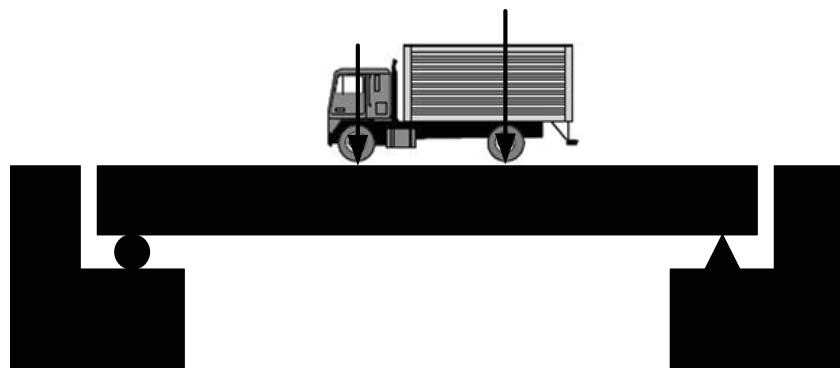
รูปที่ 2-1 น้ำหนักบรรทุกคงที่บนพื้นสะพาน

2.1.1.2 น้ำหนักบรรทุกจราจร (Primary Live Load)

น้ำหนักบรรทุก จะ ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ถาวร หรือเป็นน้ำหนักบรรทุกชั่วคราวเท่านั้น ส่วนใหญ่จะทำต่อโครงสร้างในช่วงเวลาสั้นๆ ในกรณีใช้งานสะพานนั้น น้ำหนักบรรทุกจราจร คือ น้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่ข้ามไป-มา (ดูรูปที่ 2-2)

สำหรับรวมถึงผลกระทบของความเร็ว การสั่นสะเทือน และโน้มnenตัว แล้ว น้ำหนักบรรทุกของถนนนี้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดแรงกระแทก (Impact) การกระแทกนี้จะถูกแสดงผลในรูปของอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุก และค่าของการกระแทกนี้จะเป็นส่วนที่สัมพันธ์ (Function) กับความยาวช่วงสะพาน (Span Length) การกระแทกจะมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักบรรทุก และจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวช่วงสะพานมีค่ามากขึ้น

ยานพาหนะที่เป็นตัวกำหนด น้ำหนักบรรทุกจราษานมาตรฐานจะถูกกำหนดขึ้นโดย AASHTO เพื่อใช้ในการออกแบบสะพานเป็นตัวแทนของยานพาหนะจริงๆ โดยทั่วไป แต่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปสู่วิธีการวิเคราะห์แบบง่ายๆ โดยมีพื้นฐานมาจากสมมติฐานของการประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกจราจร



รูปที่ 2-2 น้ำหนักรถบรรทุกจราจรบนสะพาน

น้ำหนักบรรทุกจราจรตามบรรทุกของ AASHTO

ในข้อกำหนดของ AASHTO ที่ได้บรรยายไว้ ถึงรถบรรทุกน้ำหนักมาตรฐานว่า จะมีอยู่ 2 แบบ แบบแรกจะเป็นรถหน่วยเดียว ซึ่งจะมี 2 เพลา และเพลาอยู่ห่างกัน 4.27 เมตร (14 ฟุต) และได้วิบากการตั้งซึ่งให้เป็น "รถบรรทุกทางหลวง (Highway Truck หรือ รถบรรทุก H)" (ดูรูปที่ 2-3) น้ำหนักบรรทุกจากเพลาหน้าจะมีค่าเท่ากับ 20 % ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของรถ โดยน้ำหนักจากเพลาหลังจะมีค่าเท่ากับ 80 % ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด ต่อจากตัวอักษร "H" ก็จะเป็นตัวเลขที่แสดง น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบ

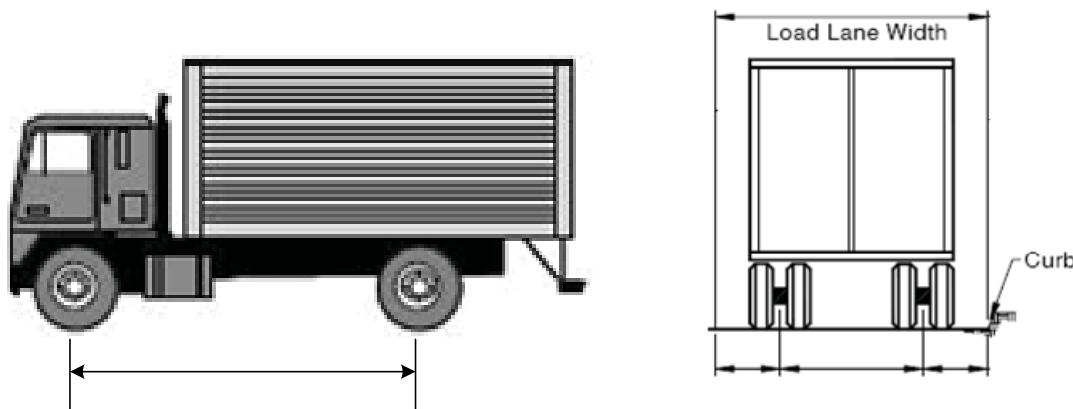


- ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุก “H”

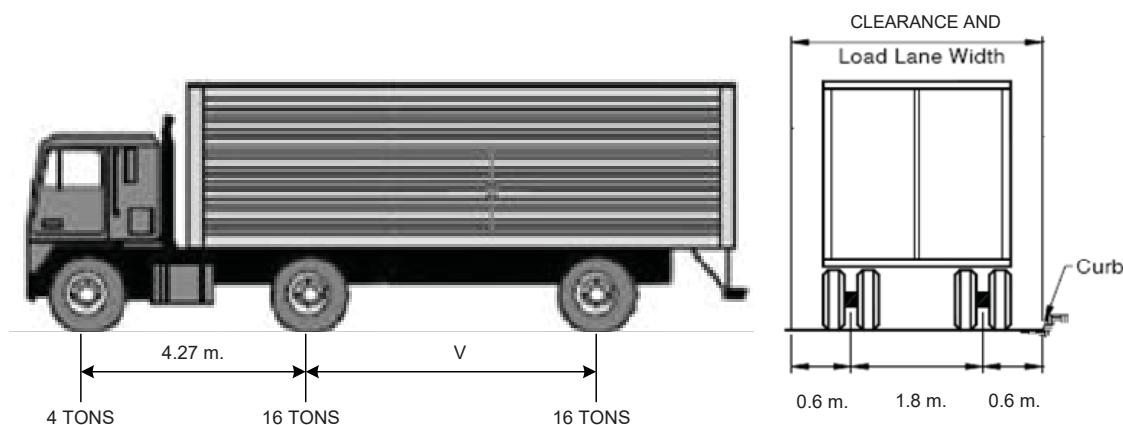
H20-35 จะหมายถึง เป็นรถบรรทุกขนาด 20 ตัน โดยมีน้ำหนักที่เพลาหน้า 4 ตัน เพลาหลัง 16 ตัน และเพลาหัว สองอยู่ห่างกัน 4.27 เมตร (14 ฟุต) มาตรฐานการใช้น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานนี้ ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี 1935

มาตรฐานของการนำน้ำหนักจากรถบรรทุกมาตรฐานแบบที่ 2 นี้ จะเป็นแบบ 2 หน่วย และมีแกนเพลา 3 แกน และตัวรถมี 2 ส่วน คือ ส่วนหัวลากและส่วนตื้อพ่วง และมีการใช้ชื่อเรียกว่า รถกึ่งบรรทุกพ่วง หรือ “HS” (ดูรูปที่ 2-4)

ส่วนล้อของน้ำหนักของส่วนหัวลาก และระยะห่างระหว่างล้อ เมื่อเทียบกับของกับรถบรรทุกของรถ “H” น้ำหนักเพลาของส่วนตื้อพ่วง (Semi Trailer Axle) มีค่าเท่ากับน้ำหนักจากเพลาหลังของส่วนหัวลาก และจะมีระยะห่างระหว่างเพลาตั้งแต่ 4.27 เมตร (14 ฟุต) ถึง 9.14 เมตร (30 ฟุต) ตัวเลขที่เขียนติดกับตัวอักษร “HS” จะบ่งบอกถึงน้ำหนักทั้งหมดของส่วนตื้อพ่วง (Tractor) เท่านั้น



รูปที่ 2-3 รถบรรทุกแบบ H20 ตามมาตรฐานของ AASHTO



รูปที่ 2-4 รถบรรทุกแบบ HS20 ตามมาตรฐานของ AASHTO

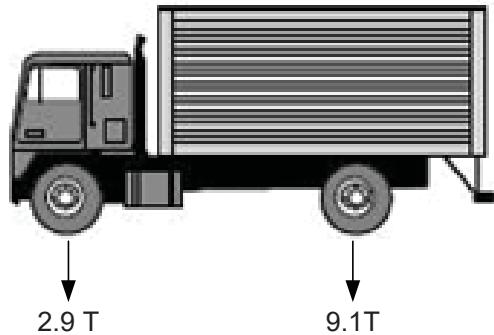
- ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุก HS :

HS20-44 จะหมายถึง รถบรรทุกที่มีน้ำหนักที่เพลาหน้าของส่วนตัวลาก เท่ากับ 4 ตัน และน้ำหนักเพลาหลังของส่วนหัวลาก เท่ากับ 16 ตัน และน้ำหนักที่เพลาของส่วนตื้อพ่วงจะหนัก 16 ตัน ดังนั้น น้ำหนักร่วมของส่วนหัวลากจะมีค่า

เท่ากับ 20 ตัน แต่น้ำหนักรวมทั้งหมดของรถบรรทุกจะหนัก 36 ตัน เอกสารข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกชนิดนี้ได้รับการจัดพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี 1944

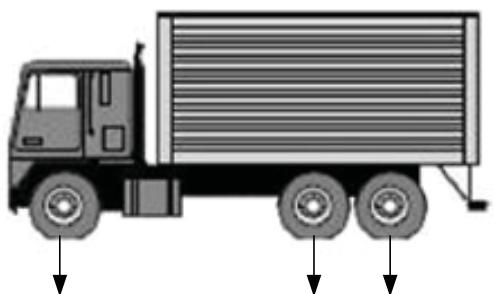
น้ำหนักบรรทุกไทยมาตรฐานกรมทางหลวง

Type 1 ຄຕບຮອຖຸກ 6 ລ້ອ



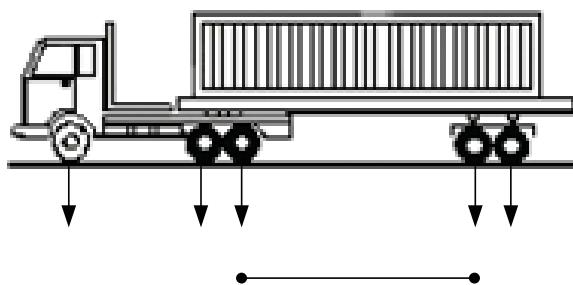
ຮູບທີ 2-5 ວັດປະກາດທຸກ 6 ລ້ອມາຕຽບຈຸນກວມທາງໜລວງ

Type 2 รถบรรทุก 10 ล้อ



ຮູບທີ 2-6 ຮັບຮວຖຸກ 10 ລົ້ມ ມາຕຽຈຳນກອມທາງໜລວງ

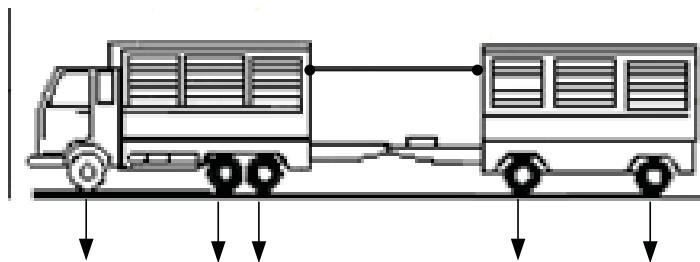
Type 3 Semi-Trailer



รูปที่ 2-7 รถ Semi-Trailer มาตรฐานกรมทางหลวง



Type 4 Trailer



รูปที่ 2-8 รถ Trailer มาตรฐานกรมทางหลวง

8m

น้ำหนักบรรทุกในช่องจราจรที่กำหนดโดย AASHTO

นอกจากจะใช้ค่าน้ำหนักจากการถ่วงทุกน้ำหนักมาตรฐานแล้ว การใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกในช่องจราจรก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา น้ำหนักบรรทุกในช่องจราจร ประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกต่อความยาว 1 เมตรในช่องจราจร รวมกับน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (Concentrated Load) ที่อยู่บนช่องสะพานนั้น โดยจะต้องเป็นค่าน้ำหนักที่ทำให้เกิดภาวะวิกฤต (Critical Situation) (ดูรูปที่ 2-9)

สำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์เพื่อประเมินความสามารถในการรับน้ำหนัก จะต้องมีการตรวจสอบทั้งน้ำหนักบรรทุกจากการถ่วงทุกมาตรฐานและน้ำหนักบรรทุกในช่องจราจรที่จะทำให้เกิดค่า Stress สูงสุด ในบริเวณ Member 4.6 T 8.2 T 8.2 T



รูปที่ 2-9 Lane Loading ตามมาตรฐานของ AASHTO

น้ำหนักบรรทุกที่กำหนดโดยส่วนราชการทหาร (Military Load)

จะเป็นหนึ่งหน่วยของน้ำหนักบรรทุกที่มี 2 เพลา ซึ่งอยู่ห่างกัน 1.20 เมตร (4 ฟุต) และแต่ละตัวจะหนัก 12 ตัน ข้อกำหนดนี้เป็นส่วนหนึ่งของ AASHTO มาตั้งแต่ปี 1972 สะพานที่อยู่ในเส้นทางหลวงระหว่างเมือง หรือเส้นทางหลักอื่นๆ ซึ่งเป็นเส้นทางสายยุทธศาสตร์การป้องกันประเทศนั้น จะถูกออกแบบให้รับน้ำหนัก ของ HS20 หรือน้ำหนักบรรทุกที่ส่วนราชการทหารกำหนด

yanpannathai ได้รับอนุญาต

yanpannathai ได้รับอนุญาตในสหรัฐอเมริกา คือ พาหนะที่มีน้ำหนักบรรทุกเกิน ซึ่งจะต้องขอใบอนุญาตจากแต่ละรัฐก่อน ส่วนใหญ่จะเป็นรถบรรทุกขนาดหนัก เช่น รถบรรทุกพ่วง รถขนคอนกรีต ก่อสร้าง รถปั้นจั่น (Crane) เป็นต้น ซึ่งจะมี

ลักษณะแบบและระยะของเพลาแต่ละตัวกันไป เพื่อสร้างความมั่นใจว่า ยานพาหนะเหล่านั้นจะสามารถปฎิบัติหน้าที่ได้อย่างปลอดภัยบนทางหลวงและสะพานต่างๆ จึงจำเป็นต้องจัดให้มีการออกแบบให้สะพานเหล่านี้สามารถรองรับยานพาหนะประเภทนี้ได้ หรือต้องจัดให้มีการตรวจสอบสะพานต่างๆ เหล่านี้ว่าจะสามารถรับน้ำหนักจากยานพาหนะประเภทนี้ได้หรือไม่ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและถูกต้องตามกฎหมาย หน่วยงานที่ทำหน้าที่ออกใบอนุญาตนี้จะออกใบอนุญาตก็ต่อเมื่อทราบถึงน้ำหนักทั้งหมดของพาหนะ จำนวนเพลา ระยะห่างระหว่างเพลา และน้ำหนักมากที่สุดระหว่างเพลา ที่จะใช้ผ่านเดินทางนั้นๆ

2.1.1.3 น้ำหนักบรรทุกจรด (Secondary Live Load)

เป็นส่วนเพิ่มเติมมาจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรดลักษณะรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

- แรงดันดิน (Earth Pressure) : เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อโครงสร้างส่วนล่างที่ต้านแรงดันอยู่ เช่น ตอม่อและกำแพงกันดิน
- แรงดันน้ำ (Buoyancy) : เป็นแรงที่ดันวัตถุให้ลอยขึ้นเมื่อวัตถุนั้นคงลงไปในน้ำ
- แรงลมที่กระทำต่อสะพาน (Wind Load of Structure) : คือ แรงดันลมที่กระทำต่อผิวของโครงสร้างของสะพาน
- แรงลมที่กระทำต่อน้ำหนักบรรทุกจร (Wind Load หรือ Live Load) : คือแรงดันลมที่กระทำต่อยานพาหนะที่กำลังข้ามสะพานอยู่
- แรงกระทำในแนวยาว (Longitudinal Force) : เป็นแรงที่อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางของสะพาน และมีสาเหตุมาจากการแรงเบรคหรือการเร่งความเร็วของยานพาหนะที่ข้ามสะพาน
- แรงสูญญากาศ (Centrifugal Force) : เป็นแรงที่เหวี่ยงออกด้านนอก โดยจะเกิดขึ้นเมื่อยานพาหนะเคลื่อนผ่านสะพานที่มีลักษณะโค้ง (Curved Bridge)
- แรง Rip–Shortening : เป็นแรงที่เกิดขึ้นในสะพานที่ใช้คานโด้ง (Arches) หรือ โครงถัก (Frames) โดยมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอันเนื่องมาจากการน้ำหนักบรรทุกคงที่
- แรงที่เกิดจากการหดตัว (Shrinkage) : เกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีต แรงประภานี้ จะมีผลยังทิศทางเนื่องจากเปลี่ยนแปลงหลายทิศทางระหว่างการบ่ม (Curing)
- แรงที่เกิดจากอุณหภูมิ (Temperature) : วัสดุมีการขยายตัวเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะมีการหดตัวเมื่อมีอุณหภูมิลดลง อาจจะนำแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มาพิจารณาด้วยก็ได้
- แรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว (Earth Quake) : โครงสร้างของสะพานจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านแรงจากแผ่นดินไหวได้
- แรงดันที่เกิดจากกระแสน้ำ (Stream Flow Pressure) : เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อองค์ประกอบของสะพานที่สร้างอยู่ในแนวกระแสน้ำ
- แรงดันจากน้ำแข็ง (Ice Pressure) : เป็นแรงในแนวราบที่เกิดจากการที่ก้อนน้ำแข็งลอมมาติดที่องค์ประกอบของสะพาน



- แรงที่เกิดจากน้ำหนักบริทุกที่ทางเท้า (Sidewalk Loading) : พื้นทางเดินและส่วนค้างคืน จะถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบริทุกจากผู้ใช้ทางเท้า ได้ไม่เกิน 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (85 กิโลปอนด์ต่อตารางฟุต)
- น้ำหนักบริทุกจากขอบถนน (Curb Loading) : ขอบถนนจะถูกออกแบบให้สามารถต้านทานแรงในด้านข้างได้ไม่น้อยกว่า 70,000 กิโลกรัมต่อความยาว 1 เมตร (500 กิโลปอนด์ต่อความยาว 1 ฟุต)
- น้ำหนักบริทุกจากราบสะพาน (Railing Loading) : แรงในแนวขวางที่กระทำต่อราบสะพานจะไม่มีเกิน 4,500 กิโลกรัม (10 กิโลปอนด์)

สะพานอาจจะต้องได้รับแรงต่างๆ เหล่านี้ พร้อมๆ กัน ข้อกำหนดของ AASHTO ได้จัดทำตารางของกลุ่มน้ำหนักบริทุกต่างๆ ไว้ ในแต่ละกลุ่มน้ำหนักบริทุกพบหนึ่งจะถูกพิจารณาโดยใช้ค่าสมประสิทธิ์ของน้ำหนักแต่ละชนิดด้วย ค่าสมประสิทธิ์ต่างๆ เหล่านี้ ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยอยู่บนพื้นฐานทางสถิติของน้ำหนักบริทุกต่างๆ ที่กระทำพร้อมๆ กัน

2.1.2 การหาแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพาน (Material Response of Loading)

องค์ประกอบแต่ละส่วนของสะพานก็ล้วนแต่มีหน้าที่และจุดประสงค์การใช้งานที่เป็นลักษณะเฉพาะของตัวเอง เป็นผลให้มีผลกระทบต่อการเลือกวัสดุ ประเภทชูปั่น และขนาดขององค์ประกอบส่วนนั้นๆ มีสิ่งต่างๆ ที่จะเป็นตัวอธิบายถึงการตอบสนองของวัสดุต่างๆ เหล่านั้น เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนัก และความรู้สึกเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ เหล่านี้ ก็มีความจำเป็นต่อผู้ทำการตรวจสอบสะพาน

แรง เป็นกิริยาที่ตัวของสิ่งหนึ่งกระทำต่อตัวของอีกสิ่งหนึ่ง แรงจะมี 2 องค์ประกอบ คือ ขนาดและทิศทาง หน่วยหนึ่งของแรงที่นิยมใช้กัน คือ กิโลกรัม (Kilogram, ย่อว่า kg.), ปอนด์ (Pounds, ย่อว่า lb) หน่วยของแรงที่ใช้ในเควดวิศวกรรม คือ ตัน (Ton) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลกรัม, กิโลปอนด์ (kip) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 ปอนด์

2.1.2.1 ความเค้น (Stress)

เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความเข้มของแรงภายใน เมื่อมีการให้แรงกระทำต่อวัสดุตัวหนึ่ง ก็จะเกิดความเค้นภายในขึ้น คำจำกัดความของความเค้น ก็คือ แรงต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด

$$\text{ความเค้น (Stress)} = \frac{\text{แรง (Force ; P)}}{\text{พื้นที่ (Area ; A)}}$$

หน่วยของ Stress ก็คือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Kilograms per Square Centimeter) หรือย่อว่า ksc, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Pounds per Square Inch) หรือย่อว่า psi อย่างไรก็ตาม Stress ก็อาจจะใช้ค่ากิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ksi) หรือหน่วยอื่นๆ ที่เป็นหน่วยของแรงต่อหน่วยพื้นที่ วัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าความเค้นที่ยอมให้ (Allowable Stress) เป็นลักษณะของตัวเอง

2.1.2.2 การเปลี่ยนรูป (Deformation)

เป็นการเปลี่ยนรูปร่าง ของวัสดุขึ้นเนื่องมาจากการ Stress

ความเครียด (Strain)

เป็นหน่วยวัดขนาดของการเปลี่ยนรูป โดยจะแสดงเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดของการเปลี่ยนรูปของวัสดุนั้น ต่อขนาดเดิมของวัสดุก่อนเกิดการเปลี่ยนรูป ตัวอย่างเช่น Strain ในทิศทางตามแนวยาว จะคำนวณได้จาก การนำค่าความเปลี่ยนแปลงของความยาว หารด้วย ความยาวเดิมของวัสดุชิ้นนั้นๆ

$$\text{ความเครียด (Strain, } \epsilon) = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป} (\Delta L)}{\text{ความยาวเดิม} (L)}$$

Strain เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยการวัด แต่สามารถแสดงค่าให้เป็นได้โดยใช้ค่าเปอร์เซนต์ของการเปลี่ยนแปลงของหน่วยความยาว เช่น เซนติเมตร/เซนติเมตร, นิ้ว/นิ้ว

การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation)

เป็นการเปลี่ยนรูปที่ชั่วสัตว์สามารถกลับคืนรูปสู่สภาพเดิมก่อนที่ชั่วสัตว์จะถูกแรงกระทำได้เมื่อเรา拿掉น้ำหนักไป การเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่นนี้เรียกว่า ได้อีกแบบหนึ่งว่า เป็นการเปลี่ยนรูปแบบย้อนกลับได้ เพราะว่า จะไม่มีค่า Strain เหลืออยู่เลย เมื่อ Stress ถูกเคลื่อนย้ายออกไป

ตัวอย่าง หนังยางที่เราบีบออกแล้วปล่อย จะเห็นได้ว่า ยังมีรูปร่างคงเดิม

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

เป็นการเปลี่ยนรูปที่วัสดุไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ หรือ วัสดุได้เปลี่ยนรูปไปอย่างถาวร วัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกเมื่อมันยังคงอยู่ในรูปร่างที่เปลี่ยนไปทั้งๆ ที่ได้เคลื่อนย้ายแรงออกไปแล้ว บางครั้งเราเรียกการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือ Plastic Strain นี้ว่า Irreversible Permanent Strain เพราะว่าค่า Strain ก็ยังคงอยู่หลังจากที่ได้เคลื่อนย้าย Stress ออกไปแล้ว

ตัวอย่าง รถยนต์ที่พุ่งเข้าชนกำแพง ร้าว กัน หรือ กันชนรถยนต์ ก็จะมีการเปลี่ยนรูปไป โดยมีการเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่รถยนต์กระเด้งกลับออกมากจากสิ่งที่ชน ขณะนั้น ร้าว กัน แต่กันชนต่างก็ได้ผ่านการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกแล้ว

การดีบ (Creep)

การดีบเป็นการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก โดยปกติแล้ว จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น การเปลี่ยนรูปโดยการดีบ (Creep) นี้ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ โดยจะมีค่าที่ขึ้นอยู่กับขนาดของน้ำหนักบริทุก



ผลกระทบของความร้อน

โดยปกติแล้ว สะพานมักจะได้รับผลกระทบจากความร้อน Superstructures จะมีการยืดตัวและการหดตัวในแนวยาว ถ้า Member นั้นๆ ถูกกำหนดมาให้สามารถยืดและหดตัวได้ เรายังไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนรูป (Deformation) อันเนื่องมาจากความร้อน แต่อย่างไรก็ตาม ก็อาจต้องมีการระวังและป้องกันให้บาง Member มีการยืดตัวและการหดตัวอยู่ ในทิศทางที่แน่นอน ผู้ตรวจสอบสะพาน ก็จำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ Stress เนื่องจากความร้อนนี้ด้วยความระมัดระวัง เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนดังกล่าว สามารถที่จะทำให้เกิด Frictional Stress ที่มีค่ามากๆ ได้

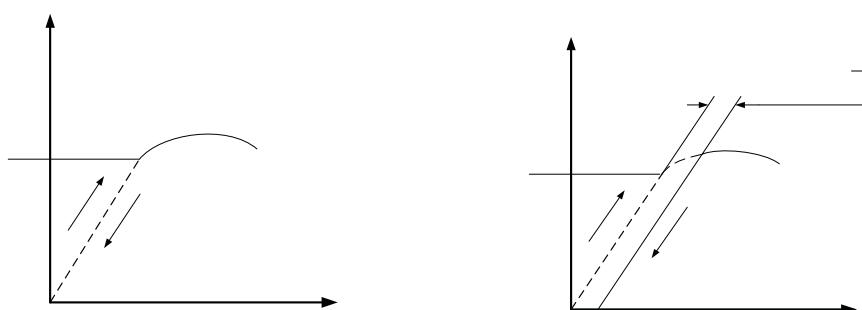
วัสดุจะมีการขยายตัวเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะหดตัวเมื่อมีอุณหภูมิตดลง ปริมาณการเปลี่ยนรูปของ Member ที่เกิดจากความร้อน จะขึ้นอยู่กับ

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Thermal Expansion) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปสำหรับวัสดุแต่ละชนิด
- การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- ความยาวของ Member

2.1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเดินและความเครียด (Stress-Strain Relation Ship)

ส่วนใหญ่ของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้าง ค่าของ Stress จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของ Strain (ดูรูปที่ 2-10) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าสัดส่วนนี้จะใช้ได้กับค่าของ Stress บางค่าโดยเฉพาะเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า พิกัดยืดหยุ่น (Elastic Limit) มี 2 สิ่งที่นำมาให้โดยมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับพิกัดยืดหยุ่น คือ พิกัดปฏิภาค (Proportional Limit) และจุดคลาก (Yield Point)

เมื่อให้ค่าของ Stress ความเดินเพิ่มขึ้นจนถึงค่าพิกัดยืดหยุ่น (Elastic Limit) วัสดุนั้นจะเปลี่ยนรูปแบบมีความยืดหยุ่น เมื่อผ่านจุดพิกัดยืดหยุ่นไปแล้ว การเปลี่ยนรูปจะเป็นแบบพลาสติก และ Strain จะไม่แปรผันตรงกับค่า Stress ที่ได้ให้ไป คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้กำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain นั้น เรียกว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือ Young's Modulus



รูปที่ 2-10 Stress-Strain Diagram

โมดูลัสยึดหยุ่น

จะเป็นค่าเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด โดยจะเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความเดันที่ให้มากับค่าความเครียดที่เป็นผลมาจากการเดันนั้น

$$\text{โมดูลัสยึดหยุ่น (E)} = \frac{\text{ความเดัน (S)}}{\text{ความเครียด (\varepsilon)}}$$

ค่าโมดูลัสยึดหยุ่นจะใช้ได้ตัวบวกได้ที่ยังไม่ถึงจุดพิกัดยึดหยุ่น (Elastic Limit) หน่วยของโมดูลัสยึดหยุ่น จะเหมือนกับ หน่วยของ Stress (เช่น ksc, psi หรือ ksi)

2.1.2.4 ความเหนียวและความเปราะ (Ductility and Brittleness)

ความเหนียว เป็นการวัดปริมาณของความเครียดพลาสติกหรือความเครียดถาวร (Plastic or Permanent Strain) ซึ่งวัสดุต่างๆ จะต้องเผชิญ วัสดุที่มีความเหนียวดี จะสามารถต้านการเปลี่ยนรูปได้ในปริมาณที่สูงกว่าก่อนที่จะแตกหักไป (Break) และวัสดุประเภทนี้จะมีการลดปริมาณพื้นที่หน้าตัดอย่างมาก ก่อนการแตกหัก

วัสดุโครงสร้างทั่วไปที่มีความเหนียว จะรวมถึง

- เหล็ก
- อะลูมิเนียม
- ทองแดง

ส่วนวัสดุที่มีความเปราะนั้น จะไม่สามารถต้านทานการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกในปริมาณสูงๆ ได้ การวิบัติของวัสดุที่เปราะนี้จะเกิดขึ้นโดยทันทีโดยที่มีสัญญาณเตือนเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

วัสดุโครงสร้างทั่วไปที่มีความเปราะบางนี้ จะรวมถึง

- คอนกรีต
- เหล็กหล่อ (Cast-Iron)
- หิน

2.1.2.5 ความล้า (Fatigue)

ความล้าเป็นการตอบสนองของวัสดุที่บ่งบอกถึงแนวโน้มของวัสดุที่จะแตกออกเมื่อต้องรับน้ำหนักอย่างซ้ำๆ การวิบัติจากความล้าจะเกิดขึ้นภายใต้พิสัยของความยึดหยุ่น (Elastic Range) ของวัสดุ หลังจากที่ได้มีการใส่ค่า Stress และปริมาณของ Stress ที่แน่นอนให้แก่วัสดุนั้น

วัสดุแต่ละชนิดก็จะมีค่า Stress สูงสุดสมมติ ซึ่งจะทำให้รับน้ำหนักและเคลื่อนย้ายน้ำหนักออกในจำนวนครั้งที่แน่นอน ค่า Stress นี้ถือว่าเป็นค่าขอบเขตความล้า (Fatigue Limit) ซึ่งปกติแล้ว จะมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงที่จะเกิดการแตก (Breaking Strength) สำหรับน้ำหนักที่ใช้บรรทุกไม่ปอยนัก

วัสดุที่มีความเหนียว เช่น เหล็กและอะลูมิเนียม จะมี Fatigue Limit ที่ค่อนข้างสูงในขณะที่วัสดุที่เปราะ เช่น คอนกรีต จะมีค่า Fatigue Limit ที่ต่ำ



2.1.3 การตอบสนองของโครงสร้างสะพานต่อน้ำหนักบรรทุก

แต่ละ Member ของสะพาน มีแนวโน้มที่จะมีการตอบสนองต่อน้ำหนักบรรทุกในกรณีต่างๆ กัน ผู้ตรวจสอบ สะพาน จะต้องมีความเข้าใจในพฤติกรรมที่น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อแต่ละ Member เพื่อที่จะทำการประเมินได้ว่า Member นั้นกำลังทำงานที่ตามที่ได้ออกแบบมาหรือไม่

การตอบสนองของ Member ของสะพาน ต่อน้ำหนักบรรทุกหลายแบบ โดยการต้านทานแรงพื้นฐาน 4 แบบ ได้แก่

- แรงในแนวแกน (Axial Forces)
- แรงดัด (Bending Forces ; Flexure)
- แรงเฉือน (Shear Forces)
- แรงบิด (Torsional Forces)

ภาวะสมดุล (Equilibrium)

ในการคำนวณค่าของแรงต่างๆ ดังกล่าว การวิเคราะห์นั้นจะอยู่ภายใต้การควบคุมของสมการของภาวะสมดุล ซึ่งจะเป็นสิ่งที่นำเสนอมethod ของการสมดุลของแรง ที่อาจจะแสดงได้โดย

$$\sum V = 0$$

$$\sum H = 0$$

$$\sum M = 0$$

โดยที่

$$\sum = \text{ผลรวมของ}$$

$$V = \text{แรงในแนวตั้ง}$$

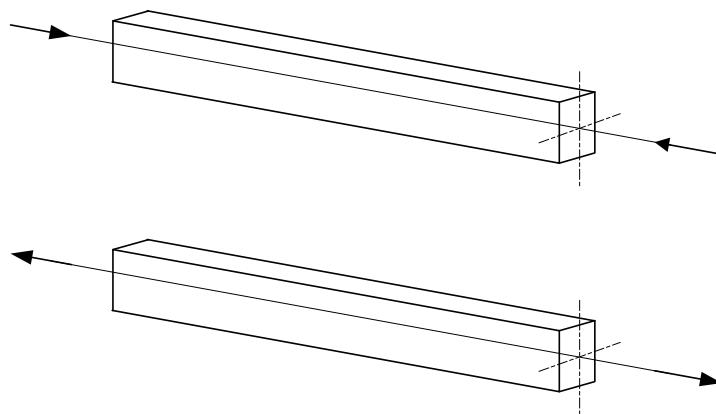
$$H = \text{แรงในแนวราบ}$$

$$M = \text{โมเมนต์ (แรงดัด)}$$

2.1.3.1 แรงในแนวแกน (Axial Forces)

เป็นแรงดึงหรือแรงผลักที่กระทำในแนวเดียวกับแกนขององค์อาคาร ถ้าเป็นการผลัก ก็จะทำให้เกิดแรงกด (Compression) ขึ้น ถ้าเป็นการดึง ก็จะทำให้เกิดแรงดึง (Tension) ขึ้น (ดูรูปที่ 2-11) แรงในแนวแกนจะมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ปอนด์ หรือกิโลปอนด์

เป็นที่ทราบกันดีว่า Member ของโครง Truss เป็น Member แบบที่รับน้ำหนักในแนวแกน Member เหล่านี้ถูกออกแบบเพื่อรับทั้งแรงดึงและแรงอัด สายเคเบิลถูกออกแบบมาให้รับแรงดึง สาและชิ้นส่วนที่ตั้งในแนวตั้งจะถูกออกแบบ มาให้รับแรงอัด



รูปที่ 2-11 Axial Forces

Compress

แรงในแนวแกนที่แท้จริงจะกระทำต่อ พื้นที่หน้าตัด ณ นั้น จะสามารถคำนวณความดันในแนวแกน (Axial Stress) ได้ดังนี้

$$f_a = \frac{P}{A}$$

เมื่อ f_a = ความดันในแนวแกน (Axial Stress)

P = แรงในแนวแกน (Axial Force)

A = พื้นที่หน้าตัด (Sectional Area)

Tens

เมื่อ Member ของสะพาน ถูกออกแบบมาให้ต้านทานแรงในแนวแกน พื้นที่หน้าตัดก็จะมีการเปลี่ยนค่าโดยอัตโนมัติกับขนาดของแรง ไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึง และก็ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ใช้

สำหรับ Member ที่จะรับแรงดึง แรงดัน พื้นที่หน้าตัดจะต้องสอดคล้องกับสมการข้างต้นเพื่อให้ได้ค่า Stress ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วหน่วยแรงที่ยอมให้ ในแนวแกนเนื่องจากแรงดัน (Axial Compressive Stress) จะมีค่าต่ำกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ในแนวแกนเนื่องจากแรงดึง มีชันจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การโก่งเดา (Buckling)

การโก่งเดา (Buckling)

เป็นแนวโน้มของ Member ที่จะเปลี่ยนรูปหรือเอ่นออกไปจากระนาบที่ถูกกำหนดให้ทำหน้าที่รองรับแรงดัน เมื่อความยาวและความซະลูด (Slenderness) หรือ Member ที่รับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น ก็จะมีอัตราการโก่งเดามากขึ้นด้วย Member ที่มีแรงดันต้องการพื้นที่รับแรงมากขึ้น หรือให้มี Bracing เพื่อเป็นการป้องกันการโก่งเดา

2.1.3.2 แรงดัน (Bending Force; Flexure)

แรงดันในองค์อาคารของสะพาน มีสาเหตุมาจากโมเมนต์ โมเมนต์นี้เกิดจากการรับน้ำหนักในแนวขวาง (Transverse Loading) จึงทำให้องค์อาคารเกิดการเอ่นตัว โมเมนต์ที่เกิดจากแรงดัน จะทำให้เกิดทั้งแรงดันและแรงดึงในตำแหน่งที่ต่างๆ กันในแต่ละ Member และจะเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ (ดูรูปที่ 2-12) หน่วยของโมเมนต์จะมีค่าเป็น กิโลกรัม-เมตร ปอนด์-ฟุต หรือ กิโลปอนด์-ฟุต



คาน (Beams) และคานขนาดใหญ่ (Girders) เป็นชิ้นส่วนของสะพานที่ทำหน้าที่ต้านทานโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดัด ปีกคาน เป็นส่วนที่วิกฤตที่สุด เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ต้านทานแรงอัดและแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ได้มากที่สุด (ดูรูปที่ 2-12)

Member ที่มีการดัด จะมีแกนสะเทิน (Neutral Axis) อยู่ ณ ตำแหน่งที่ไม่มีความเด่นจากการดัด (Bending Stress) บนพื้นที่หน้าตัดของ Member นั้น Bending Stress จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น (Linear) เมื่อเทียบกับระยะทางจากแกนสะเทิน (ดูรูปที่ 2-12 และ 2-14)

สูตรสำหรับการหาค่าสูงสุดของ Stress จากการดัด ได้แก่ (ดูรูปที่ 2-14)

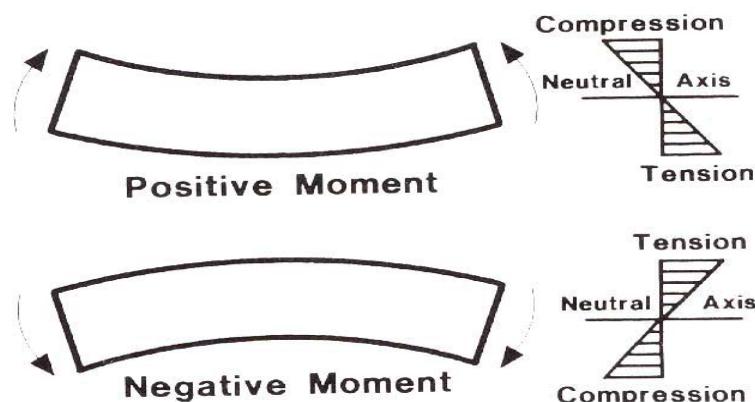
$$f_b = \frac{Mc}{I}$$

เมื่อ f_b = Stress จากการดัด ณ ผิวนอกสุดของคาน

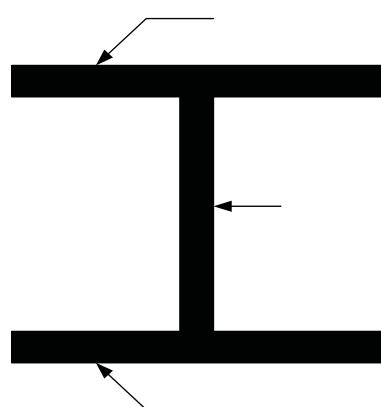
M = โมเมนต์ที่เกิดขึ้น

c = ระยะทางจาก แกนสะเทิน ถึง ผิวนอกสุดของคาน

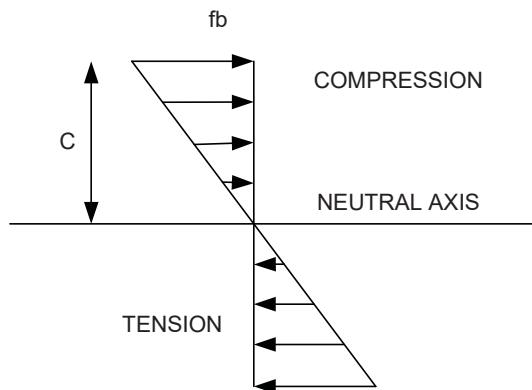
I = โมเมนต์ของเรือย (Moment of Inertia) ซึ่งเป็นคุณสมบติของหน้าตัดและรูปร่างของคาน



รูปที่ 2-12 Positive Moment และ Negative Moment



รูปที่ 2-13 Girder Cross Section



รูปที่ 2-14 Bending Stresses

2.1.3.3 แรงเฉือน (Shear Forces)

เป็นแรงที่เป็นผลจากการที่แรงซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม พยายามที่จะเฉือนส่วนหนึ่งขององค์อาคารให้ผ่านไปจากส่วนอญ্তติดกัน (ดูรูปที่ 2-15) หน่วยของแรงเฉือน จะเหมือนกับหน่วยของแรงปิดติดกัน ก็即 ภาระปอนด์ หรือ กิโลกรัมปอนด์

ทั้งคานหรรมดา (Beam) และคานขนาดใหญ่ (Girder) ต่างก็เป็น Member ที่ทำหน้าที่ต้านทานแรงเฉือนด้วย เช่นกัน สำหรับคานรูปตัว L หรือ T แรงเฉือนส่วนใหญ่จะถูกต้านทานโดยส่วนเอว (Web) ของคาน (ดูรูปที่ 2-13) Shear Stress ซึ่งเกิดจากแรงในแนววางนั้น ถูกทำให้เห็นชัดเจนขึ้น โดย Shear Stress ในแนววาง ซึ่งจะมาควบคู่กับ Shear Stress ในแนวตั้งที่มีขนาดเท่ากัน กำลังของแรงเฉือนในแนวตั้งจะเป็นค่าที่วิกฤตที่สุดที่ถูกใช้ในการออกแบบ สูตรสำหรับใช้คำนวณหา Shear Stress ในแนวตั้งในคานรูปตัว L หรือ T ได้แก่

$$f_v = \frac{V}{A_w}$$

เมื่อ f_v = Shear Stress

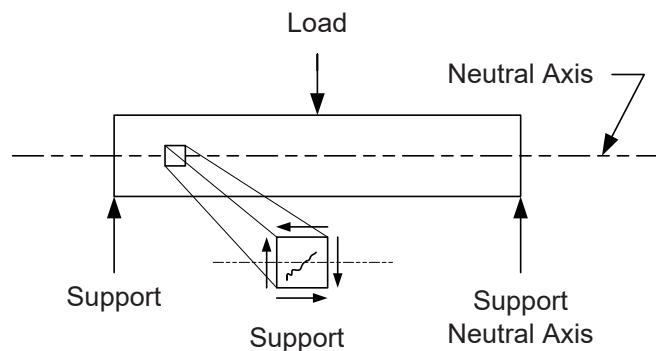
V = แรงเฉือนในแนวตั้ง อันเนื่องมาจาก น้ำหนักบรรทุกภายนอก

A_w = พื้นที่ของเอวคาน (Web)

สำหรับคานรูปตัว L หรือ T แรงเฉือนจะถูกต้านทานโดยพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด และสูตรสำหรับ Shear Stress ในแนวตั้ง คือ

$$f_v = \frac{3V}{2A}$$

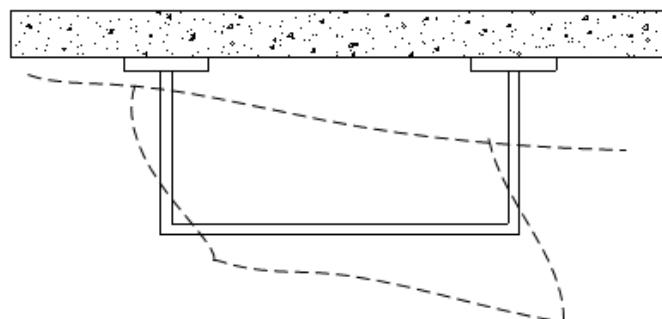
เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัด



รูปที่ 2-15 Shear Forces in Member Element

2.1.3.4 แบงบิด (Torsional Forces or Torque)

เป็นแรงที่เป็นผลมาจากการใส่ไมเมนต์จากภายนอกเข้าไป ทำให้ Member เกิดการหมุนหรือบิดไปรอบๆ ของแกนตามแนวยาว (Longitudinal Axis) แรงบิดมีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร ปอนด์-ฟุต หรือ กิโลปอนด์-ฟุต โดยทั่วไปแล้ว ชิ้นส่วนของสะพานจะไม่ถูกออกแบบให้เป็นชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงบิด แต่อย่างไรก็ตาม ในโครงสร้างส่วนของบางสะพาน ประกอบกันเข้าเป็นโครง (Frame) จึงสามารถเกิดแรงบิดขึ้นได้ในชิ้นส่วนในแนวยาว (Longitudinal Member) เมื่อชิ้นส่วนเหล่านี้เกิดการแอนไม่เท่ากัน (Differential Deflection) ชิ้นส่วนที่อยู่ติดกันซึ้งอยู่ในแนวขวางนั้น ได้บิดและทำให้เกิดแรงบิดขึ้น และในสะพานที่เป็นรูปโค้ง (Curved Bridges) ที่ต้องรับแรงบิดด้วย (ดูรูปที่ 2-16)

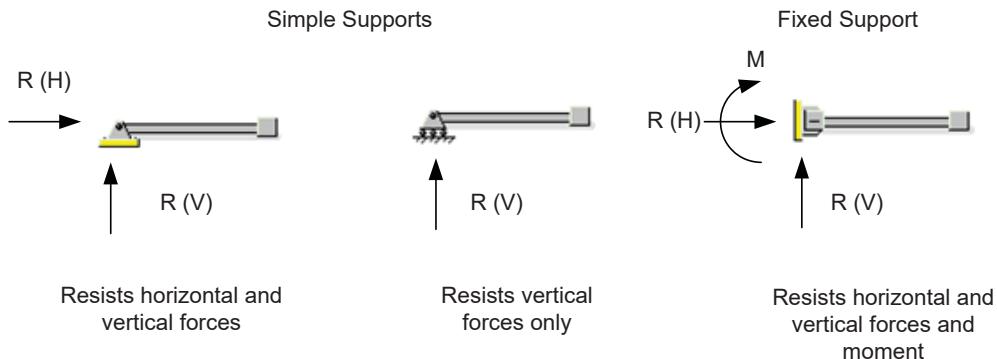


รูปที่ 2-16 Torsional Distortion

2.1.3.5 แรงปฏิกิริยา (Reaction)

เป็นแรงที่เกิดขึ้นที่จุดรองรับ (Support) และจะมีขนาดเท่ากับแรงที่ถ่ายเทมาจากองค์อาคารสู่จุดรองรับ แต่มีค่าตรงกันข้าม โดยปกติแล้ว แรงปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นแรงในแนวตั้ง แต่ก็สามารถเป็นแรงปฏิกิริยาในแนวราบได้ เช่น กันแรงปฏิกิริยาในแนวตั้ง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่าเพิ่มขึ้นหรือเมื่อลื่อน้ำหนักบรรทุกเข้ามาอยู่ใกล้ฐานรองรับ ให้มากกว่าเดิม แรงปฏิกิริยามีหน่วยเป็น กิโลกรัม ปอนด์ หรือ กิโลปอนด์

น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของสะพาน จะมีค่าเท่ากับแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่คอมอคต่างๆ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่เล็กๆ แล้ว ความแตกต่างก็ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาผ่านองค์อาคารที่ทำหน้าที่เป็นฐานรองรับ



รูปที่ 2-17 Type of Supports

2.1.4 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบสะพาน

Span ของคานและสะพานต่างๆ ถูกแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ โดยอยู่บนพื้นฐานของลักษณะของจุดรองรับ และความสัมพันธ์ระหว่างช่วง ดังนี้

- ◆ แบบช่วงเดียว (Simple Span)
- ◆ แบบต่อเนื่อง (Continuous Spans)
- ◆ แบบคานยื่น (Cantilever Span)

สะพานจะมีอยู่ 2 จำพวก ซึ่งคัดจากลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างพื้นสะพาน (Deck)

และ คาน (Beams) ได้แก่

- ◆ แบบไม่ผสม (Non-Composite)
- ◆ แบบผสม (Composite)

อีกลักษณะหนึ่งของการออกแบบได้แก่ ฐานราก ซึ่งทำหน้าที่สำคัญคือ รองรับสะพานทั้งหมด

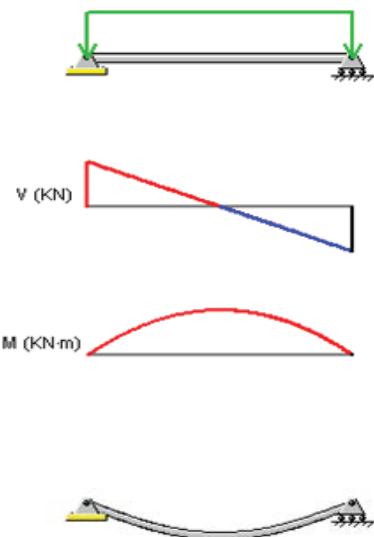
ลักษณะต่างๆ ของการออกแบบนี้ ล้วนแต่มีลักษณะและพฤติกรรมเป็นของตนเองโดยเฉพาะ ซึ่งผู้ตรวจสอบ สะพานจะต้องทำความเข้าใจให้ดี

2.1.4.1 แบบช่วงเดียว (Simple Span)

เป็นช่วงที่มีจุดรองรับ 2 จุดเท่านั้น และแต่ละจุดรองรับก็อยู่ใกล้ๆ กับจุดสิ้นสุดของช่วง (ดูรูปที่ 2-18)

ช่วงสะพานแบบช่วงเดียว สามารถจะมี 1 ช่วงสะพาน โดยมีจุดรองรับที่ใกล้ๆ ส่วนปลายของช่วง คือ Abutments หรือ อาจจะมีหลายช่วงสะพาน โดยแต่ละช่วงมีพฤติกรรมที่ไม่เกี่ยวเนื่องกัน (Independent) ลักษณะช่วงสะพานแบบช่วงเดียวได้แก่

- ◆ เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนัก ช่วงสะพานจะมีการแอ่นตัวลงด้านล่างและหมุนรอบจุดรองรับ (Abutments)
- ◆ ค่าของผลรวมของแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับขึ้นอยู่กับความยาว Span และน้ำหนักบรรทุกที่มากจะทำ
- ◆ แรงเฉือนมีค่าสูงสุด ที่จุดรองรับและมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดกึ่งกลางช่วง
- ◆ โมเมนต์ดัด ตลอดทั้งช่วงมีค่าเป็นบวก และมีค่าสูงสุดที่จุดซึ่งอยู่ใกล้ๆ กับจุดกึ่งกลางช่วง (จุดเดียวกัน กับจุดที่มีค่าแรงเฉือนเท่ากับศูนย์) ; โมเมนต์ดัดมีค่าเท่ากับศูนย์ที่จุดรองรับทั้งสอง



รูปที่ 2-18 Simple Span

สะพานที่มีช่วงเป็นแบบช่วงเดียว จะง่ายต่อการวิเคราะห์โดยใช้สมการของภาวะสมดุล อย่างไรก็ตามการออกแบบในลักษณะนี้ก็ไม่ได้เป็นแบบที่มีความประหยัดและคุ้มค่า (Economical) ที่สุดเสมอไป

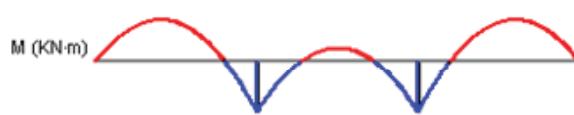
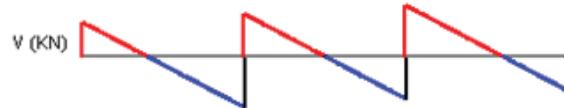
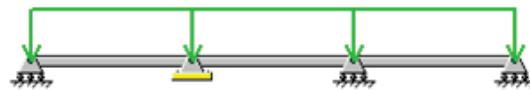
2.1.4.2 แบบต่อเนื่อง (Continuous Spans)

ช่วงสะพานแบบต่อเนื่อง (Continuous Span) จะเป็นรูปโครงสร้างของคานที่มีจุดรองรับเพิ่มขึ้นมาในตอนกลางของช่วง ทำให้เกิดช่วงสะพานย่อยขึ้น ซึ่งจะมีพฤติกรรมที่เกี่ยวนៃองกับช่วงสะพานย่อยที่อยู่ติดกัน (ดูรูปที่ 2.15)

สะพานที่มีช่วงสะพานแบบต่อเนื่องนี้ จะมี Abutments รองรับที่หัวสะพานและปลายสะพาน โดยมี Piers เป็นตัวรองรับช่วงกลางของสะพาน คุณลักษณะบางประการของสะพานที่มีช่วงต่อเนื่องได้แก่

- ◆ เมื่อทำการบรรทุกน้ำหนัก ช่วงสะพานจะแยกตัวลง และมีจุดหมุนที่ฐานรองรับ (ตอม่อ)
- ◆ แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ฐานรองรับ จะขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของช่วงสะพาน และการกระจายน้ำหนักบรรทุก
- ◆ แรงเฉือนมีค่ามากที่สุดที่ฐานรองรับ และมีค่าเท่ากับศูนย์ ณ จุดกึ่งกลางหรือจุดใกล้เคียงกึ่งกลาง ช่วงสะพาน
- ◆ ไมเมนต์ตัดบาง มีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางช่วงสะพาน
- ◆ ไมเมนต์ตัดลบ มีค่าสูงสุดที่จุดรองรับที่อยู่ในช่วงกลางระหว่างหัวและท้ายสะพาน (Piers) ไมเมนต์ตัดมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ฐานรองรับที่ปลายทั้งสองของสะพาน (Abutments) นอกจากนี้ ยังมีอีก 2 จุดในแต่ละช่วงย่อย ซึ่งไมเมนต์ตัดมีค่าเท่ากับศูนย์ จุดเหล่านี้เป็นที่รู้จักในชื่อ “จุดตัดกลับ”

สะพานที่มีช่วงสะพานเป็นแบบต่อเนื่องนี้ จะช่วยให้สามารถสร้างสะพานได้ยาวขึ้น และมีความคุ้มค่าและประหยัด (More Economical) กว่าการสร้างสะพานที่มีช่วงสะพานแบบช่วงเดียว (Simple Spans) เนื่องจากมีการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้องค์การของสะพานมีความลึกลดลง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์สะพานแบบต่อเนื่องนี้ จะทำได้ยากกว่าการวิเคราะห์สะพานแบบช่วงเดียว (Simple Spans) อีกทั้งยังมีโอกาสสูงที่จะได้รับผลกระทบต่อภาวะ Overstress เมื่อตอม่อทวีดีกว่าตัวลง สะพานทั้ง 2 แบบนี้ได้เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป



รูปที่ 2-19 Continuous Spans

2.1.4.3 แบบคานยื่น (Cantilever Span)

ช่วงสะพานแบบคานยื่น จะเป็นลักษณะที่ปลายด้านหนึ่งที่จะถูกยึดติดแน่น เพื่อไม่ให้หมุนหรือเอ่นตัว ในขณะที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะอยู่อย่างอิสระ (ดูรูปที่ 2-20) ปลายด้านที่ถูกยึดติดแน่นนี้จะถูกเรียกว่า ฐานยึดติดแน่น (Fixed Support) (ดูรูปที่ 2-17)

ในขณะที่คานยื่นจะไม่ได้เป็นรูปแบบที่ประกอบเป็นสะพานทั้งหมด ส่วนต่างๆ ของสะพานจะมีพฤติกรรมเหมือนกับคานยื่น ลักษณะบางประการของแบบคานยื่น ได้แก่

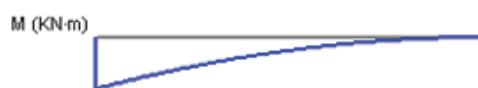
- ◆ เมื่อทำการบรรทุกน้ำหนัก ช่วงสะพานจะเอ่นตัวลง แต่ไม่มีจุดหมุนที่ฐานรองรับ
- ◆ ค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานยึดติดแน่น (Fixed Support Reaction) จะประกอบไปด้วย แรงในแนวตั้งและโมเมนต์ต้านทาน
- ◆ แรงเชื่อมมีค่ามากที่สุดที่ฐานยึดติดแน่น (Fixed Support) และมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ปลายอิสระ (Free End)



Beam Diagram



Shear Diagram



Moment Diagram



Deflection Diagram

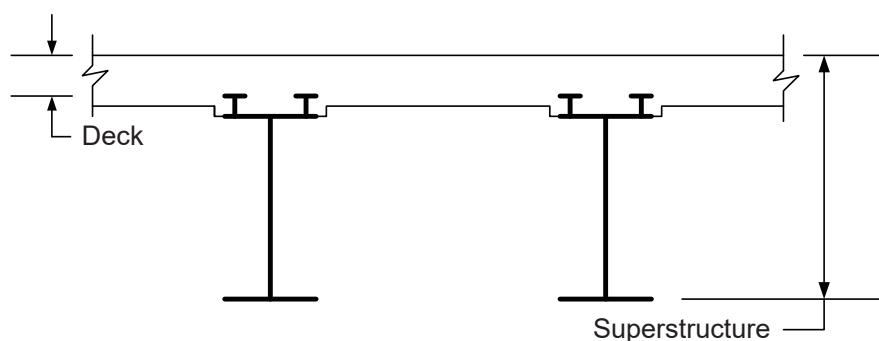
รูปที่ 2-20 Cantilever Span

- ♦ ไม่มีโครงสร้างตัวตัดต่อทั้งช่วงจะเป็นไม่มีโครงสร้างและมีค่ามากที่สุดที่ฐานยึดแน่น เมื่อนำรูปแบบคานยื่นเข้ามาใช้ในการสร้างสะพาน ก็มักจะนำเข้ามาเป็นส่วนเสริมของช่วงสะพานแบบต่อเนื่อง ฉะนั้น ไม่มีการหมุน (Rotation) ที่ฐานรองรับคานยื่น จะขึ้นอยู่กับช่วงสะพานยื่นที่อยู่ติดๆ กันและมีค่าเป็นศูนย์ที่ปลายอิสระ

2.1.4.4 แบบไม่ผสม (Non-Composite)

โครงสร้างแบบไม่ผสม (Non-Composite Structure) เป็นรูปแบบที่คานแต่ละตัวในส่วนพื้นสะพาน (Deck) จะมีพฤติกรรมแตกต่างกันไปอย่างอิสระ ฉะนั้น คานเท่านั้นที่จะเป็นตัวที่ทำหน้าที่ต้านทาน น้ำหนักบรรทุกต่างๆ รวมถึงน้ำหนักของตัวคาน ราวด้วย แล่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ

2.1.4.5 แบบผสม (Composite)



รูปที่ 2-21 สะพานแบบ Composite โดยมีพื้นคอนกรีตวางอยู่บนคานเหล็ก

โครงสร้างแบบผสม เป็นลักษณะที่ส่วนพื้นสะพาน (Deck) จะแสดงปฏิกิริยาร่วมกับคาน เพื่อต้านทานน้ำหนักบรรทุก (ดูรูปที่ 2-21) วัสดุของส่วนพื้นสะพานจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะช่วยในการเสริมความแข็งแรงของชิ้นส่วนนั้น วัสดุที่มักจะนำมาใช้สร้างร่วมกัน คือ คอนกรีตวางบนเหล็ก หรือ คอนกรีตวางบนคอนกรีตอัดแรง การทำงานของชิ้นส่วนแบบผสมนี้เกิดขึ้นได้โดยใช้ สลักเดริมรับแรงเฉือน (Shear Connector) ชนิดต่างๆ ซึ่งถูกติดไว้กับคานและฝังเข้าไปในส่วนพื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต การทำเช่นนี้ทำให้คานและพื้นทำงานร่วมกันเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน โดยจะช่วยป้องกันไม่ให้มีการลื่นไถลระหว่างส่วนประกอบทั้งสอง เมื่อต้องทำการรับน้ำหนักบรรทุก

การเกิดปฏิกิริยาแบบผสม (Composite Action) จะเกิดขึ้นได้เพียงเมื่อ พื้นสะพานคอนกรีตได้แข็งตัวแล้วเท่านั้น เพราะฉะนั้น น้ำหนักบรรทุกคงที่ บางส่วนจะต้องถูกต้านทานโดยกิริยาแบบไม่ผสม คือ เนพะคนแทนที่น้ำหนักที่รับน้ำหนักบรรทุก น้ำหนักบรรทุกคงที่เหล่านี้ จะรวมถึง

- ◆ น้ำหนักของคาน
- ◆ น้ำหนักของแผงและตัวยึดรั่วต่างๆ (Diaphragm and Bracing)
- ◆ น้ำหนักพื้นสะพาน คอนกรีต (Concrete Deck)
- ◆ น้ำหนักอื่นๆ ที่มีอยู่ก่อนที่พื้นสะพานคอนกรีตจะแข็งตัว

น้ำหนักอื่นๆ นั้น เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เพิ่มเติมภายหลัง (Superimposed Dead Load) จะถูกต้านทานโดย คานและพื้นสะพานคอนกรีตซึ่งจะทำงานร่วมกันแบบผสม น้ำหนักเหล่านี้จะรวมถึง

- ◆ น้ำหนักของผู้เดินที่จะมีขึ้นในอนาคต
- ◆ น้ำหนักทางเดินเท้า
- ◆ น้ำหนักgravas สะพาน
- ◆ น้ำหนักอื่นๆ ซึ่งนำมารวบรวมหลังจากที่พื้นสะพานคอนกรีตได้แข็งตัวแล้ว

เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจนั้น จะถูกนำมารวบรวมหลังจากที่พื้นสะพานคอนกรีตได้แข็งตัวเรียบร้อยแล้ว จึงถูกต้านทานโดยกิริยาแบบผสมของคานและพื้น

ผู้ทำการตรวจสอบสะพาน สามารถบอกประเภทของสะพานได้ว่า เป็นแบบซ่องช่องครัวมดา แบบซ่องต่อเนื่อง หรือแบบคานยื่น อย่างไรก็ตาม ณ บริเวณการทำงาน ผู้ตรวจสอบสะพานไม่สามารถระบุได้ว่า ความสมพันธ์ของคานและพื้นสะพาน จะเป็นแบบใด ฉะนั้น จะต้องมีการตรวจสอบแบบแปลนของสะพาน (Bridge Plans) ก่อน เพื่อที่จะปังซึ่ว่า โครงสร้างนั้น เป็นแบบผสมหรือแบบไม่ผสม

2.1.4.6 ฐานราก (Foundations)

ฐานรากมีความสำคัญต่อความมั่นคง (Stability) ของสะพานเป็นอย่างมาก เพราะฐานรากเป็นส่วนที่ต้องรองรับน้ำหนักและโครงสร้างทั้งหมดของสะพาน แบบพื้นฐานของฐานรากมีอยู่ 2 ชนิดคือ

- ◆ แบบฐานแผ่ (Spread Footings)
- ◆ แบบมีเสาเข็ม (Pile Foundations)



แบบฐานแฝด : จะถูกใช้เมื่อคืนชั้นฐานอยู่ใกล้กับชั้นหิน หรือเมื่อชั้นดินนั้นมีกำลังแบกทานเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักสะพาน ฐานแฝดส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและหล่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และจะทำหน้าที่กระจายน้ำหนักบรรทุก จากสะพานให้ลงไปสู่ชั้นดินหรือชั้นหินเบื้องล่าง และโดยปกติแล้วฐานแฝดก็จะถูกกลบทับด้วยดินในปริมาณหนึ่ง

แบบมีเสาเข็ม : จะใช้เมื่อชั้นดินบริเวณนั้นไม่เหมาะสมที่จะรองรับน้ำหนักบรรทุกจากสะพาน หรือเมื่อชั้นหินอยู่ห่างจากผิวดินมาก เสาเข็มซึ่งมีลักษณะยาว จะถูกตอกลงไปในชั้นดิน อาจจะมีผลให้เนื้อพื้นดินเล็กน้อย เสาเข็มนี้อาจทำมาจากการถูกคอกน้ำ หรือไม่ บริเวณของเสาเข็มและรูปแบบการจัดวางเสาเข็มหลายๆ แบบ ได้ถูกนำมาใช้เพื่อรองรับฐานรากของสะพาน ฐานรากแบบมีเสาเข็มนี้ จะถ่ายเทน้ำหนักลงสู่ชั้นดินเบื้องล่าง ซึ่งอยู่ลึกจากผิวดินมาก ถ้าเป็นในกรณีของเสาเข็มแบบใช้แรงเสียดทานที่ผิว (Friction Piles) ก็จะถ่ายเทน้ำหนักสู่ดินบริเวณรอบๆ นอกจากนี้ยังมีวิธีการใช้ “เสาเข็มเจาะ” ใน การสร้างฐานรากด้วยซึ่งในบางครั้งก็เรียกว่า ฐานรากแบบตอม่อ (Pier Foundation)

2.1.4.7 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนัก (Load Capacity Rating)

เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องระลึกเสมอว่า ภารกิจหลักของการตรวจสอบสะพาน คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับ การให้คะแนนความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน เพราะฉะนั้น ผู้ตรวจสอบสะพานจึงควรต้องมีความเข้าใจหลักการของการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน รายละเอียดของวิธีการประเมินรวมทั้งแนวทางในการประเมินนั้นได้ก่อตัวไว้ แล้วในบทต่างๆ ของคู่มือเล่มนี้

การให้คะแนนการบรรทุกน้ำหนักของสะพาน ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวนค่าน้ำหนักบรรทุกจรที่สะพานสามารถรองรับได้ แต่ละองค์กรอาจของสะพานต่างก็มีวิธีการให้คะแนนความสามารถเป็นลักษณะเฉพาะของตัวเอง โดยปกติแล้ว หน่วยของการให้คะแนนความสามารถในการบรรทุกน้ำหนักของสะพานนี้ จะแสดงผลออกมายในรูปแบบของหน่วยเป็น “ตัน” และคำนวนมาโดยอยู่บนพื้นฐานของสูตรต่อไปนี้

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน

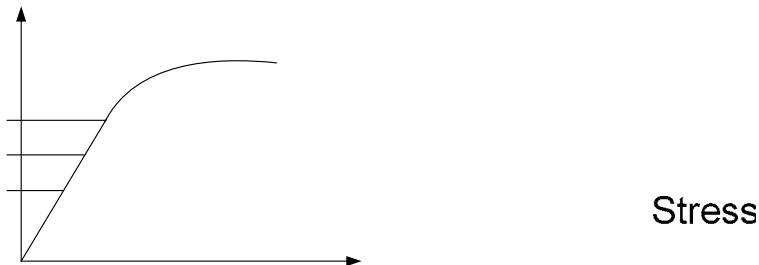
$$= \frac{\text{น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้-น้ำหนักบรรทุกจรที่}}{\text{น้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ (รวมกับน้ำหนักจากการภาระแทรกแล้ว)}} \times \text{น้ำหนักยกงานพาหนะ (Tons)}$$

2.1.4.7. ก. ความสามารถในการรับน้ำหนักใช้งาน (Service Load Rating)

ในระดับนี้ สะพานจะได้รับการประเมินว่า จะสามารถรับน้ำหนักเพื่อการใช้งาน (Service Load) อย่างปลอดภัย ได้เท่าใด ในระยะเวลาหนึ่ง โดยจะใช้วิธีการของ Allowable Stress Method สำหรับการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของเหล็กนั้น จะใช้ค่า 55 % ของ Yield Stress (ดูรูปที่ 2-22) ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบได้กับค่าที่ใช้ในการออกแบบ

2.1.4.7. ข. ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด (Limit Load Rating)

เป็นการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน ว่าจะสามารถรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมให้ (Maximum Permissible Load) ได้เท่าใด และจะต้องไม่ให้สะพานต้องรับน้ำหนักที่มีค่าสูงกว่านี้เป็นอันขาด สำหรับเหล็กนั้น หน่วยแรงที่ยอมให้ ในการประเมินค่าน้ำหนักสูงสุดนี้ จะใช้ค่า 75 % ของ Yield Stress

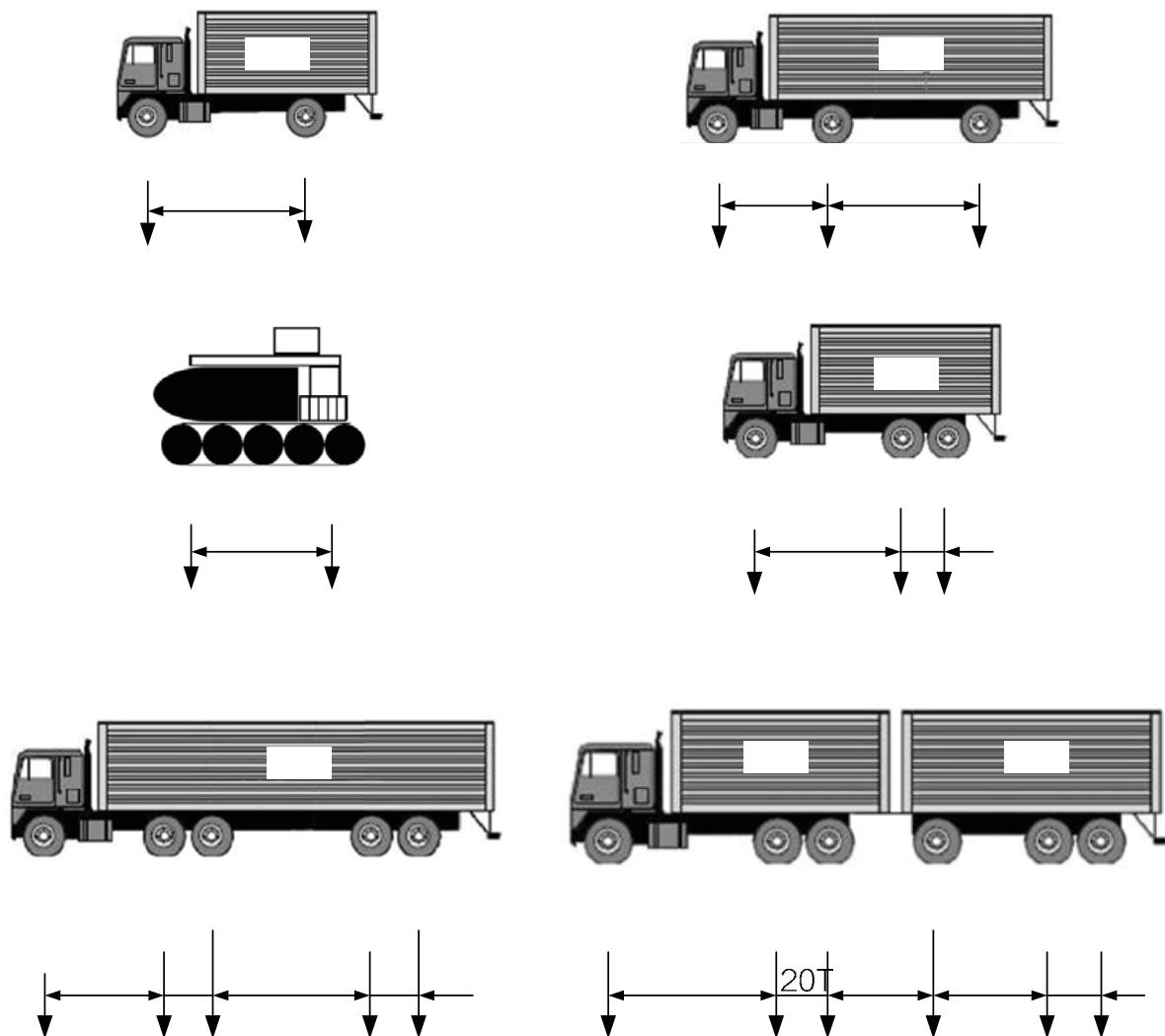


รูปที่ 2-22 Bridge Load Capacity Rating Levels for

2.1.4.7. ค. พาหนะที่ใช้ในการประเมิน (Rating Vehicles)

พาหนะที่ใช้ในการประเมินความสามารถของสะพานนี้ได้แก่ รถบรรทุกน้ำหนักที่บรรทุกลงบนสะพาน เพื่อทำการให้คะแนนการประเมินทั้ง 2 รูปแบบ (Service และ Limit) พาหนะต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ (ดูรูปที่ 2-23) $0.75 F_y$

$$0.55 F_y$$



รูปที่ 2-23 Rating Vehicles

$$8K \\ 2 - 23$$

$$32K$$



- ◆ H Loading - รับ荷重แบบ H
- ◆ HS Loading – รับ荷重แบบ HS
- ◆ Alternate Interstate Loading (Military Loading)
- ◆ Type 3 Unit
- ◆ Type 3 – S2 Unit
- ◆ Type 3 – 3 Unit

ระยะห่างระหว่างเพลาและน้ำหนักของ Type 3 Unit, Type 3-S2 Unit และ Type 3-3 Unit จะขึ้นอยู่กับตัวรถจริงๆ อย่างไรก็ตาม ได้กล่าวไปก่อนแล้วว่า พาหนะที่เป็นน้ำหนักบรรทุกแบบ H และ HS นั้น ไม่ได้เป็นตัวแสดงถึงน้ำหนักของพาหนะที่ใช้งานจริงๆ

2.1.4.8 Influence Lines

สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่มีการเคลื่อนที่ได้ วิศวกรกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกเหล่านั้นอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด โดยทั่วไปแล้ว น้ำหนักบรรทุกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Moving Loads) เหล่านี้ จะเป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุด (Concentrated Load) และน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจาย (Distributed Load) น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำเป็นจุดที่เคลื่อนที่ได้นี้ ประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากล้อและน้ำหนักบรรทุกจากเพลา น้ำหนักบรรทุกจากแต่ละช่องจราจร (Lane Loading) ส่วนน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายนั้น จะประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากช่องจราจร (Lane Loading)

จุดวิกฤตสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ได้ จะแตกต่างกันไปสำหรับแต่ละองค์อาคาร (Member) และจุดข้อต่อ (Connections) ในบางครั้ง ก็เป็นไปได้ที่จะตรวจสอบว่า ควรจะวางน้ำหนักบรรทุกนั้นที่ใด ให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด แต่ส่วนใหญ่แล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องสร้าง Influence Line ขึ้นมา เพื่อคำนวณดูว่าควรจะวางน้ำหนักบรรทุกไว้ที่ใด

หลักการของ Influence Line นี้ใช้ได้กับทุกโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Planar Structures) ซึ่งรับน้ำหนักในระนาบ เช่น คาน (Beams) โครงข้อแข็ง (Frames) และโครงข้อหมุน (Trusses) สำหรับโครงสร้างสามมิติ เช่น แผ่นเหล็ก (Plates) แผ่นโคลั่ง (Shells) และตะแกรงข่าย (Grids) ก็จะต้องสร้าง Influence Surfaces ขึ้นมาเพื่อค้นหาจุดวิกฤตในการรับน้ำหนัก

แม้ว่าจริงๆ แล้ว สะพานจะเป็นโครงสร้างสามมิติ (Three Dimensional Space Structures) แต่สะพานถูกจำลองให้มีความง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ (Design and Analysis) จึงทำให้สามารถทำการวิเคราะห์องค์อาคารหลัก (เช่น คานขนาดใหญ่ คานซ้าย และคานพื้น ฯลฯ) เช่นเดียวกับโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ เจ้าวิเคราะห์ให้รู้ว่า เมื่อสะพานซึ่งเป็นรูปแบบสามมิติ (Three-Dimensional) ถูกจำลองให้เป็นรูปแบบง่ายๆ สำหรับการออกแบบ และการให้คำแนะนำในการประเมินในรูปแบบของโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Plane Structures) นั้น องค์อาคารรองลงไปอย่างเช่น โครงยึดด้านข้าง (Lateral Bracing) จะถูกวิเคราะห์ เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ไม่ได้

การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่าย (Simplification) นี้ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งพบได้เมื่อทำการคำนวณ Stresses ในองค์อาคารและข้อต่อต่างๆ ของสะพาน การปรับปรุงรูปแบบของโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่ายนี้ จะเป็นที่ยอมรับในการออกแบบสะพานสำหรับน้ำหนักบรรทุกสถิต (Static Loading) โดยปฏิบัติตามข้อกำหนดของ AASHTO ในเรื่องของ Allowable Stress หรือวิธีการใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor

Design Method) แต่อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างนี้ อาจไม่เป็นที่ยอมรับในการออกแบบและการให้คะแนนประเมินสภาพสะพานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรอยแตกที่เกิดจากการล้า (Fatigue Cracking) ในองค์อาคารรองต่างๆ (Secondary Members) อย่างเช่น โครงค้ำยันตามขวาง (Cross Bracing) โครงค้ำยันด้านซ้าย (Lateral Bracing Members) และข้อต่อ (Connections) และมักจะไม่ให้ค่าคะแนนการประเมินที่แท้จริงของสะพาน

เนื่องจากว่าการออกแบบสะพานนั้น ได้มีพิธีทางเข้าสู่การวิเคราะห์ความเด่น (Stress Analysis) ของโครงสร้างแบบ 3 มิติของสะพานโดยการใช้คอมพิวเตอร์ วิศวกรรมสะพานจึงต้องมีความเข้าใจในการ Influence Line ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจใน Influence Surface เมื่อทำการวางน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักกระแทก (Impact Load) เพื่อหาผลกระทบสูงสุดต่อ Member และข้อต่อต่างๆ

2.2 โครงสร้างสะพาน

ณ ขณะนี้ ผู้ตรวจสอบสะพานควรจะได้มีความคุ้นเคยกับคำจำกัดความและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกลศาสตร์ของสะพาน และวัสดุที่ใช้สร้างสะพานมาพอสมควรแล้ว ในบทนี้จะนำเสนอคำจำกัดความที่ผู้ตรวจสอบต้องการเพื่อนำไปใช้ในการจำแนกและบ่งชี้ลักษณะของแต่ละชิ้นส่วนของสะพาน ชิ้นส่วนประกอบหลักของสะพานจะถูกบรรยายไว้เป็นขั้นตอนๆ แล้ว สิ่งต่อมาที่ถูกนำเสนอคือ รูปว่างพื้นฐานของชิ้นส่วนนั้นๆ และสิ่งสุดท้ายที่นำเสนอคือ วิธีการต่อเชื่อมรูปว่างชิ้นส่วนทั้งหลายเหล่านั้นเข้าด้วยกัน รูปว่างพื้นฐานของชิ้นส่วนจะถูกต่อเข้าด้วยกันเพื่อประกอบกันเป็นองค์ประกอบหลักของสะพาน

2.2.1 องค์ประกอบหลักของสะพาน (Major Bridge Component)

การตรวจสอบสะพานที่ครบถ้วนสมบูรณ์จะชี้ให้เห็นอยู่กับความสามารถของผู้ตรวจสอบ ในการจำแนกและทำความเข้าใจหน้าที่ขององค์ประกอบหลักของสะพานและชิ้นส่วนต่างๆ ขององค์ประกอบหลักนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วสะพานจะประกอบได้ด้วย 3 ส่วน ขององค์ประกอบหลัก คือ

- แผ่นพื้นสะพาน (Deck)
- โครงสร้างส่วนบน (Superstructure)
- โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

2.2.1.1 แผ่นพื้นสะพาน (Deck)

Deck เป็นองค์ประกอบหลักของสะพานที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกๆ โดยตรง

จุดประสงค์ของ Deck : คือ เพื่อให้มีพื้นผิวจราจรที่นิ่มนวลและปลอดภัยในการขับขี่

หน้าที่ของ Deck : Deck มีหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกๆ และน้ำหนักบรรทุกคงที่ของ Deck ลงไปสู่องค์ประกอบหลักอื่นๆ ของสะพาน ส่วนใหญ่แล้ว Deck จะเป็นหน่วยที่สำคัญหน่วยหนึ่งที่กระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ Superstructure ของสะพาน อย่างไรก็ตาม ในสะพานบางชนิด (เช่น สะพานแบบแผ่นพื้นคอนกรีต) แผ่นพื้นสะพานจะเป็นส่วนเดียวกับ Superstructure ซึ่งจะกระจายน้ำหนักบรรทุกๆ ลงโดยตรงลงสู่ Supports



รูปที่ 2-24 ลักษณะของผิวราชรถที่ الرابเรียบ



รูปที่ 2-25 Support ที่ด้านใต้พื้นสะพาน

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นพื้นสะพาน : วัสดุทั่วไปที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างแผ่นพื้นสะพาน ได้แก่

- ไม้
- คอนกรีต
- เหล็ก

2.2.1.2 โครงสร้างส่วนบนของสะพาน (Bridge Superstructures)

Superstructure ของสะพานเป็นองค์ประกอบของสะพานที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักจาก Deck หรือผิวราชรถของสะพาน เช่นเดียวกับการรับน้ำหนักที่บรรทุกบน Deck

จุดประสงค์ของ Superstructure : คือ เพื่อบรรทุกน้ำหนักที่ถ่ายเทมาจาก Deck ตลอดความยาวช่วงสะพาน และถ่ายเทต่อไปยังจุดรองรับต่อไป

หน้าที่ของ Superstructure : Superstructure มีหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนัก สะพานถูกตั้งขึ้นตามประเภทของ Superstructure และ Superstructure อาจจะถูกจัดประเภทโดยคำนึงถึงประเภทของหน้าที่และการใช้งาน (เช่น สะพานมีการถ่ายเทน้ำหนักสูง Substructure โดยวิธีใด) น้ำหนักบรรทุกนี้ อาจถูกถ่ายเทโดยผ่านแรงดึง แรงกด แรงดัด หรือ ทั้งสาม แรงนี้รวมกัน โดยทั่วไปสะพานจะมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

- แบบคาน (Beam)
- แบบโค้ง (Arch)
- แบบรองรับโดยสายเคเบิล (Cable-Supported)

สะพานแบบคาน : สะพานประเภทนี้จะถ่ายเทน้ำหนักในแนวตั้ง ลงสู่ Substructure ตัวอย่างเช่น

- พื้นคอนกรีต
- คาน (ไม้ คอนกรีต เหล็ก)
- คานขนาดใหญ่ (คอนกรีตหรือเหล็ก)
- โครง Truss (ไม้หรือเหล็ก)

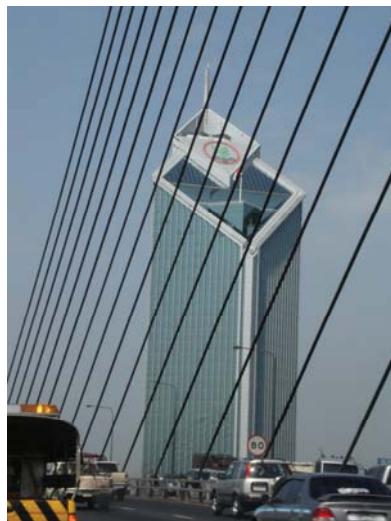
สะพานโค้ง : น้ำหนักจากโครงสร้างบนจะถูกถ่ายในแนวราบลงสู่ Substructure คานโค้งที่แท้จริงจะต้องอยู่ใน ภาวะที่รับแรงกดอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2-26 สะพานคอนกรีตโค้งปีโค้ง



สะพานแบบรองรับโดยสายเคเบิล : น้ำหนักบรรทุกที่ถูกถ่ายเทให้เป็นแนวตั้งในสายเคเบิลจะถูกรังไว้โดย Substructure ที่ถูกยึดไว้ด้วย หลักยึด (Anchorage) หรือหอสูง (Tower)



รูปที่ 2-27 สะพานแบบรองรับโดยสายเคเบิล

วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง Superstructure ของสะพาน

นอกจากสะพานจะถูกเรียกชื่อตามชนิดของ Superstructure แล้ว สะพานยังอาจจะถูกเรียกชื่อตามชนิดของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง Superstructure ของสะพาน ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการนำวัสดุต่างๆ เข้ามาใช้ในการก่อสร้าง Superstructure ของสะพานดังนี้

- หินธรรมชาติ
- ไม้
- อิฐ
- เหล็กหล่อ
- คอนกรีต
- เหล็กกล่อง

2.2.1.3 โครงสร้างส่วนล่างของสะพาน (Substructure)

Substructure ของสะพาน คือ ชิ้นส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักจาก Superstructure

จุดประสงค์ของ Substructure : มีหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนักจาก Superstructure ของสะพานให้ลงสู่ฐานรากดินหรือหิน

หน้าที่ของ Substructure : Units ต่างๆ ของ Substructure จะทำหน้าที่ทั้งรับแรงในแนวแกน และแรงดันในองค์ประกอบต่างๆ หน่วยทั้งหลายเหล่านี้จะต้านน้ำหนักทั้งในแนวตั้งและแนวราบที่ถูกถ่ายเทมาจากการดึงดันโดย Substructure ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

- ตอม่อริมฝั่ง (Abutments)
- ตอม่อกลางน้ำทั้งแบบ Piers และ Bents

Abutments เป็นตัวรับน้ำหนักที่ส่วนปลายของ Substructure ของสะพาน ส่วน Piers และ Bents เป็นตัวรับน้ำหนักที่ซึ่งในของ Substructure ตลอดความยาวของสะพาน



รูปที่ 2-28 Concrete Abutment



รูปที่ 2-29 Concrete Pier

วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง Substructure

- หินอ่อนและหินแกรนิต



- ไนท์
- อิมูรี
- คอนกรีต
- เหล็ก

2.2.2 รูปร่างพื้นฐานของชิ้นส่วนโครงสร้าง

การที่จะสามารถบ่งชี้รูปร่างพื้นฐานของชิ้นส่วนต่างๆ นั้น ต้องอาศัยความเข้าใจในรูปร่างของวัสดุต่างๆ ทั้ง ไม้ คอนกรีต และเหล็ก ที่ใช้ในการก่อสร้างสะพาน

2.2.2.1 รูปร่างของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความพิเศษในการนำมาใช้ก่อสร้างสะพาน เพราะเราสามารถนำคอนกรีตมาหล่อเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ อย่างหลากหลาย ชิ้นส่วนที่เป็นคอนกรีตจะถูกใช้ในการรับแรงในแนวแกนและแรงดัด เมื่อจากว่า การตัดจะเป็นการรวมตัวของทั้งแรงดึงและแรงดัด คอนกรีตไม่ใช่วัสดุที่รับแรงดัดได้ดี ฉะนั้นจึงได้มีการเสริมเหล็กในคอนกรีต ทั้งเหล็กธรรมดา (ซึ่งทำให้กล้ายเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก) และเหล็กเสริมขัดแรง (ซึ่งทำให้กล้ายเป็นคอนกรีตขัดแรง) การเสริมเหล็กให้แก่คอนกรีตนี้จะเป็นการช่วยให้ชิ้นส่วนนั้นสามารถรับแรงดึงได้ การเสริมเหล็กขัดแรงจะเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าการเสริมเหล็กธรรมดา แต่อย่างไรก็ตาม คอนกรีตขัดแรงก็มีการเสริมเหล็กด้วยจำนวนที่น้อยกว่า ฉะนั้นจึงมีความคุ้มค่ามากกว่า

รูปร่างของคอนกรีตเสริมเหล็ก :

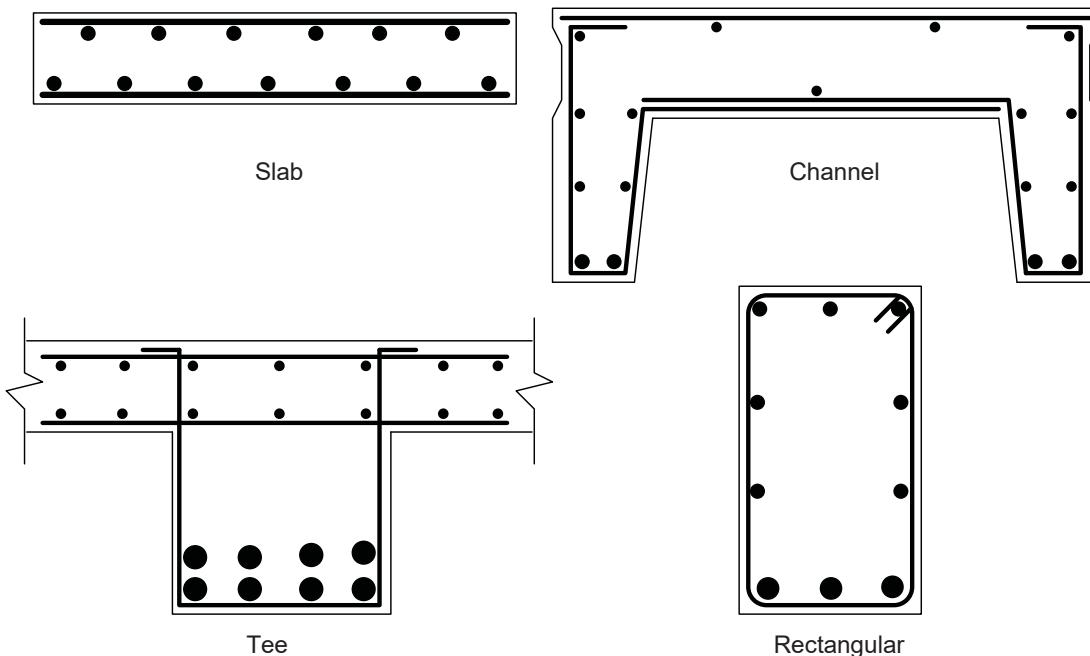
คอนกรีตเสริมเหล็กมีรูปร่างโดยทั่วไป คือ

- แผ่นพื้น (Slabs)
- คานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Beams)
- คานรูปตัว T (Tee Beams)
- คานรูปร่อง (Channel Beams)

สะพานที่ใช้ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างดังกล่าวและมีการเสริมเหล็กด้วย จะถูกสร้างขึ้นมากในระหว่างปี พ.ศ. 2477 ถึง พ.ศ. 2492 และมักจะเป็นการหล่อคอนกรีตในที่ (Cast-In-Place) ปัจจุบันนี้รูปแบบการออกแบบดังกล่าวไม่ได้ถูกนำมาใช้แล้ว แต่สะพานทั้งหลายยังสามารถใช้งานได้อยู่ ชิ้นส่วนที่เป็นคอนกรีตประเทนนี้จะถูกนำมาใช้ในการสร้างสะพานสันหรือสะพานขนาดกลาง

- ชิ้นส่วนที่เป็นรูปแผ่นพื้น จะถูกใช้เป็นส่วนพื้นของสะพาน
- คานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้เป็นทั้งชิ้นส่วนของ Superstructure และ Substructure ส่วนหัวของ Pier มักจะเป็นคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งรองรับ Superstructure ไว้
- ชิ้นส่วนที่เป็นคานรูปร่อง (Channel) มักจะถูกใช้เป็นองค์ประกอบของ Superstructure เท่านั้น และผลิตโดยการหล่อชิ้นส่วนล่วงหน้า (Precasts) หากว่าที่จะหล่อในที่ (Cast In Place) คานรูปร่อง (Channel) จะถูกหล่อเป็นรูปคล้ายตัวอักษร "C" และเมื่อทำการติดตั้งจะวางในลักษณะคร่ำลง ชิ้นส่วน

นี้จะทำหน้าที่ทั้ง Superstructure และ Deck มักจะใช้ในสะพานช่วงสั้น (Short Span) เท่านั้น และมักจะมีการเพิ่มขึ้นของพื้นทางขึ้นเพื่อให้ร่วงได้



รูปที่ 2-30 รูปร่างพื้นฐานของคอนกรีตเสริมเหล็ก

- ชิ้นส่วนที่เป็นรูปตัว ที ("T") มักจะถูกใช้เป็นองค์ประกอบของ Superstructure เท่านั้น รูปร่างแบบตัวที ("T") จะทำหน้าที่ของคอนกรีตสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแผ่นพื้น เพื่อทำให้เกิดส่วน Deck และ Superstructure ที่สมบูรณ์

รูปร่างของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง

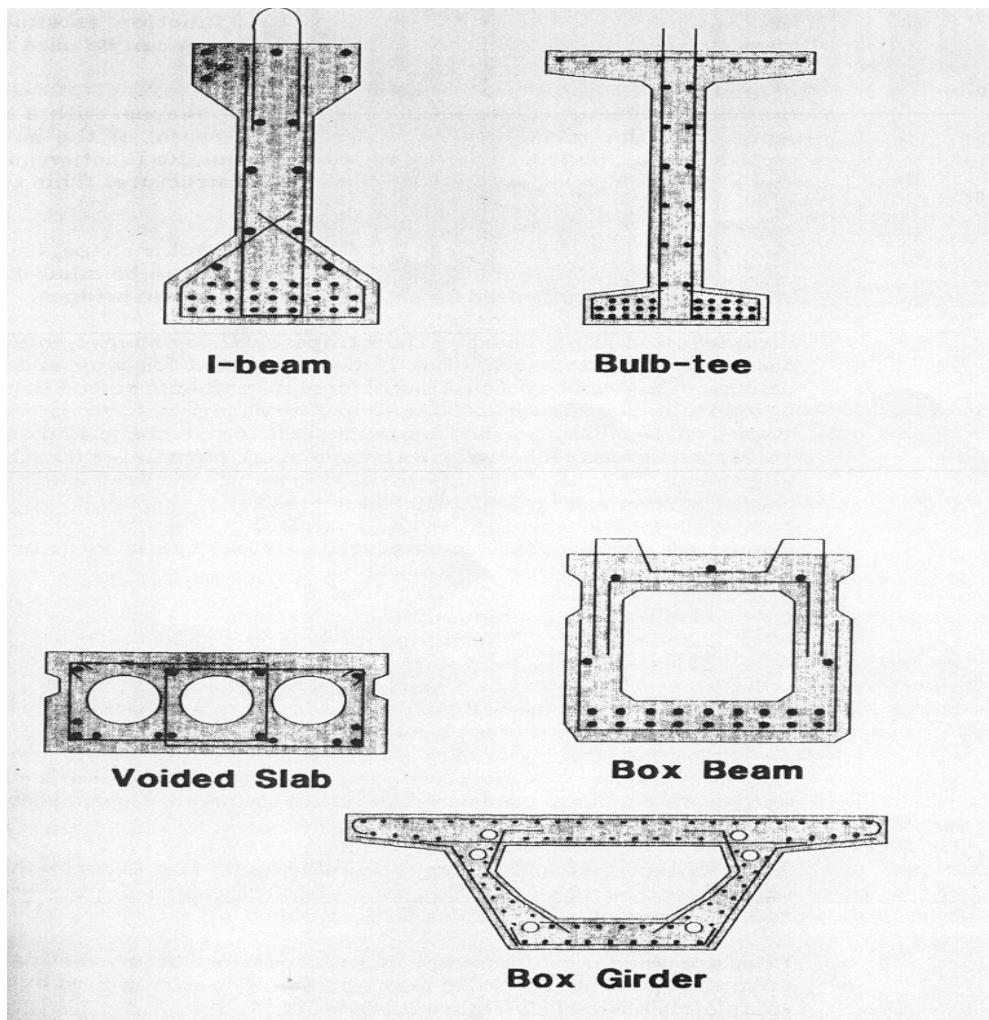
รูปร่างโดยทั่วไปของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง มีดังต่อไปนี้

- คานรูปต่อไอ (I-Beam)
- คานรูปตัวที ชนิด Bulb-Tee (Bulb Tee)
- คานรูปกล่อง (Box-Beams)
- ชิ้นส่วนรูป Box Girder (Box Girder)
- แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวง (Voided – Slab)

คานคอนกรีตอัดแรงนี้ ทำจากคอนกรีตกำลังอัดสูง (High Strength Concrete) และจะทำการผลิตที่โรงงานของผู้ผลิต ด้วยการที่มีวัสดุที่แข็งแรงขึ้น มีรูปทรงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังมีแรงดึงเหลว (Pre-Stress Forces) จึงทำให้ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า เพราะฉะนั้นจึงสามารถนำไปสร้างในงานที่มีความยาวช่วงมากๆ ได้ และยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจะได้มากกว่าปกติ สะพานที่ใช้ชิ้นส่วนและวัสดุที่เป็นคอนกรีตอัดแรงนี้ ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย ในสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่หลังสุดครั้งที่ 2 เป็นต้นมา



- คานรูปตัวไอ (I-Beam) ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนของ Superstructure และรองรับส่วนพื้นของสะพาน คานรูปแบบนี้สามารถมีความยาวซึ่งได้มากถึง 46 เมตร (150 ฟุต)



รูปที่ 2-31 Prestressed Concrete Shapes

- คานรูป Bulb-Tee มีรูปร่างคล้ายตัวที ("T") และมีส่วนล่างเป็นรูป Bulb (คล้ายๆ กับปีกล่างของคานรูปตัวไอ) ที่ส่วนล่างของส่วนลำตัวของคาน คานรูป Bulb-Tee จะรวมหน้าที่ของคานรูปตัวไอ (I) และพื้นคอนกรีต (Slab) เพื่อให้เกิด Superstructure และ Deck ที่มีความสมบูรณ์สามารถมีความยาวซึ่งได้ถึง 55 เมตร (180 ฟุต)
- คานรูปกล่อง (Box-Beams) มีรูปร่างเป็นลิ่่เหลี่ยมจัตุรัสหรือลิ่่เหลี่ยมผืนผ้า โดยปกติจะมีความลึกไม่น้อยกว่า 43 เซนติเมตร (17 นิ้ว) คานรูปกล่องนี้สามารถนำมาเรียงชิดติดกันหรือห่างกันก็ได้ และถูกนำไปใช้ในงานของสะพานที่มีความยาวซึ่งสั้นถึงความยาวซึ่งปานกลาง
- Box Girder จะมีรูปร่างคล้ายลิ่่เหลี่ยมคงหมุน ทำหน้าที่เป็นทั้งส่วนพื้นสะพาน (Deck) และ Superstructure Box Girder จะถูกนำมาใช้ในงานสะพานที่มีความยาวซึ่งมากๆ หรือสะพานที่เป็นรูปโค้ง คือ ชิ้นส่วน Box Girder นี้สามารถผลิตได้ล่วงหน้าจากโรงงานผลิต หรือจะทำการหล่อในที่ก็ได้

- แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวง (Voided Slab) จะมีรูป่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม และมีรูกลวงอยู่ภายในแผ่นพื้น ส่วนใหญ่จะเป็นสิ่งส่วนที่หลอมมาจากโรงงาน เมื่อนำมาติดตั้งจะถูกวางในแนวขนานกับแนวของถนน รูกลวงที่อยู่ภายในมีประ予以ชนิดคือ ช่วยลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวงนี้ สามารถนำไปใช้ได้ในสะพานที่มีความยาวซึ่งตั้งแต่ 9–24 เมตร (30-80 ฟุต)

2.2.3 การพังทลายของโครงสร้าง

การพังของโครงสร้าง มีความหมายทางวิศวกรรมว่า สภาพของโครงสร้างที่ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามความมุ่งหมายตามที่ได้ออกแบบไว้ โครงสร้างสะพานสามารถพังได้ในรูปแบบ Catastrophic หรือ Through Obsolescence ไม่ว่าจะเป็นการพังในลักษณะไหนก็ตาม ล้วนแต่เป็นผลทำให้โครงสร้างนั้นไม่สามารถทำหน้าที่ได้ต่อไปตามความมุ่งหมาย

ประเภทของการพัง

ประมาณกึ่งหนึ่งของการพังของสะพานมีสาเหตุมาจากภาระน้ำท่วม น้ำท่วมครั้งหนึ่งสามารถทำลายสะพานได้มากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะสะพานที่มีขนาดเล็ก มีสาเหตุของการพังหลักๆ 2 ประการ ที่เกี่ยวเนื่องกับภาระน้ำท่วม ประการแรก คือ การกัดเซาะ (Scour) และอีกประการหนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุทางข้อม คือ ปริมาณของซากปรักหักพังที่รวมกันเป็นปริมาณมากๆ ที่โครงสร้างสะพานกักไว้ ซากเศษชิ้นส่วน (Debris) เหล่านี้ ทำให้ทิศทางการไหลของน้ำเปลี่ยนไปได้ ทำให้เกิดการกัดเซาะ หรือทำให้เกิดแรงดันในแนวระนาบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการพังของโครงสร้าง

การกัดเซาะในรูปแบบของสะพาน เกิดขึ้นมากที่สุดและเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สะพานได้พังลง การกัดเซาะ คือ ผลลัพธ์ของการทำลาย (Erosive Action) อันเป็นสาเหตุมาจากการน้ำที่ไหลผ่านได้กัดเซาะวัสดุของผิวน้ำและคันขอบของลำน้ำ วัสดุต่างๆ กันก็จะมีการกัดเซาะที่อัตราและสภาพต่างๆ กัน

ดินร่วนจะเกิดการกัดเซาะได้เร็วที่สุด ในขณะที่ดินเหนียวและดินแข็งจะเกิดการกัดเซาะได้ช้า สำหรับหินนั้น หินผาจะเกิดการกัดเซาะทรายและกรวดจะเกิดการกัดเซาะได้ภายในไม่กี่ชั่วโมง ถ้าท้องน้ำที่เป็นวัสดุที่มีความเหนียว ก็จะใช้เวลาหลายๆ วัน ส่วนหินทราย หินดินดาน ก็จะใช้เวลาเป็นเดือนๆ กว่าจะเกิดการกัดเซาะ สำหรับหินปูนนั้น การกัดเซาะจะใช้เวลาหลายๆ ปี

ต้องไม่ลืมว่า การกัดเซาะสูงสุดในดินเหนียวและดินแข็ง ระหว่างช่วงอายุการใช้งานของสะพาน สามารถอยู่ได้ถึง ถึงความลึกของการกัดเซาะในท้องน้ำที่เป็นทราย

การกัดเซาะทั้งหมด จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก

- 1) การทับถมและการพัดพาของตะกอนและเศษชากต่างๆ
- 2) การกัดเซาะทัวไปและการกัดเซาะแบบแยกตัว (Contraction Scour)
- 3) การกัดเซาะเป็นแห่งๆ

นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ทางด้านข้างและการเพิ่มระดับของสายน้ำ ก็ทำให้เกิดการกัดเซาะและปัญหาต่างๆ ที่ทำให้เกิดการกัดเซาะบนบริเวณคอกสะพาน หรือทำให้ทิศทางของกระแสน้ำเปลี่ยนไป การเคลื่อนที่ด้านข้างของกระแสน้ำ ได้รับผลกระทบจาก Geomorphology ของสายน้ำ สิ่งกีดขวางอื่นๆ ลักษณะของน้ำท่วม และลักษณะของวัสดุที่สวนพื้นที่ของท้องน้ำ หรือที่บริเวณฝั่งของท้องน้ำ



การทับถมและการพัดพาเป็นการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของระดับพื้นทั่งน้ำ เนื่องมาจากสาเหตุทางธรรมชาติ หรือโดยมนุษย์ การทับถม คือ กระบวนการที่รัศดุที่ถูกกัดเซาะมาจากการส่วนอื่นของทางน้ำ ส่วนการพัดพาเป็นการลดระดับหรือการกัดเซาะพื้นของลำน้ำ ทั้งสองแบบนี้ต่างก็มีผลกระทบต่อสะพาน การทับถมจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำลดลง ส่วนการพัดพาจะทำให้เกิดการ Undermining ที่ฐานรากของสะพาน



รูปที่ 2-32 การกัดเซาะที่ฐานของ Pier และ Abutment

การกัดเซาะแบบแยกตัว จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายวัสดุต่างๆ ออกจากลำน้ำ ตลอดทั้งหน้าตัดของ ส่วนการกัดเซาะโดยทั่วไปอาจจะเป็นผลลัพธ์ของการแยกตัวของกระแสน้ำ การเปลี่ยนแปลงในการไหลของน้ำที่ควบคุมระดับของผิวน้ำ หรือที่ตั้งของสะพานที่สัมพันธ์กับความโค้ง (Bend) สาเหตุสำคัญที่พบบ่อยที่สุดและเกี่ยวข้องกับสะพาน คือ Encroachment ของดินที่ถอนไทรหรือของ Abutment ซึ่งทำให้กระแสน้ำมีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งก็จะทำให้เกิดการกัดเซาะมากขึ้นไปอีก (รูปที่ 2-33) เป็นตัวอย่างของการกัดเซาะแบบทั่วไปที่เป็นผลมาจากการเสนอความเร็วเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการสายน้ำมีความโค้ง และพื้นที่เป็นทรายด้วย



รูปที่ 2-33 การถูกกัดเซาะของท้องน้ำ

การกัดเซาะแบบเนินแห่งๆ จะกัดเซาะวัสดุเป็นบริเวณเล็กๆ จากพื้นท้องร่องหรือคันดิน จะเกิดการกัดเซาะที่บริเวณร่องบ่า Piers หรือ Spurs หรือ Spur และคันดิน ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการความเร่งความเร็วของกระแสน้ำและการเกิดน้ำวน เพราะมีสิ่งกีดขวางกระแสน้ำเป็นภาระมากในการที่จะประมาณความลึกของการกัดเซาะ กว้างขึ้นสูงท้าไปจะใช้ค่า 4 เท่า ของค่าความแตกต่างระหว่างระดับน้ำท่วมกับระดับน้ำต่ำสุด เป็นค่าที่มากที่สุดของการกัดเซาะที่จะเกิดขึ้น

เป็นที่แน่ชัดว่า การกัดเซาะเป็นสาเหตุขึ้นหนึ่งที่สามารถทำให้สะพานพังได้ ฉะนั้นจึงเป็นสิ่งเป็นสิ่งสำคัญมากที่ผู้ทำการตรวจสอบสะพาน จะต้องระมัดระวังกับปัญหานี้ ผู้ตรวจสอบจะต้องบันทึกสภาพปัจจุบันของสะพานและกระแสน้ำอย่างถูกต้อง เพราะสิ่งเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับการกัดเซาะ และยังต้องบ่งชี้ถึงสภาวะที่จะเป็นตัวแสดงถึงปัญหาหลัก และต้องสามารถใช้กระบวนการแจ้งให้ทราบถึงการค้นพบการเกิดการกัดเซาะที่เกิดขึ้นแล้ว หรือมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น เพื่อดำเนินการ การตรวจสอบและการประเมินสภาพสะพานต่อไป

รอยแตกเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้สะพานพัง มักจะเป็นผลมาจากการเขื่อมที่ขาดคุณภาพ ต่อมมา เมื่อมีการควบคุมคุณภาพอย่างเข้มให้มากขึ้น ก็จะลดปัญหานี้ลงได้ รอยแตกวิกฤตในชั้นส่วนของโครงสร้างของสะพานจะทำให้ชั้นส่วนหรือ Component นั้นพัง และเป็นสาเหตุให้สะพานพังได้

นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้สะพานพังได้ เช่น อุบัติเหตุที่เกิดจากการที่เรือหรือรถมาชนสะพาน (Impact Damages) แผ่นดินไหว แรงลม การเป็นสนิม การชำรุดของวัสดุ เป็นต้น

ทั้งนี้ผู้ทำการตรวจสอบสะพานจะเป็นบุคคลสำคัญมาก เพราะเป็นผู้ที่สามารถลดโอกาสพังทลายของสะพานลงได้ โดยมีความรอบคอบและละเอียดในการตัดสินใจและวิเคราะห์ สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่นำไปสู่มาตรการป้องกันที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันการพังทลายของสะพาน

บทที่ 3

คุณสมบัติของคอนกรีต

3.1 คุณสมบัติของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่เป็นส่วนผสมของส่วนประกอบหลักอย่าง รวมทั้งซีเมนต์ (Cement) ด้วย ส่วนประกอบต่างๆ ถูกผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม และทำปฏิกิริยาทางเคมีกันจึงทำให้เกิดวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน และใช้ใน การก่อสร้างได้ดี จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อสร้างเป็นส่วนประกอบต่างๆ ของสะพาน (Bridge Components)

ส่วนผสมพื้นฐาน

คอนกรีตประกอบไปด้วยส่วนผสมพื้นฐาน ดังนี้

- ◆ ซีเมนต์ (Cement)
- ◆ น้ำ (Water)
- ◆ อากาศ (Air)
- ◆ มวลรวม (Aggregates)

ส่วนผสมแรกสุด คือ ปูนซีเมนต์ และชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบดังต่อไปนี้

- ◆ หินปูน (Limestone) – ให้ปูนขาว (Lime)
- ◆ หินซีเมนต์ (Cement Rock) - ให้矽ิคิลิกา (Silica)
- ◆ หินดินดาน (Clay Store) – ให้อัลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide)
- ◆ แร่เหล็ก (Iron Ore) – ให้เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide)



ส่วนผสมที่สองของคอนกรีต คือ น้ำ โดยน้ำทุกชนิดที่พอกจะดีมีได้ ถือว่า มีคุณภาพดีพอยที่จะเข้าสมทำคอนกรีต ส่วนน้ำดีมีที่มีรสชาติจนสังเกตได้และมีกลิ่น ควรจะต้องสงสัยไว้ก่อน สิ่งເຈືອປນທີ່ຍູ້ໃນນ້ຳ ເຊັ່ນ ສາຣເຄມີ ແກລືອ ນໍ້າຕາລ ມີຄວາມຮ່າຍ ສ້າງແຕ່ມີຜລກະບຫທີ່ໄມ່ພຶກປວາດນາໃຫ້ເກີດຂຶ້ນໃນກາຮັກສົມຄອນກຣີຕ

ส่วนผสมที่สาม คือ ພອງອາກາສເລີກາ ທີ່ກະຈາຍອູ້ຍ່າງສໍາເສນອ ຜຶ່ງຈະຫ່ວຍໃຫ້ເກີດ

- ◆ ความทนทานเพิ่มขึ้น (Increased Durability)
- ◆ มีการแตกลดลง (Reduced Cracking)
- ◆ มีความสามารถในการtedขึ้น (Improved Workability)
- ◆ ช่วยลดการแยกตัวของน้ำ (Reduced Water Segregation)

ส่วนผสมที่ສີ คือมวลรวม (Aggregates) ຜຶ່ງຈະມີປົງມາຕາຮ ຄື່ງ 75% ໃນສ່າງຜສມຂອງຄອນກຣີຕ ມາລວາມທີ່ມີຄຸນກາພ ດີຈະຫ່ວຍໃຫ້ຄອນກຣີຕມີຄວາມແຂງແຮງແລະຄທນ ອັນມີລັກຊະນະດັ່ງນີ້

- ◆ ทนทานต่อการສຶກກ່ອນ
- ◆ ทนทานต่อສປາພກູມອາກາສ
- ◆ ມີຄວາມເສດຖຽດຕ່ອບປົງກິໂຮຍາເຄມີ
- ◆ ມີຄູປ່າງທີ່ດູດີ
- ◆ ສະອາດແລະມີຄຸນກາພເທົກນຖຸກສ່ວນ
- ◆ ມີເນື້ອຄອນກຣີຕທີ່ເຮັຍບ ໄນມີຫລຸມບ່ອ

ນ້ຳໜັກປັດໃຂອງຄອນກຣີຕ ຈະມີນ້ຳໜັກ 1 ມ່າງວ່າງ ເທົກນ 2,400 ກິໂລກວັນຕ່ອລູກບາສກົມເມຕຣ ມາລວາມທີ່ໃຫ້ຜສມ ຄອນກຣີຕໂດຍກ່າວປັບໄດ້ແກ່ ກວາຍ ກຽວດ ທິນໂມ່ ແລະ ເກົ້າ

ຄຸນສົມບັດໃຂອງທາງກາຍກາພ (Physical Properties)

ຄຸນສົມບັດທາງກາຍກາພທີ່ສຳຄັນຂອງຄອນກຣີຕ ມີດັ່ງນີ້

- ◆ ກາຮ່າຍຍາຍຕົວເນື່ອງຈາກຄວາມຮ້ອນ (Thermal Expansion) – ຄອນກຣີຕຈະຂ່າຍຍາຍຕົວ ເມື່ອຄຸນກູມສູງຂຶ້ນແລະ ຈະຫດຕົວເນື່ອງຄຸນກູມມີລົດລົງ
- ◆ ຄວາມເປັນຮູ້ຮູນ – ພອງອາກາສໃນເນື້ອຄອນກຣີຕທຳໃຫ້ເກີດຫຼື່ອງວ່າງຮ່ວງອນຸກາຂອງມາລວາມ ແລະທຳໃໝ່ ສາມາດເກີດກາຮູດຫຼື່ອງນ້ຳ ແລະນ້ຳໄໝ່ພ່ານໄດ້ກາຍໃຕ້ແຮງດັນ
- ◆ ປົງມາຕາຮເປົ່າຍືນເນື່ອງຈາກຄວາມຫຼື່ນ – ຄອນກຣີຕຂ່າຍຍາຍຕົວເນື່ອງມີຄວາມຫຼື່ນເພີ່ມຂຶ້ນ ແລະຫດຕົວເນື່ອງຄວາມຫຼື່ນ ລົດລົງ
- ◆ ຄວາມທນໄຟ – ຄອນກຣີຕສາມາດທັນຕ່ອຜລກະບຫທີ່ຈາກຄວາມຮ້ອນໄດ້ສູງ ແຕ່ອຍ່າງໄກກຕາມ ອຸນກູມທີ່ສູງ ກວ່າ 700 °F ກີ່ສາມາດໃຫ້ຄອນກຣີຕເສີຍຫາຍໄດ້

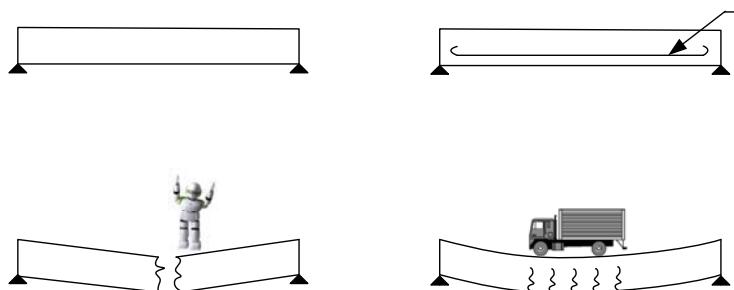
ຄຸນສົມບັດເຂົຝກລ (Mechanical Properties)

ຄຸນສົມບັດເຂົຝກລ (Mechanical Properties) ທີ່ສຳຄັນ ໄດ້ແກ່

- ◆ กำลัง (Strength) – คอนกรีตเปล่าโดยไม่เสริมเหล็ก มีกำลังอัด (Compressive Strength) สูงมาก ตั้งแต่ 175 ksc (2,500 psi) ถึง 420 ksc (6,000 psi) อย่างไรก็ตาม คอนกรีตมีกำลังดึง (Tensile Strength) เพียง 10 % ของกำลังอัด กำลังเฉือน (Shear Strength) มีค่า 12 % ถึง 13 % ของกำลังอัด และกำลังดัด (Flexural Strength) มีค่า 14 % ของกำลังอัด คอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่านี้ คือ มีกำลัง ตั้งแต่ 420 ksc (6,000 psi) ถึง 770 ksc (11,000 psi) ก็สามารถนำมาใช้งานได้เช่นกัน
- ◆ ความยืดหยุ่น (Elasticity) – ภายใต้การใช้งานปกติ คอนกรีตสามารถเปลี่ยนรูป (Deform) ได้ภายใต้ น้ำหนักบรรทุก และคืนสู่รูปเดิมได้เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกออก เราเรียกพฤติกรรมนี้ว่า Elastic Deformation
- ◆ การคีบ (Creep) – นอกจาก Elastic Deformation แล้ว ถ้าคอนกรีตอยู่ภายใต้น้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลา นานๆ คอนกรีตจะมีการเปลี่ยนรูปโดยไม่สามารถคืนสู่รูปเดิมได้ โดยน้ำหนักบรรทุกนี้ จะมีค่าตั้งแต่ 100% ถึง 200% ของค่า Initial Elastic Deformation ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะช้าลงอยู่กับเวลา เป็นสำคัญ
- ◆ การมีคุณสมบัติคงที่ – คอนกรีตเปล่า (Plain Concrete) ที่ไม่ได้เสริมเหล็ก จะมีคุณสมบัติเชิงกล เมื่อนัก กัน โดยไม่จำกัดว่า จะถูกกระทำโดยน้ำหนักจากพื้นที่ทางใด องค์ประกอบ 5 ประการที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้น คือ
 - ◆ มีปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น
 - ◆ มีมวลรวมคุณภาพดี
 - ◆ อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์ลดลง
 - ◆ ปริมาณฟองอากาศลดลง
 - ◆ ได้รับการบ่ม (Curing) ที่นานขึ้น

คอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตมักเป็นวัสดุที่ถูกเลือกใช้ในการก่อสร้างสะพาน เนื่องจากคอนกรีต สามารถรับแรงขัดได้สูงมาก แต่ อย่างไรก็ตาม การใช้คอนกรีตในงานต่างๆ ก็ยังถูกจำกัดอยู่ เนื่องจากคอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงดึงได้น้อยมาก จึงต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อช่วยหน้างานที่นี่ (ดูรูปที่ 3-1)



รูปที่ 3-1 Reinforced Concrete



เหล็กเสริมในคอนกรีตนี้ จะมีกำลังดึงมากกว่าคอนกรีตประมาณ 100 เท่า ดังนั้นในคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กเสริมจึงต้องทำหน้าที่รับแรงดึงในขณะที่คอนกรีตทำหน้าที่รับแรงอัด และเหล็กเสริมจะอยู่ในตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับด้านผิวที่เกิดแรงดึง

เหล็กเสริมดังกล่าวนี้ จะอยู่ในแนวตั้งจากกับเหล็กเสริมกันร้าว (Temperature Shrinkage Steel) ซึ่งมีไว้เพื่อรับ Stresses ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาตรของคอนกรีต

เหล็กเสริมอาจจะมีลักษณะแบบ ผิวนเรียบ (Plain) หรือ เป็นแบบหยักข้ออ้อย (Deformed) ก็ได้ (ดูรูปที่ 3-2) โดยเหล็กแบบข้ออ้อยทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเนื้อคอนกรีตได้มากกว่า ในส่วนยุคใหม่ ล้วนแต่ใช้เหล็กเสริมแบบข้ออ้อยทั้งนั้น

การเรียกชื่อเหล็กเสริม จะเรียกตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้นๆ เหล็กเสริมยังสามารถช่วยให้ขึ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กมีกำลังดึงเพิ่มมากขึ้นได้ด้วย ถ้ามีการเสริมเหล็กเข้าไปในส่วนคอนกรีตอย่างเหมาะสม วัสดุทั้ง 2 อย่าง คือ คอนกรีต และเหล็ก จะทำหน้าที่ร่วมกัน ซึ่งทำให้เกิดวัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงทนทาน

ตารางเหล็ก เส้นกลม เสริมคอนกรีต (มอก.20-2527)

Diameter (mm.)	Weight (kg/m.)	Area (cm^2)	Perimeter (cm.)
RB6	0.22	0.28	1.89
RB9	0.50	0.64	2.83
RB12	0.89	1.13	3.77
RB15	1.39	1.77	4.71
RB19	2.23	2.84	5.97
RB22	2.98	3.80	6.91
RB25	3.85	4.91	7.86

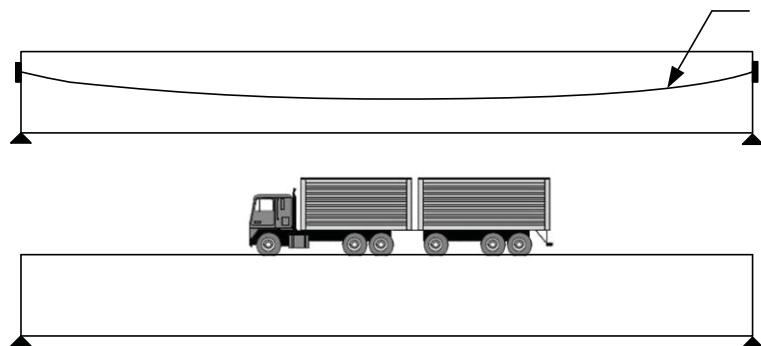
ตารางเหล็ก ข้ออ้อย เสริมคอนกรีต (มอก.24-2527)

Diameter (mm.)	Weight (kg/m.)	Area (cm^2)	Perimeter (cm.)
DB10	0.62	0.79	3.14
DB12	0.89	1.13	3.77
DB16	1.58	2.01	5.03
DB20	2.47	3.14	6.29
DB25	3.85	4.91	7.86
DB28	4.83	6.16	8.80

รูปที่ 3-2 Standard Deformed Reinforcing Bars

ค่อนกรีตอัดแรง

ค่อนกรีตอัดแรงจะใช้เส้นลวดเหล็กกำลังสูงแทนเหล็กธรรมดา ในการที่จะลดขนาดของแรงดึงใน Member ที่เป็นค่อนกรีตนั้น จะมีการทำให้เกิดแรงอัดขึ้นภายใน Member นั้น โดยใช้ลวดเหล็กอัดแรง ซึ่งจะทำให้เกิดการหักล่างของแรงดึงที่เกิดขึ้นและแรงอัดที่เพิ่มเข้าไป วิธีอัดแรงเข้าไปในค่อนกรีต เช่นนี้ จะช่วยให้ Final Tensile Forces ยังอยู่ในจุดจำกัด (Limit) ของกำลังดึงของค่อนกรีต ฉะนั้น ขึ้นส่วนค่อนกรีตอัดแรงที่ได้รับการออกแบบที่เหมาะสม จะไม่ทำให้เกิดรอยแตกจากแรงดึง (Flexure Cracks) เมื่อต้องทำการบรรทุกน้ำหนักใช้งาน (Service Load) (ดูรูปที่ 3-3)



รูปที่ 3-3 Prestress Concrete

วิธีการอัดแรงค่อนกรีต จะมี 3 วิธี

- ◆ การอัดแรงแบบดึงก่อน (Pretensioning) – ในกรณีนี้ ลวดเหล็กอัดแรงจะถูกติดตั้งก่อนการผลิตขึ้นส่วนค่อนกรีตอัดแรงนิดนึง แล้วจึงนำส่วนที่เหลือมาต่อตัวกัน ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแกร่งและทนทานมากขึ้น แต่ต้องมีการดูแลรักษาอย่างระมัดระวัง (ดูรูปที่ 3-4)

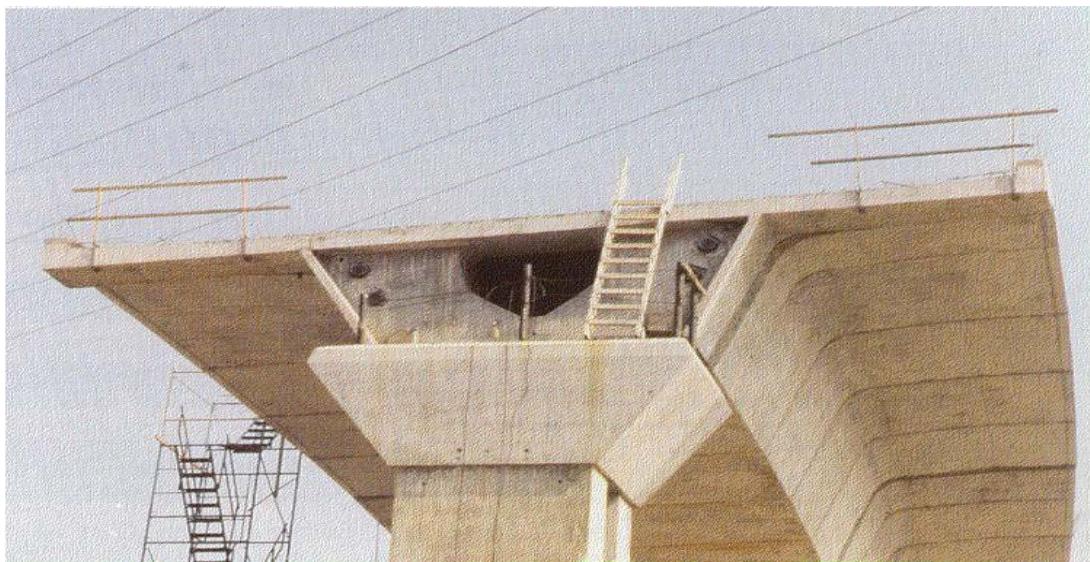


รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการอัดแรงชนิดดึงก่อน (Pretensioning)

Prestre
Sm
No Flexure



- ◆ การอัดแรงแบบดึงทึบลัง (Post Tensioning) – จะมีการจรางท่อ (Duct) ไว้ในชั้นคอนกรีตพลิตชินส่วน และมีการเทคโนโลยีหัวตันไก่ เมื่อทำการบ่มคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว เหล็กเสริมอัดแรงก็จะถูกสอดเข้าไปใน ท่อนั้นและก็ถูกดึงด้วยแรงตามขนาดที่ได้คำนวณไว้ (ดูรูปที่ 3-5)
- ◆ วิธีการแบบผสม (Combination Method) – ใช้กับชิ้นส่วนที่มีความยาวมากๆ โดยที่การใช้วิธีการอัดแรง แบบดึงก่อน อาจจะไม่มีความปลดลดภัยเพียงพอ



รูปที่ 3-5 Pretensioned Concrete

- ◆ เส้นลวดอัดแรง (Wires ; ASTM A421) เป็นเหล็กที่มีกำลังดึงสูง (High Tensile Strength) และจะมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ – เป็นเส้นลวดเดี่ยว (Single) หรือ คู่ขนาน (Parallel Wire Cables) : โดยเส้นลวดคู่ขนาน นั้นถูกใช้ในการอัดแรงแบบดึงทึบลัง (Post Tensioning) ขนาดที่นิยมใช้ คือ ลวดขนาด 0.7 เซนติเมตร
- ◆ กลุ่มเส้นลวดตีเกลียว (Strands ; ASTM A416) – ทำมาจากการใช้เส้นลวดมาพันกันแบบตีเกลียว ใน อเมริกา ส่วนใหญ่จะใช้ลวด (Wire) 7 เส้นมาเข้ากลุ่มตีเกลียว ใช้ในการขัดแรงแบบดึงก่อน (Prestressing) และจะอยู่ในเกรดที่มีกำลังดึงเท่ากับ 18,900 ksc (270 ksi)
- ◆ เหล็กเส้น (Bars ; ASTM 322 และ A29) – เหล็กเส้นกำลังสูง มักจะมีกำลังดึงประดับต่ำสุดที่ 10,150 ksc (145 ksi) และเหล็กนี้จะมีการหดตัวตลอดความยาว (Full- Length Deformation) ซึ่งก็จะเป็นทำ หน้าที่เหนือนตัวรับแรงคู่คบ (Couples) และวัสดุอุปกรณ์ของระบบตัวยึด (Anchorage Hardware)

ในชิ้นส่วนที่ได้รับการอัดแรงแบบดึงก่อน (Prestressed) จะมีการถ่ายเท Tensile Stress โดยผ่านแรงยึดเหนี่ยว ของลวดเหล็กกับคอนกรีต (Bonding) ซึ่งเป็นปฏิกิริยา ที่มีความปลดลดภัย

ในชิ้นส่วนที่ได้รับการอัดแรงแบบดึงทึบลัง จะมีการถ่ายเท Tensile Stress จากลวดขัดแรง (Tendons) โดยกลไก ที่ส่วนปลาย (Mechanical End) และสมอยึด (Anchorage) รวมถึงอุปกรณ์ยึดอื่นๆ ถ้าต้องการให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวด้วย ก็ จะมีการอัดน้ำปูน (Grout) เข้าไปในท่อ (Duct) และทำการปิดปลายท่อให้เรียบร้อย

วิธีการจะสมบูรณ์โดยหล่อคอนกรีตให้สัมผัสนับเนื่องให้หลักอัดแรงโดยตรง ในการอัดแรงแบบดึงที่หลัง (Post Tensioning) การทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว (Bonding) นั้น จะสำเร็จได้เมื่อทำการอัดน้ำปูน (Grout) เข้าไปในท่อ หลังจากที่ทำการอัดแรงเสร็จเรียบร้อย

เพื่อเป็นการควบคุมร้อยแตกต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นส่วนปลายของชิ้นส่วนอัดแรงแบบดึงก่อนนั้น ในบางครั้งลดอัดแรงก็อาจจะไม่ถูกทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว (Unbonded) และนอกจากนั้น การควบคุมร้อยแตกก็ยังทำได้โดยจัดให้มีส่วนหุ้มหลักเพื่อป้องกันไม่ให้หลักสัมผัสนับคอนกรีต สำหรับชิ้นส่วนที่อัดแรงแบบดึงภายหลัง เมื่อไม่ต้องการแรงยึดเหนี่ยวแล้ว ก็ไม่มีความจำเป็นต้องทำการอัดน้ำปูนของเส้นลวด แต่ต้องให้มีการป้องกันสนิม เช่น การชุบสังกะสี (Galvanizing) การอาบน้ำมัน (Greasing) หรือการใช้สุดอื่นๆ

3.2 ความเสื่อมสภาพของคอนกรีต

การชำรุดของสะพานคอนกรีต จะมีหลายรูปแบบ ดังนี้

- ◆ รอยแตก (Cracking)
- ◆ การหลุดแข็ง (Scaling)
- ◆ การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)
- ◆ การหลุดล่อน (Spalling)
- ◆ การเกิดซีเกลล์ (Efflorescence)
- ◆ การเกิดรูพรุนเหมือนรากผึ้ง (Honeycomb)
- ◆ การหลุดออกเป็นเม็ดๆ (Pop-Out)
- ◆ การสึกหรอของพื้นผิว (Wears)
- ◆ การเสียหายที่เกิดจากการถูกชน (Collision Damage)
- ◆ การสึกกร่อน (Abrasion)
- ◆ การชำรุดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overload Damage)
- ◆ การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforce Steel Corrosion)
- ◆ การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)

รอยแตก (Cracking)

รอยแตกอาจเกิดขึ้นเพียงส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของแต่ละชิ้นส่วนคอนกรีต ในคอนกรีตเสริมเหล็ก รอยแตกจะมีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตาม ในคอนกรีตอัดแรง จะต้องมีการใช้อุปกรณ์วัดรอยแตก (Crack Gauge) จึงจะเหมาะสมสำหรับการวัดรอยแตกและแยกแยะรอยแตกต่างๆ รอยเบื้องจากสนิมและการเกิดซีเกลล์มักจะปรากฏให้เห็นตามรอยแตกต่างๆ รอยแตกทั้งขนาดใหญ่และเล็กที่เกิดขึ้นในองค์ประกอบหลัก (Main Members) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Member ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง ควรจะต้องถูกบันทึกไว้อย่างระมัดระวัง ขนาดของรอยแตกอาจถูกแยกและออกเป็น รอยแตกขนาดเท่าเส้นผม (Hairline) รอยแตกขนาดกลาง (Medium) หรือ รอยแตกขนาดใหญ่ (Wide) รอยแตก



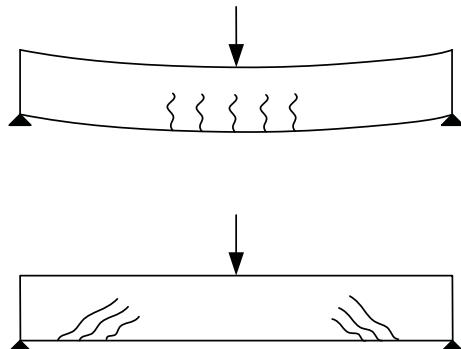
ขนาดเท่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่สามารถวัดขนาดได้ด้วยอุปกรณ์ธรรมดานาในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป รอยแตกเท่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่จะมีผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้าง ส่วนรอยแตกขนาดกลางและขนาดใหญ่นั้น เรายสามารถใช้อุปกรณ์ง่ายๆ วัดได้ รอยแตกเหล่านี้อาจจะเป็นสิ่งที่สำคัญมากและควรที่จะได้รับการตรวจสอบ และบันทึกไว้ในบันทึกการตรวจสอบ สำหรับในกรณีของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแล้ว รอยแตกทุกรอยล้วนแต่มีความสำคัญหมด เมื่อทำการบันทึกถึงรอยแตกต่างๆ ความยาว ความกว้าง ตำแหน่ง และทิศทางของรอยแตกแนวราบ แนวตั้ง หรือแนวเฉียง จะต้องได้รับการบันทึกให้ชัดเจน ถ้าหากว่ามีรายสนิมหรือขีเกลือ หรือมีหลักฐานว่ามีการเคลื่อนที่ของห้องสองด้านของรอยแตกเกิดขึ้น ก็ต้องระบุไว้ด้วย

ในงานคอนกรีต จะมีรอยแตกอยู่ 2 ประเภท คือ รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Structural Cracks) และรอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Non Structural Cracks)

รอยแตกเชิงโครงสร้าง มีสาเหตุมาจากการดัด (Dead load) และน้ำหนักบรรทุก จว (Live Load) และถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ (ดูรูปที่ 3-6)

◆ รอยแตกจากการดัด (Flexure Cracks)

◆ รอยแตกจากการเฉือน (Shear Cracks)



รูปที่ 3-6 ชนิดของรอยแตก

รอยแตกจากการดัด จะมีลักษณะอยู่ในแนวตั้ง (Vertical) และเริ่มแตกจากบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุด (Maximum Tension Zone) หรือเกิดโมเมนต์สูงสุด (Maximum Moment Trussing) แล้วแผ่ไปยังส่วนที่เกิดแรงอัด (Compression Zone) ณ จุดกึ่งกลางช่วงของชิ้นส่วน จะพบรอยแตกจากการดัดได้ที่ด้านล่างของชิ้นส่วนซึ่งเป็นส่วนถูกดัด หรือ มี Flexure Stresses สูงสุด ถ้าเป็น Continuous Member ก็ให้ตรวจสอบด้านบนของ Members ที่อยู่ด้านบนของ Pier

รอยแตกจากการเฉือน เป็นรอยแตกในแนวเฉียง ที่มักจะเกิดขึ้นที่เสาคาน (Web) โดยปกติแล้ว จะพบรอยแตกนี้ได้ที่บริเวณใกล้กับ แผ่นรองสะพาน (Bearing) และรอยแตกจะเริ่มที่ด้านล่างของ Member นั้นและขยายต่อในแนวเฉียงไปยังด้านบนของ Member

รอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Non Structural Cracks) จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

◆ รอยแตกเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Cracks)

◆ รอยแตกเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Cracks)

◆ รอยแตกเนื่องจากคอนกรีตหลา (Mass Concrete Cracks)

รอยแตกเหล่านี้ มักจะมีขนาดเล็กและไม่มีผลผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของ Member นั้น อย่างไรก็ตาม รอยแตกเหล่านี้จะเป็นช่องทางให้น้ำและสารเจือปนอื่นๆ เข้าไปได้ ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาที่ร้ายแรงอีก

รอยแตกเนื่องจากอุณหภูมิเกิดขึ้นจากการขยายตัวและเนื่องจากความร้อนและการหดตัวของคอนกรีต

รอยแตกเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Cracks) เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตเนื่องมาจากขั้นตอนการปูม คอนกรีต (Curing)

Mass Concrete Cracks เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (Temperature Gradient) มีมากเกินไปในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีปริมาณมากๆ ทันทีหลังจากการเทคอนกรีต หรือเป็นระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้น

ในพื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต (Concrete Bridge Decks) รอยแตกจากอุณหภูมิและการหดตัวนี้ สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในแนวขวาง (Transverse) และแนวยาว (Longitudinal) สำหรับในกำแพงกันดิน (Retaining Walls) และ Abutments รอยแตกเหล่านี้จะอยู่ในแนวตั้ง (Vertical) ส่วนในคานคอนกรีต รอยแตกเหล่านี้จะเกิดขึ้นในแนวตั้งหรือแนวขวางบนตัว Member นั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก Stress จากอุณหภูมิและการหดตัวนี้ เกิดขึ้นได้ในทุกทิศทาง รอยแตกเหล่านี้อาจเกิดขึ้นในทิศทางอื่นๆ ก็ได้

การหลุดแซะ (Scaling)

เป็นลักษณะที่มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวน้ำและมวลรวมคอนกรีตในบริเวณหนึ่งๆ อย่างต่อเนื่องและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Gradual and Continuing) จะสามารถบอกปริมาณการสูญเสียหายประมาณนี้ โดยการวัดขนาดพื้นที่และความลึกของ การหลุดแซะ รวมทั้งความชัดเจนในการมองเห็นมวลรวม (Aggregate) โดยมี 4 ระดับ ดังนี้

- ◆ ขนาดเบา – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวน้ำ จนถึงความลึก 6 มิลลิเมตร และสามารถมองเห็นมวลรวม หยาบ (Coarse Aggregate) ได้
- ◆ ขนาดกลาง – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวน้ำ ตั้งแต่ความลึก 6 มิลลิเมตร จนถึง 1.2 เซนติเมตร และมี การสูญเสียเนื้อปูนระหว่างมวลรวม
- ◆ ขนาดรุนแรง – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวน้ำ ตั้งแต่ความลึก 1.2 จนถึง 2.5 เซนติเมตร และมองเห็น มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้ชัดเจนมาก
- ◆ ขนาดรุนแรงมาก – มีการสูญเสียส่วนของมวลรวมหยาบ พร้อมกับการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวน้ำ รวมถึง เนื้อปูนที่อยู่รอบๆ มวลรวมหยาบ มีความลึกมากกว่า 2.5 เซนติเมตร ขึ้นไป และเหล็กเสริมในคอนกรีต โผล่ออกมากให้เห็น (Exposed)

เมื่อรายงานผลการตรวจสอบ Scaling นี้ ผู้ตรวจสอบควรต้องระบุตำแหน่งของการชำรุดขนาดของพื้นที่ที่ชำรุด และ ความลึกของการชำรุดนี้

การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)

จะเกิดขึ้นเมื่อชั้นต่างๆ ของคอนกรีตได้หลุดแยกออกที่ผิวนอกสุดหรือส่วนที่อยู่ใกล้ผิวนอกสุดของชั้นเหล็กเสริม สาเหตุหลักของการหลุดชนิดนี้คือ การขยายตัวของเหล็กเสริมที่เป็นสนิม ซึ่งเป็นเนื้องมาจากการแทรกซึมของสารเคมี



คลอไพร์ดหรือเกลือสนิมที่เกิดขึ้นจะเข้าไปครอบคลุมและมีปริมาณมากถึง 10 เท่าของปริมาตรเหล็กเสริม พื้นที่ที่เกิดการหลุดออกของคอนกรีตนี้ จะเป็นโพรงช่องใต้ผิวคอนกรีต โดยสังเกตได้จากการพังเสียเมื่อใช้ค้อนเคาะ เมื่อพื้นที่ส่วนดังกล่าวได้หลุดออกจาก Member อย่างถาวร จึงเรียกได้ว่า เป็นการหลุดออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)

เมื่อทำการรายงานถึงความเสียหายนี้ ผู้ตรวจสอบควรที่จะต้องระบุตำแหน่งและขนาดของพื้นที่ที่เกิดการชำรุด

การหลุดล่อน (Spalling)

เป็นการยุบตัวของคอนกรีตเป็นรูปคล้ายวงกลมหรือวงรี มีสาเหตุมาจากการแยกตัวหรือการถูกเคลื่อนย้ายของส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนกรีตที่ผิวน้ำ ทำให้เห็นรอยแตกที่ค่อนข้างจะขนาดกับผิวคอนกรีต และการหลุดล่อนนี้ ก็อาจมีสาเหตุมาจากการที่เหล็กเสริมเป็นสนิมและการเกิดแรงเสียดทานจากการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ส่วนใหญ่แล้วเมื่อมีการหลุดล่อน ก็จะสามารถเห็นเหล็กเสริมได้ สามารถแยกแยะการหลุดล่อนของคอนกรีตได้ดังนี้

- ◆ การหลุดล่อนขนาดเล็ก จะมีความลึกน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร หรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร
- ◆ การหลุดล่อนขนาดใหญ่ จะมีความลึกมากกว่า 2.5 เซนติเมตร หรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร
- ◆ เมื่อทำการรายงานเกี่ยวกับหลุดล่อน ผู้ตรวจสอบควรจะต้องระบุตำแหน่งของรอยชำรุด ขนาดของพื้นที่และความลึกของการชำรุด

การเกิดขี้เกลือ (Efflorescence)

การเกิดขี้เกลือคือ การเกิดคราบสีขาวบนคอนกรีต มีสาเหตุมาจากการตกผลึกของสารละลายประเภทเกลือ (แคลเซียมคลอไพร์ด- Calcium Chloride) ซึ่งออกมาน้ำผิวคอนกรีตได้โดยผ่านการถูกหับและการไหลเวียนของความชื้นในคอนกรีต การเกิดขี้เกลือนี้ เป็นตัวบ่งชี้ว่า คอนกรีต ณ ที่นั้น ได้ถูกปนเปื้อนแล้ว (Contaminated)

การเกิดรูพรุนเหมือนรังผึ้ง (Honeycomb)

เป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีสาเหตุมาจากการจัดคอนกรีตไม่เหมาะสม (Improper Vibration) ระหว่างการก่อสร้าง อันเป็นผลให้เกิดการแยกตัวของมวลรวมหมาย ออกจากการรวมละเอียดและซีเมนต์

การหลุดออกเป็นเม็ดๆ (Pop-Out)

ขันส่วนเล็กๆ รูปโคน (Conical) จะแตกและหลุดออกจากเนื้อคอนกรีตทำให้เกิดหลุมเล็กๆ ทึ้งไว้ โดยที่ไม่แล้วมักจะพบสะเก็ดของคอนกรีตที่หลุดออกมากอยู่ในบริเวณได้หลุมที่เกิดขึ้น การชำรุดชนิดนี้ มีสาเหตุมาจากการทำปฏิกิริยาของมวลรวมกับซีเมนต์ที่เป็นด่างมากๆ (High Alkaline) และมีสาเหตุมาจากการรวม เข่น หินดินดาน เกิดการขยายตัวเนื่องจากความชื้น

การสึกหรอ (Wears)

เกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตที่สัมผัสกับภาระราstra (Exposed to Traffic)

การเสียหายที่เกิดจากการถูกระขาน (Collision Damage)

การที่ยานพาหนะประเภทต่างๆ ได้ชนกับสะพาน ล้วนแต่สร้างความเสียหายให้แก่ส่วนประกอบของสะพานทั้งสิ้น คานคอกนกรีตอัดแรงจะเป็นส่วนที่ค่อนข้างจะถูกผลกระทบจากเรื่องที่ดีง่าย (Sensitive) ต่อความเสียหายประเภทนี้

การสึกกร่อน (Abrasion)

การสึกกร่อนเป็นผลมาจากการที่แรงภายนอกได้กระทำต่อผิวของ Member ที่เป็นคอนกรีต การกัดเซาะของกระแสน้ำที่มีคลื่นตามอยู่มากซึ่งไ碌บนผิวคอนกรีตหรือวัสดุที่loyมา กับน้ำ ก็สามารถทำให้คอกนกรีตเกิดการสึกกร่อนได้ ที่บริเวณตอนม่อและเสาเข้ม เช่นเดียวกับคอกนกรีตที่อยู่ในบริเวณที่มีคลื่นมาก ก็อาจเกิดการสึกกร่อนได้โดยการถูกผลกระทบจากทรายและคลื่นที่อยู่ในน้ำ

ความเสียหายที่เกิดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overload Damage)

เกิดขึ้นเมื่อองค์ประกอบของค่าความต้องแบกรับความเค้นมากเกินไป (Overstressed) ให้บันทึกแรงสั่นสะเทือนและการแยกตัวที่มากเกินไปด้วย

การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforce Steel Corrosion)

เป็นผลลัพธ์เนื่องมาจากการทดสอบทางเคมีของคอกนกรีต เหล็กเสริมซึ่งฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตจะถูกปักป้องไว้ให้เกิดสนิม ในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นด่างสูง จะมีขั้นเยื่อบางๆ อยู่ที่ผิวของเหล็กเสริมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสนิม

อย่างไรก็ตาม การป้องกันวิธีนี้ จะถูกจำกัดโดยการแทรกซึมของสารพากคลอไรด์ ซึ่งทำให้น้ำและออกซิเจนสามารถเข้าสร้างความเสียหายต่อเหล็กเสริมโดยสร้างไอกอนออกไซด์ หรือสนิมขึ้น (Rust) ไอกอนของคลอไรด์ที่เกิดขึ้นในคอกนกรีตนี้จะเข้าสู่เหล็กเสริมโดยแพร่กระจายซึ่งเข้าคอกนกรีตหรือเข้าตามรอยแตกในคอกนกรีต

การเสื่อมสภาพของคอกนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)

คอกนกรีตอัดแรงจะสูญเสียกำลังจากหลายรูปแบบของการเสื่อมสภาพของคอกนกรีต Member ที่เป็นคอกนกรีตอัดแรง จะถูกผลกระทบจากเรื่องที่ดีง่ายจากสนิมและการล้าในรอยแตก การเกิดสนิมที่ลวดอัดแรงสามารถนำไปสู่การวิบัติของ Member นั้น การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวจะช่วยลดอัดแรง และคอกนกรีต จะทำให้ Member นั้นพังทลายได้ Member ที่ไม่ได้รับแรงยึดเหนี่ยว จะได้ผลกระทบจาก Zipper Effect การคลายตัว (Relaxation) ของคอกนกรีตอัดแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจาก การออยู่ใต้ Tensile Stress มากๆ เป็นเวลานาน จะทำให้คอกนกรีตสูญเสียกำลัง การหดตัวของคอกนกรีต ยังทำให้เหล็กอัดแรงเกิดการ Relaxation มากขึ้นไปอีกด้วย ซึ่งก็จะทำให้ Member นั้นสูญเสียกำลังด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การล้าของคอกนกรีตยังทำให้ Member สั้นลง ซึ่งจะทำให้เกิดการ Creep ของลวดเหล็กอัดแรง และนำไปสู่การสูญเสีย Strength ของลวดเหล็กอัดแรงในที่สุด



3.3 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต

เมื่อทำการตรวจสอบสภาพการชำรุดเสียหายของ Member ที่เป็นคอนกรีต จำเป็นที่จะต้องมีการเข้าไปในบริเวณที่ได้รับรายงานความเสียหาย การเข้าไปทำงานได้สอดคล้องนี้จะทำให้ผู้ตรวจสอบสามารถทำการตรวจสอบสภาพความเสียหายได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำรายงานการตรวจสอบและการประเมินผลได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

การตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection)

รูปแบบหนึ่งของความเสียหายที่ตรวจสอบได้โดย Visual Inspection คือ การตรวจหารอยแตก (Cracks) (ดูรูปที่ 3-7) รอยแตกทุกรอยที่พบจะต้องถูกบันทึกไว้ การตรวจสอบในภายหลังจะทำให้สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและขนาดของรอยแตก ซึ่งบ่งบอกถึงสภาพที่ต้องใส่ใจดูแล



รูปที่ 3-7 Cracks

เมื่อบันทึกข้อมูลของรอยแตก ผู้ตรวจสอบจะต้องบรรยายลิ้งต่างๆ ต่อไปนี้

- ◆ ชนิดของรอยแตก
- ◆ ความยาวของรอยแตก
- ◆ ตำแหน่งของรอยแตก
- ◆ ขนาดของรอยแตก
- ◆ ทิศทางของรอยแตก
- ◆ ลักษณะที่ปรากฏ หรือ สี

เนื่องจากว่ารอยแตก เป็นหนึ่งในสัญญาณบกพร่องที่สามารถเชื่อถือได้ว่า จะมีปัญหาอะไรเกิดขึ้นบ้างในอนาคต ฉะนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องหาสาเหตุและข้อบข้อดีของรอยแตก ถ้าสามารถค้นหารายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ มา

ได้ ก็จะสามารถทำการประเมินสภาพและรูปแบบของรอยแตกว่า รอยแตกนั้นได้หยุดขยายตัวแล้วหรือว่า กำลังขยายตัวต่อไป

อีกส่วนหนึ่งที่บ่งบอกถึงการชำรุดเสียหายที่สามารถสังเกตเห็นได้ระหว่างการตรวจสอบก็คือร่องรอยการเกิดสนิม เป็นสิ่งที่สำคัญมากที่จะต้องรายงานการเกิดสนิมใน Concrete Members เพราะว่าสนิมจะเกิดขึ้นในเหล็กเสริม เหล็กเสริมที่เป็นสนิมจะทำให้เกิดการเสียกำลังในคอนกรีตและการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม เกิดรอยแตกในคอนกรีต และเกิดการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ทั้งนี้ ควรจะต้องระบุตำแหน่งและวัดขนาดขอบเขตของการเกิดสนิม แล้วบันทึกลงไปในบันทึกการตรวจสอบ

ร่องรอยการเสื่อมสภาพต่างๆ ของคอนกรีตที่กล่าวไว้เบื้องต้นในหัวข้อ 3.2 ก็สามารถถูกตรวจสอบด้วย Visual Inspection เช่นกัน ดังรูปที่ 3-7 ถึง 3-13



รูปที่ 3-8 Light Scalling



รูปที่ 3-9 Delamination and Spall



รูปที่ 3-10 Spall (Pothole)



รูปที่ 3-11 Efflorescence

การตรวจสอบทางกายภาพ (Physical Examination)

นอกจากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าแล้ว เรายังตรวจสอบคอนกรีตด้วยวิธีทางกายภาพ อย่างเช่น การใช้ค้อนเคาะฟังเสียงคอนกรีต (Hammer Soundding) และวิธีการสำรวจแบบลากโซ่ (Chain-Drag)

การใช้ค้อนเคาะเพื่อฟังเสียงคอนกรีต เป็นวิธีที่ใช้กันปัจจุบันโดยใช้ค้อนเคาะที่ผิวของคอนกรีต เสียงที่สะท้อนกลับไปกลับมาในคอนกรีตจะบ่งบอกถึงสภาพความสมบูรณ์ (Integrity) ของคอนกรีตได้ แต่วิธีนี้จะใช้ไม่ได้ผลกับคอนกรีตที่มีบริเวณผิวกว้างๆ เช่น แผ่นพื้นสะพาน ยังมีวิธีการอีกมากหลายแบบในการประเมินสภาพผิวน้ำพื้นคอนกรีตในแนวราบ (Horizontal) ขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม สำหรับผิวคอนกรีตที่อยู่ในแนวตั้ง (Vertical) ยังไม่สามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ค้อนเคาะ



รูปที่ 3-12 Honeycomb



รูปที่ 3-13 Wear

Chain-Drag เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างรวดเร็วในการตรวจสอบแผ่นพื้นสะพานคอนกรีตขนาดใหญ่ พื้นที่ที่มีการแยกตัวเป็นชั้นๆ (Delamination) จะถูกตรวจสอบได้ โดยการฟังเสียงที่ให้ความรู้สึกว่ามีรูกลวง หรือมีโพงข้างใน วิธีการสำรวจแบบ Chain-Drag นี้ไม่ได้มีความถูกต้องแม่นยำโดยทั้งหมด อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย และยังใช้เป็นวิธีการตรวจสอบเบื้องต้น เพื่อว่าอาจจำเป็นต้องใช้วิธีการตรวจสอบที่แพงกว่านี้ได้ในอนาคต



วิธีการตรวจสอบชั้นสูง

มีวิธีการตรวจสอบคอนกรีตโดยใช้เทคนิคชั้นสูงอยู่หลายวิธี

วิธีการแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive) มีดังนี้

- ◆ วิธีการใช้คลื่น Acoustic หรือคลื่น Ultrasonic
- ◆ การใช้เครื่องมือตรวจสอบ การเลื่อนหลุดเป็นแผ่นๆ (Delimitation)
- ◆ วิธีการใช้ไฟฟ้า (Electrical Method)
- ◆ การทดสอบโดยใช้ Flat Jack
- ◆ การใช้ Radar ทะลวงพื้น (Ground-Penetrating Radar)
- ◆ วิธีการ Impact-Echo
- ◆ การใช้รังสีความร้อนอินฟราเรด (Infrared Thermography)
- ◆ การใช้ Laser Ultrasonic
- ◆ การใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Disturbance)
- ◆ การใช้ Neutron Probe เพื่อตรวจสอบคลอร์ไรด์
- ◆ การใช้ Nuclear
- ◆ การใช้ Pachometer
- ◆ วิธีการเจาะและสะท้อนกลับ (Rebound and Penetration)
- ◆ การทดสอบ Ultrasonic

ส่วนวิธีการแบบทำลายนั้น มีดังนี้

- ◆ Carbonation
- ◆ Concrete Strength
- ◆ Endoscopes
- ◆ Moisture Content
- ◆ Reinforcing Steel Strength

บทที่ 4

การตรวจสอบสภาพส่วนด้วยสายตา

4.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้ การตรวจสอบสภาพมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ของประเทศ เพราะว่าสภาพต่างๆ ในประเทศของเราต่างก็เก่าลงและมีการชำรุดมากขึ้นทุกวัน การประเมินสภาพของสภาพอย่างละเอียดและถูกต้อง จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการคงไว้ซึ่งระบบการใช้ถนนหนทางที่ไว้วางใจได้

ในบทนี้ จะได้กล่าวถึงหน้าที่และความรับผิดชอบ ของผู้ตรวจสอบสภาพ และจะยังบรรยายว่าผู้ทำการตรวจสอบ จะสามารถเตรียมการตรวจสอบ และขั้นตอนการตรวจสอบที่สำคัญอย่างไรบ้าง รวมทั้งจะมีรายละเอียดของอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบ และสุดท้ายจะได้กล่าวถึงความปลอดภัยในการตรวจสอบสภาพสำหรับผู้ทำการตรวจสอบด้วยเช่นกัน

4.2 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสภาพ

4.2.1 ความรับผิดชอบ

ผู้ตรวจสอบสภาพ มีความรับผิดชอบพื้นฐานอยู่ 5 ประการ คือ

- ต้องดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัยและความมั่นใจของสาธารณะ
- ปกป้องทรัพย์สินสาธารณะ
- จัดสรรการสนับสนุนโครงสร้างการตรวจสอบสภาพ
- จัดทำบันทึกข้อมูลของสภาพอย่างถูกต้อง
- ปฏิบัติตามข้อกฎหมายด้วยความรับผิดชอบ



การดำเนินไว้ซึ่งความปลอดภัยและความมั่นใจของสาธารณะ คือ ความรับผิดชอบหลักของผู้ทำการตรวจสอบสุขภาพ เนื่องจากว่าประชาชนทั่วไปต่างก็เดินทางโดยใช้ถนน และสุขภาพอย่างไม่ลังเลใจ หากว่า สุขภาพเกิดพังขึ้นมา ความมั่นใจของประชาชนต่อระบบสุขภาพของเจ้าก็จะลดลงอย่างตามไปด้วย

บทบาทของวิศวกรผู้ออกแบบในการเสริมสร้างความปลอดภัยของสุขภาพ มีดังนี้

- กำหนดให้มีอัตราส่วนความปลอดภัย
- ออกแบบโดยมีความปลอดภัยสูงกว่าปกติ ตามความเหมาะสม

บทบาทของผู้ตรวจสอบสุขภาพ มีดังนี้

- ทำการตรวจสอบโดยละเอียด และระบุการชำรุดเสียหายและสุขภาพของสุขภาพ
- จัดเตรียมเอกสารและรายงาน ของการชำรุดต่างๆ ดังกล่าว รวมทั้งนำเสนอคำแนะนำเพื่อการแก้ไข

การปักป้องทรัพย์สินสาธารณะ : หน้าที่สำคัญของผู้ทำการตรวจสอบสุขภาพ คือ การปักป้องสุขภาพอันเป็นทรัพย์สินสาธารณะ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องระบุและแก้ไขปัญหาเล็กๆ น้อยๆ ก่อนที่ปัญหาเหล่านั้นจะนำไปสู่ความเสียหายซึ่งจะต้องใช้ค่าซ่อมแซมสูง ผู้ทำการตรวจสอบสุขภาพ จะต้องสามารถระบุขั้นส่วนของสุขภาพที่ต้องได้รับการซ่อมแซม เพื่อที่จะดำเนินไว้ซึ่งความปลอดภัยในการใช้สุขภาพ และหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายในการสร้างสุขภาพทดแทน

จัดเตรียมการสนับสนุนโครงการตรวจสอบสุขภาพ : กรมทางหลวง จะเป็นผู้ให้การสนับสนุนโครงการตรวจสอบสุขภาพ ในหัวข้อดังต่อไปนี้

- กระบวนการและขั้นตอนการตรวจสอบสุขภาพ (Inspection Procedures)
- ความถี่ในการตรวจสอบ (Frequency of Inspection)
- คุณสมบัติของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน (Qualifications of Personnel)
- การรายงานผลการตรวจสอบ (Reporting)
- รายการข้อมูลของสุขภาพ (Inventory)

โครงการตรวจสอบสุขภาพได้รับงบประมาณอันเป็นภาคีของประชาชน ฉะนั้น ผู้ตรวจสอบสุขภาพจะต้องมีส่วนในการใช้เงินนี้ให้เกิดประโยชน์ต่อสาธารณะนั้น

การจัดทำบันทึกข้อมูลของสุขภาพอย่างถูกต้อง : มีเหตุผล 3 ประการ ว่าทำไม จึงมีความต้องการบันทึกข้อมูลสุขภาพที่ถูกต้อง

- เพื่อจัดทำและรักษาเพิ่มข้อมูลประวัติของโครงสร้าง
- เพื่อรับและประเมินความต้องการในการซ่อมแซมสุขภาพ
- เพื่อรับและประเมินความต้องการในการบำรุงรักษาสุขภาพ

ปฏิบัติตามข้อกฎหมายด้วยความรับผิดชอบ : บันทึกการรายงานผลการตรวจสอบเป็นเอกสารที่มีผล
เชิงกฎหมาย การบรรยายต่างๆ ต้องกระชับกุม ครอบคลุมรายละเอียด และมีใจความสมบูรณ์

ตัวอย่างของข้อความของการบรรยายผลการตรวจส่องสะพาน：“คนที่มีสภาพดีพอใช้” เป็นตัวอย่างของ การบรรยายที่ไม่ได้ ในขณะที่ “คนซ้อมอยู่ในสภาพที่ดีพอใช้ โดยมีการแข็งของคอนกรีตที่ปีกคานด้านล่าง ของคาน B และ D ตลอดช่วงความยาวคาน” เป็นการให้การบรรยายที่ดีกว่า อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ “พื้นสะพานอยู่ในสภาพทรุดโกร姆” เป็นการบรรยายที่ไม่ได้ ในขณะที่ “พื้นสะพานอยู่ในสภาพทรุดโกร姆โดยมีการเจือปนของคลอไตรด์อยู่ประมาณ 30% และมี การหลุดล่อนของคอนกรีตตามที่ได้เขียนไว้ในภาพวาดแบบร่าง (Sketch) ที่อยู่ในหน้าที่ 42” จะเป็นการบรรยายที่ดีกว่า ไม่ ควรจะเปลี่ยนแปลงบันทึกการตรวจสอบดังเดิมโดยไม่ได้ทำการปรึกษากับผู้ที่ทำการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลนั้นๆ การตรวจสอบสะพานควรจะถือหลักตามคู่มือการตรวจสอบสะพานของกรมทางหลวง เว้นแต่จะแจ้งไว้ในรายงานการ

ผลลัพธ์ของการขาดความรับผิดชอบ : เมื่อมีการละเลยการยึดถือหลักความรับผิดชอบพื้นฐานซึ่งได้กล่าวไว้แล้วเบื้องต้น แต่ละบุคคล ไม่ว่าจะเป็นหัวหน้าหน่วยงาน วิศวกร และผู้ทำการตรวจสอบ ล้วนแต่มีส่วนรับผิดชอบด้วยกันทั้งสิ้น ผู้ทำการตรวจสอบควรจะพยายามที่จะมีความชัดเจนตรงเป้าหมายและสมบูรณ์แบบให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อุปติเหตุต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุนำไปสู่การเกิดคดีความ ขึ้นในขั้นศาลงนั้น อาจเกิดขึ้นได้โดยสมัพนธ์กับหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้

- ความบกพร่องของอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย
 - องค์ประกอบหลักวิบัติโดยรายแยกวิภาค
 - องค์ประกอบของโครงสร้างส่วนล่างวิบัติโดยการกดเข้า
 - การวิบัติรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joints) ส่วนพื้นสะพาน หลุมป้อ หรืออันตรายอื่นๆ ต่อสามารถน้ำหนักที่เดินทางอยู่
 - ขั้นตอนการบรรทุกน้ำหนักที่ไม่เหมาะสมหรือมีความบกพร่อง

4.2.2 หน้าที่

ผู้ทำการตรวจสอบสะพานจะมีหน้าที่พื้นฐานอยู่ 5 ประการ

- วางแผนการตรวจสอบ
 - จัดเตรียมการตรวจสอบ
 - ดำเนินการตรวจสอบ
 - จัดเตรียมการรายงาน
 - ระบบสิ่งที่ต้องการซื้อ เช่น แมชชีนและบำรุงรักษา

การวางแผนการตรวจสอบ : การวางแผนล่วงหน้าจะช่วยให้การตรวจสอบดำเนินไปโดยลำดับขั้นตอนและดำเนินไปอย่างเป็นระบบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การวางแผนจะรวมถึงการกำหนดลำดับการตรวจสอบ การกำหนด



ตารางเวลา การเตรียมการสำหรับความต้องการในการตรวจสอบแบบพิเศษ (เช่น การทดสอบแบบไม่ทำลาย–Non Destructive Testing และการตรวจสอบใต้น้ำ) การจัดการบันทึกสนาม การเตรียมขั้นตอนการควบคุมจราจร และรวมวิธีอื่นๆ ที่จะช่วยให้มีการตรวจสอบสะพานที่ละเอียดสมบูรณ์

การเตรียมการตรวจสอบ : การเตรียมการก่อนการตรวจสอบนี้จะรวมถึง การจัดการรวมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการทดสอบ การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน และแบบแปลนที่ตั้งของสะพาน

การดำเนินการตรวจสอบ : หน้าที่ในหัวข้อนี้จะรวมถึง การรักษาระบบการกำหนดหมายเลขอองค์ประกอบต่างๆ ของสะพาน ทั้งรูปแบบและทิศทาง การพัฒนาลำดับการตรวจสอบและขั้นตอนการตรวจสอบที่เหมาะสม

การจัดเตรียมรายงาน : การจัดทำเอกสารสารมีความสำคัญมากในการตรวจสอบโดยละเอียด ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องรวมข้อมูลให้เพียงพอที่จะจัดทำรายงานที่ละเอียดและสมบูรณ์แบบได้

การระบุสิ่งที่ต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษา : เป็นหน้าที่พื้นฐานข้อสุดท้าย ที่จะต้องระบุสิ่งที่ต้องการการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ผู้ตรวจสอบจะต้องสามารถระบุสิ่งเหล่านี้ได้ เพื่อก่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยต่อสาธารณะ และการใช้งานที่ยืนยาวของสะพาน

4.3 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน

ความสำเร็จของการตรวจสอบในภาคสนาม (On-Site) โดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับความพยายามในการเตรียมตัวเพื่อการตรวจสอบ สิ่งสำคัญๆ ในการเตรียมตัว มีดังต่อไปนี้

- การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน
- การระบุองค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ
- การพัฒนาขั้นตอนการตรวจสอบ
- การเตรียมการบันทึก แบบฟอร์ม และภาพวาดร่าง (Sketches) ต่างๆ
- การเตรียมการสำหรับการควบคุมการจราจร
- การดำเนินถึง การพิจารณาอย่างพิเศษ
- การจัดการเครื่องมือและอุปกรณ์
- การเตรียมการเพื่อทำความสะอาดเข้าใจถึงวิธีการเข้าไปตรวจสอบ
- การทบทวนหลักแห่งความปลอดภัย

4.3.1 การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน

ขั้นตอนแรกของการเตรียมตัวตรวจสอบสะพาน คือ การทบทวนข้อมูลต่างๆ ของสะพานนั้นๆ เช่น

- แบบก่อสร้างจริงของสะพาน (As-Built Bridge Plans)
- รายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ
- บันทึกการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา
- ข้อมูลทางธรณีเทคนิค (Geotechnical Data)
- ข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrological Data)
- แบบของระบบสาธารณูปการ
- แบบ Right-Of-Way

แบบแปลนของสะพาน : จะบอกข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของสะพาน จำนวนช่วงสะพาน เป็นสะพานแบบ Simple หรือ แบบต่อเนื่อง (Continous) และวัดที่ใช้ในการก่อสร้าง

นอกจากนี้แบบแปลนของสะพานยังจะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมแบบผสม (Composite Action) ระหว่างแผ่นพื้นสะพาน (Deck) กับคาน (Girders) การใช้พฤติกรรมของ Frame Action ที่องค์ประกอบของโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure Members) และ แบบรูปรายละเอียดของข้อต่อที่ใช้รวมทั้งปีที่ทำการก่อสร้าง และน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ ภาระรวมได้ในแบบแปลนของสะพาน

รายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ : จะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับประวัติของสะพาน และบันทึกสภาพของสะพาน ในระยะเวลา ก่อนหน้านี้ ข้อมูลนี้จะถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจว่า ชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบใดของสะพาน ต้องการได้รับการดูแลเป็นพิเศษ และ ข้อมูลนี้ยังช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถเปรียบเทียบระดับความชำรุดเสียหายในปัจจุบันกับระดับความเสียหายที่ได้บันทึกไว้จากการตรวจสอบครั้งก่อน

บันทึกการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม : จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบได้รายงานการซ่อมแซมในการตรวจสอบแต่ละครั้ง โดยจะบันทึก ประเภทการซ่อมแซม ขอบเขตการซ่อมแซม และวันที่ทำการซ่อมแซม

ข้อมูลทางธรณีเทคนิค : จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุของฐานรากซึ่งอยู่ใต้โครงสร้าง ทรัพย์ ดินตะกอนหรือดินเหนียว ล้วนแต่เป็นภัยกับปัญหาการทรุดตัวและการกัดเซาะมากกว่าหิน ฉะนั้นโครงสร้างที่อยู่บนวัสดุเหล่านี้ จึงควรได้รับการดูแลเอาใจใส่มากกว่า โครงสร้างที่อยู่บนหิน

ข้อมูลอุทกวิทยา : จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่างและทิศทางของลำน้ำ การเตรียมอุปกรณ์ป้องกัน อัตราเร้น้ำท่วม และระดับของผิวน้ำ ระหว่างภาวะน้ำท่วม ผู้ตรวจสอบสามารถใช้ข้อมูลนี้ ในการบันทึกการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของรูปร่างลำน้ำ และระดับน้ำ

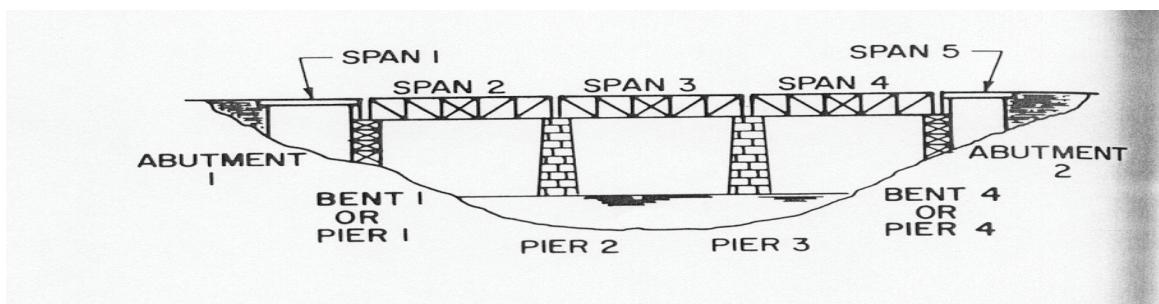
ข้อมูลเพิ่มเติม : แบบแปลนของระบบสาธารณูปโภค จะช่วยในการกำหนดแบบและปริมาณการติดตั้ง สาธารณูปโภค ส่วนแบบ Right-Of-Way นี้ จะช่วยกำหนดขอบเขตของ Right-Of-Way



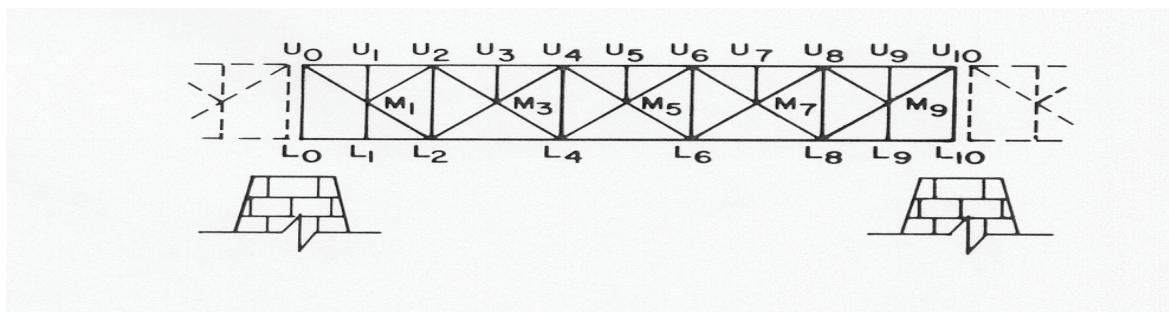
4.3.2 การระบุองค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ

การกำหนดทิศทางการวางตัวของโครงสร้างเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นการจัดระบบใน การเรียกชื่อและตำแหน่งขององค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ ในโครงสร้างของสะพาน (ดูรูปที่ 4-1) ถ้ามีแบบหรือรายงาน การตรวจสอบครั้งก่อนฯ อยู่ด้วย ก็ควรจะกำหนดให้มีระบบการระบุชื่อและตำแหน่งให้เหมือนที่ได้กำหนดไว้แล้วในรายงาน หรือแบบดังกล่าว

แต่ถ้าหากไม่มีบันทึกการรายงานไว้ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องกำหนดระบบการระบุชื่อและตำแหน่งขึ้นมาใหม่ ระบบการกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ เมื่อเล่มนี้เป็นเพียงตัวอย่างแบบหนึ่งเท่านั้น ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่ใช้ในการกำหนดตัวเลข อีกส่วนในการกำหนดทิศทางนั้น สามารถใช้ข้างขึ้นจากหลักกิโลเมตรได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องระบุชุดเดิมต้นและชุดสิ้นสุด ของสะพาน



รูปที่ 4-1 ระบบการกำหนดตัวเลขให้แก่ชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน



รูปที่ 4-2 ตัวอย่างการกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ในโครง Truss

ระบบการกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ชิ้นส่วนของพื้นสะพาน : (Deck Elements) การกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ชิ้นส่วนของพื้น สะพานจะต้องรวมแต่ละ Section ของพื้นสะพานด้วย (ที่อยู่ระหว่างรอยต่อก่อสร้าง) และก็ต้องรวมถึง Expansion Joint ระหว่างพื้น แผงบัง (Parapets) และเสาไฟส่องสว่าง สิ่งต่างๆ เหล่านี้ต้องมีหมายเลขอุปกรณ์ตัวเองโดยเรียงจากจุดเริ่มต้นไป ยังจุดสิ้นสุดของสะพาน

ระบบการกำหนดหมายเลขชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) : ควรจะประกอบไปด้วยช่วงสะพานและคาน และถ้าเป็นโครง Truss ก็ต้องรวมจุดต่อในโครงถักด้วย การกำหนดหมายเลขชิ้นส่วนของช่วงสะพานจะเรียงจากจุดเริ่มต้นของสะพาน ซึ่งจะกำหนดให้เป็นช่วงสะพานหมายเลข 1 และเรียงต่อไปตามลำดับ ถ้ามีคานหลายตัว ก็ควรจะกำหนดให้มีหมายเลขเรียงจากข้างไปขวา โดยหันหน้าไปตามทิศทางการจราจร สำหรับ Floor Beams ก็ควรจะถูกกำหนดหมายเลขชิ้นเดียวกับช่วงสะพาน คือ เริ่มจากจุดเริ่มต้นสะพานไปยังจุดสิ้นสุดสะพาน เพียงแต่ว่า Floor Beams ตัวแรก ควรจะถูกกำหนดให้เป็นหมายเลข 0 ซึ่งจะช่วยให้เป็นการกำหนดพิกัดตัวเลขของคานสะพานและแต่ละช่วง (Bay) ของสะพาน จึงทำให้หมายเลขอิง Floor Beams ถูกกำหนดไว้ที่จุดสิ้นสุดของช่วงสะพานนั่นฯ

ส่วนโครงข้อหมุน (Truss) นั้นจะมีการกำหนดหมายเลขของโครงถักคล้ายๆ กับคานของพื้นสะพาน โดยจะเริ่มจากจุดต่อโครงถักหมายเลข 0 ให้ส่วนหมายเลขทั้งโครงสร้างที่อยู่ด้านหนึ่งอีกด้านหนึ่งแล้วด้านใต้น้ำ จุดต่างๆ ที่อยู่ในเส้นแนวตั้งเดียวกันก็จะมีหมายเลขเดียวกัน แต่ถ้าไม่มีจุดที่อยู่ในช่องด้านล่างของเส้นแนวตั้ง ซึ่งที่อยู่ด้านล่างก็จะเริ่มไป 1 หมายเลข (ดูรูปที่ 4-2) ผังการออกแบบแบบแบ่งบัง จะใช้วิธีการกำหนดหมายเลขในจนถึงจุดกึ่งกลางของโครงถักแล้วจึงนับถอยหลังจนถึงศูนย์ โดยจะใช้ตัวเลขที่เป็นจำนวนเฉพาะ (Prime Numbers) อย่างไรก็ตาม ระบบการกำหนดหมายเลขแบบนี้ ไม่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบในภาคสนาม เนื่องจากหมายเลขต่างๆ ที่กำหนดไว้อาจถูกกลบเลือนไปได้ เนื่องจากผู้นั่งต่างๆ

ระบบการกำหนดหมายเลขชิ้นส่วนของโครงสร้างส่วนล่าง : จะหมายถึงการกำหนดหมายเลขให้แก่ ตอม่อริม (Abutment) และตอม่อกลางน้ำ (Pier) Pier หมายเลข 1 จะอยู่ที่จุดเริ่มต้นสะพาน Pier หมายเลข 2 จะอยู่ที่จุดสิ้นสุดสะพาน ส่วน Abutment ก็จะถูกกำหนดเลขหมายเรียงตามลำดับกันไป โดยจะให้ Pier อยู่ใกล้จุดเริ่มต้นของสะพานมากที่สุด

4.3.3 การพัฒนาลำดับขั้นตอนการตรวจสอบ

โดยปกติแล้ว การตรวจสอบสะพานจะเริ่มจากการตรวจสอบพื้นสะพาน (Deck) และชิ้นส่วนของโครงสร้างส่วนบนแล้วก็ต่อเนื่องไปยังโครงสร้างส่วนล่าง อย่างไรก็ตาม จะมีองค์ประกอบหลายอย่างที่ต้องพิจารณาเมื่อทำการวางแผนจัดลำดับขั้นตอนในการตรวจสอบสะพาน ดังนี้

- ชนิดของสะพาน
- สภาพขององค์ประกอบของสะพาน
- สภาพโดยรวมของสะพาน
- ความต้องการของหน่วยงานผู้ทำการตรวจสอบสะพาน
- ขนาดของสะพานและความซับซ้อนของสะพาน
- สภาพการจราจร
- ขั้นตอนพิเศษ

ตัวอย่างของลำดับการตรวจสอบสะพาน ขนาดโดยเฉลี่ยทั่วไปจะมีดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-1 ในขณะที่การพัฒนาลำดับขั้นตอนการตรวจสอบมีความสำคัญ สิ่งที่จะทำให้เกิดคุณค่าและประโยชน์ซึ่งได้ ก็คือ การปฏิบัติตามขั้นตอนนั้นๆ อย่างสมบูรณ์โดยตลอดเวลาของการตรวจสอบสะพาน



ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างของขั้นตอนการตรวจสอบ

1. ถนนและชิ้นส่วนของพื้นสะพาน	3. ชิ้นส่วนของโครงสร้างส่วนล่าง
◆ ถนนชั่วคราวก่อนพื้นสะพาน (Approach Roadways)	◆ ตอม่อริม (Abutments)
◆ อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยสำหรับการจราจร (Traffic Safety Features)	◆ คานโค้ง (Skewbacks or Arches)
◆ ส่วนพื้นของสะพาน (Bridge Deck)	◆ สิ่งป้องกันเชิงลาด (Slope Protection)
◆ ทางเท้าและราวกันตก (Sidewalks and Railings)	◆ ตอม่อกลางน้ำ (Piers)
◆ ช่องระบายน้ำ (Drainage)	◆ ฐานราก (Footing)
◆ ป้ายสัญญาณต่างๆ (Signing)	◆ เสา และเสาเข็ม (Piles)
◆ ระบบไฟฟ้า ไฟส่องสว่าง	◆ กำแพงม่าน (Curtain Wall)
◆ แผงกันของทาง, ประตู และอุปกรณ์ควบคุม	
การจราจรต่างๆ	
2. ชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพาน	4. ลำน้ำและส่วนประกอบของทางน้ำ
◆ แผ่นรองสะพาน (Bearings)	◆ รูปตัดความยาวและแนวของลำน้ำ
◆ ส่วนประกอบหลักที่ใช้รองรับน้ำหนัก (Main Supporting Members)	◆ ท้องพื้นของลำน้ำ (Channel Streambed)
◆ ส่วนประกอบ旁รองและตัวยึดต่างๆ (Secondary Members and Bracing)	◆ ดินขوبของลำน้ำ (Channel Embankment)
◆ สาธารณูปการ (Utilities)	◆ สิ่งป้องกันคันขobของลำน้ำ (Channel Embankment Protection)
◆ แท่นยึด (Anchorage)	◆ ตัวกันกระแทก (Fenders)
	◆ เครื่องเปิดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Opening)
	◆ มาตราวัดความลึกของน้ำ (Water Depth Scales)
	◆ ไฟและเครื่องช่วยการนำทาง (Navigational Lighten Aids)

4.3.4 การเตรียมบันทึก

การเตรียมบันทึก แบบฟอร์ม และภาพวาดร่าง (Sketches) ต่างๆ ก่อนการตรวจสอบด้วยสะพานจริงนั้น จะช่วยให้ลดงานที่ไม่จำเป็นต่างๆ ในภาคสนามได้ ควรจัดให้มีการเตรียมสำเนาของแบบฟอร์มสำหรับการตรวจสอบ เพื่อใช้ในการบันทึกและเก็บข้อมูล

ให้ถ่ายสำเนาภาพวาดแบบร่างต่างๆ (Sketches) ที่ได้จากการตรวจสอบครั้งก่อนฯ ซึ่งจะระบุการชำรุดเสียหายไว้แล้ว และเราสามารถทำบันทึกเพิ่มเติมได้อย่างง่ายดาย และก็ควรจะเตรียมแบบฟอร์มเพื่อเหลือเฟือขาดได้ด้วย เพราะแบบฟอร์มอาจจะชำรุดหรือสูญหายได้

ถ้าหากว่าไม่มีภาพวาดแบบร่างต่างๆ มา ก่อน ก็อาจเตรียมจัดทำขึ้นมาใหม่ได้สำหรับใช้กับชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบที่มีรูปร่างเหมือนกัน สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะช่วยให้สามารถประยุกต์เวลาในการตรวจสอบส่วนต่างๆ ของสะพานไม่ว่าจะเป็นส่วนพื้นสะพาน ระบบพื้น ตัวยึดรั้ง Abutments Piers และกำแพงกันดิน

4.3.5 การควบคุมจราจร (Traffic Control)

การตรวจสอบก็เหมือนการก่อสร้างและการซ่อมบำรุงสะพาน ซึ่งทำให้เกิดสถานการณ์ที่ไม่คาดคิดต่อผู้ขับขี่ ยานพาหนะเสมอ เมื่อต้องมีการทำางานซึ่งอยู่ใกล้กับการสัญจรไปมา ผู้ตรวจสอบสะพานควรจะต้องยึดมั่นในกฎข้อปฏิบัติต่างๆ ซึ่งจะมีความรวดเร็วในการอธิบาย การใช้อุปกรณ์การควบคุมการจราจรต่างๆ เช่น ราย ป้ายสัญญาณต่างๆ และป้ายไฟลูกศรภาระพิริบ

หลักการและกระบวนการจราจรต่างๆ ที่จะเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในบริเวณการปฏิบัติงานแก่ผู้ขับขี่ยานพาหนะ และผู้ตรวจสอบสะพาน ได้รวมทั้งข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ให้ถือหลักความปลอดภัยในการจราจรเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุดในการตรวจสอบสะพานทุกๆ ครั้ง ของทุกๆ สะพาน ซึ่งการปฏิบัติงานของคณะผู้ตรวจสอบจะมีผลกระทบต่อการจราจร
- ควรจะจัดให้มีการกำหนดเส้นทางการจราจรให้ชัดเจนรวมถึงการจัดอุปกรณ์ควบคุมการจราจร โดยเปรียบเทียบจากสถานการณ์อื่นๆ บนทางหลวง
- ควรจะให้มีการกีดขวางการจราจรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ควรจะมีการแจ้งเตือนและการซื้อขายที่ชัดเจนและถูกต้อง แก่ผู้ที่กำลังขับขี่ยานพาหนะเข้าใกล้บริเวณการตรวจสอบสะพาน และให้เป็นเงินนั้นไปตลอดการปฏิบัติงาน
- สำหรับการตรวจสอบสะพานที่ต้องใช้เวลานาน ก็ควรจะจัดให้มีการตรวจสอบระบบการควบคุมระบบการจราจรด้วย
- ผู้ที่รับผิดชอบการปฏิบัติการควบคุมการจราจร ทุกคนควรจะต้องได้รับการฝึกฝนมาอย่างเพียงพอ

นอกจากนี้แล้ว อาจจะต้องมีการปรับปรุงตารางเวลาเพิ่มให้สอดคล้องกับความต้องการของการควบคุมจราจร ยกตัวอย่างเช่น จำนวนช่องจราจร ที่จำเป็นจะต้องปิดในแต่ละครั้งเพื่อดำเนินการตรวจสอบสะพาน ซึ่งอาจไม่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในขณะที่ จะเป็นการได้ประสิทธิภาพสูงสุดถ้าทำการตรวจสอบระบบพื้นฐานจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา การควบคุมการจราจรอาจเป็นตัวกำหนดการทำงานตลอดช่วงความยาวรวมถึงคันหลาบฯ ตัวในขณะเดียวกัน



4.3.6 ข้อคำนึงเป็นพิเศษต่างๆ

ความต้องการด้านเวลา : รายงานการตรวจสอบหรือแฟ้มบันทึกข้อมูลของสะพาน ควรจะระบุระยะเวลาที่ต้องการสำหรับการตรวจสอบสะพาน ซึ่งจะแยกย่อยออกเป็นเวลาสำหรับการเตรียมงานในสำนักงาน เวลาสำหรับเดินทาง เวลาที่ใช้ในการสนับสนุน และเวลาสำหรับการเตรียมทำรายงาน

ช่วงเวลาเร่งด่วน : ในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น การกำหนดการจำกัดการจราจร จะต้องคำนึงถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนของแต่ละวันด้วย เช่นอาจจะทำได้ในช่วง 10.00 น. ถึง 14.00 น. และอาจต้องห้ามปฏิบัติการตรวจสอบในบางวัน ในสถานการณ์ดังกล่าวเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบจริงๆ อาจจะนานอยกว่า 40 ชั่วโมง ต่อ 1 สัปดาห์ การทำงาน และควรจะป้องตารางเวลาให้เข้ากัน

เวลาที่ใช้เพื่อติดตั้งและเก็บอุปกรณ์ : จะต้องจัดวางไว้เพื่อการเตรียมคุปกรณ์นี้ ทั้งก่อนและหลังการตรวจสอบสะพาน เช่น อุปกรณ์สำหรับโยงยึด (Rigging) จะใช้เวลาเตรียม hely วันก่อนที่ผู้ทำการตรวจสอบจะมาถึงสถานที่ทำการตรวจสอบ อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องเพิ่มความดัน (Compressors) และอุปกรณ์ทำความสะอาดต้องใช้เวลาเตรียมเพื่อเตรียมการทุกๆ วัน สรุปได้ว่าต้องมีการจัดสรรเวลาสำหรับเตรียมติดตั้งและเก็บอุปกรณ์อย่างเพียงพอ

ช่องทางเข้า–ออก (Access) : การเตรียมการเพื่อการตรวจสอบจะต้องคำนึงถึงการเตรียมช่องทางเข้า–ออกด้วยแม้ว่าแต่ละสะพานจะมีความคล้ายกัน แต่ก็จะใช้เวลาในการเข้า–ออกเพื่อตรวจสอบไม่เท่ากัน เช่น อาจจะต้องใช้เวลานานในการยกเครื่องมือเพื่อเข้าไปสู่ระบบพื้นที่อยู่ใกล้ระบบสาธารณูปการ (Utility Lines) ในสะพานหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสะพานหนึ่งที่ไม่มีลิฟต์กีดขวางใดๆ ในสะพานบางแห่งอาจต้องทำการเปิดเครื่องกันต่างๆ เพื่อที่จะเข้าไปในบางส่วน บางบริเวณของสะพาน

สภาพโดยรวม : สภาพโดยรวมของสะพาน จะเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินว่า การตรวจสอบสะพานจะใช้เวลานานเท่าใด รายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ จะเป็นสิ่งที่บอกถึงสภาพโดยรวมของสะพานด้วย การตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีการชำรุดเสียหาย (เช่นการวัดขนาด การวัดแบบร่าง และการถ่ายภาพ) จะใช้เวลามากกว่า การตรวจชิ้นส่วนที่ดูแล้วเห็นว่ายังอยู่ในสภาพดี

ภัยอากาศ : สภาพภัยอากาศที่ผันผวน อาจจะไม่ใช่สิ่งที่หยุดการตรวจสอบได้ทั้งหมด แต่ก็มีส่วนสำคัญในกระบวนการตรวจสอบสะพาน ในระหว่างที่สภาพภัยอากาศมีความผันผวนนี้ ควรจะหลีกเลี่ยงการปีนป่ายต่างๆ จะต้องมีความระมัดระวังเพื่อความปลอดภัยให้เพิ่มขึ้น และอาจเป็นเรื่องยากที่จะเก็บรักษาบันทึกต่างๆ ให้แห้งดี ในช่วงฤดูที่มีสภาพภัยอากาศไม่ดี ควรจัดตารางเวลาให้เข้มงวดขึ้นกว่าช่วงฤดูที่มีภัยอากาศดี

ใบอนุญาต : เมื่อทำการตรวจสอบสะพานที่เป็นทางรถไฟ หรือเป็นสะพานข้ามเส้นทางสัญจรา้งน้ำ ควรจะต้องดำเนินการขอใบอนุญาตเข้าตรวจสอบให้เรียบร้อยก่อนที่จะทำการตรวจสอบภาคสนาม

4.3.7 การเตรียมตัวเพิ่มเติม

การเตรียมตัวเพิ่มเติมสำหรับการตรวจสอบสะพาน จะรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

- การจัดการอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ
- การเตรียมการสำหรับวิธีการเข้า-ออก เพื่อตรวจสอบสะพาน
- การรายงาน กระบวนการเพื่อความปลอดภัย

4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบ

ขั้นตอนและกระบวนการในการตรวจสอบสะพานโดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับประเภทของสะพาน วัสดุที่ใช้สร้างสะพาน และสภาพโดยทั่วไปของสะพาน เพราะฉะนั้นผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องมีความคุ้นเคยกับขั้นตอนพื้นฐานสำหรับสะพาน หลากหลายรูปแบบ

ขั้นตอนแรกในกระบวนการตรวจสอบ คือ การกำหนดทิศทางและแนวทางตัวสะพานและที่ตั้งของสะพาน การกำหนดทิศทางนั้นควรต้องรวมถึงทิศทางตามเข็มทิศ ทิศทางการไหลของสายน้ำและทิศทางของเส้นทางที่มีอยู่ ควรจะต้อง เขียนตัวเลขหรือตัวอักษรลงบนสะพานเพื่อเป็นการระบุชื่อส่วนและองค์ประกอบต่างๆ ของโครงสร้างสะพาน จุดประสงค์ ของการทำเครื่องหมายเหล่านี้ก็คือ เพื่อช่วยรักษาตำแหน่งที่ตั้งของผู้ตรวจสอบและยังช่วยป้องกันการหลงลืมที่จะ ตรวจสอบส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้างสะพาน

หลังจากที่ได้กำหนดแนวและทิศทางเรียบร้อยแล้ว ผู้ตรวจสอบก็พร้อมที่จะเริ่มทำการตรวจสอบ ผู้ ตรวจสอบจะต้องมีความระมัดระวังและให้ความตั้งใจแก่งานในมือของตน และไม่ควรละเลยส่วนใดๆ ก็ตามของสะพาน เพราะส่วนต่างๆ ของสะพานที่มีความสำคัญต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างสะพาน จะต้องได้รับการดูแลอย่างดีเป็นพิเศษ

ในการตรวจสอบ จะต้องมีการประสานที่ดีระหว่างความรับชอบและการเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ การสังเกตการณ์ ต้องเป็นไปอย่างระมัดระวังและตั้งใจ ร่องรอยชำรุดทุกๆ อย่าง ต้องได้รับการบันทึกไว้ การตรวจสอบที่ระมัดระวัง มีค่าเท่า กับการเก็บข้อมูลที่บันทึกได้ระหว่างการตรวจสอบ

4.4.1 แนวทางพื้นฐานของการตรวจสอบ

ส่วนพื้นสะพาน (Deck) : ผู้ตรวจสอบสะพาน ควรจะตรวจพื้นทั้งช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach) ว่ามีความไม่เรียบ (Unevenness) การทรุดตัว (Settlement) หรือความขุ่นขรุ (Roughness) หรือไม่ และต้องตรวจสอบสภาพของ ไหล่ทาง (Shoulder) เชิงลาด (Slope) การระบายน้ำ (Drainage) และวางกันตกก่อนขึ้นสะพาน (Approach Guardrail) ด้วยเช่นกัน

ส่วนพื้นสะพานและทางเท้านั้น ก็ต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อหาร่องรอยชำรุดต่างๆ โดยต้องบันทึกขนาด ประเภท ขอบเขต และตำแหน่งของร่องรอยชำรุดต่างๆ โดยตำแหน่งของรอยชำรุดนี้ควรจะต้องมีการจัดอิงโดยใช้เส้น ศูนย์กลาง (Center Line) หรือเส้นขอบถนน (Curb Line) หมายเลขช่วงสะพาน และระยะจากหมายเลขของตอนก่อนหรือรอง ต่อ

ให้ตรวจสอบ Expansion Joint ว่ามีระยะห่างที่เหมาะสมและมีการ Seal ที่เพียงพอ โดยให้บันทึกความกว้างของ Joint ที่เบ็ดอยู่ที่เส้นขอบทางทั้งสอง โดยบันทึกค่าอุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศทั่วๆ ไป ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจสอบ



สุดท้าย ให้ตรวจสอบสิ่งต่างๆ ที่ช่วยให้เกิดความปลอดภัย ป้ายสัญลักษณ์ต่างๆ และระบบไฟส่องสว่างที่มีอยู่ และให้ระบุสภาพของสิ่งต่างๆ ดังกล่าว

Superstructures : จะต้องทำการตรวจสอบ Superstructures อย่างละเอียดและทั่วถึง เพราะว่าถ้าองค์ประกอบหลักได้พังลง ก็อาจจะเป็นสาเหตุให้สะพานพังทลายลงมาได้ รูปแบบโดยทั่วไปขององค์ประกอบหลักที่เป็นตัวรับน้ำหนักได้แก่

- คานต่างๆ ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ (Beams and Girders)
- คานพื้นและคานซอกย (Floor Beams and Stringers)
- โครงข้อหมุน (Trusses)
- สายเคเบิล (Catenary and Suspender Cables)
- Eyebar Chains
- คานโค้ง (Arch Ribs)
- โครงข้อแข็ง (Frames)
- Pin และ Hanger Plates

แผ่นรองสะพาน (Bearings) : ต้องได้รับการตรวจสอบอย่างถี่ถ้วน เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง ให้บันทึกความแตกต่างของการเอียง (Rocker Tilt) กับเส้นอ้างอิง (Fixed Reference Line) โดยให้บันทึกทิศทางของการเอียง ดูน郇มิ และสภาพภูมิอากาศทั่วไป ในขณะที่ตรวจสอบด้วย

โครงสร้างส่วนล่าง (Substructures) : โครงสร้างส่วนล่างเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) และจะประกอบไปด้วย ตอม่อริม (Abutments) และตอม่ออุกกลางน้ำ (Piers and Bents) ถ้ามีแบบก่อสร้างจริงอยู่ด้วย หน่วยของการวัดขนาด (Dimensions) ของโครงสร้างส่วนล่างจะต้องนำไปเปรียบเทียบกับหน่วยที่อยู่ในแบบด้วย เนื่องจากว่า วิธีการขันตันของการตรวจสอบสะพาน คือ การตรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) ฉะนั้นควรจะต้องมีการกำจัดฝุ่นละออง ใบไม้ มูลสัตว์ และเศษวัสดุต่างๆ ออกไปให้หมดเพื่อทำให้ตรวจสอบและการประเมินได้อย่างใกล้ชิด ควรตรวจว่าแต่ละหน่วยของโครงสร้างส่วนล่างมีการทรุดตัวหรือไม่ โดยการมองไปตามแนวของโครงสร้างส่วนบน และแนวตั้ง (Plumbing Vertical Faces) ในการปฏิบัติร่วมกับการตรวจสอบการกัดเซาะ (Scour) ของทางน้ำหน่วยต่างๆ ของโครงสร้างส่วนล่างจะต้องได้รับการตรวจสอบว่ามีการถูกเจาะบ้างหรือไม่ โดยให้บันทึกทั้งขนาดและตำแหน่ง

ทางน้ำ (Waterways) : ทางน้ำมีรวมชาติที่เป็นแบบ Dynamic เพราะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล (Path) และปริมาณการไหล (Volume) ตลอดเวลา ฉะนั้น สะพานที่ขอดข้ามสิ่งเหล่านี้ ต้องได้รับการตรวจสอบที่ระมัดระวัง เพื่อหาผลกระแทกจากสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปดังกล่าว

ควรจัดเก็บรักษาบันทึกข้อมูลของภาพตัดตามยาวและแนวของลำน้ำ โดยบันทึกการผันผวนของกระแสน้ำ (Meandering) ทั้งเหนือน้ำและใต้น้ำ ให้รายงานถึงความเอียง (Skew) หรือตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมของ Pier และ Abutment ด้วย

การกัดเซาะ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากๆ เมื่อต้องทำการประเมินค่าของผลกระทบจากทางน้ำต่อสะพาน ต้องมีการวัดปริมาณของการกัดเซาะที่เกิดขึ้นโดยใช้ Grid System และวัดขนาดความลึกของลำน้ำ ในแต่ละจุดของ Grid ด้วย

การพังทลายของคันดิน ต้องได้รับการบันทึก ไม่ว่าจะเป็นที่เหนือน้ำหรือใต้น้ำ เช่นเดียวกับการสะสมทับถมของเศษวัสดุด้วย โดยให้บันทึกประเภท ขนาด ขอบเขต และตำแหน่ง ของสิ่งเหล่านี้ และให้บันทึกระดับน้ำกับระดับข้างลง เช่น ที่ด้านล่างของโครงสร้างส่วนบน

4.4.2 การตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน

ผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องมีความคุ้นเคยกับคำจำกัดความต่างๆ ที่ใช้บรรยายการชำรุดเสียหายของสะพาน เช่น

- การเกิดสนิม (Corrosion–Rusting)
- รอยแตก–แยกจากกันโดยไม่หลุดจากกันเป็นชิ้นๆ (Cracking)
- การแยกตัว–แยกออกจากกันเป็นชิ้นๆ (Splitting)
- การเลื่อนของรอยต่อ–รอยต่อแยกออกจากกัน (Connection Slippage)
- รับแรงเคี้ยวมากเกินไป–การเปลี่ยนรูปร่างเนื่องมาจากการกดบริเวณ (Overstress)
- ความเสียหายจากการชน (Collision Damage)–ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากสะพานถูกชนโดยรถยนต์หรือเรือ

วัสดุแต่ละชนิดก็จะมีลักษณะความชำรุดเสียหายที่แตกต่างกันไป ฉะนั้น ผู้ตรวจสอบสะพานต้องมีความคุ้นเคยกับขั้นตอนการตรวจสอบที่หลากหลายรูปแบบกับวัสดุแต่ละชนิด

การตรวจสอบคอนกรีต : ให้บันทึกข้อมูลของรอยแตกทุกรอยที่สามารถมองเห็นได้ โดยให้บันทึกถึงชนิดรอยแตก ขนาด ความยาว และตำแหน่งที่ตั้งของรอยแตกนั้นๆ รวมทั้งให้บันทึกถึงการเกิดเกล็ดสนิม (Rust) และการเกิดขี้เกลือ (Efflorescence) ด้วยเข่นกัน อาจมีการหลุดแห้งของคอนกรีตที่ผิวของคอนกรีตทั่วๆ ไปได้ ดังนั้นควรจะต้องบันทึกพื้นที่ของการหลุดแห้ง ตำแหน่ง ความลึก และลักษณะทั่วๆ ไปไว้ด้วย ให้ตรวจสอบผิวของคอนกรีตว่ามีการเลื่อนหลุดหรือเป็นรูกลวงหรือไม่ ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้ค้อน สำหรับการเลื่อนหลุด (Delamination) ของคอนกรีตนั้น จะต้องบันทึกข้อมูลอย่างครุบถ้วน โดยใช้ภาพ Sketch เพื่อแสดงตำแหน่งและขนาดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนการหลุดล่อนของคอนกรีต (Spalling) นั้น จะไม่เหมือนกับการเลื่อนหลุด เพราะเราสามารถมองเห็นการหลุดล่อนได้ทันที ควรจะต้องบันทึกการหลุดล่อนโดยใช้ภาพวาด (Sketches) ซึ่งต้องระบุความลึกของการหลุดล่อน ระบุว่ามีเหล็กเสริมในลักษณะใด รวมถึงให้ระบุว่าเหล็กเสริมนั้นมีการชำรุดหรือสูญเสียหน้าตัด (Section Loss) หรือไม่

การตรวจสอบเหล็ก : เมื่อตรวจสอบโครงสร้างเหล็ก ให้ตรวจสอบว่า มีการเกิดสนิมมากน้อยแค่ไหนและอุ่นแรงเพียงใด และให้วัดปริมาณการสูญเสียหน้าตัดของเหล็กเสริม ให้บันทึกโดยแตกทุกรอย โดยให้วัดความยาว ขนาด และ



ตำแหน่งของรอยแตก องค์ประกอบที่โคงอยหรือชำรุดเสียหาย ต้องถูกบันทึกไว้ โดยให้ระบุประเภทของความเสียหาย และปริมาณการแเปลี่ยนตัว (Deflection)

ให้ตรวจสอบว่า มีการหลุมของหมุดย้ำและสลักเกลียวต่างๆ หรือไม่ ซึ่งจะทำได้โดยใช้ค้อนเคาะที่ด้านหนึ่งแล้วให้หัวแม่เมื่อจับอีกด้านหนึ่งของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำนั้น ถ้ามีการหลุม ก็ย่อมที่จะรู้สึกได้ว่ามีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น หากมีการสูญหายของหมุดย้ำหรือสลักเกลียว ก็ให้ทำการบันทึกไว้ด้วยเช่นกัน

4.5 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.5.1 เครื่องมือมาตรฐาน

ในการที่จะให้การตรวจสอบมีความถูกต้องและครอบคลุมรายละเอียดได้ ครบถ้วนนั้น จะต้องใช้เครื่องมืออย่างเหมาะสม เช่น เครื่องมือที่ได้มาตรฐาน ซึ่งผู้ตรวจสอบควรใช้ในการตรวจสอบความสามารถแปลงออกได้เป็น 6 กลุ่ม ทั่วๆ ไป คือ

- เครื่องมือสำหรับทำความสะอาด (ดูรูปที่ 4-3)
- เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบ (ดูรูปที่ 4-4)
- เครื่องมือสำหรับช่วยในการสังเกตด้วยตาเปล่า (ดูรูปที่ 4-5)
- เครื่องมือสำหรับการวัดขนาด (ดูรูปที่ 4-6)
- เครื่องมือสำหรับการจัดทำเอกสาร
- เครื่องมืออื่นๆ



รูปที่ 4-3 เครื่องมือสำหรับทำความสะอาด



รูปที่ 4-4 เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบ



รูปที่ 4-5 เครื่องมือสำหรับช่วยในการสังเกตด้วยตาเปล่า

เครื่องมือสำหรับทำความสะอาด ควรประกอบไปด้วยลิ่งต่อไปนี้

- ไม้กวาด (Wisk Broom) - ใช้กวาดเศษวัสดุต่างๆ (Debris) และฝุ่นผง (Dirt)
- แปรงลวด (Wire Brush) - ใช้วัดชิ้นส่วนที่เป็นโลหะเพื่อกำจัดเกล็ดสนิมและลิ่งที่หลุดลอก
- เครื่องมือลอก (Scrapper) - ใช้ลอกสนิมหรือส่วนที่ปูดออกมาจากชิ้นส่วนต่างๆ
- ไขควงปากแบน (Flat Bladed Screwdriver) - ใช้ทำความสะอาดและตรวจทั่วๆ ไป
- พลัว (Shovel) - ใช้ดักเศษดินและเศษวัสดุต่างๆ (Debris) ในบริเวณพื้นที่ของแผ่นรองสะพาน (Bearings)



รูปที่ 4-6 เครื่องมือสำหรับการวัดขนาด

เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบ ควรประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

- มีดพก – ใช้งานทั่วไป
- ค้อนด้ามยา - ใช้ทุบเศษดินและสนิมที่เกาอยู่ ใช้เคาะฟังเสียงเนื้อคอนกรีต และยังใช้เคาะเพื่อตรวจสอบว่าตัวยึด (Fasteners) มีการหลวนหรือถูกดึง บ้างหรือไม่
- ลูกดิ้ง - ใช้ตรวจสอบแนวตั้งของโครงสร้างส่วนบนหรือโครงสร้างส่วนล่าง
- เจ็มขัดเครื่องมือชนิดที่มีกระเบ้าเล็กๆ – จะมีความสะดวกในการถือและลำเลียงเครื่องมือขนาดเล็ก

เครื่องมือสำหรับช่วยในการสังเกตด้วยตาเปล่า ควรจะประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

- กล้องส่องทางไกล – ใช้สังเกตภารณ์พื้นที่ก่อนเข้าทำการตรวจสอบ
- ไฟฉาย – ใช้ส่องเมื่อต้องการตรวจสอบในที่มืด
- แวนขยาย (ขยาย 5 เท่า ถึง 10 เท่า) - ใช้ตรวจสอบแตกและพื้นที่ที่อาจมีการแตก
- กระจก – ใช้ตรวจในบริเวณที่ไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบได้ (เช่น ช่องใต้รอยต่อของพื้นสะพาน)
- ลีซ้อม – ใช้ในการระบุรอยแตกและความไม่เรียบของรอยแตก

เครื่องมือสำหรับวัดขนาด ควรประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

- เทปวัดขนาดเล็ก (ยาว 6 ฟุต) – ใช้วัดขนาดรอยชำรุดต่างๆ และใช้วัดขนาดของชิ้นส่วนและรอยต่อต่างๆ
- เทป 100 ฟุต – ใช้วัดขนาดขององค์ประกอบ (Components) ต่างๆ
- ก้ามวัด (Calipers) – ใช้วัดความหนาของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งอยู่ห่างจากขอบที่มองเห็นได้

- ເຄື່ອງມືອວດຮອຍແຕກ (Optical Crack Gauge) – ໃຊ້ວັດຄວາມກ້າງຂອງຮອຍແຕກ ອຳຍ່າງແມ່ນຍຳ
- ເຄື່ອງມືອວດຄວາມໜາຂອງຫັ້ນສີ (Paint film Gauge) – ໃຊ້ວັດຄວາມໜາຂອງຫັ້ນສີທີ່ທາຫັບໄດ້
- ເຄື່ອງມືອວດຄວາມເຄີຍແລະເຄື່ອງມືວັດນຸມ (Tilt Meter and Protractor) - ໃຊ້ວັດຄວາມເຄີຍ (Tilling) ຂອງໂຄຮງສ້າງສ່ວນລ່າງແລະວັດນຸມການເຄີຍຂອງແຜ່ນຮອງສະພານ (Bearing Till)
- ເຄື່ອງວັດອຸນຫຼຸມ (Thermometer) – ໃຊ້ວັດອຸນຫຼຸມຂອງສກາພແວດລື້ອມຂອນນັ້ນແລະວັດອຸນຫຼຸມຂອງໂຄຮງສ້າງສ່ວນບນ
- ເຄື່ອງວັດຮັບຕັບ (Carpenter's Level) – ໃຊ້ວັດຄວາມໜັນຂອງພື້ນສະພານແລະວັດການທຽດຕົວຂອງພື້ນທາງ

ເຄື່ອງມືສໍາຫຼັບຈັດທຳເອກສາຣ ຄວປະກອບໄປດ້າຍສິ່ງຕ່ອໄປນີ້

- ແບບຝອຮົມການຕຽບສອບ ກະວະດານຮອງແລະດິນສອ – ໃຊ້ໃນການບັນທຶກຂໍ້ມູນຂອງສະພານ
- ສຸມຸດສະນາມ – ໃຊ້ບັນທຶກຂໍ້ມູນເພີ່ມເຕີມ ຈາກໂຄຮງສ້າງທີ່ມີຄວາມຫັບຂໍອນກວ່າປັກຕິ
- ໄນປວຫັດ – ໃຊ້ວັດຈຸບັນທີ່ຕ້ອງການຄວາມປະຄົມນີ້
- ກລັ້ອງດ່າຍຈູປ – ໃຊ້ດ່າຍຈູປເພື່ອຈັດທຳກາພປະກອບຮາຍງານເພື່ອແສດງທີ່ຕັ້ງແລະສກາພຂອງສະພານ
- ກລັ້ອງໂພລາຮອຍດີ – ໃຊ້ດ່າຍຈູປເພື່ອຈັດທຳເອກສາຣໂດຍຫັນທີ່ ໃນການນີ້ມີສກາພເສີຍຫາຍຈຸນແຮງແລະທີ່ອງກາວໃຫ້ເຈົ້າໜ້າທີ່ຕຽບສອບໃນຫັນທີ່
- ຂອລົດ ແລະປາກກາທຳເຄື່ອງໝາຍ – ໃຊ້ເຢີນຫຼື້ອໜ້າທຳເຄື່ອງໝາຍບັນຫຼິນສ່ວນຕ່າງໆ ລົມລຶງຮອຍໝໍາຊຸດຕ່າງໆ ເພື່ອຊ່ວຍໃນການທຳມາດຕ້ານການຈັດການແລະການຈັດທຳງົບແບບຕ່າງໆ
- ເຄື່ອງຈາະຈູ – ໃຊ້ທຳເຄື່ອງໝາຍບັນຫຼິນສ່ວນທີ່ເປັນແລັກ ເພື່ອການຈັດທຳເອກສາຣເກີ່ວກບກາຣເຄລື່ອນທີ່ ເຊັ່ນກາຣເຄີຍຂອງແຜ່ນຮອງສະພານ (Bearing Tilt) ແລະກາເປີດຂອງຮອຍຕ່ອ (Joint Openings)
- ຕະປູ “P – K” – ຕະປູສໍາວັດຂອງ Parker Kalon ຈະຄູກໃຊ້ໃນການກຳຫັດຈຸດຂໍ້ອົງທຶນທີ່ຈະເປັນເພື່ອການຈັດທຳເອກສາຣເກີ່ວກບກາຣເຄລື່ອນທີ່ຂອງໂຄຮງສ້າງສ່ວນລ່າງແລະຮອຍແຕກຂາດໃໝ່

ອຸປະກຣນີ້ຫ້ວ່າ ໄປ (ເບົດເຕັດດີ) ຄວປະກອບໄປດ້າຍສິ່ງຕ່ອໄປນີ້

- ຄົມຈູປຕົວ “C” – ໃຊ້ເນື່ອຕ້ອງວັດຂາດທີ່ທຳດ້ວຍຄວາມຍາກລຳບາກ
- ນໍ້ມັນໜ່ລ່ອລື່ນ – ໃຊ້ຊ່ວຍໃນກາຣຄລາຍໝູນຍື່ດ, ສລັກເກລີຍວ ຕ່າງໆ
- ນໍ້ຍາປຶ້ອງກັນແມລັງ – ໃຊ້ທາປຶ້ອງກັນຢູ່ ຮ ແລະ ຕ້ານໜັດຕ່າງໆ
- ຍາກຳຕົວຕ່ອແລະແຕນ – ໃຊ້ກຳຈັດຮັງຂອງຕົວຕ່ອແລະແຕນ ເພື່ອທີ່ຈະສາມາດເຫັນໄປຕຽບສອບໄດ້
- ຈຸດປູ້ມພຍາບາດ – ໃຊ້ຮັກຫາແພລຂາດເລັກ, ກາຣຄູກງົກດ ແລະຜິ້ງຕ່ອຍ
- ກະວະດາຍໝໍາວະ – ໃຊ້ໃນການເຊີ້ນຕ່າງໆ



4.5.2 อุปกรณ์พิเศษ

ในการตรวจสอบตามปกตินั้น ไม่มีความจำเป็นที่จะใช้อุปกรณ์พิเศษแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องทำการตรวจสอบโครงสร้างบางชนิดเป็นพิเศษจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษสำหรับการตรวจสอบ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องมีความคุ้นเคยกับการใช้อุปกรณ์พิเศษต่างๆ

อุปกรณ์การสำรวจ (Survey Equipment) : ในบางสถานการณ์ อาจมีความจำเป็นที่จะต้องใช้กล้องสำรวจ (Transit) เครื่องวัดระดับ (Level) หรือเครื่องมือสำรวจอื่นๆ การใช้เครื่องมือเหล่านี้จะทำให้กำหนดตำแหน่งที่ตั้งขององค์ประกอบต่างๆ ได้อย่างแม่นยำโดยสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่นๆ เช่นเดียวกับการกำหนดจุดข้างอิง

อุปกรณ์การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing Equipment) : การใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing-NDT) เป็นวิธีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงสร้างโดยไม่มีการทำให้เสียหาย อุปกรณ์ NDT จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถเห็นถึงสภาพภายในของชิ้นส่วนของสะพาน และประเมินการชำรุดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ โดยทั่วไปแล้ว จะต้องใช้ช่างฝีมือที่ต้องผ่านการฝึกหัดมาเป็นอย่างดี ในการทำการทดสอบแบบ NDT และแปลงความหมายของผลการตรวจสอบ

อุปกรณ์การตรวจสอบใต้น้ำ : การตรวจสอบใต้น้ำจะเป็นการตรวจสอบหน่วยต่างๆ ของโครงสร้างส่วนล่างและส่วนล้ำน้ำได้ผ่านน้ำ ถ้าล้ำน้ำน้ำตื้น ก็สามารถทำการตรวจสอบเหนือน้ำได้ โดยการใช้เหล็กเสริม หรือกิ่งไม้

ถ้าล้ำน้ำน้ำลึก การตรวจสอบใต้น้ำจะต้องทำโดยใช้นักดำน้ำที่ชำนาญ ก็จะต้องใช้อุปกรณ์การดำน้ำซึ่งจะรวมถึงแท่นรอง (Platform) เครื่องหยั่งความลึก (Fathometer) เวดาร์ ระบบการเติมอากาศ วิทยุติดต่อ และอุปกรณ์ฟังเสียง

อุปกรณ์อื่นๆ : อาจมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆ เพื่อเตรียมสะพาน ก่อนที่จะทำการตรวจสอบ อุปกรณ์ดังกล่าวจะรวมถึง

- เครื่องเป่าลม เครื่องฉีดน้ำ – ใช้ในการฉีดล้างเศษดิน เศษวัสดุออกจากพื้นผิwtต่างๆ
- อุปกรณ์ทำความสะอาดผิว – เช่น กระดาษทราย จะใช้ในการทำความสะอาดผิวเหล็กหรือโลหะต่างๆ
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการเผา (Burning) เจาะ (Drilling) หรือบด (Grinding)

4.6 วิธีการเข้าตรวจสอบ

การเข้าไปสำรวจสะพานในบริเวณที่เข้าถึงได้ยากนั้น จะมีอยู่ 2 วิธีการ คือ การใช้อุปกรณ์ช่วยให้เข้าไปได้กับการใช้พาหนะช่วยในการเข้าพื้นที่ตรวจสอบ อุปกรณ์ที่ใช้ทั่วไปนั้นได้แก่ บันได ทางเดินยิงยีด (Rigging) และการใช้นั่งร้าน สวนพาหนะที่ใช้ทั่วไปได้แก่ รถยกคน (Manlift) รถกระเข้ารถรอมดา (Bucket Truck) และรถกระเข้าพิเศษ (Snoopers) ส่วนใหญ่แล้วการใช้รถยก หรือ รถกระเข้ารถรอมดา (Bucket Truck) จะใช้เวลาในการตรวจสอบสะพานน้อยกว่าการใช้บันได หรือ ทางเดินยิงยีด (Rigging) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวก็จะมีค่าใช้จ่ายมากกว่า

4.6.1 อุปกรณ์ช่วยในการเข้าไปตรวจสอบ

จุดประสงค์ในการใช้อุปกรณ์ คือ เพื่อช่วยให้ผู้ทำการตรวจสอบเข้าไปอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดที่ตั้งขององค์ประกอบของสะพาน จนสามารถทำการตรวจสอบได้อย่างใกล้ชิดและสม่ำเสมอ อุปกรณ์ต่อไปนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

บันได (Ladders) : เราสามารถใช้บันไดเพื่อช่วยให้สามารถเข้าไปตรวจด้านล่างของสะพานเพื่อตรวจสอบหน่วยต่างๆ ของโครงสร้างส่วนล่างได้ แต่ก็ควรจะใช้เฉพาะในส่วนที่ใช้บันไดໄว้อย่างสะดวกเท่านั้น กล่าวคือ บันไดจะต้องไม่มีเอนเอียงเกินไป

ทางเดินยิงยีด (Rigging) : จะประกอบไปด้วยสายเคเบิลและแผ่นพื้น (Cables and Platforms) จะใช้ Rigging ใน การเข้าไปในพื้นที่ด้านในได้แผ่นพื้นและองค์อาคารหลักที่รับน้ำหนัก โดยจะใช้ทางเดินยิงยีด (Rigging) เมื่อไม่สามารถเข้าไปในพื้นที่นั้นโดยวิธีอื่นได้ หรือว่าเมื่อมีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบเป็นพิเศษ เช่น การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) หรือการเคลื่อนย้ายหมุด ส่วนใหญ่จะใช้ทางเดินยิงยีด (Rigging) เมื่อต้องการอยู่เหนือผิวน้ำ เนื่องจากน้ำจะทำลายไฟฟ้าที่มีอยู่ในทางเดินยิงยีด หรือหากสะพานที่มีความสูงเกินกว่า 12 เมตร (40 ฟุต)

นั่งร้าน (Scaffolds) : โดยทั่วไปแล้ว การใช้นั่งร้านจะปรับเปลี่ยนได้ง่ายกว่าการใช้ทางเดินยิงยีด (Rigging) และการใช้นั่งร้านเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้มองทางที่เข้าไปสำรวจได้อย่างเพียงพอ สำหรับโครงสร้างที่สูงไม่เกิน 12 เมตร (40 ฟุต) และมีปริมาณการจราจรที่น้อยมากหรือไม่มีเลย

การใช้เรือ (Boats or Barges) : อาจจะมีความจำเป็นต้องใช้เรือเมื่อต้องทำการตรวจสอบโครงสร้างที่อยู่เหนือน้ำ เรือเล็ก (Boat) จะใช้เมื่อทำการตรวจสอบบางอย่างหรือทำการถ่ายรูป ส่วนเรือขนาดใหญ่ (Barges) นั้นจะใช้เป็นฐานรองรับ (Platform) เมื่อทำการตรวจสอบได้น้ำ

เครื่องมือช่วยปีน (Climbers) : เครื่องมือนี้เป็นฐานรองรับเคลื่อนที่ (Mobile Platforms) ที่ปีนไปตามสายเคเบิล เหล็ก (Steel Cables) มีความเหมาะสมมากในการใช้ช่วยการตรวจสอบ Pier ที่มีความสูงมาก หรือ ด้านข้างของ Member ที่มีความยาวมากๆ เครื่องมืออาจถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “แมงมุม” (Spiders)

แพ (Floats) : ตัวแพนี้อาจจะเป็นแผ่นไม้ที่ใช้เชือกแขวนอยู่ จะใช้เมื่อผู้ตรวจสอบต้องการเข้าไปตรวจสอบในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเป็นเวลาค่อนข้างนาน

เก้าอี้ Bosun (or Boatswain) : เก้าอี้นี้จะถูกแขวนไว้ด้วยเชือกและจะรองรับผู้ตรวจสอบได้ครั้งละ 1 คน เท่านั้น เจ้าสามารถยกกระดับหรือลดระดับของอุปกรณ์นี้ได้ตามความต้องการ



การปีน (Climbing) : สำหรับโครงสร้างบางชนิด ถ้าวิธีการเข้าไปตรวจสอบต่างๆ ที่กล่าวมาไม่สามารถนำมาใช้ได้ ผู้ทำการตรวจสอบก็จำเป็นที่จะต้องปีนไปตามส่วนต่างๆ ของสะพาน แต่ก็ต้องพึงรำลึกถึงและอยู่ภายใต้กฎแห่งความปลอดภัยเสมอ วิธีการปีนมีอยู่ 2 แบบ คือ การปีนแบบอิสระ และการปีนแบบไม่อิสระนั้นจะต้องมีการใช้อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย และใช้วิธีการอย่างถูกต้องทางเทคนิค

4.6.2 พานะช่วยในการเข้าไปตรวจสอบ (Access vehicles)

จะมีพาหนะอยู่หลายแบบที่ช่วยให้การตรวจสอบสามารถเข้าไปตรวจสอบสะพานได้ มีตัวอย่างทั่วๆ ไปดังต่อไปนี้

รถยก : เป็นรถที่มีแท่นยืนหรือกระเช้าที่สามารถลำเลียงเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ เพิ่มมากขึ้น กระเช้าจะติดอยู่ที่ปลายแขนไฮดรอลิกของรถ ผู้ตรวจสอบจะเป็นผู้ขึ้นด้วยโดยใช้แรงควบคุมที่อยู่ในกระเช้า แต่รถยกชนิดนี้จะไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้บนทางหลวงพิเศษ (Highway) แต่จะเหมาะสมกับงานในพื้นที่ทั่วๆ ไปได้หลากหลาย

รถกระเช้า (Bucket Trucks) : มีลักษณะคล้ายกับรถยก แต่จะใช้งานบนทางหลวงพิเศษ (Highway) ได้ และผู้ตรวจสอบจะเป็นผู้ควบคุมกระเช้าเท่านั้น บางทีก็ต้องใช้ขาหยั่งพิเศษยื่นออกมายังโครงรถเพื่อช่วยในการทรงตัวของรถ เมื่อต้องยื่นแขนกระเช้าออกไปมากๆ รถกระเช้าบางชนิดสามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวสะพานได้ในขณะตรวจสอบสะพาน รถกระเช้าส่วนใหญ่จะมีแขนหลายท่ออน เพื่อให้สามารถยื่นแขนออกไปได้ไกลถึง 18 เมตร (60 ฟุต)

รถกระเช้าพิเศษ (Snoopers) : เป็นรถกระเช้าที่มีแขนที่ถูกออกแบบให้งอพับได้ เพื่อที่จะสามารถยื่นกระเช้าเข้าไปได้สะดวกได้ ในขณะที่ตัวรถจอดอยู่ด้านบนพื้นสะพาน และสามารถหมุนแขนไปมาได้ทำให้มีความคล่องตัวในการทำงานมาก ขาหยั่งที่มีลักษณะ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ในขณะทำงาน แขนท่อนที่สามารถยืดออกและหดเข้าได้ ทำให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ทำงานได้มากขึ้นไปอีก

4.7 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

ความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในการปฏิบัติงานการตรวจสอบภาคสนาม ทั้งนี้ เพื่อผลงานที่มีประสิทธิภาพและตรงตามกำหนดเวลา การตรวจสอบสะพานเป็นงานที่มีอันตรายแฝงอยู่ เพราะฉะนั้น จะต้องทำให้ผู้ที่ร่วมทำการตรวจสอบทุกคน มีความระมัดระวังอย่างถ่อมตัว ไม่ว่าจะเป็นทัศนคติ ความตื่นเต้น และความมั่นคง ทั้ง 3 อย่างนี้ ล้วนแต่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัย

4.7.1 การระวังรักษาความปลอดภัยทั่วๆ ไป

เหตุผล : เนื่องจากอุบัติเหตุจะเป็นตัวก่อให้เกิดความเจ็บปวด ทุกข์ทรมาน และความลำบากแก่ครอบครัว ทั้งยังทำให้สิ้นค่าใช้จ่าย สำหรับเครื่องมือ การสูญเสียผลผลิต และค่ารักษาพยาบาล การตั้งใจปฏิบัติเพื่อทำให้เกิดความปลอดภัย จะเป็นส่วนช่วยให้ลดค่าใช้จ่าย ที่ไม่จำเป็นลงได้

พื้นฐานความปลอดภัย : สิ่งสำคัญที่สุดในการพิจารณาสำหรับการตรวจสอบสะพานอย่างปลอดภัย ก็คือ ความตระหนักรู้ของผู้ตรวจสอบในการที่จะสร้างให้สภาพการทำงานมีความปลอดภัย การปฏิบัติงานที่ดีที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานนั้น ประกอบไปด้วย

- พากผ่อนเพียงพอและมีความตื่นตัว
- รักษางานร่างกาย
- ใช้เครื่องมือที่เหมาะสม
- รักษาพื้นที่ปฏิบัติงานให้สะอาดเรียบร้อย
- ทำงานอย่างเป็นระบบ และเกี่ยวเนื่องกัน
- ปฏิบัติตามกฎและระเบียบแห่งความปลอดภัย ทั้งตามกฎหมายและของหน่วยปฏิบัติงาน
- มีสามัญสำนึกรักษาความปลอดภัย
- ให้หลีกเลี่ยงสิ่งมีคมและสิ่งเสพติดทุกชนิด

ความรับผิดชอบเพื่อความปลอดภัย : ผู้ที่มีอำนาจจะเป็นผู้รับผิดชอบในการเตรียมการเพื่อความปลอดภัยในขณะทำงานดังนี้

- แจ้งหรือประกาศให้ทราบถึงกฎข้อบังคับและแนวทางต่างๆ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัย
- จัดให้มีการฝึกเพื่อรักษาความปลอดภัย
- จัดให้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เหมาะสม

บุคคลผู้เป็นที่ปรึกษาจะเป็นผู้รับผิดชอบในการคงไว้ซึ่งความปลอดภัย ดังนี้

- การให้คำปรึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติงาน
- แนวทางในการนำขั้นตอนแห่งความปลอดภัยไปปฏิบัติ
- แนวทางในการใช้อุปกรณ์อย่างถูกต้อง
- การกำชับให้ปฏิบัติตามกฎข้อบังคับของความปลอดภัย

ผู้ตรวจสอบสะพาน จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบสูงสุดในความปลอดภัยของตัวเอง และยังรวมถึง

- การรู้จักจำกัดของสภาพร่างกายของตน
- มีความรู้เกี่ยวกับกฎและวัตถุประสงค์ของงาน
- ความปลอดภัยของเพื่อนร่วมงาน
- การรายงานอุบัติเหตุ (ภายใน 24 ชม.)



4.7.2 การป้องกันบุคลากร

สวมใส่เสื้อผ้าที่เหมาะสมกับงานตรวจสอบ : มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีขนาดที่พอดีกับผู้สามมิตร และเหมาะสมกับสภาพอากาศ ใน การปฏิบัติงานทั่วไป ของการตรวจสอบ ผู้ที่ทำการตรวจสอบ ควรจะสวมใส่รองเท้าบู๊ท ที่เป็นหนังที่มีสันขวางในการเดินป่าได้ดี เมื่อทำการปืนไปตามองค์ประกอบต่างๆ ของสะพาน ผู้ทำการตรวจสอบควรจะสวมใส่รองเท้าบู๊ทที่มีแกนเหล็ก (มีสันกันลื่นและไม่หนืด) รวมทั้งต้องใช้ถุงมือหนัง การใช้กระเบื้องมือ กช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถนำเครื่องมือและบันทึกต่างๆ ไปด้วย ในขณะที่ต้องใช้มือเพื่อการปืนหรือกำลังตรวจสอบอื่นๆ

อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยในการตรวจสอบ : ในเมื่อคุณอุปกรณ์ต่างๆ ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้น ผู้ทำการตรวจสอบต้องใช้คุณอุปกรณ์นั้น เพื่อป้องกันตนเอง อุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่

- หมวกแจ็ง – ใช้ป้องกันศีรษะ หากมีสิ่งต่างๆ ตกลงมาจากการที่สูง และยังป้องกันไม่ให้ศีรษะของผู้ตรวจสอบชนกับองค์ประกอบต่างๆ ของสะพาน
- เสื้อกั๊กสะท้อนแสง – มีความจำเป็นมากเมื่อต้องทำงานในที่ที่อยู่ใกล้จราจร
- แว่นน้ำากป้องกันดวงตา – การป้องกันดวงตามีความสำคัญมากเมื่อตรวจสอบ ต้องอยู่ในที่ซึ่งมีวัสดุต่างๆ ลอยฟุ้งไปมา แว่นสวมป้องกันสายตา ยังไม่เพียงพอเนื่องจากยังไม่มีการป้องกันด้านข้าง ควรใช้เพียงแว่นที่มีเลนส์เพียงอันเดียวเท่านั้น เมื่อต้องทำการปืน (ต้องไม่เป็นแว่นที่มีเลนส์ 2 เลนส์ - No Bifocals)
- เสื้อชูชีพ – ควรสวมเสื้อชูชีพเสมอเมื่อต้องทำการตรวจสอบเนื่องจากมีอุบัติเหตุ
- หน้ากากป้องกันฝุ่น – ช่วยป้องกันไม่ให้หายใจนำมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายเข้าไปสู่ปอด
- เครื่องฟอกอากาศ – ช่วยป้องกันไม่ให้สารอันตรายที่เจือปนอยู่ในอากาศที่เกิดจากกระบวนการระเบิดทราบ ได้และจากมูลฝอยต่างๆ
- เข็มขัดนิรภัยและเชือก – จะต้องสวมใส่เข็มขัดนิรภัยเสมอเมื่อทำงานเหนื่อยน้ำ ภาระ重任 และเมื่อทำงานในที่สูง ควรผูกเข็มขัดนิรภัยยึดไว้กับองค์ประกอบของสะพานที่มั่นคงแข็งแรง หรือสิ่งที่เห็นว่าปลอดภัย แต่ต้องไม่ใช้ผูกกับนั่งร้านหรือสายเคเบิลของนั่งร้าน
- ถุงมือ – ช่วยป้องกันไม่ให้มือสัมผัสกับสารอันตรายต่างๆ รวมถึงองค์ประกอบที่ถูกสารกัดกร่อน

4.7.3 สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ

สาเหตุหลักใหญ่ๆ 2 ประการ ซึ่งทำให้เกิดอุบัติเหตุ ได้แก่ ความผิดพลาดของคน (Human Error) และภาวะวินัยของคุณอุปกรณ์ (Equipment Failure) เราสามารถลดความผิดพลาดของคนลงได้โดยการให้บทเรียนว่า เราต้องก็สามารถทำให้เกิดความผิดพลาดได้ และให้มีการวางแผนล่วงหน้า เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นให้มีน้อยที่สุด ความวินัยของคุณอุปกรณ์ อาจถูกลดลงได้โดยการจัดให้มีการตรวจสอบคุณอุปกรณ์ การบำรุงรักษาคุณอุปกรณ์และปรับปรุงให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ

สาเหตุพิเศษ : สาเหตุพิเศษ ต่างๆ ที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ มีดังนี้

- มีทัศนคติที่ไม่เหมาะสม – การขาดสมานมิตร ขาดความร่วมมือระหว่าง และมีความกังวลในเรื่องส่วนตัว

- ขีดจำกัดของแต่ละบุคคล – การขาดความรู้ความสามารถ การฟืนสภาพร่างกาย
- ความไม่สมบูรณ์ทางร่างกาย – มีอาการบาดเจ็บ การเจ็บป่วย ผลข้างเคียงของยา ลิ้งมีนemea หรือยาเสพติด
- การเบื่อหน่ายหรือขาดสมานิ – ภาระการณ์ขาดความตั้งใจในขณะที่ทำงานที่เข้าฯ เป็นประจำ
- การขาดความเข้าใจสื่อ – ไม่มีความตื่นตัวในเรื่องความปลอดภัยและไม่รู้ตัวถึงอันตรายต่างๆ
- การชอบบวชีลัด – ทำให้เกิดความเสี่ยงอย่างมาก
- การชำรุดของอุปกรณ์ – เช่นขันบันไดชำรุด เขือขาดหรือเปื่อย และสายเคเบิลมีการฉีกขาด
- การสวมใส่ชุดที่มีขนาดไม่พอดี หรือไม่เหมาะสมกับงาน

4.7.4 การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

การปฏิบัติทั่วไป : มีคำแนะนำทั่วๆ ไปเพื่อการตรวจสอบที่ปลอดภัย ดังนี้

- ให้หลีกเลี่ยงการเสพสิ่งมีนemeาหรือยาเสพติด – ซึ่งจะก่อให้เกิดความบกพร่องในการพิจารณา การตอบสนอง และการประสานงาน
- การใช้ยารักษาโรค – การใช้ยาและการแพ้ยาอาจก่อให้เกิดผลกระทบข้างเคียงที่เป็นอันตรายได้
- ไฟฟ้า – ต้องสัมผัสรู้ว่า สายเคเบิลและสายไฟต่างๆ นั้น มีไฟเดินอยู่เสมอ และต้องตัดไฟก่อนทุกครั้ง
- การช่วยเหลือกัน – ให้ทำงานเป็นคู่เสมอ จะได้คุยกันระหว่างเหลือกัน
- การตรวจสอบในพื้นที่ที่อยู่เหนือน้ำ – ต้องใช้เรือที่มีความปลอดภัย โดยจะต้องมีห่วงโซ่ชีพ และวิทยุสื่อสาร
- รองเท้าบู๊ทยาง (Waders) – จะต้องมีความระมัดระวังเมื่อสวมใส่รองเท้าบู๊ทยาง เพราะน้ำสามารถเข้าไปชั้นในรองเท้าได้ ทำให้ไม่สามารถว่ายน้ำได้
- การตรวจสอบเห็นพื้นที่การจราจร – ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปฏิบัติการตรวจสอบในพื้นที่ที่อยู่เหนือการจราจรได้ ก็ต้องทำการผูกเครื่องมือต่างๆ และสมุดบันทึกไว้ให้แน่นหนา
- การเข้าไปในที่มีด – ต้องใช้ไฟฉายทุกครั้งที่เข้าไปในที่มีด และอาจต้องใช้การโดยเชือกนำทาง รวมถึงต้องใช้ถังออกซิเจนถ้ามีความจำเป็น
- มูลของนกพิราบ – การหายใจเข้าผ่าน漉ของต่างๆ ที่เกิดจากมูลของนกพิราบ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งปอดได้

ความปลอดภัยในการปืน : มีการเตรียมการพื้นฐานอยู่ 3 กลุ่มที่จำเป็นในการปืนเพื่อตรวจสอบอย่างปลอดภัย

กลุ่มแรก คือ การจัดการ (Organization) เพื่อการตรวจสอบ

- กลวิธีในการปืน – ควรให้มีช่วงเวลาในการปืนให้น้อยที่สุด



- แผนการตรวจสอบ – ผู้ตรวจสอบควรจะรู้อย่างชัดเจนว่ากำลังจะไปที่ใด และต้องทำอะไรบ้างให้เสร็จบ้างและจำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือใดบ้าง
 - สภาพภูมิอากาศ – ถ้าหากเป็นสภาพที่ฝนตกจะต้องเลื่อนการตรวจสอบสะพานที่เป็นเหล็ก ออกไป
 - การจราจร – ไม่ควรจะมีการขี่ด้วยทางการจราจร

กลั่นที่สอง คือ การตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพเพื่อให้มีสภาพและการใช้งานที่เหมาะสม

- บันได – มักจะมีส่วนเกี่ยวข้องในอุบัติเหตุต่างๆ เช่น อุบัติเหตุตกบันได
 - นั่งร้าน – ควรได้มีการตรวจสอบความสูง ความสามารถในการรับน้ำหนัก รอยแตก ข้อต่อหลุมหรือไม่รวมถึงตรวจสอบบริเวณที่ไม่แข็งแรง
 - แผ่นไม้ – ควรใช้แผ่นไม้อย่างน้อย 2 แผ่น ช้อนติดกัน ส่วนปลายของแผ่นไม้จะต้องยึดติดกับจุดรองรับอย่างแน่นหนา
 - พาหนะที่ใช้ในการตรวจสอบ – ควรจะให้ได้ใช้รถกระเช้าชนิดต่างๆ เช่น รถกระเช้าแบบลิฟต์
 - ทางเดินต่างๆ – ควรจัดให้มีการตรวจสอบทางเดินต่างๆ เพื่อที่จะได้ใช้งานได้เมื่อต้องการ ทางเดินโดยยึด (Rigging) – ผู้ตรวจสอบควรจะคุ้นเคยกับเทคนิคการใช้ทางเดินโดยยึด (Rigging) อย่างถูกต้อง เหมาะสม และไม่ควรมีความเชื่อมิดๆ เกี่ยวกับการใช้ทางเดินโดยยึดนี้

กลุ่มที่สาม คือ ผู้ตรวจสอบจะต้องมีการเตรียมสภาพจิตใจสำหรับการตรวจสอบที่ต้องมีการปืน ทัศนคติที่ดีเกี่ยวกับความปลอดภัยเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุด มีหลักปฏิบัติอยู่ 3 ประการ ที่จะต้องปฏิบัติตาม คือ

- ให้หลักเดี่ยงความรู้สึกที่กดดัน – ไม่ควรทำการปืนเมื่อรู้สึกผิดหวังหรือเมื่อรู้สึกขาดความมั่นใจ
 - ให้มีความรู้สึกระวังอยู่เสมอ – ให้รู้ตัวตลอดเวลาว่าตนเองอยู่ที่ไหนและกำลังทำอะไรอยู่ในขณะปืน
 - ความมั่นใจ – ไม่ควรกระทำการใดๆ เมื่อรู้สึกไม่มั่นใจว่าจะทำได้ด้อย่างปลอดภัย และห้ามมิให้ปักปิดว่ายังมีบางสิ่งบางอย่างยังไม่ได้รับการตรวจสอบ

พื้นที่จำกัด (Confined Spaces) : ในการตรวจสอบโครงสร้างสะพานที่เป็นรูปกล่อง (Box Girder) วงแหวนโค้ง (Steel Arch Rings) และพื้นคอนกรีตแบบกล่อง (Cellular Concrete) ส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานในพื้นที่แคบๆ มีข้อควรระวังอยู่ 3 ประการ เมื่อทำการตรวจสอบให้พื้นที่ดังกล่าว

- การขาดออกซิเจน – จะต้องมีปริมาณออกซิเจนไม่น้อยกว่า 19% เพื่อให้ผู้ตรวจสอบยังมีสติอยู่
 - ก้าชพิษต่างๆ – ส่วนใหญ่เกิดจากการต่างๆ เช่น การทาสี การเผาไฟ และการเชื้อม
 - ก้าชที่สามารถระเบิดได้ – วัสดุบางชนิด เช่น ก้าชอรูมชาติ และก้าชมีเทนจะเกิดขึ้นมาจากการทำปฏิกิริยาออกซิเจนขึ้นตามธรรมชาติ ของสารอินทรีย์ต่างๆ

เมื่อต้องการทำการตรวจสอบในพื้นที่อันจำกัด จะต้องมีการปฏิบัติตามกฎความปลอดภัย ดังนี้

- ให้ตรวจปริมาณ ออกซิเจนและก๊าซอื่นๆ ทุกระยะเวลา 15 นาที
- หลีกเลี่ยงการใช้ของเหลวที่สามารถติดไฟได้
- ให้จอดพาหนะที่ใช้ช่วยในการตรวจสอบให้ห่างจากทางเข้าพื้นที่ปฏิบัติการตรวจสอบ เพื่อหลีกเลี่ยงควันไอเสียของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- การปฏิบัติงานที่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซพิษ จะต้องทำด้านใต้ลุมของผู้ปฏิบัติงาน และบุคคลในชุดตรวจสอบสะพาน
- ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจที่ได้รับการรับรองแล้วเท่านั้น เมื่อไม่สามารถจัดทำระบบระบายอากาศได้ หรือเมื่อไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ตรวจจับ (Detector) ได้
- เมื่อเข้าไปในอุโมงค์ระบายน้ำ (Culverts) จะต้องจดหมายแสดงสว่างและเรืองนำทาง มาก่อนเพียงพอ
- ควรทำการปฏิบัติการตรวจสอบเป็นคู่ (2 คน) โดยจะต้องมีผู้ตรวจสอบคนที่ 3 อยู่ในที่มีแสงสว่างหรือนอกพื้นที่ที่มีความจำกัด (Confined Areas)

บทที่ 5

การรายงานผลการตรวจสอบสภาพ

5.1 แบบบันทึกการตรวจสอบ

มาตรฐานของการตรวจสอบสภาพ กำหนดให้มีการแสดงผลของการตรวจสอบสภาพแต่ละประเภทขึ้นมา ดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

หัวข้อสำคัญในการตรวจสอบสภาพ จะปรากฏในเอกสารที่แสดงข้อมูลโดยรวมของสภาพ (Structure Inventory & Appraisal Sheet) หรือ ที่เรียกว่าเอกสาร SI&A ข้อมูลในเอกสาร SI&A นี้จะแบ่งออกเป็น 3 หมวดใหญ่ คือ

5.1.1 หมวดข้อมูลทั่วไป (Inventory Items)

Inventory Items จะประกอบไปด้วย ลักษณะและคุณสมบัติโดยทั่วไปของสภาพอันเป็นลักษณะที่ถาวร ซึ่งจะเปลี่ยนไปบกต่อเมื่อสภาพนั้นได้ถูกเปลี่ยนแปลงไป เช่น การสร้างเพิ่มขึ้นมาใหม่ หรือการทำหนี้ด้วยกันน้ำหนักบรรทุก ข้อมูลทั่วไปนี้ถูกจัดออกเป็นหมวดหมู่ ดังต่อไปนี้

- Identification ซึ่งจะบอกถึงข้อมูลของสภาพ โดยใส่รหัสของที่ตั้งและข้อมูลโดยย่อ
- ประเภทโครงสร้างของสภาพและวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างของสภาพ ข้อมูลนี้จะจำแนกโครงสร้างโดยใช้ข้อมูลของวัสดุ การออกแบบและการก่อสร้าง จำนวนของช่องสภาพ และชนิดของพื้นผิwsภาพ
- ขนาดและระยะต่างๆ ของโครงสร้างของสภาพ
- ข้อมูล Navigation บ่งบอกถึงการควบคุมและการป้องกันคอมโม่ของสภาพ รวมทั้งการวัดระยะห่างของทางน้ำกับสภาพ
- ประเภทการใช้งานของสภาพโดยรวม
- อายุและลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่สภาพรองรับ รวมทั้งข้อมูลการจราจร
- การให้คะแนนความสามารถในการรับน้ำหนัก และการรับน้ำหนักปัจจุบัน



- คำแนะนำเพื่อการปรับปรุง จะช่วยในการตัดสินใจเพื่อบรรุจรักษาระบบ ประมาณการค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบที่สมควรได้รับการปรับปรุง
- ข้อมูลการสำรวจ ซึ่งประกอบไปด้วย วัน เดือน ปี ที่ทำการสำรวจ ความถี่ในการตรวจสอบ และส่วนที่ต้องการตรวจสอบเป็นพิเศษ

5.1.2 หมวดข้อมูลของชิ้นส่วนที่ได้รับการตรวจสอบสภาพ (Condition Rating Items)

ข้อมูลนี้จะกล่าวถึงผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและสภาพที่ปรากฏอยู่ของชิ้นส่วนของระบบ หรือส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ และได้รับการประเมินโดยเบรียบเทียบสภาพเมื่อสร้างเสร็จใหม่ๆ และมีระบบการให้คะแนนดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.2

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบที่จะได้รับการตรวจสอบและประเมินผล มีดังต่อไปนี้

- ผังพื้นที่ของระบบ (Deck)
- โครงสร้างส่วนบนของระบบ (Superstructure)
- โครงสร้างส่วนล่างของระบบ (Substructure)
- ลำน้ำและภาระป้องกันลำน้ำ
- ท่ออดด์ หรือ ช่องระบายน้ำใต้ระบบ

การให้คะแนนเพื่อแสดงผลการประเมินสภาพของระบบ ควรจะบ่งบอกถึงลักษณะและสภาพของระบบโดยทั่วไปของโครงสร้างทั้งหมดที่จะได้รับการประเมิน ไม่ควรที่จะให้คะแนนเพียงแต่ชิ้นส่วนย่อยๆ

การให้คะแนนผลการประเมินสภาพที่ถูกต้อง ต้องพิจารณาทั้งความเสียหายที่รุนแรงและให้รวมไปถึงผลกระทบที่มีต่อชิ้นส่วนที่ได้รับการตรวจสอบอยู่

อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีบางกรณีที่ Deficiency จะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่ง หรือบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ถ้า Deficiency นี้ ลดความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกหรือความสามารถในการใช้งานของชิ้นส่วนนั้น ชิ้นส่วนนั้นๆ ก็จะสามารถถูกกำหนดให้เป็น “จุดเชื่อมต่อที่อ่อนแอก” : Weak Link ของโครงสร้างของระบบ อันจะเป็นผลให้ผลกระทบจากการประเมินสภาพของชิ้นส่วนนั้นลดลงตามไปด้วย.

5.1.3 หมวดข้อมูลของสิ่งที่ได้รับการประเมินความสามารถใช้งาน (Appraisal Rating Items)

ได้แก่ สิ่งต่างๆ ดังนี้

- การประมาณการคุณค่าของโครงสร้าง (Structural Evaluation)
- ข้อมูลของผังพื้นที่ของระบบ (Deck Geometry)
- ระยะห่างจากสิ่งอื่นๆ ทั้งแนวตั้งและแนวนอน
- ข้อมูลของลำน้ำ
- การจัดวางถนนช่วงใกล้ระบบ

สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะถูกใช้ในการประเมินคุณค่าของสะพานในลักษณะของความสามารถในการให้บริการของสะพานที่ได้ให้ไว้ในระบบการจราจร คุณค่าและความสามารถในส่วนนี้จะถูกเปรียบเทียบกับสะพานที่สร้างขึ้นใหม่ ที่สอดคล้องกับมาตรฐานปัจจุบัน และเหมาะสมกับประเภทของเส้นทางจะมีข้อยกเว้นในหัวข้อของการจัดวางถนนช่วงใกล้สะพาน ซึ่งจะถูกเปรียบเทียบกับถนนช่วงใกล้สะพานที่มีให้อยู่ ณ ปัจจุบัน

ความมุ่งหมายของระดับการให้บริการที่จะเสนอเป็นความสามารถในการให้บริการของแต่ละสะพานนั้นจะขึ้นอยู่กับการจัดประเภทของสะพาน ปริมาณการจราจรที่รองรับ และองค์ประกอบอื่นๆ ความมุ่งหมายต่างๆ จะสอดคล้องกับความต้องการทางการจราจรซึ่งมีอยู่แล้วในระบบการทาง มีสะพานหลายแห่งที่อยู่ในเส้นทางท่องเที่ยว สามารถรองรับการจราจรที่ต้องการ ด้วยขนาดและความสามารถในการรับน้ำหนักที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับสะพานที่ใช้ในเส้นทางสายหลักที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น

ถ้าจะให้มีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันที่สม่ำเสมอตลอดไป เส้นทางที่มีความใกล้เคียงกันและคุณลักษณะของพานะ จะต้องได้รับการประเมินค่าโดยใช้มาตรฐานอันเดียวกัน ฉะนั้น ตารางและแผนภูมิทั้งหลายที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ประเมินคุณค่าของสะพานนี้ จะต้องใช้ได้กับสะพานทุกสะพานในประเทศไทย

5.2 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน

ผลการตรวจสอบของสะพานจะถูกแสดงโดยคะแนนที่ให้ในการตรวจสอบแต่ละ Component ของสะพาน ซึ่งประกอบไปด้วย ชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น พื้นสะพาน ตอม่อสะพาน และ Component อื่นๆ ตามที่ต้องการจะตรวจสอบ หลักการให้คะแนนในการตรวจสอบแต่ละ Component ของสะพานนั้น มีรายละเอียดดังแสดงไว้ในบทต่างๆ ในคู่มือเล่มนี้ โดยทั่วไปแล้วจะมีการจัดกลุ่มตามลักษณะสภาพของสะพาน โดยใช้คะแนนที่ได้จากการสำรวจ เช่น อาจจะจัดให้สะพานที่ได้คะแนน 9 และ 7 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพ “ดี” และจัดให้สะพานที่ได้คะแนน 5 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพ “ดีปานกลาง” จัดสะพานที่ได้คะแนน 3 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพ “ทรุดโทรม” และ จัดให้สะพานที่ได้คะแนน 1 และ 0 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพเข้าขั้น “วิกฤต”

หลักการทั่วไปในการให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพานและ Components ของสะพานที่ได้รับการตรวจสอบ สภาพด้วยตาเปล่า

คะแนน	รายละเอียด
9	สภาพดีมาก เหมือนใหม่
7	สภาพดี มีปัญหาเพียงเล็กน้อย
5	สภาพดีปานกลาง Component บางส่วนมีการชำรุด มีสภาพโดยรวมดีพอใช้
3	สภาพทรุดโทรม อย่างเห็นได้ชัด Component มีความเสียหายมากและมีผลกระทบต่อโครงสร้างหลัก อาจจำเป็นต้องปิดสะพาน เว้นแต่จะได้ทำการตรวจสอบโดยละเอียดจนกว่าจะได้รับการแก้ไข
1	สภาพวิกฤต Component ของสะพานได้ชำรุดอย่างสิ้นเชิง สะพานมีการเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งเดิมอย่างเห็นได้ชัด ต้องทำการปิดสะพาน ถ้าได้รับการแก้ไขแล้ว อาจเปิดให้ใช้งานเป็นปกติ



0

สภาพวิบัติ Component “ไม่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้เลย มีสภาพพังทลาย เกินกว่าจะแก้ไขได้”

การประเมินสภาพของสะพาน สามารถทำได้โดยการ ประเมินผลลักษณะทางกายภาพของสภาพที่ปรากฏ เปรียบเทียบกับสภาพที่สร้างเสร็จใหม่ โดยการใช้คำอธิบาย (Descriptive Rating) กับชื่นส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง หลังจากนั้นก็ประมวลความหมายให้เป็นการให้คะแนนเป็นตัวเลข (Numerical Condition Rating) และเมื่อได้คะแนนการประเมินสภาพชื่นส่วนโครงสร้างเรียบร้อยแล้ว ลักษณะสภาพของ Component หลักนั้นๆ ของสะพานก็จะถูกประเมินสภาพโดยรวมอีกรอบหนึ่ง (Overall Condition Rating) และให้ผลออกมาเป็นตัวเลขดังกล่าวไว้เบื้องต้นโดยเดือดคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นตัวระบุสภาพโดยรวมของ Component หลักของสะพาน

5.3 การรวบรวมข้อมูลและการบันทึก

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการบันทึกนี้ มีความสำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อมีการตรวจสอบสะพานขนาดใหญ่ และมีจำนวนมาก การเก็บบันทึกของการตรวจสอบคร่าวๆ ก็จะมีประโยชน์ที่ได้มาตรฐานเพราะจะช่วยให่ง่ายต่อการศึกษาข้อมูล ภาระงานแผน และการทำความเข้าใจกับสภาพของสะพาน

การเก็บบันทึกและรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบสภาพ ควรจะรวบรวมรายละเอียดของสิ่งต่อไปนี้

- ระบบการให้คำจำกัดความได้มาตรฐาน สำหรับภาระบุ Condition ของชื่นส่วน (Elements) หรือ Member ของสะพาน
- ภาพ Element หรือ Member ที่แสดงให้เห็นถึงสภาพปกติและสภาพที่มีความเสียหายของ Element หรือ Member
- Nomenclature ที่ได้มาตรฐาน ให้สำหรับชื่นส่วนของ Component และส่วนประกอบของ Component ต่างๆ เหล่านั้น
- การแสดงรายการของภาพถ่าย
- คำบรรยายแบบย่อ ของสภาพทั่วไปและ Condition ของชื่นส่วนนั้น

เมื่อวูปแบบของสมุดบันทึก ได้ถูกเลือกใช้ให้เป็นแบบการบันทึกผลการตรวจสอบสะพานแล้ว ข้อมูลต่างๆ ควรถูกบันทึกอย่างเป็นระบบ โครงร่างของการบันทึกสามารถดูได้จากตัวอย่างที่แนะนำดังต่อไปนี้

หน้าเริ่มต้น ในหน้าเริ่มต้นนี้ ควรจะมีข้อมูลต่างๆ ของสะพาน เช่น ชื่อสะพาน หมายเลขสะพาน สถานที่ตั้ง สิ่งที่สะพานตัดผ่าน ตำบล อำเภอ และจังหวัดที่สะพานตั้งอยู่ นอกจากรายละเอียดการต้องมีการบันทึก วันที่ทำการตรวจสอบ ชื่อของผู้ทำการตรวจสอบ (บอกรายชื่อหัวหน้าที่มีตรวจสอบ) เลขที่ของสมุดบันทึกสนาม อุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศ

สารบัญ เป็นรายการสารบัญของรายงานการตรวจสอบ

รูปแบบทั่วไป

- จะต้องจัดพื้นที่ให้มีภาพแสดงข้อมูล ผังของสะพาน รูปตั้งของสะพาน พื้นที่บริเวณสะพาน ลำนำ อุปกรณ์หลักต่างๆ และส่วนประกอบอื่นๆ ที่ควรจะอยู่ด้วย
- ภาพแสดงส่วนพื้น (Deck) ของสะพาน ควรจะแสดงรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joints) รอยต่อ ก่อสร้าง (Construction Joints) ขอบทาง (Curbs) ทางเท้า (Sidewalks) แผงบัง (Parapets) และราว กันตก (Railings)
- ภาพแสดงโครงสร้างหลักควรจะแสดงทั้งภาพตัด (Cross-Section) แผนผัง (Plan) และรูปตั้ง (Elevation) ชิ้นส่วนต่างๆ ที่จะต้องมีหมายเลขอłączกับ คือ ส่วนรับแรงแบกทาง (Bearings) ส่วนประกอบค้ำยันหลัก (Main Supporting Members) คานพื้น (Floor Beams) คานซ็อกย (Stringers) ตัวยึด (Bracing) และแผงฟีด (Diaphragms)

ภาพแสดงหน่วยประกอบต่างๆ ของ Substructure ของสะพาน ควรจะถูกแสดงไว้ด้วย ในบางกรณี ภาพแสดง หน่วยประกอบ (Units) ต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของ Substructure ก็เป็นการเพียงพอแล้ว ในแต่ละหน่วยประกอบ ของ Substructure ควรจะได้รับการกำหนดหมายเลข ซึ่งจะได้นำไปใช้เมื่อถูกตั้งในหน้าบันทึกข้อมูลหลัก ชิ้นส่วนที่ จะต้องมีการจำกัดหมายเลข ควรจะรวมถึง เสาเข็ม ฐานราก เสาค้ำยันในแนวตั้ง ค้ำยันในแนวข้าง และส่วนหุ้มหัว (Caps)

การกำหนดตำแหน่ง

การกำหนดตำแหน่ง ของ Component ต่างๆ นั้นมีความสำคัญมาก เช่น

- การกำหนดทิศทางของหน่วยของโครงสร้างส่วนล่างของสะพาน และคานของคานพื้น ซึ่งอยู่ใกล้/ไกล อยู่ด้านทิศเหนือ/ใต้/ตะวันออก/ตะวันตก หรือจะกำหนดให้แต่ละหน่วยของโครงสร้างรอง มีหมายเลข เฉพาะตัว เช่น ตอม่อริมหมายเลข 1 หรือ ตอม่อกลางน้ำ หมายเลข #3 เป็นต้น
- ด้านข้างของ Member ของโครงสร้าง สามารถถูกระบุโดยใช้ทิศทางได้ (เช่น “ด้านทิศใต้ของคานพื้น หมายเลข 2” หรือ “ภาพตั้งด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของคานหมายเลข 4”)
- หมายเลขของช่วงสะพานและช่วงเสา ควรจะถูกกำหนดไว้เพื่อกำหนดพื้นที่ของสะพาน
- คานหรือคานซ็อกยแต่ละตัว ควรจะถูกกำหนดให้มีหมายเลขจำกัด โดยเรียงจากซ้ายไปขวา
- การใช้ทิศทางของสายน้ำเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของ Component ของโครงสร้าง เช่น โครงเหล็ก ด้านบนของสายน้ำ หรือ คานประกอบด้านใต้ของสายน้ำ เป็นต้น
- สำหรับ Elements ของโครง Truss ให้ใช้หมายเลขของจุดต่อเป็นตัวระบุ Member

ถ้ามีการกำหนดทิศทางที่แตกต่างไปจากที่ได้ระบุไว้ในเอกสารที่มีอยู่ ก็ให้ทำการบันทึกไว้ชัดเจนในสมุดบันทึก การตรวจสอบสะพาน

ต้องให้มีการกำหนดขนาดของสิ่งต่างๆ ให้ชัดเจนและเพียงพอเพื่อใช้ในการกำหนดและสร้างภาพตามข่าว และ ขนาดของ Component อื่นๆ ซึ่งรวมถึง



- ความหรือแผ่นพื้น – ความยาว ความกว้าง และความลึกของแต่ละคาน ระยะห่างระหว่างคานและความยาวของช่วงคาน
- เสา – ความกว้างและความลึก (สำหรับเสารูปสี่เหลี่ยม) เส้นผ่าศูนย์กลาง (สำหรับเสากลม) ความยาวระยะห่างและเสาเข้มอ่อน
- หัวหุ้มและคั้ยัน – ความกว้าง ความลึก ระยะห่าง และคานยื่น

การระบุความชำรุดเสียหายที่พบ

ควรจะระบุอย่างต่อเนื่องที่ตรวจพบให้ตรงกับประเภทของรอยชำรุด รายต่อเนื่องที่อาจเกิดขึ้นกับ Component ที่เป็นไปได้

- การเสื่อมอายุ (Decay) – มีสาเหตุมาจากการเข้ารากหรือแมลง
- การแตกในแนวรัศมี (Checks) – มีรอยแตกเป็นบางส่วน
- รอยแยก (Splits) – มีรอยแยกตลอดแนว
- ต้าไม้ (Knots)
- รอยแตก (Cracks)
- รอยฉีก (Wear) – มีสาเหตุมาจากการจราจรหรือสาเหตุจากน้ำ

รอยชำรุดเสียหาย

รอยชำรุดเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในคอนกรีต ประกอบไปด้วย

- การหลุดออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)
- การหลุดล่อน (Spalling)
- การตกสะเก็ด (Scaling)
- รอยแตก (Cracks)
- เหล็กเสริม显露 (Exposed Bars or Strands)
- ร่องรอยที่เกิดจากการชน (Collision Damage)

รอยชำรุดเสียหายบางประเภทที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่เป็นโลหะนี้จะรวมถึง

- การเกิดสนิม หรือ เกิดการสูญเสียหน้าตัด (Corrosion or Section Loss)
- มีรอยแตก (Cracks)
- เกิดการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation)
- การชำรุดเสียหาย (Deficiencies)

การจำแนกรอยชำรุดเสียหาย

ในการบันทึกรายละเอียดของรอยชำรุดนินิ้ว ผู้ทำการตรวจสอบสะพาน จะต้องขอรับความเห็นชอบจากผู้ที่ได้รับอำนาจหน้าที่ตัดสินใจ ตามที่ระบุไว้ในคู่มือ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถดำเนินการซ่อมแซมได้โดยเร็วทันที

- **ขนาดของรอยแตก** : ต้องมีรายละเอียดของความยาวและความกว้าง
- **การสูญเสียหน้าตัด** : จะต้องบันทึกขนาดของหน้าตัดส่วนที่เหลือ

นอกจากนี้ ผู้ตรวจสอบสะพานยังจะต้องบรรยายถึงปริมาณของร่องรอยชำรุดที่ต้องพบ

ยกตัวอย่างเช่น

- พื้นที่ของพื้นสะพานที่ช่วงที่ 1 มีการหลุดออกของคอนกรีตเป็นจำนวนพื้นที่ 2.5 ตร.ม.
- พื้นผิวด้านตะวันออกของตอนม่อกระถางน้ำ มีการหลุดล่อน ถึง 25 % ของพื้นที่ทั้งหมด

ตำแหน่งของรอยชำรุด

จะต้องมีการระบุตำแหน่งของรอยชำรุดนินิ้ว ที่บันทึกชื่อ Component ของสะพานอย่างชัดเจนเมื่อจะต้องทำการวิเคราะห์ถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน ยกตัวอย่างเช่น

- “อยู่ทางด้านข้างของส่วนเสา (Web) ของคาน อยู่ที่ครึ่งส่วนด้านบน เป็นระยะ 3 นิ้ว จาก Bearing ด้านทิศเหนือ”
- “อยู่ด้านบนของปีกคานด้านบน ระยะจาก 7 ถึง 15 เซนติเมตร ที่ด้านทิศตะวันตกของ Pier หมายเลข 2”

ควรจะใช้จุดอ้างอิงที่มีอยู่อย่างถาวรห่างนั้น ไม่ควรใช้จุดอ้างอิงดังต่อไปนี้

- ที่ด้านต่างๆ ของ Expansion Rocker
- ระดับพื้นดิน โดยเฉพาะด้านที่อาจสัมผัสถกบัน้ำ
- ระดับน้ำ

5.3.1 การเตรียมตัว

การจัดทำตัวรายงานผลการสำรวจและตรวจสอบสะพานมีความต้องการบุคลากรที่ผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี และมีประสบการณ์เพียงพอที่จะตัดสินใจได้อย่างมีเหตุผลและมีประสิทธิภาพในการประเมินคุณลักษณะของสะพานที่พากษาได้ทำการสังเกตและตรวจสอบ และต้องสามารถทำการสรุปผลการสำรวจของมาได้เป็นอย่างดี รายงานผลการสำรวจควรจะแสดงให้เห็นถึงสภาพคุณลักษณะของ Component ของสะพานในปัจจุบัน รวมทั้งจุดอ่อนที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต นอกจากนั้นแล้ว รายงานผลการสำรวจตรวจสอบนี้จะเป็นสิ่งที่กำหนดพื้นฐานของการกำหนดจำนวนแรงงาน อุปกรณ์ บริภารณ์สัดส่วน และค่าใช้จ่ายที่จำเป็นต้องใช้ในการบำรุงรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างสะพาน

การตรวจสอบสะพานนี้จะยังไม่เสร็จสิ้นจนกว่ารายงานผลการตรวจสอบจะได้ถูกจัดทำขึ้น รายงานการตรวจสอบที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยหลายส่วน ดังนี้



5.3.1.1 บทนำ

ส่วนนี้จะเป็นการบรรยายสรุปลักษณะทั่วไปของสะพาน

- ระบุรายชื่อ หมายเลขอ และตำแหน่งของสะพาน
- ระบุวันที่ทำการตรวจสอบ
- มีการแสดงผลแบบจำลองหลังของการซ้อม เช่น Component สะพาน

5.3.1.2 ข้อมูลจำเพาะและประวัติของสะพาน

จะบอกข้อมูลเกี่ยวกับสะพานในส่วนของการออกแบบ การก่อสร้าง และการใช้งานของสะพานโดยทั่วไปและจะมีการระบุชนิดของ Superstructure ก่อน ตามมาด้วยชนิดของ Abutment และ Pier ถ้ามีข้อมูลของคินที่ฐานรากของสะพาน ความต้านทานแรงกดสูงสุด และความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีต ก็ให้ระบุรวมมาด้วย ชนิดของแผ่นพื้นสะพาน ควรระบุไว้ เช่น กัน

ข้อมูลของการออกแบบ ควรจะมีรายละเอียดของสิ่งต่อไปนี้

- หมุนเวียนของสะพาน
- จำนวนช่องสะพาน
- ความยาวช่วงสะพาน
- ความกว้างผิวน้ำ
- ความยาวทั้งหมดของสะพาน
- ชนิดของผิวน้ำ
- รากันตก
- จำนวนช่องจราจร
- น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ
- ทางเดินของสายนำ
- สิ่งที่มาติดกับสะพาน
- ระยะห่างจากสิ่งปลูกสร้างอื่น
- สิ่งที่ล่วงล้ำสะพาน

วัน เดือน ปี ที่ทำการก่อสร้าง จะเป็นประวัติการก่อสร้างของสะพาน ซึ่งควรระบุวันก่อสร้างจริงเป็นครั้งแรก ของสะพานและควรจะมีการระบุวันที่ทำการซ้อม เช่น หรือสร้างใหม่ ให้ระบุด้วยว่ามีแผนผังใดบ้างที่สามารถหาได้ และแผนผังเหล่านั้นถูกเก็บไว้ที่ใด และเป็น “แบบก่อสร้างจริง” หรือไม่

ข้อมูลการใช้งานสะพาน ให้ระบุปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic-ADT) ทุกๆ 5 ปี หากมีสภาพแวดล้อมใดๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อสะพาน เช่น ละอองเกลือ ก้าชจากการอุตสาหกรรม อุจจาระนก การจราจรของเรือและรถไฟ เป็นต้น ก็ให้ทำการบันทึกไว้ในรายงานด้วย

5.3.1.3 ลำดับขั้นตอนการตรวจสอบสะพาน

โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการดีถ้าสามารถจัดลำดับก่อนหลังของการตรวจสอบสะพานได้ ตามลักษณะของการถ่ายเทน้ำหนัก (เช่น ให้ตรวจสอบแผ่นพื้นสะพานก่อนแล้วจึงตรวจสอบ Superstructure และสุดท้ายคือ Substructure) คู่มือเล่มนี้ได้จัดลำดับของการตรวจสอบให้เป็นไปตามแนวทางนี้แล้ว

อย่างไรก็ตามในบางกรณีก็ไม่สามารถจัดลำดับก่อนหรือหลังของการตรวจสอบสะพานได้ อันเนื่องมาจาก การจราจร และการปิดซ่อมทางจราจร และไม่ว่าการจัดลำดับก่อนหลังแบบไหนจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบก็ตาม ก็เป็นเรื่องสำคัญมากที่จะต้องบันทึกไว้ให้ละเอียด ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนเพื่อการตรวจสอบสะพานในอนาคต และก็เป็นสิ่งที่ใช้ในการตรวจสอบเปลี่ยนเที่ยบว่า ทุกๆ Element และ Component ของสะพานได้รับการตรวจสอบอย่างทั่วถึง ข้อมูลดังกล่าวเนี้ย ควรจะรวมถึง

- ลำดับของส่วนประกอบ (เช่น แผ่นพื้นสะพาน โครงสร้างส่วนบน โครงสร้างส่วนล่างและลำน้ำ)
- คุปกรณ์ที่ต้องการ (เช่น ค้อน ลูกดิบ)
- คุปกรณ์ช่วยให้เข้าพื้นที่ทำงาน (เช่น เครื่องและคุปกรณ์ช่วยปืน บันได)
- ข้อจำกัดของการจราจร (เช่น การปิดซ่อมจราจร คนในกอง แหล่งของภัยปีศาจ)
- วิธีการตรวจสอบ (เช่น การเจาะ และการใช้คลื่นอัลตราโซนิก)
- บุคลากร (เช่น จำนวนผู้เข้าร่วมทำการตรวจสอบ ผู้ชำนาญการ และคนขับเรือ)

เมื่อไม่มีแผนผังของสะพานและรายงานการตรวจสอบบันทึกหน้านี้ ควรจะจัดทำแผนผังจากการวัดในสนาม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเด่นของโครงสร้าง สิ่งจำเป็นสิ่งนี้อาจกระทบกับขั้นตอนของการตรวจสอบ

5.3.1.4 ผลของการตรวจสอบ

ควรจะมีการบรรยาย Condition ของสะพาน อย่างชัดเจนและเป็นไปตามลำดับของการตรวจสอบสะพาน ให้บันทึกสัญญาณบอกรेतุใดๆ ถึงความชำรุดเสียหาย การเสื่อมสภาพหรือการชำรุด อย่างถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้ผู้ที่จะทำการตรวจสอบในอนาคต สามารถเปลี่ยนบทบาทการจราจรในส่วนนี้ ของสะพานด้วย รวมทั้งข้อมูลของระดับน้ำ และการบรรทุกที่ไม่ปกติ การซ่อมแซมใดๆ ของสะพานนับแต่การตรวจสอบสะพานครั้งล่าสุด ให้ทำการรับรองหรือวัดระยะและขนาดต่างๆ เมื่อมีการปรับปรุงสะพานหรือมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและระยะต่างๆ ของสะพาน ในการตรวจสอบแต่ละครั้งข้อมูลใหม่ของลำน้ำก็ควรจะถูกบันทึกไว้ด้วย เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบหากการลอกห้องร่อง จะต้องมีการบันทึกระดับความรุนแรงของการเสื่อมสภาพใดๆ ไว้โดยละเอียด ในกรณีฉุกเฉิน ผู้ทำการตรวจสอบควรจะทำการติดต่อผู้ให้คำปรึกษาในการตรวจสอบ (Inspection Supervisor) และตัวแทนของเจ้าของสะพานโดยทันที



5.3.1.5 บทสรุป

รายงานผลการตรวจสอบสะพานที่ดี ควรจะมีคำอธิบายรายละเอียดของชนิดและขอบเขตของการสื่อสารภาพของสะพานที่ตรวจสอบ และควรที่จะบ่งชี้ถึงวิธีการในการลดสภาวะการเสื่อมสภาพนั้น อีกทั้งวิธีการป้องป้องแก้ไขที่เทียบเท่าได้กับแผนกว่าของ “แบบก่อสร้างจริง” ได้ ให้ระลึกไว้เสมอว่าลักษณะสภาวะของการเสื่อมสภาพทุกๆ สภาวะไม่จำเป็นต้องมีความสำคัญเท่าเทียมกัน ยกตัวอย่างเช่น รอยแตกในคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง ซึ่งทำให้น้ำเข้ามาได้ ก็จะถือว่ามีความรุนแรงมากกว่ารอยแตกในแนวตั้งในผังด้านหลังหรือการหลุดล่อนที่บริเวณมุมของกำแพง

ในการเขียนสรุปผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องรายงานผลความรุนแรงของการชำรุดหรือการเสื่อมสภาพที่เกี่ยวข้อง ประสบการณ์และการตัดสินใจของผู้ทำการตรวจสอบมีส่วนสำคัญในการแปลความหมายของผลการตรวจสอบ ซึ่งจะต้องเป็นไปด้วยความสมเหตุสมผล และไม่เกินจริง บทสรุปเป็นหัวใจของรายงานการตรวจสอบสะพาน การสรุปที่ไม่เหมาะสม และได้รับข้อมูลที่ผิดๆ จะนำไปสู่การให้คำแนะนำที่ไม่เหมาะสม ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องสามารถทบทวนของนักสืบเพื่อสรุปว่า ทำไม อย่างไร และเมื่อไรที่รอยชำรุดได้เกิดขึ้นจริงๆ เมื่อผู้ทำการตรวจสอบไม่สามารถตีความหมายของข้อมูลที่ค้นพบได้ ก็ควรขอรับคำปรึกษาจากผู้ที่มีประสบการณ์สูงกว่า

5.3.1.6 การให้คำแนะนำ

คำแนะนำที่ให้โดยผู้ทำการตรวจสอบนั้นจะเป็นจุดสำคัญของกระบวนการตรวจสอบ การบันทึก และการรายงาน เอกสารของตรวจสอบนี้มีความจำเป็นสำหรับการให้คำแนะนำที่เข้าใจได้และสามารถนำไปปฏิบัติได้ เพื่อการแก้ไขการชำรุดเสียหายได้อย่างถูกต้อง

หลักการปฏิบัติสำหรับงานซ่อมบำรุง ภาระเคราะห์ Stress และ Posting การตรวจสอบเพิ่มเติม และงานซ่อมต่างๆ ควรจะถูกรวบไว้ในรายงานส่วนนี้ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องพิจารณาประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมแซมและผลกระทบที่ตามมา ถ้าไม่ทำการซ่อมแซม ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องจำแนกและเรียงลำดับความเร่งด่วน และความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการทั้งความสมบูรณ์ของโครงสร้างและความปลอดภัยต่อสาธารณะ

คำแนะนำสำหรับการซ่อมแซม อาจจะแบ่งออกเป็นได้ 2 ประเภท คือ

- การซ่อมแซมเร่งด่วน
- การซ่อมแซมตามระยะเวลา (คือจำนวนที่สามารถทำในภายหลังได้)

ผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องตัดสินใจว่า การซ่อมใดเป็นภาระเร่งด่วน โดยปกติแล้ว จะทำได้ไม่ยากนัก แต่ก็ต้องอาศัยความสามารถในการตัดสินใจและประสบการณ์ของวิชาชีพด้านวิศวกรรม เพื่อจะให้ตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในหลายบันทึกจะเป็นต้องได้รับการดูแลอย่างดี และควรจะได้มีคำแนะนำเพื่อการซ่อมแซมประเภทเร่งด่วน ในทางกลับกัน การชำรุดเสียหายของแผ่นเหล็กประภับ (Gusset Plate) ในช่วงหนึ่งของโครง Truss อาจจะไม่รุนแรงนัก สภาพเช่นนี้ก็ควรที่จะแนะนำให้เป็นการซ่อมแซมตามระยะเวลา

คำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมที่เสนอมาโดยผู้ตรวจสอบสะพานนี้ จะอยู่ในส่วนของการซ่อมแซมและการซ่อมบำรุง (ซึ่งจะถูกจัดเข้าไปในตารางของการซ่อมแซม) เมื่อได้กิตามที่มีคำแนะนำให้ทำการซ่อมแซม ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องบรรยายอย่างละเอียดถึงชนิดของการซ่อมแซมที่ต้องการ ขอบเขตของงานและประมาณการปริมาณของวัสดุที่ต้องการใช้

5.3.1.7 ภาคผนวก

ในภาคผนวกควรจะได้มีการรวมข้อมูลสำรองไว้เพื่อนำไปใช้เป็นหลักฐานประกอบการตัดสินใจและการให้คำแนะนำของผู้ทำการตรวจสอบ อย่างน้อยที่สุดภาคผนวกควรจะมีรูปถ่าย รูปเขียน แบบร่างต่างๆ และ แบบฟอร์มการสำรวจสะพาน นอกจากนี้ยังสามารถรวมสมุดบันทึกสนาม และรายงานพิเศษด้านต่างๆ เช่น น้ำที่ดิน การทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) และข้อมูลการสำรวจ

รูปถ่าย รูปถ่ายจะสามารถช่วยได้มากในการแสดงให้บุคคลที่ตรวจสอบทราบโครงสร้างของสะพานภาพถ่ายของพื้นที่และชั้นส่วนที่เสียหาย ควรจะมีคำบรรยายไว้อย่างชัดเจน ควรต่อภาพไว้หลายภาพ ซึ่งอาจดูเหมือนว่าไม่จำเป็นนักแต่ก็ต้องก่อให้เกิดความมองข้ามไปแม้สักครั้งหนึ่ง ซึ่งจะเป็นการช่วยขัดการตีความที่ผิดและความเข้าใจผิดต่างๆ ในรายงานให้หมดไปได้

ควรถ่ายภาพอย่างน้อย 2 ภาพ ของทุกๆ ส่วนของโครงสร้าง ภาพหนึ่งควรจะถ่ายให้เห็นโครงสร้างโดยมองจากด้านน (หรือเส้นทางสัญจร) และอีกภาพหนึ่ง ควรจะเป็นภาพด้านข้างของโครงสร้างในแนวตั้ง (Elevation)

ภาพเขียนแบบร่าง ควรจะมีการกำหนดส่วนต่างๆ ได้อย่างอิสระเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นภาพและบ่งชี้ถึงลักษณะสภาพของชั้นส่วนของโครงสร้างภาพเขียนประกอบที่มีความชัดเจน จะสามารถช่วยได้มากในการตรวจสอบในอนาคตเพื่อกำหนดระบวนการเกิดขึ้นของการชำรุดเสียหาย และยังช่วยในการกำหนดรูปแบบและขนาดสะพานเปลี่ยนแปลงต่างๆ ด้วย

แบบฟอร์มการตรวจสอบ ควรจะมีการบันทึกข้อมูลจริงในภาคสนามอยู่ในแบบฟอร์มการตรวจสอบด้วยเช่นเดียวกับการให้คะแนนเป็นตัวเลขที่บอกรผลการประเมินสภาพ และการเสนอแนะใดๆ จากผู้ที่ทำการตรวจสอบแบบฟอร์มการตรวจสอบสะพานนี้ จะต้องได้รับการเขียนรับรองโดยหัวหน้าชุดตรวจสอบสะพานเท่านั้น

5.4 ความสำคัญของรายงาน

รายงานผลการตรวจสอบสะพานนี้ หากได้รับการจัดทำขึ้นอย่างถูกต้องเหมาะสมแล้ว จะเป็นเอกสารอ้างอิงทั่วไป ควรจะให้มีการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบสะพานฉบับใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการตรวจสอบสะพาน และเพื่อให้รายงานผลการตรวจสอบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรจะได้รับการรวบรวม ภาพวาดแบบร่าง ภาพถ่าย และข้อมูลเสริมภาระ อธิบายอื่นๆ ไว้ในรายงานด้วย ด้วยรายงานและข้อมูลเสริมเหล่านี้จะต้องมีความถูกต้องแม่นยำ ควรบรรยายหรือคำอธิบายต่างๆ จะต้องมีความชัดเจนและรวดเร็ว

รายงานที่มีการจัดทำขึ้นเป็นอย่างดีนั้น ไม่เพียงแต่จะให้ข้อมูลของลักษณะและสภาพของสะพานเท่านั้นแต่จะกล่าวเป็นแหล่งข้อมูลข้างต้นได้เป็นอย่างดีสำหรับการตรวจสอบ การวิเคราะห์เชิงเบรี่ยบเที่ยบ และการศึกษาโครงการสะพานที่จะมีขึ้นในอนาคต

สภาพใดๆ ของสะพานที่น่าสงสัย แต่ยังไม่ชัดเจน ควรจะได้รับการรายงานอย่างตรงไปตรงมาและให้หลักเลี้ยงการคาดเดาในทุกรูปแบบ การกระทำใดๆ ที่เกี่ยวกับรายงานนั้น จะได้รับการตัดสินหลังจากที่ผู้มีประสบการณ์มากกว่าได้ทำการตรวจสอบและให้คำปรึกษาแล้ว



ในการเตรียมทำรายงาน พึงจะถือไว้เสมอว่าการจัดสรรงบประมาณในการซ่อมแซมหรือพื้นฟูสภาพของสะพานนั้น จะขึ้นอยู่กับข้อมูลในตัวรายงานมากไปกว่านั้นแล้ว รายงานการตรวจสอบนี้ยังเป็นเอกสารทางกฎหมาย ซึ่งอาจจะเป็นส่วนประกอบสำคัญในการมีคดีความกันได้ ภาษาที่ใช้ในรายงานควรจะมีความชัดเจนและราบรัด ควรใช้ถ้อยคำให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน และให้เหมือนกันเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้เพื่อลึกเลี้ยงความหมายที่คุณเครื่องและกำกับ ข้อมูลที่อยู่ในรายงานการตรวจสอบนี้เป็นข้อมูลที่ได้มาจากสารลีบหาข้อมูลในภาคสนาม ซึ่งมีหลักฐานอ้างอิงมาจากการผังของ “แบบก่อสร้างจริง” หรือ “แผนผังการตรวจสอบในพื้นที่” ควรจะระบุที่มาของข้อมูลต่างๆ ไว้อย่างชัดเจน

5.4.1 พื้นที่วิกฤต

จุดประสงค์ของรายงานการตรวจสอบ คือ การให้แนวทางสำหรับการตรวจสอบหรือการกระทำการอย่างหนึ่งโดยทันที รายงานการตรวจสอบจะให้ข้อมูลที่อาจจะนำไปสู่การตัดสินใจถึงข้อจำกัดในการใช้สะพาน หรือการสั่งให้ปิดการจราจรของสะพานที่การตรวจสอบได้ระบุว่าจะเป็นอันตรายต่อสาธารณะ

5.4.2 การซ่อมบำรุง

จุดประสงค์อีกอย่างหนึ่งของรายงานการตรวจสอบคือ การให้ข้อมูลถึงความจำเป็นและความมีประสิทธิภาพ ของ การซ่อมบำรุงตามระยะเวลา แผนการซ่อมบำรุงสะพานที่ดีจะมีความสำคัญมากต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างสะพานในระยะยาว รายงานการตรวจสอบสะพานจะสามารถทำให้การซ่อมบำรุงสะพานนั้นได้รับการวางแผนที่ดีและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบ การทำความชำรุดเสียหายและการเสื่อมสภาพของสะพานได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลดลง

5.4.3 การวิเคราะห์การให้คะแนนความสามารถในการรับน้ำหนัก

เมื่อรายงานการตรวจสอบได้บรรยายถึงการทำความชำรุดเสียหายหรือการเสื่อมสภาพของสะพาน ที่อาจจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน จะต้องให้มีกราฟบทวนการวิเคราะห์ Stress คือครั้ง การวิเคราะห์ Stress นี้จะทำให้สามารถกำหนดความสามารถของโครงสร้างทุกหนักปลดภัยได้ สำหรับ Condition ในปัจจุบันของสะพาน ซึ่งก็อาจมีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำหนาแน่นกับโครงสร้างทุกหนักปลดภัยที่จะข้ามสะพานนั้น เพื่อให้เกิดความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างทุกปลดภัย และเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะให้มีรายการคำนวณของการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างทุกปลดภัย รวมไว้ในแฟ้มของโครงสร้างสะพานด้วย

5.4.4 คุณภาพ

ความถูกต้องแม่นยำและความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ของข้อมูลที่รวบรวมได้และบันทึกไว้นี้ เป็นสิ่งสำคัญมากต่อการบริหารการพื้นฟูสภาพของสะพาน การซ่อมบำรุง การทดสอบและความปลอดภัยซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด

“คุณภาพ” ไม่ใช่สิ่งที่จะมองข้าม ทั้งนี้ความรับผิดชอบในการให้ความรับรองในคุณภาพของการตรวจสอบสะพาน เป็นหน้าที่ของผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ดูแลเรื่องนี้ การปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพ จะถูกกำหนดโดยมาตรฐานคุณภาพของสะพานหลาย ๆ ทีม เมื่อกล่าวในเรื่องของคุณภาพ ปัจจุบันที่มักจะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ

- การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)
- การรับรองคุณภาพ (Quality Assurance)

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

การควบคุมคุณภาพ เป็นกระบวนการเสริมของขั้นตอนที่มีเจตนาที่จะรักษาไว้ซึ่งคุณภาพของการตรวจสอบในระดับที่ได้กำหนดไว้ และให้เป็นมาตรฐานอันเดียวกันทั่วประเทศ

การรับรองคุณภาพ (Quality Assurance)

การรับรองคุณภาพ เป็นการประกาศรับรองระดับของการตรวจสอบสีพาน โดยจะรวมเข้าด้วย การตรวจสอบ อีกครั้ง กับสีพานตัวอย่างโดยทีมตรวจสอบอิสระอีกทีมหนึ่ง

คุณภาพของการตรวจสอบสีพาน และการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบโดยหลักฯ แล้วจะขึ้นอยู่กับหัวหน้าชุดตรวจสอบและสมาชิกในชุดตรวจสอบ รวมทั้งความรู้และความเป็นมืออาชีพของพากษาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ที่มีคุณภาพ กำหนดการของการควบคุมคุณภาพและการรับรองคุณภาพ เป็นสิ่งที่จัดทำขึ้นโดยการสู่มตรวจสอบ การทบทวน และการประเมินค่า เพื่อให้มีการตรวจสอบที่ตระหนักรถึงคุณภาพและความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของกำหนดการตรวจสอบสีพานของทั่วประเทศ การตรวจสอบนั้นจะถูกนำมาใช้ในการฝึกผู้ที่จะทำการตรวจสอบสีพานและเพื่อคุณภาพของรายงานผลการตรวจสอบสีพาน

บทที่ 6

แนวทางการตรวจสอบชิ้นส่วนต่าง ๆ

6.1 การตรวจสอบพื้นสะพาน (Deck Inspection)

วัตถุประสงค์หลักของพื้นสะพาน (Deck) คือให้ทำหน้าที่ให้พื้นที่ผิวน้ำที่ทำการจราจร และให้การกระจายน้ำหนักบรรทุกของภาระและน้ำหนักของ Deck เองลงสู่ Components ต่างๆ ของ Superstructure หน้าที่การใช้งานหลักของพื้นสะพานนี้จะถูกกำหนดโดยขึ้นอยู่กับว่า Deck เป็นแบบผสม (Composite) หรือเป็นแบบไม่ผสม (Non- Composite)

6.1.1 ชนิดของพื้นสะพาน

6.1.1.1 พื้นสะพานแบบผสม (Composite Deck)

พื้นสะพานแบบผสมจะถูกออกแบบให้ส่วนของ Deck รวมตัวกับ Components ของส่วนที่รองรับ ซึ่งจะทำให้ส่วนที่ประกอบขึ้นนี้มีอิฐติดรวมทางโครงสร้างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน เมื่ອ่อนกับว่าเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างเพียงชิ้นเดียว ไม่เพียงแต่ช่วงของพื้นสะพานแบบผสมจะอยู่ระหว่างจุดรองรับเท่านั้น แต่ก็ยังคงที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของ Superstructure และเพิ่มความยาวช่วงอีกด้วย ในกรอบแบบสะพานส่วนใหญ่จะออกแบบให้เป็นพื้นสะพานแบบผสม และส่วนใหญ่ก็จะเป็นการใช้ร่วมกันของคอนกรีตและเหล็ก (Beam & Girders)

6.1.1.2 พื้นสะพานแบบไม่ผสม (Non-Composite Deck)

พื้นสะพานแบบไม่ผสมพื้นสะพานจะไม่ทำหน้าที่ร่วมกับชิ้นส่วนที่ใช้รับน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ แต่จะทำหน้าที่เพียงแค่เป็นช่วงของพื้นที่อยู่ระหว่าง Superstructure และให้พื้นการผิวน้ำจราจรเท่านั้น

6.1.1.3 การชำรุดของพื้นสะพาน (Damages of Deck)

การชำรุดของ Deck จะมีหลายประเภทและมีสาเหตุมาจากการสึกด้วยกัน เนื่องจากส่วน Deck จะเป็นส่วนที่สัมผัสกับภาระโดยตรง Deck จึงต้องเกิดการ Wear และ Abrasion หรือความเสียหายจากการชน (Impact Damage) เช่น การบรรทุกน้ำหนักเกินขีดจำกัด



นอกจากนี้แล้ว Deck ยังต้องเกิดความชำรุดเสียหายจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เช่น ละอองน้ำทะเล การเกิดน้ำแข็ง ความชื้นจากหิมะและฝน สารเคมี เชื้อรา เป็นต้น

สารที่ใช้ละลายน้ำแข็งและวัสดุที่ใช้กันลื่น ที่ใช้เทลงบนพื้นสะพาน ซึ่งมีส่วนของคลอร์ไตรอยผสาน กราด และ Cinders และท้ายที่สุด ความผิดพลาดในการออกแบบและการก่อสร้าง เช่น การใช้หลักการออกแบบที่ไม่เหมาะสม การเสริมเหล็กไม่เพียงพอ การลดค่าแบบก่อนกำหนด การทดสอบคงรากที่ไม่ดี การจัดคงรากไม่เหมาะสม เป็นต้น ล้วนแต่มีผลทำให้พื้นผิวสะพานเกิดการชำรุดเสียหายได้ทั้งสิ้น

การที่พื้นผิวสะพานต้องกรอบกับสภาพอากาศตลอดเวลา ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการชำรุดของสะพาน น้ำหนักบรรทุกจากการจราจร ก็เป็นอีกสาเหตุทำให้ Deck เสียหายได้เช่นกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผิวชั้นบนสุด (Wearing Surface) จึงต้องถูกนำมาใช้ในการสร้างชั้นผิวต่างๆ ของ Deck ผิวนนชั้นบนสุด (Wearing Surface) หรือที่ถูกเรียกว่า Overlay จะเป็นชั้นบนสุดของวัสดุที่นำมาทำเป็นพื้นผิวสะพาน สำหรับผิวนนพื้นผิวชั้นนี้ทำให้มีความนุ่มนวลในการขับขี่ และยังป้องกันไม่ให้ส่วน Deck ได้รับความเสียหายที่เกิดจากสภาพอากาศและการจราจร ผิวนนชั้นบนสุด Wearing Surface จะมีความแตกต่างกันไป โดยจะขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ใช้สร้างสะพานว่าเป็น คงรากเหล็ก หรือไม่

6.1.1.4 พื้นสะพานที่เป็นคงราก (Concrete Deck)

คงรากจะเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ก่อสร้างเป็นพื้นสะพาน คงรากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เอื้อให้สามารถสร้างแบบชิ้นส่วนได้หลายๆ แบบ ทั้งขนาดและรูปร่าง อันจะเป็นผลให้ผู้ที่ทำการก่อสร้างสะพานสามารถปฏิบัติงานก่อสร้างด้วยวิธีหลากหลาย

6.1.1.4.1 การทดสอบ

โดยทั่วไปแล้ว พื้นสะพานที่เป็นคงรากจะถูกนำมาใช้เมื่อต้องการโครงสร้างส่วนบน เกิดการทดสอบกัน (Composite Action) ยกตัวอย่างเช่น การใช้พื้นคงรากที่แข็งหล่อในที่ให้เชื่อมตอกับคานเหล็ก คานคงรากตัดขัดแรงหรือกับพื้นที่เป็นหลัก โดยใช้หมุดเสริมกันแรงเฉือน (Shear Connector) พื้นสะพานที่หล่อล่วงหน้า (Precast) ก็สามารถทำให้เกิดการทดสอบกันได้เช่นกัน โดยจะต้องใช้ตัวเชื่อมที่เป็นปูน (Grout Pockets) ซึ่งก็ทำหน้าที่เป็นตัวหมุนลดแรงเฉือน

นอกจากจะช่วยกระจายน้ำหนักบรรทุกทั่วไปแล้ว พื้นสะพานคงรากจะยังทำหน้าที่รับน้ำหนักและถ่ายเทลงสู่โครงสร้างส่วนบนต่อไป ส่วน Deck ที่ไม่มีการทดสอบกัน (Non-Composite Deck) นั้นจะถูกสมมติว่าไม่ได้ช่วยถ่ายเทน้ำหนักสู่โครงสร้างส่วนบนแต่อย่างใด

6.1.1.4.2 เหล็กเสริม

เนื่องจากคงรากจะรับแรงดึงได้น้อยมาก ฉะนั้นจึงต้องมีการเสริมเหล็กไว้เพื่อรับแรงดึง เหล็กเสริมนี้อาจเป็นได้ทั้งเหล็กเส้นกลมหรือเหล็กข้ออ้อยซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กและคงรากได้ดีกว่า และเนื่องจากการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเป็นสาเหตุสำคัญในการชำรุดเสียหายของสะพาน ฉะนั้นเหล็กเสริมจึงต้องผ่านการชุบสังกะสี หรือทาทับด้วยสาร Epoxy เสียก่อน



รูปที่ 6-1 การชำรุดของพื้นสะพานคอนกรีต แสดงให้เห็นว่า เหล็กเสริมหลักมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการจราจร

ผู้ทำการตรวจสอบสะพานจะต้องสามารถบ่งชี้ทิศทางของแรงดึงในเหล็กเสริมเพื่อประมาณค่าของรอยแตกร้าวต่างๆ บนพื้นสะพาน เหล็กเสริมหลักจะถูกจัดให้ตั้งฉากกับจุดรองรับของพื้นสะพาน ยกตัวอย่างเช่น จุดรองรับของสะพานที่มีคานหล่ายๆตัว หรือพื้นที่มีคานซอย จะอยู่ข้างนานกับทิศทางของจราจร ฉะนั้นเหล็กเสริมต่างๆ จึงต้องอยู่ในทิศตั้งฉากกับทิศทางของการจราจร แต่ถ้าเป็นพื้นสะพานแบบเป็นพื้นแล้วคาน จุดรองรับน้ำหนักจะตั้งฉากกับทิศทางการจราจร เหล็กเสริมหลักของพื้นสะพานจึงต้องข้างนากับทิศทางจราจร

เหล็กเสริมหลักจะมีขนาดใหญ่กว่าเหล็กเสริมเพื่อรองรับผลกระทบด้านอุณหภูมิและการหดตัว อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การออกแบบและการก่อสร้างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เหล็กเสริมในพื้นคอนกรีตจะต้องมีขนาดเท่ากันทั้งส่วนล่างและส่วนบนของพื้น และมีระยะหักเหล็กอย่างน้อยประมาณ 5 เซนติเมตร สำหรับคอนกรีตหล่อในที่และอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร สำหรับคอนกรีตหล่อล่วงหน้า (Precast)

พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต จะมี 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ [Reinfarcedes Cast-in-Place (CIP)]
- คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast)
- คอนกรีตขัดแรงหล่อสำเร็จรูป แล้วมีคอนกรีตทับหน้าเป็นคอนกรีตหล่อในที่

6.1.1.4.3 คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่

สำหรับพื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต จะสามารถทำการหล่อในที่ได้ โดยจะมีการทำแบบหล่อคอนกรีตและเมื่อปูมคอนกรีต วิธีการนี้จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีรูปร่างและตำแหน่งที่ถูกต้อง แบบที่ใช้เพื่อหล่อคอนกรีตจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ แบบที่เคลื่อนย้ายออกได้ กับแบบที่อยู่กับที่

แบบที่เคลื่อนย้ายออกได้ จะเป็นวัสดุจำพวกไม้ หรือพลาสติกที่เสริมด้วยไฟเบอร์กลาส แบบประเภทนี้สามารถทำการเคลื่อนย้ายออกได้ เมื่อทำการปูมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว



แบบที่อยู่กับที่ พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต ที่ทำการหล่อในที่มักระบุค้ำยันที่ด้านล่างโดยแบบสำเร็จรูป แบบเหล่านี้จะเป็นแผ่นโลหะที่จะอยู่กับระบบพื้นต่อไปโดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายออก หลังจากที่บ่มคอนกรีตรีบวัยแล้ว

6.1.1.4.4 พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป/

พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ทำการผลิต ณ. แหล่งผลิต เหล็กที่เสริมอาจจะเป็นเหล็กเสริม ธรรมชาติหรือลดเหล็กอัดแรง (Prestressed) พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปจะถูกนำไปติดตั้งบนสะพานเพื่อให้เป็นระบบพื้นสะพาน ต่อไป

การติดตั้งไส้ระบบพื้นสะพานนี้ อาจจะทำได้โดยการใช้ตัวยึด (Clips) ซึ่งจะทำหน้าที่ยึดแผ่นพื้นสำเร็จรูปนี้กับ คานชอย (Stringers) อีกวิธีการนี้ที่ทำได้ก็คือ การเว้นช่องว่างไว้ในแต่ละชิ้นส่วนของแผ่นพื้นสำเร็จรูป เพื่อที่จะใส่ตัว หมุดรับแรงเฉือน แผ่นพื้นสำเร็จรูปจะถูกติดตั้งเหนือตัวหมุดรับแรงเฉือน และช่องว่างที่เตรียมไว้ก็จะถูกเติมด้วยคอนกรีต หรือปูน Grout (น้ำปูน)

6.1.1.4.5 พื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป และคอนกรีตทับหน้าหล่อในที่

ชิ้นส่วนพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปจะถูกวางลงบนคานชอย (Stringers) เพื่อทำหน้าที่เป็นแบบเพื่อหล่อคอนกรีต ทับหน้า หลังจากที่บ่มคอนกรีตทับหน้าเรียบร้อยแล้ว ทั้งสองส่วนนี้ก็จะทำงานร่วมกันเพราะเป็นโครงสร้างแบบผสม (Composite)

6.1.1.5 ผิวนนชั้นบนสุด (Wearing Surface) ของพื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต

โดยส่วนใหญ่แล้ว พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต จะมีพื้นผิวนนชั้นบนสุด Wearing Surface ที่ทำด้วย คอนกรีต หรือแอสฟัลท์ (Asphalt)

6.1.1.5.1 คอนกรีต

พื้นถนนชั้นบนสุดที่เป็นคอนกรีต จะมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบเนื้อดียวกันกับแบบเททับหน้า (Integral & Overlays) พื้นถนนที่เป็นคอนกรีตแบบเนื้อดียวกันจะถูกหล่อพร้อมๆ กับพื้นสะพานและมีกระบวนการของพื้นสะพานขึ้นกีก ประมาณ 1.25 เซนติเมตร ส่วนพื้นถนนที่เป็นแบบเททับหน้า จะถูกหล่อในที่ภายนอกจากที่หล่อพื้นสะพานคอนกรีต เรียบร้อยแล้ว พื้นถนนคอนกรีต บางแห่งจะทำผิวน้ำให้เป็นร่องเล็กๆ ในแนวขวางหลายๆ ร่อง เพื่อให้มีการเกาะถนนที่ดี ขึ้น ร่องเล็กๆ เหล่านี้สามารถทำได้โดยใช้ปลายคราด ครุดไปบนผิวคอนกรีตในขณะที่ผิวคอนกรีตยังไม่แข็งตัวเต็มที่ ถ้า คอนกรีตได้รับการบ่มไปเรียบร้อยแล้ว ก็จะใช้เลือยพื้นเพชรตัดเออกได้

พื้นถนนคอนกรีต แบบเททับหน้านี้จะมีอยู่ 3 ประเภท

- **คอนกรีตที่มีค่าบุบตัวต่ำ (Low Sharp Deuce Concrete) LSCD :** จะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อ ชีเมนต์ต่ำมาก
- **คอนกรีตผสมโพลีเมอร์ (Polymer Modified Concrete) :** จะเป็นการผสมกับระหว่างคอนกรีต สดกับสารเวนลอกโพลีเมอร์ (Polymer Emulsion) หรือเป็นที่รู้จักทั่วไปว่า คอนกรีตลาเท็กซ์ (Latex-Modified Concrete) หรือ LMC LMC เป็นปูนชีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่มีส่วนผสมของลา เท็กซ์ อยู่ 15 % ของน้ำหนักของชีเมนต์

- คอนกรีตที่ได้รับการซีลภายใน (Internal Sealed Concrete)

ข้อแตกต่างระหว่าง LSCD และ LMC ที่เห็นได้ชัด ก็คือ คอนกรีตที่มีค่าอุบัติธรรม์ จะใช้วัสดุราคาไม่แพง แต่จะมีความยากในการทำงาน (หล่อ) และยังจำเป็นต้องใช้คุปกรณ์ตอบแทนพิเศษ ในทางกลับกัน คอนกรีตผสมสามารถใช้วัสดุที่มีราคาแพง แต่ก็จะใช้แรงงานคนน้อยกว่า และใช้คุปกรณ์ในการทำงาน เมื่อเทียบกับงานคอนกรีตทั่วๆไป

คุณภาพของ LMC อยู่ในระดับที่น่าพอใจ ถึงแม้ว่าในบางกรณีจะมีรอยร้าวและมีรายงานของการสูญเสียเร่งดี เนื่องจาก สาเหตุของข้อบกพร่องดังกล่าวเนื่องมาจากการบ่มที่ไม่เหมาะสม การทำงานภายใต้คุณภาพที่สูงหรือการยึดเหน็บตัว เนื่องจากมีค่าการอุบัติธรรม์ที่สูง

พื้นคอนกรีตทับหน้าที่เป็นคอนกรีตแบบ Seal ภายใน จะมีส่วนประกอบของอนุภาคของโพลีเมอร์ที่หลอมได้ (Fusible Polymer) ในการผสมคอนกรีต หลังจากบ่มคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว จะมีการหลอมอนุภาคของโพลีเมอร์ชนิดนี้ ผสมเข้าไปด้วยชั้นกระบวนการนี้จะช่วย Seal เนื้อคอนกรีต และป้องกันคอนกรีตจากผลกระทบของความชื้นและสารเคมี ต่างๆ

6.1.1.5.2 แอสฟัลท์ (Asphalt)

พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต สามารถมีพื้นฐานที่เป็นยาง Asphalt ได้ เมื่อมีการเท Asphalt ลงบนพื้นคอนกรีต จะต้องมีการวางแผ่นกันน้ำ (Waterproof Membrane) ลงบนแผ่นคอนกรีตก่อนเพื่อป้องกันผลกระทบจากน้ำที่อาจเกิดขึ้น ได้โดยน้ำจะไปไหหลอมผ่านชั้นของ Asphalt แต่จะระนั่นก็ตาม ความพยายามในการป้องกันน้ำ โดยวิธีใช้แผ่นกันน้ำนี้ก็ไม่ได้ผลเสมอไป

6.1.1.5.3 ตำแหน่งที่จะตรวจสอบและขั้นตอนของการตรวจสอบ

จะต้องมีการตรวจสอบพื้นผิวคอนกรีตทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อค้นหารอยแตก การแยกตัวและการหลุดล่อน ของคอนกรีต การเป็นสนิมของเหล็กเสริม การถูกกัดกร่อนโดยสารคลอไรด์ การกะเทาะและเสียหายต่างๆ ตำแหน่งที่สำคัญๆ ของพื้นสะพานคอนกรีต มีดังต่อไปนี้

- บริเวณที่สัมผัสกับการจราจรโดยตรง ให้ตรวจสอบการชำรุดเสียหาย การแยกตัว การเสื่อมของ และการหลุดล่อน
- บริเวณที่สัมผัสกับภาระบนน้ำ ให้ตรวจสอบหาความเสียหายทั่วๆไปของคอนกรีต
- บริเวณที่รับแรงแบกทันและแรงเฉือน หรือบริเวณที่พื้นสะพานคอนกรีตถูกรองรับอยู่ ให้ตรวจสอบ หากการหลุดล่อนและการแตกโดยแรงอัด
- บริเวณรอยต่อเมืองลักษณะร่องร่องร่อง ให้ตรวจสอบหากรอยแตกเนื่องมาจากแรงดึง
- บริเวณด้านบนของพื้นที่ถูกรองรับอยู่ ให้ตรวจสอบหากรอยแตกเนื่องจากแรงดึง
- บริเวณด้านล่างของพื้นที่อยู่ระหว่างจุดรองรับให้ตรวจสอบหากรอยแตกเนื่องจากแรงดึง
- บริเวณด้านบนและด้านล่างของแผ่นพื้นที่อยู่ในพื้นที่ของโมเมนต์ลับของ Superstructure ให้ตรวจสอบหากรอยแตกเนื่องจากแรงดึงตามข้าง



- แบบที่อยู่กับที่ ให้ตรวจสอบหากการชำรุดเสียหายและการเกิดสนิมของแบบนั้น เพราะมักจะปะบ梧กถึงการเกิดการเจือปนของพื้นสะพานคอนกรีต แบบเหล่านี้อาจจะเก็บความชื้นและสารปะ梧梧ท คลอไวร์ด ซึ่งสามารถซึมลึกเข้าไปในจอยแต่กอนกรีตได้จนสุดความลึก (Full Depth Penetration)
- บริเวณแท่นยึดของเหล็กยึดในชั้นส่วนสำเร็จฐาน (Anchorage Zone) ให้ตรวจสอบหากการชำรุดเสียหายของถุงน้ำปูน (Grout Pockets) หรือการหลุมของอุปกรณ์ยึด ถ้ามีการรายงานมาก่อนหน้านี้ ก็ควรจะนำมาใช้ด้วยเพื่อจะได้ทำการบันทึก ความคืบหน้าของการชำรุดเสียหานั้น

การตรวจสอบพื้นสะพานคอนกรีตเพื่อค้นหารอยแตก การหลุดล่อน และความเสียหายอื่นๆ นี้จะเป็นการสำรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม Hammer and Chain Drags ก็เป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้ตรวจสอบพื้นที่ของการเสียหายได้ เช่นกัน และการเจาะเอาตัวอย่างคอนกรีต (Core Samples) จากพื้นสะพานแล้วนำไปตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) เพื่อหาปริมาณความเจือปนของสารปะ梧梧คลอไวร์ด ทั้งนี้อาจจะมีการใช้อุปกรณ์ชั้นสูงเพื่อตรวจสอบการเลื่อนของผิวพื้น และการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ด้วย

6.1.2 รอยต่อของพื้นสะพาน (Deck Joints)

Deck Joints เป็นส่วนที่สำคัญมากของสะพาน หน้าที่หลักของ Deck Joints คือ รองรับการยึดตัวและการหดตัวของ Deck รอยต่อของพื้นสะพานยังเป็นส่วนที่ปิดช่องระหว่างส่วน Deck และกำแพงของ Abutment อีกด้วย นอกจากนี้ รอยต่อของพื้นสะพานนี้ยังช่วยให้การเคลื่อนที่จาก蹲นคของสะพานขึ้นไปสู่ Deck เป็นไปอย่างนุ่มนวล Deck Joints จะต้องเป็นส่วนที่ทนทานต่อทุกสภาพอากาศในพื้นที่กำหนดให้ และจะต้องทำหน้าที่ทุกๆ อย่างได้เป็นอย่างดีโดยไม่มีข้อกวน ไม่ว่าภาระจราจรที่ข้ามสะพานจะมีสภาพเป็นอย่างไร ผู้ที่ทำการตรวจสอบจะต้องสามารถระบุ Deck Joints ที่ทำหน้าที่บกพร่องได้

Deck Joints เป็นสิ่งที่ทำให้สามารถแบ่งสะพานออกเป็นช่วงๆ ได้ รอยต่อจะมีที่ Abutment และมีอยู่ที่เนื้อ Pier ในกรณีที่สะพานมีหลายช่วง หรือมีอยู่ที่ช่วงແเนเพนพื้นที่เพิ่มเติมเข้ามา (Drop-in-Span)

จะต้องมีการแบ่งแยกให้ดีระหว่างความหมายของ “Deck Joints” และ “Construction Joints” เพื่อที่จะไม่ให้เกิดความสับสน เพราะ “Construction Joints” จะหมายถึงรอยต่อเมื่อเริ่มเทคโนโลยีคอนกรีตใหม่หรือเมื่อยุดเทคโนโลยีคอนกรีต ระหว่างการก่อสร้าง Deck

Deck Joints จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ รอยต่อแบบเปิด (Open Joints) และรอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

6.1.2.1 รอยต่อแบบเปิด (Open Joints)

รอยต่อแบบเปิดนี้จะยอมให้น้ำและเศษวัสดุต่างๆ ผ่านรอยต่อนี้ได้ รอยต่อแบบเปิดจะมี 2 ชนิด คือ รอยต่อแบบหล่อ และ รอยต่อแบบใช้แผ่นเหล็ก

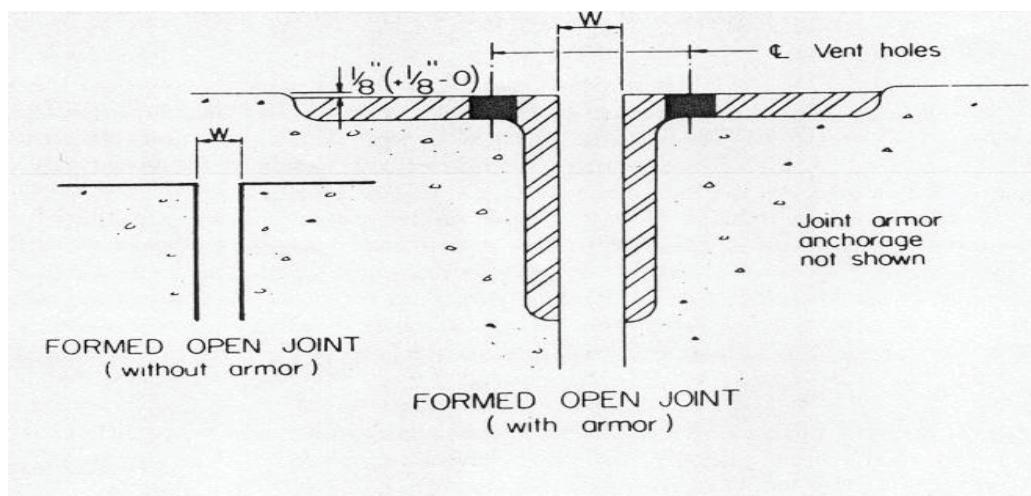
- รอยต่อแบบหล่อ (Formed Joints) : รอยต่อแบบหล่อจะมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่าง (Gap) ระหว่างพื้นสะพานกับกำแพงของ Abutment หรือระหว่าง Deck ตัวกัน (ในกรณีที่สะพานมีหลายช่วง) เพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะพบในสะพานที่มีความยาวช่วงสั้น (น้อย) ซึ่งจะมีการขยายตัวไม่มากนัก รอยต่อ

แบบเปิดนี้มักจะไม่มีระบบป้องกัน หรืออาจมีโดยใช้เหล็กจากประกอบที่รอยต่อของ Deck กับส่วน Back Wall ของ Abutment) (ดูรูปที่ 6-2)

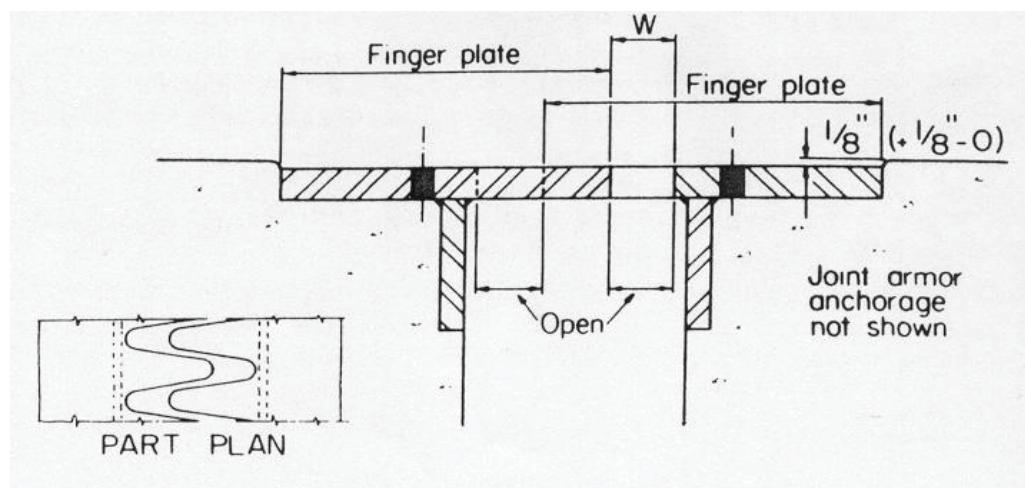
- รอยต่อแบบใช้แผ่นเหล็ก (Finger Plate Joints) : มักจะเป็นที่รู้จักในชื่อของรอยต่อเหล็กชูปั๊น (Tooth Plate Joint) หรือ เรือนรูปปั๊น (Tooth Dam) รอยต่อชนิดนี้จะประกอบไปด้วย แผ่นเหล็ก 2 ชิ้น และมีตัวยึดระหว่างกัน (Interlocking Fingers) ส่วนใหญ่จะใช้รอยต่อชนิดนี้ในสะพานที่มีความยาวช่วงมากๆ ซึ่งจะเกิดการขยายตัวมาก รอยต่อแบบแผ่นเหล็กนี้จะมีอยู่ 2 ประเภทด้วยกัน คือ แบบแผ่นเหล็กยืน (Cantilever Finger Plate Joints) และแบบถูกรองรับ (Supported Finger Plate Joints)

รอยต่อแบบแผ่นเหล็กยืน จะใช้มีการขยายตัวน้อย ส่วนยืน (Fingers) จะยื่นมือมาจากแผ่นเหล็กด้านส่วน Deck และด้านส่วนของตอม่อ

รอยต่อแบบถูกรองรับ จะให้ในสะพานที่มีความยาวช่วงมากกว่า รอยต่อนี้จะมีระบบที่รองรับตัวมันเอง คือ คานขวาง (Troms User Beam) ซึ่งอยู่ด้านใต้ของรอยต่อ รอยต่อแบบแผ่นเหล็ก บางชนิดก็สามารถแบ่งเป็นส่วนๆ เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม



รูปที่ 6-2 Formed Joint



รูปที่ 6-3 Cantilever Finger Plate Joint



6.1.2.2 รอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

รอยต่อแบบปิด จะได้รับการออกแบบเพื่อไม่ให้น้ำหรือเศษวัสดุต่างๆ ผ่านไปได้ รอยต่อแบบปิดนี้ จะมีอยู่ 6 ประเภท คือ

- รอยต่อแบบปิดโดยการเท (Poured Joint Seal)
- รอยต่อแบบปิดโดยการกด (Compression Seal)
- รอยต่อแบบปิดและมีโพรง (Cellular Seal)
- รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นเหล็กเดี่ยอน (Sliding Plate Joint)
- รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นรับความยืดหยุ่นสำเร็จรูป (Prefabricated Elastomeric Seal)
- รอยต่อแบบปิดโดยหน่วยประกอบยึดหยุ่น (Modular Elastomeric Seal)

Poured Joint Seal

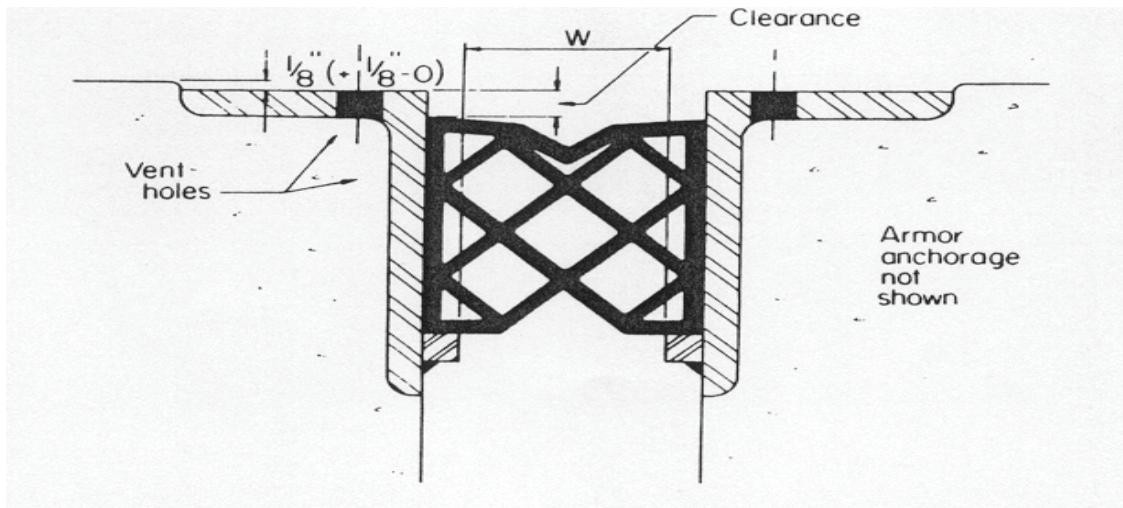
รอยต่อชนิดนี้จะทำจากวัสดุ 2 ชนิด คือ ส่านฐานและสารผนึกกันน้ำที่ใช้ เส้นฐานจะประกอบไปด้วยวัสดุเติมแทรกที่หล่อไว้แล้วใช้สำหรับอยู่ต่อเพื่อขยาย (Preferred Expansion Joint Filler) ส่วนบนของวัสดุชนิดนี้จะอยู่เหนือพื้นสะพานประมาณ 2.5–5.0 ซม. ซึ่งว่างที่เหลือในรอยต่อจะประกอบไปด้วยสารผนึกที่เทไก โดยจะมีการแยกตัวออกจากส่วนฐานซึ่งอาจทำได้โดยการใช้หัวเหล็กที่ใช้แยกแรงยึดเห็นี่ยา (Backer Rod or Bond Breaker) เนื่องจาก รอยต่อแบบปิดโดยการเทนี้จะรองรับการเคลื่อนที่ได้เพียง 0.6 ซม. ฉะนั้น จึงมีการใช้รอยต่อชนิดนี้ในสะพานช่วงสั้นเท่านั้น

Compression Seal

รอยต่อชนิดนี้ประกอบไปด้วย ยางเทียมชนิดทนน้ำมัน (Neoprene) รูปสี่เหลี่ยม (Rectangle) โดยมีรูปร่างหน้าตัดเป็นรูปปังผึ้ง (Honeycomb) (ดูรูปที่ 6-4) การออกแบบของรูปร่างรังผึ้งนี้ช่วยให้รอยต่อชนิดนี้ คืนสภาพได้อย่างสมบูรณ์หลังจากถูกทำให้รูปร่างบิดเบี้ยวไปโดยแรงจากการหดตัวและการขยายตัวของสะพาน มันถูกเรียกว่า Compression Seal เพราะว่ารอยต่อชนิดนี้จะทำหน้าที่อยู่ในสภาวะถูกกระทำโดยแรงกด (Compression) อยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วมักจะมีเหล็กจากอย่างรับอยู่ เพื่อป้องกันส่วนพื้นสะพานและกำแพงตอม่อไม่ให้ได้รับความเสียหาย ในบางกรณีรอยต่อของพื้นสะพานจะถูกตัดเพื่อทำการติดตั้ง Compression Seal ถ้าเป็นในกรณีนี้ไม่มีการติดตั้งเหล็กจากลงไป Compression Seal นี้จะมีอยู่หลายขนาด และถูกเรียกตามความสามารถในการเคลื่อนที่ของตัวมันเอง Compression Seal ขนาดใหญ่จะสามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 5 เซนติเมตร

Cellular Seal

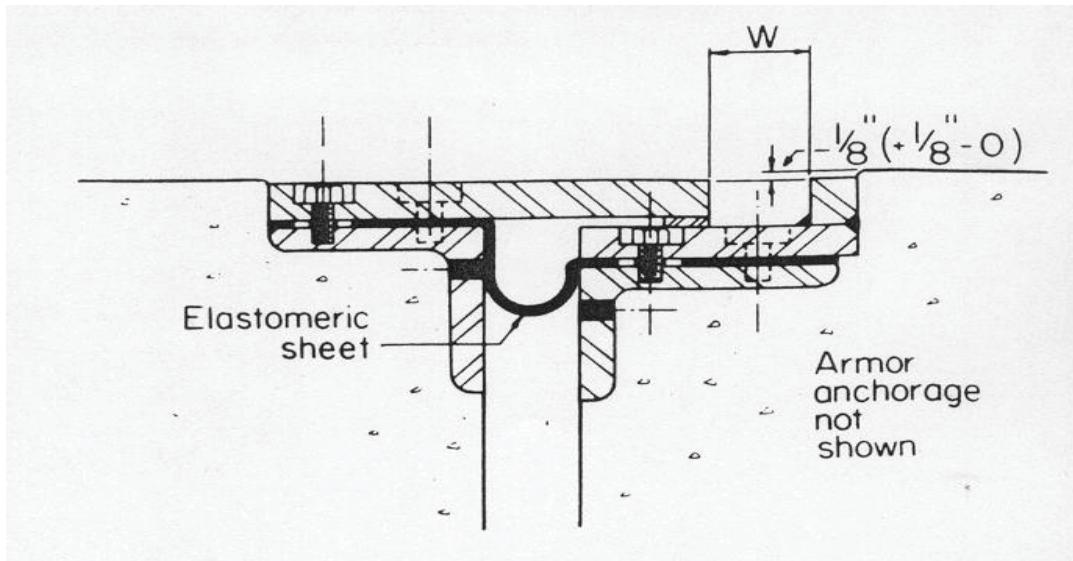
รอยต่อชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับ Compression Seal และเหล็กจากที่รองรับก็มีลักษณะเกือบเหมือนกันทุกอย่าง ความแตกต่างจะอยู่ตรงที่วัสดุที่ใช้ผนึกอยู่ต่อ Cellular Seal นี้ จะทำจากโฟมที่มีช่องว่างอยู่ (Closed-Cell Foam) ซึ่งจะทำให้รอยต่อชนิดนี้เคลื่อนที่ไปได้ ในทิศทางต่างๆ กันโดยไม่ทำให้แผ่น Seal ลอกเสียไป โฟมนี้จะรองรับได้ทั้งการยืดตัวและการหดตัว ในทิศทางทั้งตั้งตัวจากและขนานกับรอยต่อ การเคลื่อนที่ในทางขนานหมายความถึง การบีบเค้น ที่เกิดขึ้นระหว่างการยืดตัวและการขยายตัวตามปกติ ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่มีความโค้ง (Curve Structure) หรือสะพานแบบเฉียง (Skew Bridge)



รูปที่ 6-4 Compression Seal

Sliding Plate Joint

รอยต่อชนิดนี้ประกอบไปด้วย แผ่นเหล็กเลื่อนจำนวน 2 แผ่น ที่เลื่อนอยู่บนช่องกันและกัน ถึงแม้ว่าจะถูกจัดให้เป็น รอยต่อแบบปิด แต่รอยต่อโดยแท้จริงแล้วเป็นรอยต่อโดยไม่ได้สมอ การพยายามที่จะผนึกรอยต่อชนิดนี้ มีการใช้แผ่น ยืดหยุ่น (Elastomeric Sheet) มาติดตั้งระหว่างแผ่นเหล็กและแผ่นป้องกันรอยต่อ (Joint Armoring) ก็ทำให้น้ำไหลเกิน ออกໄປได้ทางด้านข้างของสะพาน (ดูรูปที่ 6-5) Sliding Plate Joint นี้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 10 ซม.



รูปที่ 6-5 Sliding Plate Joint

Prefabricated Elastomeric Seal

Seal ที่ใช้ในรอยต่อชนิดนี้ จะมีผู้ผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะ และจะมีอยู่ 3 ชนิด

- แผ่นผนึกแบบหนา (Plank Seal) เป็นแผ่นคล้ายแผ่นไม้



- แผ่นผนึกแบบบาง (Sheet Seal) เป็นแผ่นกว้าง
- แผ่นผนึกแบบแคบ (Strip Seal)

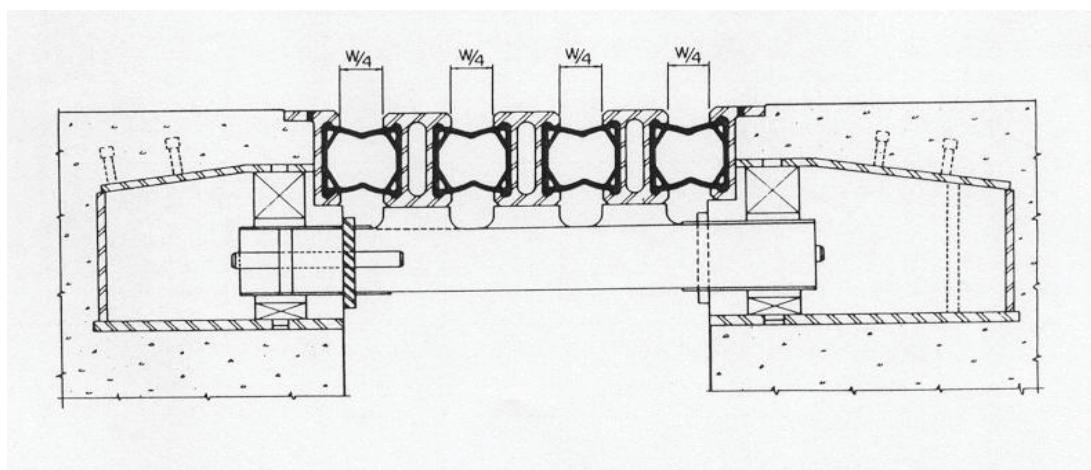
แผ่นผนึกแบบ Plank Seal จะประกอบไปด้วยแผ่นยางเทียม (Steel Reinforced Neoprene) ซึ่งจะรองรับน้ำหนักจากยานพาหนะที่วางผ่านรอยต่อ แผ่นผนึกชนิดนี้ จะถูกยึดติดกับแผ่นพื้นสะพานโดยใช้ Bolt และสามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ระหว่าง 5-33 เซนติเมตร

แผ่นผนึกแบบ Sheet Seal ประกอบด้วย แผ่นยางเทียมเสริมเหล็ก (Steel Reinforced Neoprene) จำนวน 2 ก้อน และใช้แผ่น Neoprene แบบบางจะเป็นตัวเข็มแผ่นยางเทียมเสริมเหล็ก 2 ก้อนนั้นตลอดความยาวของรอยต่อรอยต่อชนิดนี้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 10 ซม.

แผ่นผนึกแบบ Strip Seal ประกอบไปด้วย เหล็กตัวยึดที่เป็นช่อง (Slotted Steel Anchorage) ซึ่งหล่อเข้าไปใน Deck และ Back Wall แผ่นผนึกที่เป็นยางเทียม (Neoprene) จะถูกติดตั้งเข้าไปในช่องว่างตลอดความยาวของรอยต่อรอยต่อชนิดนี้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 10 ซม.

รอยต่อแบบปิดโดยหน่วยประกอบยีดหยุ่น (Modular Elastomeric Seal)

รอยต่อชนิดนี้ เป็นอีกชนิดหนึ่งที่ใช้แผ่นยางเทียมชนิดทนน้ำมัน (Neoprene) เป็นตัวผนึก และรองรับน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะ รอยต่อชนิดนี้ประกอบไปด้วย ก้อนผนึกยางเทียมรูปสี่เหลี่ยมกล่องเขื่อมติดกับเหล็กและรองรับโดยระบบคานยึดของตัวเอง (Stringer System) (ดูรูปที่ 6-6) สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ระหว่าง 10 ถึง 60 เซนติเมตร และยังสามารถถูกผลักมาเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ได้ถึง 120 เซนติเมตร



รูปที่ 6-6 Modular Elastomeric Seal

6.1.2.3 ตำแหน่งและขั้นตอนของการตรวจสอบรอยต่อ

แม้ว่าจะไม่ได้มีการกำหนดให้มีการตรวจสอบ Deck Joints อย่างไรก็ตามเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ตรวจสอบสะพานควรจะต้องบันทึกสภาพของรอยต่อต่างๆ ไว้ เพราะส่วนใหญ่แล้ว ปัญหาของรอยต่อพื้นสะพาน มักจะสัมพันธ์กับปัญหาอื่นๆ ของสะพาน

รอยต่อของแผ่นพื้นสะพาน (Deck Joints) ควรได้รับการตรวจสอบตามรายการดังต่อไปนี้

- ฝุ่นและเศษวัสดุที่มากของรวมกัน
- การจัดวางที่เหมาะสม
- ความเสียหายของแผ่นพนึก
- สิ่งของรบเรอยต่อ
- คุปกรถที่ช่วยยึดร้อยต่อ

การสะสมรวมกันของฝุ่นและเศษวัสดุ

ถ้ามีฝุ่นและเศษวัสดุสะสมอยู่ในรอยต่อ ก็อาจทำให้รอยต่อมีการเคลื่อนที่ระหว่างการยืด–ขยายตัวของสะพาน เป็นไปโดยไม่ปกติ ทำให้เกิดรอยแตกบนพื้นสะพาน (Deck) หรือ กำแพงคอมมอร์ (Backwall) ได้ ถ้ามีการสั่งสมของฝุ่นและเศษวัสดุเข้าไปในรอยต่ออย่างต่อเนื่อง วัสดุที่ใช้ทำรอยต่อนั้นจะบดไปที่สุด

การจัดวางที่เหมาะสม

ทั้งสองข้างของรอยต่อต้องถูกจัดวางในระดับเดียวกันจริงห้ามให้มีระดับแตกต่างกัน ในสะพานแบบตรง (Straight Bridge) ซึ่งเปิดของรอยต่อ ควรจะอยู่ในแนววางกับสะพาน

ในรอยต่อแบบ Finger Plate ในแต่ละชีวิตรอยต่อ Finger Plate ควรจะสามารถซ่อนกันได้พอดี และควรอยู่ในระนาบเดียวกัน

มีความสำคัญมากที่การเคลื่อนที่ของรอยต่อจะมีความสัมพันธ์คงที่กับอุณหภูมิ ฉะนั้นอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ของพื้นที่นั้นจะต้องถูกบันทึกไว้ และจะต้องมีการออกแบบให้ช่องเปิดมีค่าน้อยที่สุด เมื่ออุณหภูมิขึ้นสูงที่สุด การวัด อุณหภูมิของสะพาน ทำได้โดยติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ ไว้กับตัวสะพาน

ความเสียหายของแผ่นพนึก (Damage to Seals)

แผ่นพนึก (Seal) อาจได้รับความเสียหายจากสิ่งต่างๆ เช่น การจราจร และเศษวัสดุ ซึ่งจะทำให้แผ่น Seal ฉีกขาด หรือถูกดึงออกจากตัวยึด หรือหลุดออกทั้งหมด ผู้ตรวจสอบสะพานควรบันทึกสิ่งต่างๆ เหล่านี้ไว้ และควรจะต้องสำรวจหา รอยร้าวในรอยต่อแบบปิด (Closed Joint) ด้วย



รูปที่ 6-7 ความเสียหายของ Compression Seal

การปูพื้นผิวนนใหม่ที่ไม่ได้มาตรฐาน (Indiscriminate Overlays)

เมื่อมีการปูพื้นผิวนนใหม่บน Deck ของสะพาน ก็มักจะทำการ Overlay ลงไปบน Joint ของสะพาน โดยที่ไม่ได้ เอาใจใส่ในเรื่องของประสิทธิภาพมากเท่าที่ควร และกรณีเช่นนี้ก็มักจะเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้งในสะพานขนาดเล็กตามท้องถิ่น ต่างๆ และมักจะมีรอยแตกในแนวขวาง (Transverse Cracks) เกิดขึ้นที่พื้นถนนอยู่เสมอ และทำให้ทราบโดยทันทีว่า Joint ไม่ควรถูกเทบด้วยวิธีการที่ไม่ได้มาตรฐานซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายในการทำหน้าที่ของ Joint อย่างมาก (ดูรูปที่ 6-8)



รูปที่ 6-8 Transverse Crack ที่เกิดขึ้นที่ด้านบนของ Expansion Joint

ตัวรองรับรอยต่อ (Joint Supports)

เมื่อมีการหดตัว-ขยายตัวที่มากขึ้น Joints อาจจะต้องได้รับการรองรับที่ด้านล่างของ Joints โดยคานขวาง (Transverse Beams)

จุดรองรับรอยต่อ (Joint Supports)

เมื่อต้องการให้มีการหดตัวและ การขยายตัวที่มากขึ้นกว่าเดิม ก็จะต้องมีสิ่งที่ต้องคงอยู่รับ Joint ไม่ว่าจะรองรับทั้งหมดหรือรองรับเพียงบางส่วนโดย Transverse Beam ที่อยู่ด้านล่างของ Joint และ Joint เหล่านี้จะต้องได้รับการตรวจสอบอย่างระมัดระวังถึงความสามารถในการทำงาน และการเกิดสนิมของรอยต่อนี้

อุปกรณ์ยึดร่องรอยต่อ (Joint Anchorage Devices)

การเสื่อมประสิทธิภาพของอุปกรณ์ช่วยยึดรอยต่อ เป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นบ่อยๆ ที่ทำให้เกิดปัญหาในแผ่นพื้นสะพาน (Deck Problems) ฉะนั้นจะต้องมีการตรวจสอบอย่างระมัดระวังในความสามารถในการทำงาน และการเกิดสนิมของรอยต่อ

6.1.3 ระบบระบายน้ำ (Drainage System)

ระบบระบายน้ำมีหน้าที่จัดน้ำและส่งอื่นๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อสะพาน แม้ว่าจะไม่มีหัวซื้อยอยที่กำหนดหรือความสามารถในการใช้งานของระบบระบายน้ำ และระบบระบายน้ำนี้ ไม่ได้อยู่ในส่วนของการให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม เป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ตรวจสอบสะพาน ที่จะต้องบันทึกสภาพการใช้งานของระบบระบายน้ำ เมื่อจากปัญหาของระบบระบายน้ำสามารถเป็นสาเหตุนำไปสู่ปัญหาของโครงสร้างได้ในที่สุด

6.1.3.1 Elements ของระบบการระบายน้ำของพื้นสะพาน

มี Elements ต่างๆ ที่ควรรู้จัก ดังต่อไปนี้

- น้ำไหลที่พื้นผิว (Run Off)
- ช่องระบายน้ำพื้นสะพาน (Deck Drains)
- ท่อระบายน้ำออกจากพื้นสะพาน (Outlet Drains)
- ท่อระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspout Pipes)
- ช่องทำความสะอาด (Cleanest Plugs)

น้ำไหลที่พื้นผิว หมายถึง น้ำและสิ่งอื่นๆ ที่อยู่บนผิวพื้นของพื้นสะพาน

ช่องระบายน้ำที่พื้นสะพาน เป็นส่วนประกอบแรกของระบบระบายน้ำที่น้ำไหลที่พื้นผิวจะต้องไหลผ่านช่องระบายน้ำนี้ จะเป็นช่องเปิดต่างๆ ที่พื้นสะพาน ที่ฐานของแผงบัง (Parapet) กล่องหรือช่องสำหรับระบบน้ำต่างๆ ที่มีอยู่



กล่องรับน้ำที่มีฝาตะแกรงปิดอยู่ ตะแกรงนี้จะทำการเหล็กเส้น ที่จัดเรียงกันในทิศทางเดียวกับสะพาน และมีระยะห่างกันประมาณ 5 ซม. ฝาตะแกรงที่ใช้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้จักรยาน ก็จะมีท่อนเหล็กวางตามขวางของตะแกรงด้วย มีระยะห่างประมาณ 10 ซม.

ฝาตะแกรงจะช่วยปกป้องไม่ให้เศษวัสดุขนาดใหญ่ เข้าไปในระบบระบายน้ำ และให้น้ำผ่านเข้าไปได้ ตะแกรงนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจักรยานได้ เช่นกัน การระบายน้ำที่นี่อาจจะสิ้นสุดลงตรงที่ช่องระบายน้ำที่พื้นสะพานนี้ ก็ได้

ท่อระบายน้ำออกจากพื้นสะพาน (Outlet Pipes) ท่อนี้จะช่วยนำน้ำออกไปจากช่องระบายน้ำที่พื้น (Drain) ใช้กับสะพานที่ข้ามถนน-ท่อ Outlet นี้จะถูกต่อเข้ากับท่ออื่นๆ ในกรณีที่ไม่ใช่สะพานที่ข้ามถนนท่อ Outlet นี้ อาจจะถูกต่อออกมาเพียงไม่กี่ฟุตจากใต้พื้นสะพาน ให้เพียงพอที่ระบายน้ำจะไม่ถูกกัมพัดให้ไปถูกโครงสร้างส่วนบนได้

ท่อระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspout Pipes)

เมื่อสะพานเป็นสะพานที่ข้ามถนน ระบบระบายน้ำ จากพื้นสะพานจะต้องถูกระบายน้ำท่อระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Outlet Pipes) ไปสู่ระบบระบายน้ำภายนอก (Sewer System) หรือ ถูกอื่นๆ ที่เหมาะสมและในกรรมวิธีตั้งกล่าว ก็จะต้องมีการใช้ระบบของท่อระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspout Pipes Network)

ช่องทำความสะอาด (Cleanout Plugs)

จะมีปลั๊ก (Plug) อุดอยู่ และสามารถเอาออกได้ เมื่อต้องการทำความสะอาด

6.1.3.2 ตำแหน่งและขั้นตอนของการตรวจสอบ

ชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบระบายน้ำที่ควรจะได้รับการตรวจสอบมีรายการดังต่อไปนี้

- ฝาตะแกรง (Grates)
- ช่องรับน้ำและระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Deck Drains and Inlets)
- อ่างรับน้ำ (Drainage Troughs)
- ท่อระบายน้ำออก (Outlet Pipes)

ฝาตะแกรง (Grates) ไม่ควรให้มีเศษวัสดุต่างๆ กีดขวางการไหลเข้าของน้ำ ฝาตะแกรงนี้อาจมีการชำรุดเสียหายหรือสูญหาย ข้อมูลต่างๆ จะต้องถูกบันทึกไว้

ช่องรับน้ำและระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Deck Drains and Inlets) จะต้องมีขนาดระยะห่างที่เพียงพอสำหรับการระบายน้ำออกจากสะพานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากว่าสภาพของน้ำหรือสิ่งที่ต้องระบายน้ำออก (Run off) นี้ จะมีการเปลี่ยนไปได้ ฉะนั้น ชิ้นส่วนของระบบระบายน้ำจากเหล่านี้จะต้องได้รับการตรวจสอบอย่างถี่ถ้วนในแต่ละครั้งของการตรวจสอบสะพาน การอุดตันของช่องระบายน้ำจากพื้นสะพาน จะทำให้ Deck มีการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และจะทำให้น้ำเจ็บนองบนผิวน้ำร้อนเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์

อ่างรับน้ำ (Drainage Troughs) อ่างรับน้ำซึ่งอยู่ที่บริเวณใต้ร้อรอยต่อ ควรจะได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด ถ้ามีการสะสมของเศษวัสดุมากๆ เช่น ก็จะทำให้อ่างรับน้ำเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และยังจะทำให้น้ำไหลออกໄไป สัมผัสกับ Member ในโครงสร้างของสะพาน ถ้าเป็นไปได้ ควรจะใช้พัด (Shovel) ตักเศษวัสดุออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ให้เขียนรายงานถึงสภาพปัจจุบันเพื่อการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม

ท่อระบายน้ำออก (Outlet Pipes) ท่อระบายน้ำออกจะช่วยระบายน้ำออกจากสะพาน ท่อระบายน้ำออกนี้ อาจถูกต่อตงจากช่องระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Deck Drain) โดยให้มีความยาวพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำที่ระบายน้ำออกนี้สาดໄไป สัมผัสกับ โครงสร้างสะพาน ท่อระบายน้ำออกนี้อาจจะเป็นการต่อเนื่องกันของท่อต่างๆ ซึ่งเรียกว่า ระบบระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspoutting) ท่อระบายน้ำชนิดนี้ ควรจะได้รับการตรวจสอบว่ามีรอยแยกหรือท่อเมียหักดองจากกัน หรือไม่ ซึ่งสิ่งดังกล่าวจะทำให้น้ำที่ต้องการระบายน้ำออกໄไปสัมผัสกับตัวสะพานและทำให้โครงสร้างมีการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

6.1.4 ความปลอดภัย (Safety Features)

เมื่อยานพาหนะมีการเดินทางบนถนน ก็จะต้องมีองค์ประกอบของความปลอดภัย เช่น ราวกันตก (Guardrails) เพื่อป้องกันไม่ให้ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ออกจากทิศทางการจราจร เช่นเดียวกัน เมื่อยานพาหนะต้องเคลื่อนที่ผ่านสะพาน ส่วนประกอบเพื่อความปลอดภัย เช่น รากน้ำที่ต้องการจะแนบแน่นกับตัวสะพาน เป็นต้น ซึ่งจะสามารถช่วยให้ยานพาหนะไม่หลุดออกໄไปนอกสะพาน จุดถ่ายเทจากถนนสู่สะพานเป็นสิ่งจำเป็นต้องมีเพื่อให้ส่วนประกอบของความปลอดภัยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เพราะฉะนั้นการตรวจสอบโดยละเอียดในส่วนประกอบเพื่อความปลอดภัยของสะพาน ควรจะรวมถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- รากน้ำของสะพาน (Bridge Barrier)
- รากน้ำตกก่อนเข้าสะพาน (Approach Barrier)
- จุดถ่ายเท (Transitions)
- การตอบแต่งส่วนปลาย (End Treatments)
- รากน้ำซึ่งกลาง (Median Barriers)

6.1.4.1 รากน้ำของสะพาน (Bridge Barrier)

รากน้ำบนสะพานถูกจำแนกออกเป็น 2 จำพวก คือ

- รากน้ำบนสะพาน (Bridge Railing)
- รากน้ำสำหรับคนเดินถนน (Pedestrian Railing)

Bridge Railing: จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้รถหลุดออกໄไปนอกขอบของสะพาน รากน้ำบนสะพานนี้จะต้องเปลี่ยนทิศทางของรถที่จะหลุดໄไปนอกสะพาน ให้กลับเข้ามาทางด้วยตัวอยู่ได้ อย่างนุ่มนวลและไม่เกิดการพลิกคว่ำ และไม่ทำให้รากน้ำบนสะพานเสียหาย



Pedestrian Railing: มีลักษณะคล้ายกับรั้ว อาจจะทำจากไม้ อิฐ หิน เหล็ก หรือ คอนกรีต เป็นขั้นส่วนโครงสร้างของสะพานที่อยู่ที่ขอบนอกสุดของทางเท้า และใช้เพื่อป้องกันและจำกัดข้อบกพร่องของการสัญจรโดยการเดิน

การตรวจสอบรากน้ำขึ้นสะพาน : รากน้ำที่เป็นเหล็ก ควรจะถูกยึดติดกับสะพานอย่างแน่นหนา และต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ให้ตรวจสอบหากเกิดสนิมหรือความเสียหายที่เกิดจากการชน (Collision Damage) ส่วนรากน้ำที่เป็นคอนกรีตนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีต หล่อในที่ (Cast-in-Place) และมีการเสริมเหล็กไว้เพื่อให้เกิดการยึด (Anchorage) ที่ดีขึ้น ต้องมีการตรวจสอบหากสึกกร่อน การหลุดล่อนของคอนกรีต และต้องตรวจรากน้ำด้วย ที่มีเพิ่มขึ้นมาด้วย

6.1.4.2 รากน้ำตอกก่อนขึ้นสะพาน (Approach Barrier)

รากน้ำตอกนินี้เป็นรากอันแรกที่ผู้ขับขี่ยานยนต์จะต้องพบก่อนขึ้นสะพาน จุดประสงค์ของรากน้ำตอกนินี้ คือปกป้องอันตรายจากสะพานให้แก่ผู้ขับขี่ยานยนต์ รากน้ำตอกนินี้จะต้องมีความยาวและความแข็งแรงเพียงพอและสามารถเปลี่ยนทิศทางของยานพาหนะที่เกิดการชนขึ้นให้เบี่ยงเบนไป และเกิดความเสียหายแก่ยานพาหนะน้อยที่สุด ข้อกำหนดมาตรฐานของรากน้ำตอกก่อนขึ้นสะพานนี้ จะมีการกำหนด ความสูงที่ยอมรับได้ วัสดุที่ใช้ผลิต ความแข็งแรง และรูปทรง

การตรวจสอบรากน้ำก่อนขึ้นสะพาน (Inspection of Approach Guardrail)

ผู้ตรวจสอบควรระบุตัวกำหนดมาตรฐานที่ใช้อยู่ให้ระบุขนาดและทิศทางต่างๆ ของรากน้ำ ให้จัดทำเอกสารของความเสียหายจากการชน (Collision Damage) และการชำรุดเสียหายอื่นๆ ของรากน้ำนั้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงของระบบโดยรวมลดลง และให้จดบันทึกระบุส่วนใดๆ ของรากน้ำที่อาจจะ “งอตัว” (Pocket) เมื่อเกิดการชน และเป็นผลให้รากน้ำตอกมีความชุ่มชื้น และเกิดขวางยานพาหนะ และทำให้ยานพาหนะลดความเร็วอย่างกะทันหัน (Abrupt) หรือการกระดอนกลับอย่างไม่เป็นจังหวะ จะต้องมีการบันทึกถึงตัวยึด (Bolt) ที่หลุมหรือหลุดหายไป ถ้าไม่ได้มีการระบุไว้โดยเฉพาะในการออกแบบแล้ว รากน้ำตอกก่อนขึ้นสะพานที่ทำจากไม้จะไม่สามารถรับแรงขันตัวที่ต้องการได้

6.1.4.3 จุดถ่ายเท (Transitions)

จุดถ่ายเทเป็นส่วนหนึ่งของรากน้ำตอกก่อนขึ้นสะพานที่ยึดติดกับรากน้ำสะพาน (Bridge Railing) จุดถ่ายเทที่เหมาะสมคือ การเสริมความแข็งแรงของรากน้ำตอกก่อนขึ้นสะพาน (Approach Guardrail) ซึ่งทำได้โดยให้มีเสาที่อยู่ใกล้กันมากขึ้นในบริเวณใกล้สะพาน การเสริมความแข็งแรงแบบนี้จะช่วยให้ยานยนต์ที่มาชนได้กระดอนกลับไปให้ห่างจากรากแทนที่จะถูกกีดขวางโดยรากน้ำนั้น หรือไปชนกับส่วนปลายของ Bridge Railing การออกแบบของจุดถ่ายเทควรจะให้สอดคล้องกับ Bridge Railing เพื่อให้มีการถ่ายเทที่นุ่มนวล

การตรวจสอบจุดถ่ายเท (Inspection of Transition) : ให้ตรวจสอบจุดถ่ายเทของรากน้ำตอกก่อนขึ้นสะพาน เพื่อให้มีการถ่ายเทที่นุ่มนวล มีการติดตั้งที่มั่นคงแข็งแรง และระยะระหว่างเสาลดลง ไม่ควรใช้ไม้ในการสร้างจุดถ่ายเท สำหรับรากน้ำ

6.1.4.4 การตอบแต่งส่วนปลาย (End Treatments)

ส่วนปลายของรากก่อนขึ้นสะพาน จะถูกปรับปรุงไม่ให้yanพาหนะถูกเสียบเข้าไปในรากกันนั้น การตอบแต่งที่ได้รับการยอมรับแล้ว มีอยู่ 4 แบบ คือ

- การพยายามออก (Flaring)
- การฝัง (Burying)
- ส่วนปลายที่แตกหักได้ (Breakaway Ends)
- การหุ้ม (Shielding)

การพยายามออก (Flaring) : จะทำให้ปลายของรากก่อนพยายามออกเล็กน้อยจากทิศทางของarrowจราจรที่เข้ามา (Approaching Traffic) การตอบแต่งส่วนปลายหลายงานที่มีอยู่ยังมีการพยายามออกที่ไม่เพียงพอ ปลายของรากกัน ควรจะถูกทำให้พยายามออกเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้yanยันต์ที่พุ่งเข้ามาหากเสียบเข้าไปในรากกัน

การฝัง (Burying) : การฝังส่วนปลายของรากกันนี้ จะประกอบด้วยการทำให้ส่วนปลายมีความลาดและบิดออกไป 90 องศา ส่วนปลายจริงๆ นั้นจะถูกฝังลงไปในพื้น หรือติดพื้นก็ได้

เมื่อความน่าจะเป็นที่yanพาหนะจะถูกเสียบไปในรากกัน ได้ลดลงไปอย่างเห็นได้ชัดด้วยวิธีการฝังนี้ ยังคงมีปัญหาอื่นๆ เกิดขึ้นมาอีก yanพาหนะอาจถูกพลิกขึ้นสูงซึ่งจะทำให้มีกีดขวางที่อยู่ด้านหลังของรากกัน เราสามารถลดการเกิดเหตุการณ์เข่นนั้นได้ โดยจัดให้มีการตอบแต่งส่วนปลายที่เป็นการผสมกันระหว่างรูปแบบของการพยายามออก และการฝัง (Planning & Burying)

ส่วนปลายที่แตกหักได้ (Breakaway Ends) : ส่วนปลายชนิดนี้จะถูกออกแบบให้บิด (Fail) เมื่อถูกชน (Impact) โดยปกติแล้วจะจัดวางเสา 2 ตันของส่วนปลายให้ติดกับฐานรากคอนกรีต เพื่อให้เกิดแรงเฉือนและขาดออกไป เมื่อมีyanยันต์มากขึ้น สายเคเบิลที่ยึดติดกับรากกัน และฐานรากจะช่วยให้yanยันต์นั้นเคลื่อนที่ช้าลง

การหุ้ม (Shielding) : การหุ้มนี้จะเป็นการเพิ่มตัวลดแรงกระแทก (Impact Attenuator) เข้ากับส่วนปลายของรากก่อนขึ้นสะพาน ตัวลดแรงนี้เป็นระบบดูดซับแบบหลายห้อง (Multicelled Absorption System) ซึ่งสามารถเติมน้ำฟอง หรือทรายได้ การบดขี้ยื่นของตัวลดแรงนี้ได้ทำให้yanยันต์เคลื่อนที่ช้าลงจนหยุดโดยมีความเสียหายเพียงเล็กน้อย

ระบบแบบเติมน้ำ (Water-Filled System) : จะมีหลอดพลาสติกที่เติมน้ำจวนเต็มเพื่อลดแรงกระแทกเมื่อเกิดการกระแทก (Impact) หลอดพลาสติกจะยุบตัว และน้ำจะถูกรัดออกไป ซึ่งเป็นการทำให้yanยันต์เคลื่อนที่ช้าลงจนกระแทกทั้งหยุด

ระบบแบบเติมทราย (Sand-Filled System) : จะมีท่อบรรจุทรายตั้งอยู่อย่างอิสระเพื่อดูดซับแรงกระแทก

ระบบการถ่ายเทแรงเคลื่อนที่ (Momentum Transfer System) : จะช่วยกระจายพลังงานกระแทก ผ่านการบดขี้ยื่นขององค์ประกอบที่ทำจากคอนกรีตมวลเบา และผ่านการถ่ายเทกำลังเคลื่อนที่ (Momentum) ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของเบาะ (Cushion Mass)



การตรวจสอบของการตอบแต่งส่วนปลาย (Inspection of End Treatments)

ให้บันทึกประเภทของการตอบแต่งส่วนปลายที่ใช้ เช่นเดียวกับสภาพ (Condition) ของการตอบแต่งส่วนปลาย การตอบแต่งส่วนปลายอาจไม่จำเป็นสำหรับด้านปลายของสะพานที่มีการสัญจรแบบทางเดียว (One-Way-Bridge)

6.1.4.5 ราวกั้นช่วงกลาง (Median Barriers)

ราวกั้นช่วงกลางจะใช้แยกการจราจร ที่ส่วนทางกัน เมื่อติดต่อจากจราจรต่อวัน (Average Daily Traffic หรือ ADT) มีค่ามากกว่าอัตราที่กำหนดไว้ และมีการใช้ราวกั้นนี้ บนถนนที่ต้องใช้ความเร็วสูง หรือถนนที่จำกัดการเข้า (Limited Access)

ราวกั้นช่วงกลางที่มากจะใช้กันมาก จะเป็นกำแพงคอนกรีต ซึ่งก็คือ แผงกัน 2 แผง ประกอบกันนั่นเอง และควรจะต้องได้มาตรฐานของการทดสอบความสามารถในการถูกชนของราวกั้นตอกของสะพาน วิธีการตอบแต่งส่วนปลายของกำแพงชั้นคอนกรีตนี้ มีวิธีเดียว คือ การติดตั้งตัวลดแรงกระแทก (Impact Attenuator)

ราวกั้นช่วงกลางอีกประเภทหนึ่งที่ใช้มาก คือ ราวกั้นที่เป็นเหล็กที่ติดตั้งบนเสาเหล็ก เรากำลังทดสอบด้วยส่วนของราวกั้นช่วงกลางได้ (Mountable) ราวกั้นชนิดนี้จะพบทั่วไปบนสะพานที่มีหลักฐานของจราจรและมีการใช้ความเร็วต่ำ

การตรวจสอบราวกั้นช่วงกลาง (Inspection of Median Barrier) : ราวกั้นช่วงกลางควรจะยึดติดแน่นกับพื้นสะพาน (Deck) และควรอยู่ในสภาพให้งานได้ ให้ตรวจสอบหากความเสียหายจากการชน (Collision Damage) การเสื่อมสภาพต่างๆ การหลุดล่อนของราวกั้นช่วงกลางที่เป็นคอนกรีต และให้ตรวจสอบการเกิดสนิมของราวกั้นและเสาที่เป็นเหล็กด้วย

6.1.5 ป้ายและไฟแสดงสว่าง (Signing and Lighting)

6.1.5.1 ป้าย

ป้ายจะช่วยบอกข้อมูลแก่ผู้ขับขี่ยานยนต์ เกี่ยวกับสภาพของถนนที่อาจเป็นอันตรายการติดตั้งป้ายนั้น ควรจะมีระยะห่างจากสะพานเพียงพอที่จะให้ผู้ขับขี่ยานยนต์มีเวลาพอที่จะตอบสนองต่อข้อมูลนั้น ป้ายมีมากหลายชนิด ดังนี้

- ขีดจำกัดน้ำหนักบรรทุก (Weight Limit)
- ระยะห่างในแนวตั้ง (Vertical Clearance)
- ระยะห่างด้านข้าง (Lateral Clearance)
- ทางลอดแคบ (Narrow Underpass)
- ป้ายบอกความเร็ว (Speed Traffic Marker)

ขีดจำกัดน้ำหนักบรรทุก (Weight Limit) : ป้ายบอกขีดจำกัดน้ำหนักบรรทุก มีความสำคัญมาก เพราะว่า ป้ายจะบอกถึงน้ำหนักบรรทุกที่มากที่สุดของยานพาหนะจะสามารถบรรทุกและใช้สะพานได้อย่างปลอดภัย

ระยะห่างในแนวตั้ง (Vertical Clearance) : ป้ายบอกระยะห่างด้านบนนี้จะบอกระยะในแนวตั้งที่น้อยที่สุดของโครงสร้างโดยจะใช้ค่าที่วัดได้น้อยที่สุดบนช่องจราจรนั้น

ระยะห่างด้านข้าง (Lateral Clearance) : ป้ายบอกระยะห่างด้านข้างนี้จะบอกว่าความกว้างของสะพานนั้นน้อยกว่าความกว้างของถนนก่อนขึ้นสะพาน จึงจำกัดทางด้านข้างนี้สามารถบ่งบอกได้โดยป้าย “สะพานแคบ” (Narrow Bridge) หรือด้วยป้ายแถบสะท้อนที่สะพาน (Reflection Stripe Board)

ทางลอดแคบ (Narrow Underpass) : ป้ายนี้จะบอกว่าถนนช่วงนี้เป็นทางลอด จะมีลักษณะแคบหรือมีตอม่ออยู่ที่ตอนกลางของถนน แถบเตือนอันตราย (Striped Hazardous Markings) และแผ่นแถบสะท้อน (Reflection Hazard Markers) จะต้องถูกติดไว้ที่กำแพงของ Abutment และขอบของ Pier ผิวทางส่วนที่เข้าใกล้ควรจะมีการติดตั้งเครื่องหมายหรือสัญญาณเพื่อเตือนผู้ขับขี่yanยนต์ทั้งหลายถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

ป้ายบอกความเร็ว (Speed Traffic Marker) : ป้ายบอกความเร็วจะแสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดความเร็วที่บังคับใช้อุ่งกับการออกแบบสะพานหรือถนนนั้น หากมีเครื่องหมายการจราจรเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและมีการจราจรที่เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

การตรวจสอบป้าย : ป้ายทุกชนิดควรจะมีความชัดเจน อ่านง่าย ต้องระบุได้ว่า ป้ายนั้นยังไม่ถูกบดบังหรือกีดขวาง ให้ตรวจสอบหากการเกิดสนิม และความเสียหายจากการชน บริเวณฐานของป้ายสัญญาณให้พิสูจน์ว่ามีการติดตั้งป้ายอย่างเหมาะสมแล้ว

6.1.5.2 ไฟแสงสว่าง

ระบบไฟแสงสว่างจะมีอยู่ 5 ประเภท คือ

- ระบบไฟแสงสว่างของทางหลวง (Highway Lighting)
- ระบบไฟควบคุมการจราจร (Traffic Control Lighting)
- ระบบไฟของสิ่งกีดขวางในอากาศ (Aerial Obstruction Lighting)
- ระบบไฟส่องนำทาง (Navigation Lighting)
- ระบบไฟสัญญาณ (Sign Lighting)

ไฟแสงสว่างบนทางหลวง (Highway Lighting)

เสาไฟของระบบไฟแสงสว่างบนทางหลวงประกอบไปด้วย ดวงไฟ (Lamp or Lampier) ที่ติดอยู่กับแขนแขนแบนใหญ่ข้าง (Bracket Arms) ทั้งสองส่วนนี้ปกติจะทำมาจากอลูมิเนียม เวนชู๊ง จะถูกยึดติดกับเสาที่ทำจากคอนกรีตหรือเหล็กรูปพรรณ เหล็กหล่อ อะลูมิเนียม หรือไม้ และมักจะมีรูปร่างเรียวที่ส่วนปลายหรือยอดเสา



เสาไฟจะถูกยึดติดกับฐาน เสาที่เป็นโลหะจะถูกเชื่อมติดกับฐาน ถ้าเป็นเศากอนกรีต ก็มักจะถูกฝังเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของฐาน ถ้าเสาไฟอยู่ในบริเวณใกล้กับจราจร อาจมีฐานเป็นแบบแยกส่วนได้หรือใช้วางกันด้วยกีด้วยสลักสมอ (Anchor Bolt) ยึดเสาไฟให้ติดแน่นกับที่ โดยปกติแล้ว สลักรูปตั้งแอล (L) หรือรูปตัว U ต่างๆเหล่านี้ จะต้องถูกฝังลงไว้ในฐานรากคอนกรีต

ไฟควบคุมการจราจร (Traffic Control Lighting)

ไฟสัญญาณควบคุมการจราจรนี้จะเป็นตัวควบคุมการจราจรที่เคลื่อนที่ผ่านสะพาน จะมีระบบการทำงานคล้ายกับไฟจราจรตามแยกต่างๆ ของถนนโดยทั่วไป แต่จะสามารถบอกรู้ได้ด้วยว่า ซองการจราจรไหนสามารถใช้ได้บ้างหรือที่เรียกว่า สัญญาณควบคุมการใช้ช่องจราจร (Lane Control Signals) ทั้งนี้จะใช้ไฟสีแดงและสีเขียวที่อยู่ด้านบนในการบอกให้ใช้ช่องจราจรที่เหมาะสม

ไฟเตือนสิ่งกีดขวางทางอากาศ (Aerial Obstruction Lighting)

ไฟเตือนชนิดนี้จะช่วยเตือนให้นักบินที่ควบคุมเครื่องบินอยู่ให้ระวังสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านล่างและบริเวณรอบๆ ของสัญญาณไฟนั้นๆ ไฟเหล่านั้นจะเป็นไฟสีแดง และควรจะเห็นได้ชัดเจน ทั้งจากรอบๆ และจากด้านบนของดวงไฟนั้น ไฟเตือนสิ่งกีดขวางในอากาศนี้จะอยู่ที่จุดสูงสุดของสะพานที่ถูกกำหนดมาว่าจะสามารถเป็นอันตรายต่อเครื่องบินได้ ปริมาณไฟที่ต้องการติดตั้งนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของสะพาน

สัญญาณไฟนำร่อง (Navigation Lighting)

สัญญาไฟนำร่องจะช่วยให้การสัญจรทางน้ำมีความปลอดภัยสัญญาณไฟจะต้องมีการแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ตัวเลข และตำแหน่งการติดตั้งบนสะพาน สีของดวงไฟจะเป็นสีเขียว แดง หรือสีขาว

- ไฟสีเขียว จะบอกถึงจุดกึ่งกลางของลำน้ำ และไฟนี้จะถูกติดตั้งที่ด้านล่างของกึ่งกลางช่วงสะพาน
- ไฟสีแดง จะแสดงถึงสิ่งกีดขวางต่างๆ ที่มีอยู่ ไฟแดงจะติดที่ด้านล่างของ Substructure จะเป็นตัวบอกร่องขีดขอบเขตของลำน้ำ ไฟแดงที่ใช้บอกตำแหน่งที่ Pier จะติดอยู่บน Pier ที่อยู่ติดกับสายน้ำ
- ไฟสีขาว 3 ดวง จะถูกติดตั้งในแนวตั้งที่โครงสร้างส่วนบน เพื่อใช้บอกลำน้ำลึก

ไฟสัญญาณ (Sign Lighting)

จะเป็นไฟใช้บอกสัญญาณไฟจราจร ให้เห็นได้ชัด

การตรวจสอบระบบไฟ ไฟทุกดวงจะต้องมองเห็นได้ชัด การตรวจสอบต้องระบุว่าดวงไฟนั้นใช้การได้หรือไม่ และจะต้องไม่ถูกบดบัง ให้ตรวจสอบหากการเกิดสนิมและความเสียหายที่เกิดจากการชื้นตามบริเวณเสาไฟและที่รองรับด้วย และให้ระบุว่า การติดตั้งระบบไฟเป็นไปอย่างเหมาะสมหรือไม่

6.1.6 ถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Roadways)

หน้าที่หลักของ Approach Roadways คือ ให้มีการถ่ายเทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะอย่างนุ่มนวลจากส่วนที่เป็นถนนจริงๆ กับส่วนที่เป็น Deck การถ่ายเทการเคลื่อนที่ที่มุ่งเน้นจะช่วยลดแรงกระแทกต่างๆ และทำให้การใช้สะพาน มีความปลอดภัยเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความพยายามของผู้เข้าใช้ยานยนต์

ส่วนประกอบของ Approach Roadways โดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 ประการ คือ

- โครงสร้างชั้นทาง (Pavement Structure)
- ดินฐานราก (Sub-Grade) ของชั้นทาง
- คันทาง (Embankment)
- ฐานรากของคันทาง (Embankment Foundation)

โครงสร้างของชั้นทางจะเปลี่ยนไปตามลักษณะของถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Roadway) สำหรับถนนยางมะตอย (Bituminous) นั้น โครงสร้างของชั้นทางจะประกอบไปด้วย ชั้นผิวทาง (Wearing Surface) และวัสดุชั้นรองพื้นทาง (Sub-Base Material) ที่เป็นยางมะตอย สำหรับ Approach Roadway ที่เป็นคอนกรีต จะประกอบไปด้วยแผ่นพื้นบริเวณก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) รอยต่อผ่อนแรง (Relief Joint) และวัสดุที่ใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง

แผ่นพื้นบริเวณก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) จะเป็นแผ่นคอนกรีตที่วางอยู่บน Abutment และยาวต่อเนื่องครอบคลุมพื้นที่ที่มีการขาดเพื่อก่อสร้างฐานรากของตอม่อริม สำหรับรอยต่อระหว่างแผ่นนี้กับส่วนกำแพงของ Back Wall นั้น จะต้องทำการอุดให้เรียบwort

สำหรับถนนคอนกรีตชั้นถนน (Pavement) มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่เข้าหาสะพาน ทำให้เกิดแรงกด (Pressing) จากพื้น Approach Slab ลงสู่ Back Wall ฉะนั้น รอยต่อผ่อนแรง (Relief Joint) จึงต้องรับหน้าที่ในการผ่อนแรงกดที่เกิดขึ้น ดังกล่าว ในรอยต่อนี้จะใช้ແບบยางแอลฟ์ล็อกท์แทน (Replacement Asphalt Strip) ซึ่งจะวิบติ (Fail) เมื่อแผ่นพื้นเลื่อนเข้ามาหาสะพาน อย่างไรก็ตามมันก็มีราคาถูกกว่าและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง

ส่วนชั้นรองพื้นสะพาน (Sub-Grade) คือ ชั้นดินที่มีการเตรียมและได้รับการบดอัดมากอย่างดี โดยส่วนนี้จะอยู่ใต้ชั้นพื้นถนน ขอบคันทางที่เป็นส่วนก่อนขึ้นสะพาน (Approach Embankment) คือวัสดุที่เข้ามายังโดยมีวัตถุประสงค์ให้ชั้นพื้นดินได้ระดับกับชั้นรองพื้นทาง

สุดท้าย ชั้นฐานรากของคันทาง คือ วัสดุที่อยู่ใต้พื้นดินที่รองรับคันทาง (Embankment) อยู่

การตรวจสอบถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Inspection of Approach Roadways)

การตรวจเชิงลึกของ Approach Roadways มีสาเหตุมาจาก การอัดตัว (Consolidation) ของวัสดุที่ใช้เป็นคันทาง (Embankment) และจะเป็นปัญหาสำคัญในบริเวณที่อยู่ใกล้กับ Abutment ซึ่งพยายามแก้ไขได้โดยการบดอัดให้แน่นในระหว่างการก่อสร้าง พื้นถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) อาจมีการปูด (Heave) ขึ้นได้ เนื่องจากการหมุน (Rotation) ของ Abutment หรืออปภิกิริยาการขยายตัวของวัสดุที่ใช้ก่อ (Fill) ควรจะมีการบันทึกระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งๆ ไว้และควรจะระบุถึงสาเหตุของลักษณะที่เกิดขึ้น



รูปที่ 6-9 Heaving of the Approach Pavement

ผู้สำรวจจะจะมีความวิตกเรื่อง ปราศจากหลุมบ่อต่างๆ และมีความคาดเอียงที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำอีกทั้งจะต้องไม่ทำให้ขาดยานที่เคลื่อนที่อยู่ภายในข้อจำกัดความเร็ว ต้องได้รับอันตรายได้

ความกว้างของ Approach Roadways ก็คือ ความกว้างของถนนตามปกติที่ใช้เพื่อเคลื่อนที่เข้าสู่สะพานรวมถึงขอบทางที่มีโครงสร้างดีเพียงพอ กับการใช้งานในทุกสภาพการจราจรที่เป็นไปตามปกติ

ไหล่ทาง (Shoulders) มักจะถูกสร้างและนำร่องรักษาไปพร้อมๆ กับช่องทางจราจรที่อยู่ติดๆ กัน หญ้าและพื้นดินที่อยู่ข้างๆ ช่องทางการจราจรไม่ถือว่าเป็นไหล่ทาง ความชันของคันทาง (Embankment Slopes) ควรจะมีพื้นที่พากหญ้าและต้นไม้เพียงพอที่จะช่วยป้องกันการพังทลายของดินได้ ถนนและทางแยกที่อยู่ในบริเวณใกล้ๆ กับช่วงก่อนขึ้นสะพานนั้นควรจะอยู่ในสภาพดีและใช้งานได้อย่างเต็มที่

การจัดวาง (Alignment) ของ Approach Roadways เป็นสิ่งที่สัมพันธ์กับส่วนพื้นสะพาน (Deck-Related Item) ซึ่งกำหนดไว้ในรายงานตรวจสอบ การประเมิน Alignment ของ Approach Roadways จะขึ้นอยู่กับการลดความเร็วจากขีดจำกัดความเร็วที่กำหนดไว้ การลดความเร็วได้ จะต้องเป็นเนื่องมาจาก การจัดวางถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Alignment of Approach Roadways) ไม่ใช่เนื่องมาจากตัวถนนหรือขนาดของพื้นสะพาน

6.1.7 หลักการให้คะแนน

ส่วนพื้นสะพาน (Deck) จะหมายความรวมถึงองค์ประกอบอื่นๆ ของ Deck ด้วย แต่หลักการให้คะแนนในการตรวจสอบสภาพของ Deck จะไม่รวมการประเมินสภาพของชั้นพื้นผิวทาง (Wearing Surface) หรือระบบป้องกันอื่นๆ ส่วน Deck ในหลายๆ แบบยังคงสภาพอยู่ได้แต่ส่วนใหญ่แล้วยังคงประกอบไปด้วยโครงสร้างเสริมเหล็ก โครงสร้างเหล็กหรือไม่

Deck ที่เป็นโครงสร้างเสริมเหล็ก และเป็นส่วนเดียวกันกับ Superstructure จะมีผลต่อการประเมินสภาพของ Superstructure ด้วย ยกตัวอย่างเช่น โครงข้อแข็ง (Rigid Frames) แผ่นพื้น (Slabs) คานขนาดใหญ่ของพื้นสะพาน (Deck Girders) แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวง (Voided slab) และคานรูปกล่อง (Box Girders) องค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ สงผลกระทบต่อ

ให้ส่วนพื้นสะพานเป็นส่วนโครงสร้างหลักของสะพานในการรับน้ำหนัก สำหรับสะพานที่มีส่วนพื้นสะพานเป็นแบบผสม (Composite Deck) เช่น พื้นคอนกรีตบนcanvasเหล็ก พื้นคอนกรีตบนcanvasคอนกรีตอัดแรง, หรือcanvasรูปกล่อง (Box Beams) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีจุดต่อแรงเฉือน (Shear Connection) ร่วมกับcanvasและพื้นสะพาน สภาพของ Deck จะมีผลกระแทกต่อการประเมินสภาพของ Superstructure ถ้า Deck อยู่ในสภาพทรุดโตร姆มาก และจะต้องอาศัยการวิเคราะห์ การพิจารณา หรือการทดสอบ อย่างมีอิทธิพ

สภาพของขอบคันทาง (Curbs) ทางเท้า (Sidewalk) แผงบัง (Parapets และ Fascias) และราวสะพาน (Bridge Rails) พื้นผิวนอน (Wearing Surface) และช่องระบายน้ำ (Scuppers) ควรจะต้องได้รับการบันทึกไว้ในแบบฟอร์มการตรวจสอบสภาพของสะพานด้วย เพียงแต่ว่า สภาพของส่วนประกอบต่างๆ ดังกล่าวจะไม่ได้นำมาพิจารณาโดยตรงต่อการประเมินสภาพของสะพาน ในขณะที่อุปกรณ์เสริมต่างๆ (Expansion Devices) อาจจะก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญ แต่ก็ไม่ได้ทำให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพานลดลงไปแต่อย่างใด ถึงจะมีแต่ก็มีอยู่มาก

พื้นสะพานคอนกรีตควรได้รับการตรวจสอบหา Cracks Spalling Scaling Leaning Potholing Delamination และ Full Depth Failure

รหัสการให้คะแนนที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะเป็นหลักขั้นนำในการประเมินสภาพของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Deck)



ตารางที่ 6.1 แนวทางสำหรับการให้คะแนนการประเมินพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Deck)

คะแนน	รายละเอียด
9	<p><u>สภาพดีมากถึงดีเยี่ยม</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดีเยี่ยม</u> : ไม่มีร่องรอยความเสียหายใดๆ ที่ชัดเจน ● <u>สภาพดีมาก</u> : ไม่มีปัญหาใดๆ ที่ชัดเจนมีรอยแตกเพียงเล็กน้อยแต่ไม่มีการหลุดล่อน (Spalling) การแซง(Scaling) การเลื่อนหลุด (Delamination) หรือ การซึมล้ำ (Leaching) ของคอนกรีต แต่อย่างใด
7	<p><u>สภาพดี</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดี</u> : มีปัญหาเพียงเล็กน้อย มีรอยแตกซึ่งสามารถกู้ดได้ (Sealable Cracks) มี Scaling เล็กน้อย พื้นที่ทั้งหมดของ Deck มีการชำรุดน้อยกว่า 10% โดยรวมบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมหรือต้องการการซ่อมแซมแล้ว
5	<p><u>สภาพดีพอใช้</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดีเป็นที่น่าพอใจ</u> : มีการเสื่อมสภาพเพียงเล็กน้อย มีรอยแตกแบบเปิด (Open Cracks) ในระยะห่าง ภายใน 5 ฟุต ซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีมีสีเกลือ (Efflorescence) ก็ได้ มี Scaling ปานกลาง มี Spalling น้อยกว่า 2% พื้นที่ทั้งหมดของ Deck มีการชำรุดน้อยกว่า 20% โดยรวมบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมหรือต้องการการซ่อมแซมแล้ว Deck มีการ Water-Saturated น้อยกว่า 20% ไม่มี Full Depth Failure ● <u>สภาพดีพอเป็นที่ยอมรับได้</u> : มีรอยแตกมากพอที่จะทำให้เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีต (Spalling) ได้ถึง 2-5% Deck มี Scaling 20–40% มี Depth Failure และ Leaching บ้าง
3	<p><u>สภาพทรุดโทรมถึงทรومมาก</u> มีรายละเอียดดังต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพทรุดโทรม</u> : มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างมากและมีการเสื่อมสภาพและการหลุดล่อนของคอนกรีตค่อนข้างมากด้วย โดยมี Spalling มาากกว่า 5% และ Deck มีการเสื่อมสภาพ (Deteriorated) หรือกำลังถูกทำให้เสื่อมสภาพ (Contaminated) มี Full Depth Cracks เป็นจำนวนมาก มี Leaching อยู่ทั่วไปบน Deck ● <u>สภาพทรุดโทรมมาก</u> : มาากกว่า 60% ของ Deck มี การ Water-Saturated และ/หรือมีการเสื่อมสภาพ (Deteriorated) หรือกำลังถูกทำให้เสื่อมสภาพ (Contaminated)
1	<p><u>สภาพวิกฤต</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพวิกฤต</u> : ส่วนใหญ่ของ Deck มี Full Depth Failure อยู่ทั่วไป
0	<p><u>สภาพเกือบพังทลายและสภาพพังทลาย</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพเสียงต่อกการพังทลาย</u> : สะพานถูกปิด มีการสูญเสียหน้าตัดและการเสื่อมสภาพอย่างมาก ในชิ้นส่วนสำคัญ ของโครงสร้าง การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น อาจจะช่วยให้มีการใช้งานสะพานเบาๆ ได้ ● <u>สภาพพังทลาย</u> : ไม่สามารถใช้งานได้ และอยู่ในสภาพเกินกว่าจะแก้ไขได้

6.2 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนบน

Superstructures ที่เป็นคอนกรีต จะถูกแยกเป็นหลายแบบโดยขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการก่อสร้าง คือ แบบหล่อในที่หรือแบบสำเร็จรูป (Cast in Place or Precast) และกรรมวิธีในการเสริมเหล็ก คือ เสริมเหล็กธรรมดาหรือเสริมเหล็กอัดแรง (Conventional Reinforcement or Prestressed) สะพานคอนกรีตรุ่นเก่าๆ โดยเฉพาะรุ่นก่อนสมัยโลกาครั้งที่ 2 จะเน้นสะพานคอนกรีตหล่อในที่ (Cast in Place) สะพานคอนกรีตในยุคใหม่ส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างสำเร็จรูปหรือหล่อในที่แล้ว เสริมเหล็กอัดแรง (Precast)

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการตรวจสอบ Superstructure ที่มีการเสริมเหล็กแบบต่างๆ ไป และแบบเสริมเหล็กอัดแรง

รอยตำหนิทั่วไป ก่อนที่จะเริ่มการตรวจสอบ เราควรจะทำความเข้าใจกับความหมายของรอยตำหนิโดยทั่วไป ที่เกิดขึ้นบนสะพานคอนกรีต ดังนี้

- การแตก (Cracking)
- การแขะ (Scaling)
- การเลื่อนหลุด (Delamination)
- การหลุดล่อน (Spalling)
- การเป็นเกล็ด (Efflorescence)
- การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)
- การเกิดรูพุ่นเหมือนรากผึ้ง (Honey Combs)
- การหลุดออก (Pop–Outs)
- การฉีก (Wear)
- ความเสียหายจากการชน (Collision Damage)
- การสึกกร่อน (Abrasion)
- การเป็นสนิมของเหล็กเสริม (Reinforcing Steel Corrosion)
- ความเสียหายจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overloaded Damage)

6.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก (*Inspection of Reinforced Concrete Structures*)

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนของการตรวจสอบ Superstructure ดังรายการต่อไปนี้

- แผ่นพื้นหล่อในที่ (Cast in Place Slab)
- คานรูปตัว T (Tee–Beams)
- คานซึ่งยาวตลอด (Through Girder)
- โครงข้อแข็ง (Rigid Frame)

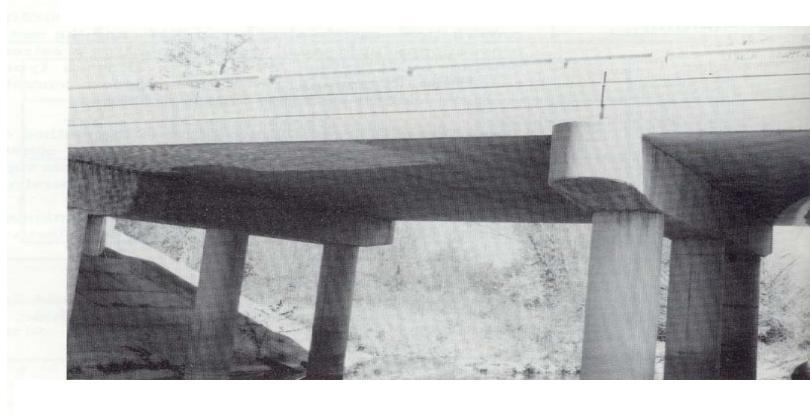


- คานรูปชานเมล (Channel Beams)
- คานเค้ดแบบเปิด (Open Spandrel Arch)
- คานเค้ดแบบปิด (Closed Spandrel Arch)

6.2.1.1 แผ่นคอนกรีตหล่อในที่ (Cast in Place Slab)

ลักษณะการออกแบบ แผ่นพื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่จะเป็นแบบที่ธรรมชาติที่สุดในบรรดาสะพานคอนกรีต แผ่นคอนกรีตทำหน้าที่เหมือนคานขนาดกว้างแต่ตื้น และตัวคานนี้จะทำหน้าที่เป็นแผ่นพื้นสะพานไปในตัวด้วย

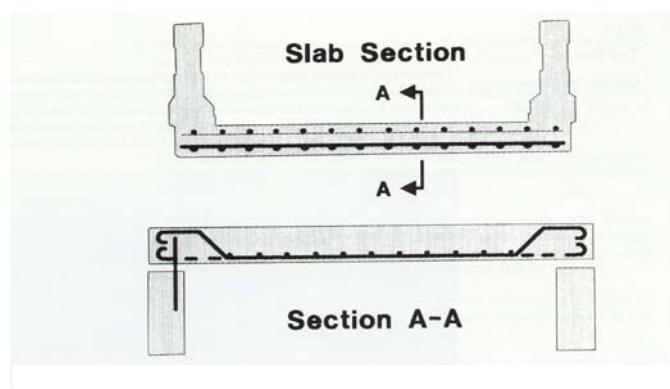
โดยปกติแล้วสะพานชนิดนี้จะเป็นสะพานช่วงเดียว และมีความยาวช่วงมีน้อยกว่า 10 เมตร แต่สะพานที่มีหลายช่วงก็เป็นนิยมทว่าไป เช่น กัน ดูรูปที่ 6-10



รูปที่ 6-10 สะพานแบบพื้นคอนกรีตหลายช่วง (Multi Span Slab Bridge)

เหล็กเสริม : เหล็กเสริมจะอยู่ที่ส่วนล่างของแผ่นพื้น เหล็กเสริมจะถูกวางจากตอนม่อริมด้านหนึ่งไปยังตอนม่อริม ในด้านตรงข้าม และเหล็กเสริมหลักจะอยู่ในแนวขวางกับทิศทางการจราจร

สำหรับสะพานที่มีหลายช่วงต่อเนื่องกัน เหล็กเสริมหลักเพิ่มพิเศษจะอยู่ด้านบนของแผ่นพื้น บริเวณเหนือ Pier เหล็กเสริมรองหรือที่รู้จักทั่วไปว่า คีอ เหล็กเสริมรับอุณหภูมิและการหดตัว (Temperature and Shrinkage Steel) จะอยู่ที่ส่วนล่างของแผ่นพื้น และอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางจราจร ดูรูปที่ 6-11



รูปที่ 6-11 การเสริมเหล็กในคอนกรีต

องค์ความหลัก (Primary Members) : ของแผ่นพื้นแบบหล่อในที่ ก็คือ ตัวของแผ่นพื้นเอง

ขั้นตอนการตรวจสอบ : ขั้นตอนการตรวจสอบแผ่นพื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่มีดังต่อไปนี้

- ให้ตรวจสอบบริเวณที่ติดตั้ง Bearing ว่ามีการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่ เพราะแรงเสียดทาน จากการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน (Thermal Movement) และแรงดันจากการแบกท่าน (Bearing pressure) สามารถทำให้เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้
- ให้ตรวจสอบพื้นที่ใกล้ๆ ฐานรองรับ (Supports) เพื่อหารอยแตกจากในแนวเฉียง ซึ่งรอยแตกในแนวเฉียงนี้จะเป็นสัญญาณบอกเหตุว่า แผ่นพื้นกำลังเริ่มบิดตัว เนื่องจากแรงเฉือน จะต้องทำการบันทึกและทำรายงานถึงลักษณะและขนาดของรอยแตกให้ครบถ้วน
- พื้นที่ที่รับแรงดึง ควรจะได้รับการตรวจสอบว่ามีรอยแตกจากแรงดึง (Flexure Cracks) หรือไม่ รอยแตกนี้จะมีลักษณะแตกในแนวเดียวที่ด้านข้างของแผ่นพื้นและแนวขวาทาง ตลอดความกว้างของแผ่นพื้น หรือมีลักษณะที่ทำให้คอนกรีตเริ่มไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Disintegration of Concrete) รอยแตกนี้อาจบอกได้ว่ามี Bending Stress สูงมาก ให้ตรวจสอบหากการเกิดขึ้นแล้ว (Efflorescence) จากสภาพน้ำ คอนกรีตมีสีเปลี่ยนไปเนื่องจากมีสนิมที่เหล็กเสริม (ดูรูปที่ 6-12) ในกรณีที่มีความเสียหายรุนแรงมาก อาจสามารถมองเห็นเหล็กเสริมได้ ให้ทำการบันทึกและรายงานการสูญเสียเหล็กเสริมนี้ด้วย เพราะจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นลดลง
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่สัมผัสถกับภาระบานน้ำจากผิวนอก เพื่อหาการเสื่อมสภาพของคอนกรีต โดยเฉพาะบริเวณรอบๆ ช่องระบายน้ำต่างๆ อาจพบการหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณของทางเท้าและเส้นของถนน
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่เกิดความเสียหายเนื่องจากการชน หรือไฟไหม้
- ให้ตรวจสอบหากการแตกบริเวณมุมและเหลี่ยมต่างๆ ของสะพานเฉียง (Skewed Bridges)
- ให้ตรวจสอบหากการเลื่อนทางด้านข้าง (Lateral Displacement)



รูปที่ 6-12 Delamination และ Efflorescence ที่มี Rust Stains อยู่ที่ด้านล่างของ Slab



6.2.2 การตรวจสอบ Superstructure ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง

(Inspection of Prestressed Concrete Superstructures)

มีการสร้างสะพานที่เป็นคอนกรีตอัดแรงน้ำหนักกว่า 50 ปีแล้ว ในคอนกรีตอัดแรงจะมีลวดอัดแรงที่มีกำลังสูง (High Strength) และได้รับการอัดแรง (Stressed) ก่อนหรือภายหลังที่จะมีการเทคโนโลยี

ชิ้นส่วนที่เป็นการอัดแรง (Prestressed) จะไม่ถูกออกแบบให้รับ Tensile Stress ถ้ามีการพบรอยแตกในโครงสร้างในชิ้นส่วนดังกล่าว จะถือว่าเป็นปัญหาสำคัญมากของแต่ละชิ้นส่วนที่ได้รับการอัดแรงก่อนนี้ จะบอกได้ว่า ชิ้นส่วนกำลังมีปัญหาความไม่ปลอดภัยในโครงสร้าง และต้องแจ้งให้ศึกษาสาเหตุทราบโดยด่วน

สะพานที่ประกอบด้วยคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปขนาดใหญ่ รูปตัวไอ (I) จะถูกออกแบบร่วมกับพื้นสะพานแบบผสม (Composite Decks) สะพานคอนกรีตอัดแรง จะถูกทำให้มีความต่อเนื่อง สำหรับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Superimposed Dead Load) ที่เพิ่มมาเนื่องจากการใช้เหล็กเสริมไม่อัดแรง (Non-Prestressed Reinforcement) ในส่วน Deck Slab และใน Diaphragms เหนือ Piers

ในส่วนนี้จะบอกถึงแนวทางในการตรวจสอบสำหรับ Superstructure ที่เป็นคอนกรีตอัดแรงแบบทั่วไป ได้แก่

- แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดมีรูกลวง (Precast Voided Slab)
- คานอัดแรงรูปกล่อง (Prestressed Box Beams)
- คานอัดแรงรูปตัวไอ และคานรูปตัวทีแบบมีกระเบาะ (Bulb – Tees)
- คานรูปกล่องขนาดใหญ่ (Box Girders)

6.2.2.1 แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดมีรูกลวง (Precast Voided Slab)

ลักษณะการออกแบบ : สะพานที่ใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดมีรูกลวงนี้ เป็นรูปแบบสะพานที่มาตรฐานที่มากที่สุด แต่ต้องมีการตัดหูน้ำหนักลง (Dead Load) อย่างมาก ซึ่งจะช่วยให้เกิดความประยุกต์ในการใช้แรงดัน และการติดต่อที่แน่นหนา

มาก แต่ต้องมีรูกลวง (Voids) อยู่ตรงกลาง ซึ่งจะช่วยให้เกิดความประยุกต์ในการใช้แรงดัน และการติดต่อที่แน่นหนา

บรรทุกคงที่ (Dead Load) แต่ต้องมีรูกลวง (Voids) อยู่ตรงกลาง ซึ่งจะช่วยให้เกิดความประยุกต์ในการใช้แรงดัน และการติดต่อที่แน่นหนา

มาก แต่ต้องมีรูกลวง (Voids) อยู่ตรงกลาง ซึ่งจะช่วยให้เกิดความประยุกต์ในการใช้แรงดัน และการติดต่อที่แน่นหนา



รูปที่ 6-13 รูปแบบท่อไปของสะพานแบบ Prestressed Slab Beam

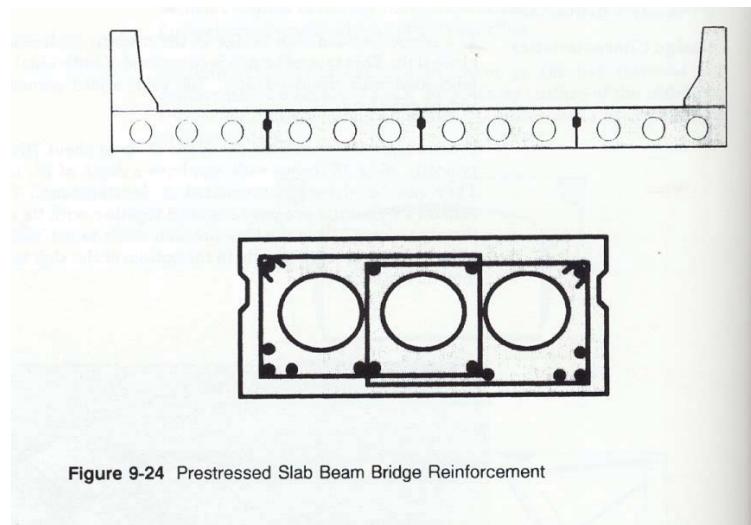


Figure 9-24 Prestressed Slab Beam Bridge Reinforcement

รูปที่ 6-14 เหล็กเสริมใน Prestressed Slab Beam

เหล็กเสริม : โดยทั่วๆ ไปแล้ว ลวดขัดเร่ง จะอยู่ที่ด้านล่างของแผ่นพื้น จะมีลวดที่ใส่ไว้หลุมๆ ที่บริเวณปีกของ แผ่นพื้น (Webs) ขนาดของลวดจะแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับความกว้างใช้งานของโครงสร้าง ลวดแต่ละเส้นจะห่างกัน ประมาณ 5 เซนติเมตร (ดูรูปที่ 6-16)

องค์กรอาคารหลัก : หน่วยของแผ่นพื้นทุกหน่วยจะเป็นองค์กรอาคารหลักของโครงสร้าง

ขั้นตอนการตรวจสอบ : ให้ตรวจ แผ่นพื้นสำเร็จฐานมีรูกลวงโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ให้ตรวจสอบบริเวณที่รองรับแรงแบกทาง (Bearing Areas) ว่ามีการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่ การหลุดล่อนของคอนกรีตที่ส่วนปลายนี้จะนำไปสู่การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวของลวดอัดแรงในที่สุด



- ให้ตรวจสอบบริเวณใกล้ๆ กับจุดรองรับ (Supports) เพื่อหารอยแตกในแนวเฉียงหรือรอยแตกเนื่องจากแรงเฉือน
- ให้ตรวจสอบที่ด้านล่างของแผ่นพื้นว่ามีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (Flexure Cracks) หรือไม่ เนื่องจากคุณกรีตต้องรับแรงกด (Compressive Farce) มาก ฉะนั้นจึงไม่มีความมีรอยแตกให้เห็น ทั้งนี้รอยแตกจะเป็นปัญหาสำคัญมาก เนื่องจากมันจะบ่งบอกว่า มีการบรรทุกน้ำหนักมากเกินไป (Overloading) หรือการสูญเสียแรงที่อัดไว้ (Loss of Prestress) ควรต้องมีการวัดขนาดของรอยแตกทุกรอยโดยใช้อุปกรณ์วัดรอยแตกโดยเฉพาะ (Optical Crack Guage)
- ให้ตรวจสอบด้านบนของแผ่นพื้น (ถ้ามองเห็นได้) ที่อยู่ใกล้ๆ กับรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (Tensile Cracks) อันเป็นสาเหตุมาจากการเยื่องศูนย์ของการอัดแรง (Prestress Eccentricity) ซึ่งนี้จะบ่งบอกว่ามีการอัดแรงมากเกินไป (Excessive Prestress Force)
- ให้ตรวจสอบว่ามีการหย่อน (Sagging) หรือไม่ ซึ่งจะมีสาเหตุมาจากการสูญเสียการอัดแรง (Loss of Prestress)
- ให้ตรวจสอบว่า มีลวดอัดแรงโปรดักอ้อมมาให้เห็นหรือไม่ ซึ่งจะทำให้ลวดอัดแรงนั้นเป็นสนิมเร็วขึ้น และจะวิบติดเร็วขึ้นด้วย ฉะนั้นประเด็นนี้จึงมีความสำคัญมาก
- ให้ตรวจสอบว่ามีรอยร้าวระหว่างแผ่นพื้นหรือไม่ และตรวจสอบว่ามีรอยแตกที่ผิวน้ำจราจรหรือไม่ ถ้ามีแสดงว่า หน่วยของแผ่นพื้นแต่ละหน่วยได้แยกออกจากกันแล้ว ต้องตรวจด้วยว่ามีการโกร่งของแผ่นพื้น แผ่นใดแผ่นหนึ่ง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรหรือไม่
- ให้ตรวจสอบพื้นที่ที่สัมผัสกับระบบระบายน้ำ ว่ามีการชำรุดเสียหายของคุณกรีตหรือมีคุณกรีตถูกเจือปนหรือไม่
- ให้ตรวจสอบหากการชำรุดเสียหายเนื่องจากการชน
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่ได้มีการซ่อมแซมมาก่อนหน้านี้

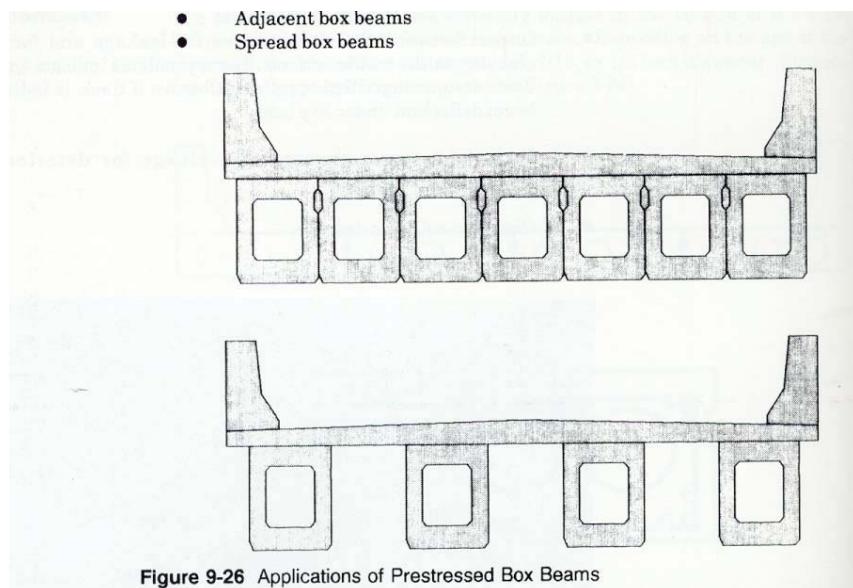
6.2.2.2 คานอัดแรงรูปกล่อง (Prestress Box Beams)

ลักษณะการออกแบบ : คานอัดแรงรูปกล่องได้รับความนิยมมานานกว่า 40 ปีแล้ว คานชนิดนี้ ถูกก่อสร้างให้มีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมโดยมีช่องว่างอยู่ตรงกลางภายในพื้นที่หน้าตัด แต่เมื่อปะมาณ 50 ปี ที่แล้ว มีจำนวนมากที่มีรูปทรงรูปวงกลมอยู่ตรงกลางแผ่นพื้น ส่วนบนและส่วนล่างของคาน จะมีพฤติกรรมเป็นปีกคาน (Flanges) ในขณะที่กำแหงทั้งสองข้างจะมีพุกติกรูปเป็นเข็วของคาน (Webs)

โดยปกติแล้ว คานรูปกล่องจะมีความกว้าง 0.9 หรือ 1.2 เมตร และมีความลึก ตั้งแต่ 0.3-1.5 เมตร ส่วนความหนาแน่น จะมีตั้งแต่ 7.5 -15 เซนติเมตร

การใช้งานของคานอัดแรงรูปกล่องจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ (ดูรูปที่ 6-15)

- คานรูปกล่องอยู่ชิดกัน (Adjacert Box Beams)
- คานรูปกล่องอยู่ห่างกัน (Spread Box Beams)



รูปที่ 6-15 Applications of Box Beams

คานรูปกล่องอยู่ติดกัน (Adjacert Box Beams) คานรูปกล่องจะอยู่แนบชิดติดกัน ในยุคแรกๆ ของการใช้งาน ของสะพานชนิดนี้ ส่วนบนของคานรูปกล่องแต่ละตัวจะทำหน้าที่ เป็นส่วนพื้น (Deck) ของสะพาน แต่ในปัจจุบัน ส่วนพื้น ของสะพาน จะเป็นแบบผสม (Composite) ของคอนกรีต ซึ่งถูกหล่อในที่ (Cast in Place) สำหรับช่วงสะพานที่ยาวกว่า และในช่วงสะพานสั้นๆ นั้น แผ่นพื้นสะพานจะถูกทับด้วยยางแอสฟัลต์ รูปแบบของคานรูปกล่องที่อยู่ติดกันนี้ สามารถเรียก อีกอย่างหนึ่งได้ว่า เป็นแบบ “คานรูปกล่องหลายตัว” (Multiple Boxes)

เช่นเดียวกับหน่วยที่เป็นแบบสำเร็จรูปทั่วไป คานรูปกล่องที่อยู่ติดกันจะต้องถูกดึงให้ติดติกัน (Post Tensioned) โดยใช้แท่งเหล็กยึดรัง (Tie Rods) และอุดด้วยน้ำปูน (Grout) ที่บริเวณสลักรับแรงเฉือน (Shear Keys) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการ ใช้งานที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (Monolithic)

ความยาวช่วงของสะพานรูปแบบนี้ จะมีตั้งแต่ 6-40 เมตร โดยความยาวช่วงที่มีความคุ้มค่า (Economical) หาก ที่สุดจะอยู่ระหว่าง 12-27 เมตร

คานรูปกล่องในปัจจุบันจะมีช่องระบายน้ำ (Drain Holes) อยู่ที่ด้านล่างเพื่อรับawayความชื้นภายในรากหลวง

คานรูปกล่องอยู่ห่างกัน (Spread Box Beams) ในสะพานรูปแบบนี้ คานรูปกล่องจะอยู่ห่างกัน ประมาณ 0.6-1.8 เมตร และโดยปกติแล้วจะมีพื้นสะพานคอนกรีตเป็นแบบผสม และหล่อในที่ (Composite Cast in Place Concrete Deck) ซึ่งสามารถทำได้ สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วง 7.5-26 เมตร



เหล็กเสริม : ลวดอัดแรงจะอยู่ที่ด้านล่างของปีกคาน (Flange) และบางทีก็อยู่ที่ด้านล่างของเอวคานด้วย (Web Walls) ขนาดของลวดจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของโครงสร้าง โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.6–1.25 เซนติเมตร โดยปกติแล้ว ลวดอัดแรงจะอยู่ห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร (ดูรูปที่ 6-16) เหล็กปลอกจะถูกเสริมไว้เพื่อช่วยรับแรงเฉือน

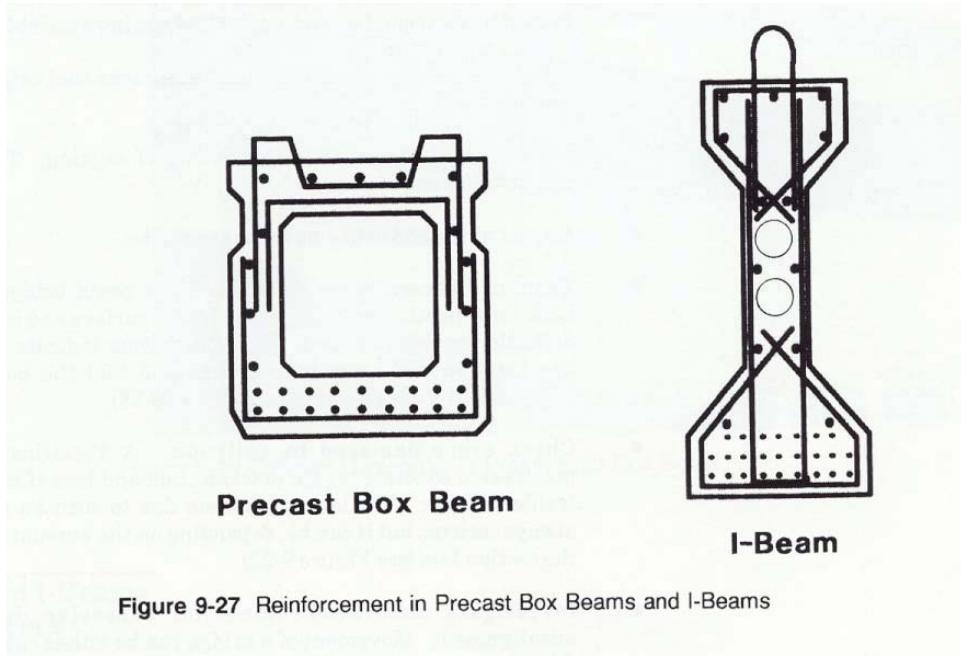


Figure 9-27 Reinforcement in Precast Box Beams and I-Beams

รูปที่ 6-16 เหล็กเสริมใน Precast Box Beams และ I-Beam

องค์ความหลัก : คานรูปกล่องทุกตัว คือ องค์ความหลัก

องค์ประกอบรอง : มีอยู่เพียงอย่างเดียว คือ External Diaphragms ซึ่งอยู่บนสะพานและจะพบอยู่ในสะพานที่ใช้คานรูปกล่องแบบอยู่ห่างกัน เท่านั้น Diaphragms นี้อาจจะเป็นคอนกรีตหล่อในที่แบบสำเร็จรูป หรืออาจเป็นเหล็กก็ได้โดยจะต้องตรวจสอบเข่นเดียวกับการตรวจสอบคาน

คานรูปกล่องส่วนใหญ่จะมี Diaphragms ภายในซึ่งจะช่วยให้มีความแข็งแกร่ง เข่น เดียวกับแท่งเหล็กยึดรัง ที่ยึดคานกล่องให้อยู่ติดกันไว้

ขั้นตอนการตรวจสอบ : เนื่องจากว่าคานรูปกล่องถูกออกแบบให้เป็นริ้นส่วนที่ให้ค่อนกรีตรับแรงอัดเท่านั้น จึงต้องตรวจสอบและวัดขนาดแตกจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะบอกได้ว่า กำลังมีปัญหาสำคัญเกิดขึ้น ด้วยเหตุผลนี้เอง จึงต้องให้มีการตรวจสอบและวัดขนาดโดยแตก ด้วยอุปกรณ์วัดรอยแตกโดยเฉพาะ (Optical Crack Gauge) พัฒนาทั้งให้มีการทำเอกสารรายละเอียดไว้ด้วย

- ให้ตรวจสอบที่ด้านบนของส่วนปลายของคานว่ามีรอยแตกในแนวนอนหรือในแนวตั้งหรือไม่ รอยแตกเหล่านี้จะบ่งชี้ถึง การเลื่อนสภาพของเหล็กเสริม รอยแตกเหล่านี้ เป็นสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่เกิดขึ้น เมื่อมีการถ่ายเทแรงเมื่อทำการอัดแรงให้คาน
- ให้ตรวจสอบส่วนล่างของคาน โดยเฉพาะที่บริเวณกึ่งกลางคาน เพื่อหารอยแตกเนื่องจากแรงดึง ซึ่งจะบ่งชี้ว่ามีปัญหาที่สำคัญมาก โดยมีสาเหตุมาจากการบรรทุกน้ำหนักมากเกินไป หรือ การสูญเสียแรงอัด

- ให้ตรวจสอบหารอยแตกที่ด้านข้างของคาน สำหรับคานรูปกล่องที่อยู่ติดกัน เราชมคงเหลือเฉพาะด้านที่เป็นเชิงชาย (Fascias) สำหรับคานที่อยู่ด้านในให้ตรวจสอบหารอยแตกที่การลับมุมด้านล่าง (Bottom Chamfers) ซึ่งอาจจะ芽าต่อเนื่องไปจนถึงด้านข้างของคาน
- ให้ตรวจสอบคานในบริเวณที่อยู่ใกล้จุดรองรับ (Supports) ว่ามีรอยแตกในแนวตั้ง หรือไม่ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ที่จำกัด ของการประกลบแผ่นรองสะพาน (Bearing Assemblies)
- ให้ตรวจสอบที่ด้านล่างของคานเพื่อหารอยแตกในแนวขนานกัน (Parallel Cracks) ซึ่งมีดูดเริ่มต้นมาจากตำแหน่งจุดที่ตั้งของแผ่นรองสะพาน
- ให้ตรวจสอบว่ามีการหย่อน (Sagging) ของคานหรือไม่ สิ่งนี้จะบอกได้ว่า คานได้สูญเสียแรงอัดไป
- ให้ตรวจสอบที่ส่วนปลายของคาน เพื่อหารอยแตกเนื่องจากแรงเฉือน
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่คานรูปกล่องที่อยู่ติดกันว่ามีรอยร้าว (Leakage) หรือไม่ และให้ตรวจสอบว่ามีรอยแตกที่ผิวน้ำจราจรด้วย รวมทั้งตรวจสอบว่ามีการโกรกของคานภายในได้น้ำหนักบรรทุกหรือไม่ ปัญหาต่างๆ เหล่านี้จะบอกได้ว่าเกิดการเสียหายของสลักรับแรงเฉือน (Shear Key) จึงทำให้คานรูปกล่องแต่ละตัวทำงานแยกกัน (ดูรูปที่ 6-17)
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่ได้รับความเสียหายจากการชน เพราะว่าความชำรุดเสียหายของสะพานคอนกรีต และความสูญเสียพื้นที่หน้าตัด จะมีสาเหตุสำคัญมาจากการจราจร ไม่ว่าการสูญเสียคอนกรีตเนื่องจากอุบัติเหตุต่างๆ นั้น จะเป็นปัญหาสำคัญเสมอไป แต่ก็สามารถเป็นได้เช่นกัน โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณและตำแหน่งของการสูญเสียหน้าตัด
- ให้ตรวจสอบบริเวณใต้คานรูปกล่อง ว่ามีการโกรกมากเกินไป (Excessive Deflection) และการจัดวางผิดตำแหน่ง (Misalignment) หรือไม่ การเคลื่อนตัวของสะพานนั้น สามารถเป็นทั้งความเสียหายอันใหญ่หลวง หรือเป็นปัญหาเล็กๆ น้อยๆ ก็ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของการเคลื่อนตัว
- สำหรับสะพานที่เก่าแก่ให้ตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าช่องระบายน้ำต่างๆ ยังคงเปิดอยู่



รูปที่ 6-17 Leaking Joints ที่ระหว่าง Boxes ซึ่งอยู่ติดกัน



6.2.2.3 คานอัดแรงรูปตัวไอ และคานรูปตัวทีแบบมีกระเบาะ (Prestressed I Beam and Bulb-Tees)

ลักษณะการออกแบบ : คานอัดแรงรูปตัวไอและรูปตัวทีแบบมีกระเบาะนี้ เป็นรูปแบบการใช้วัสดุที่คุ้มค่า เนื่องจากมวลของคอนกรีตส่วนใหญ่ ถูกเลื่อนออกไปจากแนวแกนสะเทิน (Neutral Axis) ของคาน

การที่จะใช้คานคอนกรีตมีรูปร่างแบบไหนนั้น จะขึ้นอยู่กับความต้องการเป็นเฉพาะอย่างไป คานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ สามารถใช้ได้กับความยาวช่วงตั้งแต่ 6-45 เมตร และจะมีความคุ้มค่ามากที่สุด เมื่อมีความยาวช่วง 18-35 เมตร

เพื่อให้เกิดความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น สำหรับสะพานที่มีความยาวหลายช่วง (Multi-Span) คานอัดแรงรูปตัวไอ จะถูกทำให้มีความต่อเนื่องสำหรับรับน้ำหนักบรรทุกจรา (ดูรูปที่ 6-18) และจะสัมฤทธิ์ผลเมื่อกีดพฤติกรรมแบบผสมต่อเนื่อง (Continuous Composite Action) ของพื้นสะพาน (Deck) และการยึดเหนี่ยวเชิงกล (Mechanical Anchorage) ของเหล็กเสริม ที่อยู่ในแผงยึดส่วนปลาย (End Diaphragm) ทั่วไป การใช้แรงดึงภายในการหลัง (Posttensioning) แก่คานนั้น ก็ช่วยให้เกิดความต่อเนื่องขึ้นมาได้ แผงพี้ดคอนกรีตชนิดที่หล่อในที่ (Cast in Place) จะเป็นกรอบรอบๆ ตัวคานที่อยู่บริเวณตอนม่อต่างๆ



รูปที่ 6-18 สะพานแบบ Prestressed I-Beam

เหล็กเสริม : ลวดเหล็กอัดแรงจะถูกเสริมอย่างสมดุลที่บริเวณด้านล่างของตัวคาน ขนาดลวดเหล็กอัดแรงจะมี หดเหลือ 0.9, 1.1 หรือ 1.25 เซนติเมตร โดยลวดอัดแรงจะอยู่ห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร ลวดเหล็กอัดแรงของส่วนเอวคาน (Web) สามารถปล่อยให้อยู่หลวมๆ ได้ หรืออยู่ในสภาพที่ไม่ถูกแรงยึดเหนี่ยว เป็นบางส่วน

องค์ประกอบหลัก : ตัวคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I -Beam) คือ องค์ประกอบหลักของสะพาน

องค์ประกอบรอง : ได้แก่ End Diaphragm และ Intermediate Diaphragms โดยปกติแล้ว End Diaphragm จะมีความลึกแบบเต็ม (Full Depth) และจะอยู่ที่ Abutments ส่วน Intermediate Diaphragms จะเป็นแบบไม่เต็มความลึก Partial Depth และจะใช้อยู่ภายใต้ส่วนของช่วงสะพานที่มีความยาวช่วงมากๆ

ขั้นตอนการตรวจสอบ : ให้ตรวจสอบสะพาน ที่ใช้คานอัดแรงรูปตัวไอและรูปตัวที แบบมีกระเบาะ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ให้ตรวจสอบพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแผ่นรองสะพาน (Bearing) และบริเวณ End Diaphragm แบบหล่อในที่ (Cast in Place) ว่ามีการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่
- ให้ตรวจสอบ Fixed Diaphragms ว่ามีรอยแตกในแนวทแยงหรือไม่ เพราะอาจเป็นสัญญาณเตือนภัยว่ามีการวิบติดโดยแรงเฉือน (Shear Failure) เนื่องมาจากความเคลื่อนตัวของโครงสร้าง
- ให้ตรวจสอบ Intermediate Diaphragms ว่ามีรอยแตกในแนวทแยง และการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่
- ให้ตรวจสอบหารอยแตกทาง牙าที่ส่วนผิวของปีกคาน (Beam Flange Surfaces) ซึ่งอาจเป็นสิ่งบ่งชี้ได้ว่ามีการเสื่อมสภาพของเหล็กเสริมอัดแรง
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่รับแรงดึงและแรงเนื้อกัน ของคานว่ามีรอยแตกหรือไม่ ถ้าพบรอยแตกจะต้องทำการวัดขนาดด้วยอุปกรณ์วัดรอยแตกโดยเฉพาะ (Optical Crack Gauge) และบันทึกไว้เป็นเอกสาร
- ให้ตรวจสอบส่วนด้านใต้คานโดยใช้การจัดวางคาน และระยะเพื่อการโง่ตัวของคาน (Camber) ถ้าพบว่ามีการโง่ตัว (Deflection) ก็แสดงว่ามีการสูญเสียแรงอัดในลวดเหล็กอัดแรง (Loss of Prestress)
- ให้ตรวจสอบอย่างละเอียดในบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมมาก่อนหน้านี้ โดยให้ตรวจสอบว่า พื้นที่ที่ได้รับการซ่อมแซมไปแล้วนั้น สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม การซ่อมแซมที่มีประสิทธิภาพ จะถูกจำกัดไว้เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมหักแรง และเหล็กเสริมปกติ ขอกมาล้มผสกนธ์กับสภาพภายนอก

6.2.3 หลักการให้คะแนนการประเมินสภาพของ Superstructure ที่เป็นคอนกรีต (Evaluation of Concrete Superstructures)

6.2.3.1 สภาพโดยรวม (Overall Condition)

ชั้นส่วนต่างๆ ของ Superstructure: ผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องทำการประเมิน แต่ละชั้นส่วนของ Superstructure และนำไปเข้าระบบการให้คะแนนการประเมินสภาพ (Condition Rating) ซึ่งเป็นหลักการพิจารณาในส่วนของ ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง (Structural Capacity) ทั้งนี้ การที่จะทำการประเมินได้ ก็ต้องอาศัยการฝึกฝน และประสบการณ์ ซึ่งล้วนแต่เป็นสิ่งจำเป็นในการประเมินทั้งสิ้น

ในการระบุ และการบันทึกสภาพของแต่ละชั้นส่วนนั้น บันทึกของผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องอธิบายถึงประเภท ปริมาณ และระดับความเสียหาย ของความชำรุดเสียหายแต่ละประเภท ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการประเมินที่สมบูรณ์แบบของ ชั้นส่วนทุกส่วนของ Superstructure และจะเป็นการนำเสนอผลการตรวจสอบที่มีความละเอียดมากด้วย

ส่วนประกอบของโครงสร้างส่วนบน (Superstructure Component) : เมื่อแต่ละชั้นส่วน (Element) ของ Superstructure จะต้องได้รับการตรวจสอบแล้ว ส่วนประกอบ (Component) จะได้รับผลโดยรวมจากการให้คะแนนการประเมินสภาพไปด้วย ฉะนั้น สภาพของแต่ละชั้นส่วนที่ระบุมาดังนั้น จะต้องได้รับการพิจารณาเพื่อที่จะได้จัดตั้งการประเมินสภาพของ Superstructure ขึ้นมา ผลการประเมินสภาพโดยรวมของ Superstructure จะถูกตัดสินโดยขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการประเมินเชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation) หรือการประเมินเชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation)



การประเมินเชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation) : จะขึ้นอยู่กับปริมาณของชิ้นส่วนที่มีความชำรุดเสียหายเป็นพิเศษ

การประเมินเชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation) : จะขึ้นอยู่กับหลักการของ “Weak–Link” ซึ่งเป็นตัวประเมินระดับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วน หลักการนี้จะถูกจำกัดไว้เฉพาะสถานการณ์ที่ความเสียหายของชิ้นส่วนอาจจะก่อให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานลดลง

ผู้ที่ทำการตรวจสอบไม่ควรจะพยายามประเมินสภาพของชิ้นส่วนอื่นมาเป็นตัวเลข เพื่อหวังที่จะใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับการให้คะแนนการประเมินสภาพโดยรวมของ Superstructure

6.2.3.2 ความสามารถในการรับน้ำหนัก (Load Capacity)

ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน จากการออกแบบนั้น จะไม่ถูกนำมาใช้ในการตัดสินเพื่อให้คะแนนการประเมินสภาพ ความเป็นจริงที่ว่า สะพานถูกออกแบบมาเพื่อให้รับน้ำหนักที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่จำกัดไว้ในปัจจุบัน จะไม่มีผลต่อการให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพาน

อย่างไรก็ตาม ผู้ที่ทำการตรวจสอบพึงระลึกไว้เสมอว่า ระดับความเสียหายของการชำรุดเสียหายในชิ้นส่วนสำคัญๆ ควรจะถูกประเมินในรูปแบบของปริมาณของการชำรุดเสียหาย ว่าจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักขององค์อาคารนั้นได้มากเพียงใด

6.2.3.3 การให้คะแนนการประเมินสภาพ (Condition Rating)

ตัวเลขจริงๆ ของการให้คะแนนการประเมินสภาพ ต่อส่วนประกอบของ Superstructure นั้น ควรจะขึ้นอยู่กับสภาพของโครงสร้างที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบัน โดยเบริยบเทียบกับสภาพของโครงสร้างเมื่อสร้างเสร็จใหม่ๆ

การให้คะแนนเป็นตัวเลขอย่างเหมาะสม จะเป็นการผนวกระหว่าง ความคิดเห็นของผู้ทำการตรวจสอบ และการใช้หลักเกณฑ์ สำหรับการพิจารณาอย่างเหมาะสม โดยหลักเกณฑ์การพิจารณาดังกล่าว ก็ได้รวมไว้แล้วในคู่มือเล่มนี้

การประเมินสภาพนี้รวมทั้งการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งหมด โดยจะต้องมีหลักการประเมินที่สอดคล้องกับการประเมินสภาพโดยรวม

ชิ้นส่วนโครงสร้างจะต้องได้รับการตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องหรือชำรุดเสียหายในอันตรายใดๆ หรือไม่ สิ่งเหล่านี้ ได้แก่ รอยแตกต่างๆ การเสื่อมสภาพของคอนกรีต การสูญเสียหน้าตัด และสิ่งบกพร่องอื่นๆ ที่มีสาเหตุมาจากการทำงานผิดปกติ หรือการถูกวางแผน ของแผ่นรองสะพาน (Bearings)

สภาพของ Bearing อยู่ต่อ ระบบการทางสี ต่างๆเหล่านี้ จะไม่ถูกรวมไว้ในการให้คะแนน เนื่องแต่จะอยู่ในสภาพที่มีผลกระทบต่อระบบของโครงสร้างมากๆ แต่ก็ไม่ควรจะถูกบันทึกไว้ในแบบฟอร์มการตรวจสอบ

สำหรับสะพานที่มีพื้น (Deck) เป็นส่วนที่อยู่รวมกันเป็นชิ้นเดียวกับ Superstructure (Integral with Superstructure) นั้น การให้คะแนนการประเมินสภาพของ Superstructure ก็อาจจะได้รับผลกระทบจากสภาพของแผ่นพื้นสะพาน (Deck) ผลลัพธ์โดยรวมของการให้คะแนนการประเมินสภาพของ Superstructure อาจจะมีค่าต่ำกว่าคะแนนของการประเมินสภาพแผ่นพื้นสะพาน ซึ่งจะอยู่ในกรณีของคานสะพาน (Girders) ได้รับความชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพไป ส่วนขององค์อาคารที่เสียงต่อรอยแตก ก็ควรจะได้รับการตรวจสอบอย่างระมัดระวัง เพราะถ้าองค์อาคารเหล่านั้นเกิดการวินาศี ก็จะเป็นภาระนำไปสู่การพังทลายของสะพานทั้งหมด

ตารางที่ 6-2 แนวทางทั่วไปในการให้คะแนนการประเมินสภาพ Superstructure ทุกรูปแบบ

คะแนน	รายละเอียด
9	<p><u>สภาพดีมากถึงดีเยี่ยม</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดีเยี่ยม</u> : ไม่มีความเสียหายใดๆ ที่จะมีผลกระทบต่อสภาพของสะพาน ● <u>สภาพดีมาก</u> : มีความเสียหายจากการชน เพียงเล็กน้อย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแนวการจัดวาง และไม่จำเป็นต้องมีการแก้ไขใดๆ
7	<p><u>สภาพดี</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดี</u> : Superstructure มีการเคลื่อนที่ ในแนวยาวหรือแนวขวางเพียงเล็กน้อย
5	<p><u>สภาพดีพอใช้</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพเป็นที่น่าพอใจ</u> : มีความเสียหายจากการชนเพียงเล็กน้อยในชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้าง Superstructure ที่ผ่านการซ้อมแซมมาก่อนจะถูกจัดให้มีสภาพไม่ให้เกินระดับนี้ เว้นแต่จะได้รับการฟื้นฟูสภาพมาอย่างสมบูรณ์แบบ ● <u>สภาพพอใช้</u> : ชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้างมีความเสียหายจากการชนมากพอสมควร แต่ไม่ร้ายแรง
3	<p><u>สภาพทรุดโทรม</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพทรุดโทรม</u> : มีความเสียหายจากการชนที่เข้าขั้นวิกฤต จึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันเบื้องต้น เช่น การเสริมนั่งร้าน หรือการจำกัดน้ำหนักบรรทุก ● <u>สภาพทรุดโทรมมาก</u> : ชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้างได้รับความเสียหายมากและมีการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะต้องมีการเสริมนั่งร้าน และใช้เหล็กadamช่วย หรือการเปลี่ยนชิ้นส่วนนั้นใหม่
1	<p><u>สภาพวิกฤต</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพวิกฤต</u> : ชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้างมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความมั่นคงและความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน
0	<p><u>สภาพเกือบพังทลายและสภาพพังทลาย</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพเกือบพังทลาย (Imminent Failure Condition)</u> : ต้องปิดสะพาน การซ้อมแซมแก้ไขจะช่วยให้ใช้สะพานในงานเบาๆ ได้ ● <u>สภาพพังทลาย (Failed)</u> : ต้องปิดสะพาน และต้องสร้างใหม่เพื่อทดแทน



ตารางที่ 6.3 แนวทางสำหรับการให้คำแนะนำการประเมิน Superstructure ที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC)

คะแนน	รายละเอียด
9	<p><u>สภาพดีถึงดีเยี่ยม มีรายละเอียดดังนี้</u></p> <ul style="list-style-type: none"> สภาพดีเยี่ยม : ไม่มีร่องรอยความเสียหายใดๆ สภาพดีมาก : ไม่มีปัญหาใดๆ ที่ชัดเจนไม่ต้องมีการซ่อมแซม มีความเสียหายจากการชนเล็กน้อยแต่ไม่ต้องซ่อม ถ้าเป็นแบบผสม(Composite) คานรูปกล่อง (Box) หรือคานรูปตัวที (Tee Beam) ถ้าให้พิจารณาส่วนพื้นสะพาน (Deck) รวมกับการประเมิน Superstructure ด้วย มีรอยร้าวขนาดเล็กมาก และอาจได้รับการฟื้นฟูมาแล้วเป็นอย่างดี
7	<p><u>สภาพดี มีรายละเอียดดังนี้</u></p> <ul style="list-style-type: none"> สภาพดี : มีปัญหาเพียงเล็กน้อยซึ่งทำการแก้ไขได้โดยการซ่อมแซมตามระยะเวลา (Routine Maintenance) Superstructure มีการเคลื่อนที่ในแนววางหรือในแนวยาวเพียงเล็กน้อย มีรอยแตกร้าวขนาดเล็กมาก (Hairline Cracks) โดยไม่ทำให้ชั้นส่วนคอนกรีตเสื่อมสภาพ มีรอยด่างเล็กน้อย
5	<p><u>สภาพดีพอใช้ มีรายละเอียดดังนี้</u></p> <ul style="list-style-type: none"> สภาพดีเป็นที่น่าพอใจ : มีการเสื่อมสภาพเพียงเล็กน้อย มีความเสียหายที่เกิดจากการชนเล็กน้อย ในชั้นส่วนที่ไม่ได้รองรับโครงสร้าง ต้องการให้มีการซ่อมบำรุงครั้งสำคัญ เป็นสภาพดีที่สุดในกรณีที่ไม่ได้รับการซ่อมแซมพื้นฟูมาก่อน มีความเสียหายเล็กน้อย ที่ส่วนปลายแผ่นพื้นปลายคาน และลำตัวของชั้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ถ้าแผ่นพื้นสะพานเป็นแบบชั้นส่วนเดียวกัน (Integral Deck) ก็ให้พิจารณาแผ่นพื้นสะพานรวมกับการประเมินสภาพ Superstructure ด้วย มีการซ่อมแซงเล็กน้อย และไม่มีการเดื่อนตัวของขั้นผิว (No Delamination) สภาพดีพอเป็นที่ยอมรับได้ : ชั้นส่วนโครงสร้างทั้งหมดมีสภาพดี แต่อาจมีรอยแตกหรือการหลุดล่อนของคอนกรีตบ้างเล็กน้อย ชั้นส่วนประกอบชนิดรอง (Secondary) อาจมีการเสื่อมสภาพค่อนข้างมาก ในสภาวะนี้จำเป็นจะต้องได้รับการฟื้นฟูสภาพไม่มีการสูญเสียหน้าตัดของเหล็กเสริมเหล็ก แผ่นรองสะพาน (Bearing) ต้องการได้รับการดูแล หรือแผ่นรองพื้นไม่ใช้การไม่ได้ การชำรุดเสียหายและการเสื่อมสภาพค่อนข้างมาก ที่ส่วนปลายของแผ่นพื้น ส่วนปลายของคาน และส่วนปลายของชั้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ถ้าแผ่นพื้นสะพานเป็นแบบเนื้อต่อเนื่องกัน (Integral) ก็ให้พิจารณาแผ่นพื้นสะพานร่วมกับการประเมินสภาพของ Superstructure ด้วย
3	<p><u>สภาพทรุดโทรมถึงทรอมมาก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้</u></p> <ul style="list-style-type: none"> สภาพทรุดโทรม : มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างมากและมีการเสื่อมสภาพและการหลุดล่อนของคอนกรีตค่อนข้างมากด้วย เหล็กเสริมเหล็กยังคงมีแรงยึดเหนี่ยวอยู่ ถึงแม้ว่าจะผลักออกมากให้เห็น มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมน้อยมาก ชั้นส่วนที่รองรับโครงสร้าง ได้รับความเสียหายจากการชนมาก และต้องได้รับมาตรการป้องกันเบื้องต้น เช่นการตั้งค้ำยัน เพื่อรับรองรับ แผ่นรองสะพานไม่ทำงานทำให้เกิดปัญหาและ Superstructure หรือโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ไม่มีร่องรอยความเสียหายใดๆ ต่อกองกรีตที่อยู่ในกล่องเหล็ก (Steel Cage) ที่

	<p>เป็นองค์ความรู้ในการรับแรงกด (Compression)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● สภาพทрудโกรุ่มมาก : มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก, การเสื่อมสภาพ และการหลุดล่อนของคอนกรีต ซึ่งส่งผลกระทบต่อองค์ความโครงสร้างหลัก ต้องได้รับการซ่อมแซมหรือการฟื้นฟูสภาพโดยเร็วที่สุด ชิ้นส่วนที่รองรับโครงสร้างมีการชำรุดเสียหาย และเสื่อมสภาพ จึงจำเป็นต้องมีการใช้ค้ำยัน (Shoring) และเหล็กคาน (Splice) หรือการสร้างชิ้นส่วนใหม่แทนของเก่า มีการเสื่อมสภาพของคอนกรีตอย่างรุนแรง มีรอยแตกเนื่องจากแรงเฉือน มีรอยแตกขนาดกว้างเนื่องจากแรงดัด มีการเปลี่ยนสีของคอนกรีตตามแนวเหล็กเสริม คอนกรีตเลื่อนหลุดออกจากเหล็กเสริมหลัก แก่นกลางของเสาคอนกรีตได้รับผลกระทบต่างๆ ให้พิจารณาสภาพของแผ่นพื้นสะพานด้วย ถ้าเป็นส่วนหนึ่งกับคาน ต้องให้มีการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักใหม่ และจะเป็นการรอบคอบดีมาก โดยจัดให้มีการบริึกษาภูบลิวกรที่มีความเชี่ยวชาญ
1	<p>สภาพวิกฤต มีรายละเอียดดังนี้</p> <p>สภาพวิกฤต : มีการเสื่อมสภาพอย่างมากที่ชิ้นส่วนสำคัญ ของโครงสร้าง และต้องการการซ่อมแซมหรือการฟื้นฟูสภาพโดยด่วนที่สุด อาจมีรอยแตกอันเนื่องมาจากแรงเฉือนและมีขนาดกว้างของค่าความสำคัญที่ทำหน้าที่รับแรงกดจะมีการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Deformation) คอนกรีตrobia เหล็กเสริมจะเสื่อมสภาพและสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่ส่วนปลาย (End Anchorage) จำเป็นจะต้องมีการประเมินค่าความสามารถในการรองรับน้ำหนักใหม่ ให้แจ้งหน่วยที่งานที่เกี่ยวข้องตามความจำเป็น และให้มีการบริึกษาภูบลิวกรผู้เชี่ยวชาญ (รอบรู้ อีกทั้งต้องให้มีการปิดสะพานจนกว่าจะมีการแก้ไขปัญหาให้เรียบร้อย</p>
0	<p>สภาพเสียงต่อการพังทลายและสภาพพังทลาย มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● สภาพเสียงต่อการพังทลาย : สะพานถูกปิด มีการสูญเสียหน้าตัดและการเสื่อมสภาพอย่างมาก ในชิ้นส่วนสำคัญ ของโครงสร้าง การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น อาจจะช่วยให้มีการเข้า้งานสะพานเบาๆ ได้ ● สภาพพังทลาย : ไม่สามารถใช้งานได้ และอยู่ในสภาพเกินกว่าจะแก้ไขได้

6.3 การตรวจสอบแผ่นยางรองรับสะพาน

Bearing เป็นชิ้นส่วนของ Superstructure ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมโยงระหว่าง Superstructure และ Substructure โดย Bearing มีหน้าที่หลัก 3 ประการ (ดังแสดงในรูปที่ 6-19) คือ

1. เพื่อส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจาก Superstructure ไปยัง Substructure
2. เพื่อให้โครงสร้างหลักสามารถเคลื่อนตัวตามแนวยาว เนื่องจากการขยายตัวจากความร้อนและการหดตัวได้
3. เพื่อรับการหมุน (Rotation) เนื่องจากการไป-กลับโดยน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจริง (Live Load)



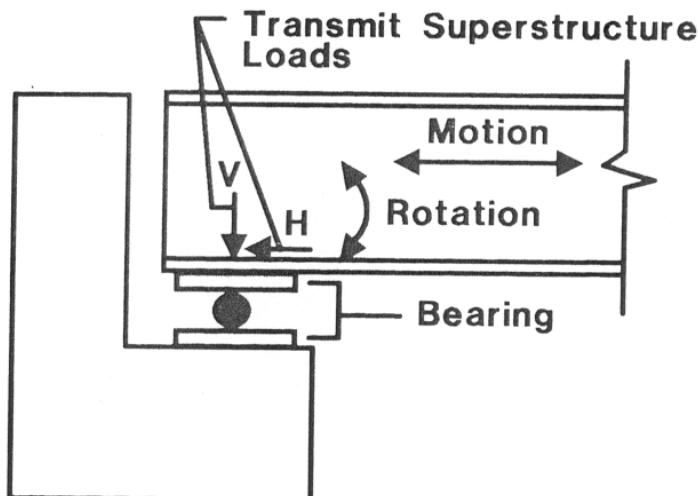
6.3.1 ประเภทของ Bearing

6.3.1.1 Bearing แบบยึดแน่น (Fixed Bearings)

Bearing แบบยึดแน่น (Fixed Bearing) จะไม่ยอมให้เกิดการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของ Superstructure แต่จะทำหน้าที่เหมือนหมุดหรือบานพับที่สามารถหมุนได้

6.3.1.2 Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ (Expansion Bearings)

Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ (Expansion Bearing) จะสามารถเคลื่อนตัวตามแนวยาว อันเนื่องจากการขยายตัวและหดตัวของคานได้ และสามารถรองรับการหมุนเนื่องจากการโถงตัวของคานได้ ถ้า Fixed Bearing เกิดการต้านทานต่อการเคลื่อนตัวตามแนวยาว อันเนื่องจากการสีกร่อนหรือจากเหตุอื่นๆ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นก็จะขัดขวางการขยายตัวหรือการหดตัวของคาน ทั้งยังทำให้เกิดแรงเสียดทานอื่นๆ ขึ้นในช่วงของคานด้วย ซึ่งก็จะนำไปสู่ปัญหาต่างๆ ในกรณีซ่อมแซมอีกมาก



รูปที่ 6-19 รูปแสดงการทำงานของ Bearing

6.3.2 ชิ้นส่วนของ Bearing

Bearing ประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐาน ดังนี้

1. Sole Plate เป็นแผ่นเหล็กซึ่งล้มผสกน্ঠกับส่วนล่างของปีกคานหรือ Chord ส่วนล่างของ Trusses
2. Bearing Surface ถูกปิดด้วย Sole Plate และ Masonry Plate และทำหน้าที่ในการส่งถ่ายแรงจาก Sole Plate ไปยัง Masonry Plate
3. Masonry Plate เป็นแผ่นเหล็กซึ่งอยู่ติดกับส่วนของฐานรองรับ ต่อม่อริมน้ำ ต่อม่อกลางน้ำ Masonry Plate จะรับแรงตามแนวตั้งจาก Bearing คานและ Superstructure ไปยัง Substructure

4. แท่นยึด (Anchorage) จะยึด Bearing กับ Substructure มั่นจะยึดชิ้นส่วนของ Bearing ไม่ให้ เกิดการเคลื่อนตัวตามขวาง ตามมาตรฐาน AASHTO หลักยึดสลักจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร และฝั่งตัวลงไปใน Masonry หรือ ชิ้นส่วนของฐานรองรับไม่น้อยกว่า 25 เซนติเมตร
Bearing ทุกชนิดไม่จำเป็นต้องมีชิ้นส่วนควบคุมทั้ง 4 ส่วน แต่อย่างน้อยจะต้องมี Bearing Surface

ตัวอย่าง Bearing แบบยึด-หลด (Elastomeric Bearings)

Plain Neoprene Pads

ประกอบด้วยแผ่น Neoprene บริสุทธิ์รูปสี่เหลี่ยม จะถูกนำมาใช้สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงที่มีความยาวช่วงสั้น การขยายตัวของ Superstructure จะถูกรองรับโดยการยึด-หลดตัวของ Neoprene

Laminated Neoprene Pads

โดยทั่วไปจะเป็นชั้นของ Neoprene Pads ซึ่งจะมีแผ่นเหล็กหรือ Fiberglass แบ่งมันออกเป็นชั้นๆ เราจะไม่สามารถมองเห็นแผ่นเหล็กได้ถ้าไม่เกิดความเสียหาย Bearing คานชนิดนี้จะใช้กับโครงสร้างที่ยาวซึ่งจะมีการยึดและหลดตัวมาก



รูปที่ 6-20 Neoprene Bearing

6.3.3 การตรวจสอบ Bearing

เมื่อทำการตรวจสอบ Bearing ขั้นแรกผู้ตรวจสอบต้องพิจารณาว่าแผ่นรองเป็นแบบยึดแน่นหรือแบบเคลื่อนตัวได้ถ้า Bearing ถูกออกแบบให้รองรับการเคลื่อนตัวจาก Superstructure ได้แสดงว่ามันเป็น Bearing แบบเคลื่อนตัว ถ้าไม่ได้แสดงว่ามันเป็น Bearing แบบยึดแน่น ถ้าเป็นไปได้ผู้ตรวจสอบควรจะอ้างอิงกับแบบการออกแบบ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถประเมินสภาพของ Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น



Bearing จะต้องเหมาะสมกับที่ฐานรองรับ และควรมีระยะห่างมากพอระหว่างขอบของ Masonry Plate กับขอบของฐานรองรับ ตามอุริมน้ำ หรือ ตามอุกลางน้ำ การสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนฐานรองรับมักจะอยู่ใกล้กับ Bearing

การตรวจสอบ Bearing แบบยึดหยด (Inspection of Elastomeric Bearings)

การตรวจสอบ Bearing แบบยึดหยดจะเป็นอะไรที่ง่ายเนื่องจากมีชิ้นส่วนที่ต้องตรวจสอบน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ความเสียหายของ Bearing คานแบบยึดหยดได้จะยากต่อการตรวจพบ

Neoprene Bearings

Bearing Neoprene ควรถูกตรวจสอบการปูดบรวมที่เกินปกติ ซึ่งจะเป็นการปังชี้ว่า Bearing ชิ้น Bearing อาจจะสูงกว่าปกติเนื่องจากการออกแบบอย่างไม่เหมาะสม การยึดตัวและหดตัวของโครงสร้างจะไปแทนที่ การปูดบูนนมีแนวโน้มที่จะม้วนไปบนคานหรือที่รองรับสะพาน

Bearing ควรถูกตรวจสอบการแตกออกเป็นชิ้นๆ หรือไอลเยิม การผลิตที่ไม่เหมาะสมบางครั้งเป็นสาเหตุของความเสียหายใน Neoprene และ Interior Steel Shims ซึ่งถูกยึดเข้าไว้ด้วยกัน

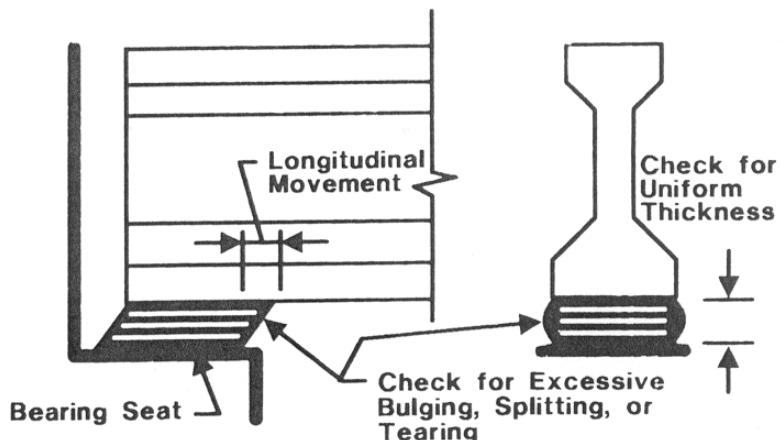
ควรทำการตรวจสอบความหนาของแผ่นชิ้นที่มีผลต่อการหมุนของ Bearing คาน

แผ่นรองควรจะถูกตรวจสอบการผุดขึ้นที่ Masonry Plate การผุดขึ้นนี้แสดงถึงความเครียดที่แผ่นรองได้รับ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ปกติและโดยปกติจะแสดงถึงปัญหาของการออกแบบหรือปัญหาการผลิต Bearing คาน ถ้าปล่อยให้เป็นอย่างนี้ต่อไปในที่สุดแผ่นรองจะเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน แผ่นรองผุดขึ้นมาจะไม่เป็นปัญหากับ Laminated Bearings

ควรทำการดูแลอย่างใกล้ชิดในบริเวณที่แผ่นรองยึดกับ Sole และ Masonry Plates บริเวณเหล่านี้เป็นบริเวณที่ Bearing คานจะเสียหาย บางครั้งแผ่นรองมักจะหลุด "Walk" ออกจากรายได้คาน บางครั้งตัวแทนจำหน่ายห้ามไม่ให้ทำสีสัมผัสด้วยหน้าระหว่าง Neoprene และ Sole Plate ด้วยเหตุผลนี้

การเคลื่อนตัวตามยาวของ Bearing Neoprene จะถูกวัดคล้ายๆ กับ Sliding Plate Bearing โดยการเคลื่อนตัวตามยาวคือระยะห่างตามแนวบนระหว่างขอบด้านบนของแผ่นรองและขอบด้านล่างของแผ่นรอง

การหมุนบน Bearing Neoprene ถูกวัดได้ในลักษณะเดียวกับ Pot Bearing (ดูรูปที่ 6-21) ด้านบนและด้านล่างของแผ่นรองถ้าไม่เกิดการหมุนมันจะอยู่ขานกัน ผู้ตรวจสอบควรจะวัดความยาวของแผ่นรองและความสูงของแผ่นรองที่ด้านหน้าและด้านหลังของ Bearing คาน สมการที่เสนอในเรื่อง Pot Bearing สามารถใช้คำนวณกับ Neoprene Bearing ได้ถ้ามุมของแผ่นรองถูกใช้เพื่อทำให้สะพานอยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้วเราจะต้องรู้จุดเริ่มต้นของแผ่นรองเพื่อใช้ในการวัดการหมุนของ Bearing คาน



รูปที่ 6-21 รายการการตรวจสอบ Bearing แบบยึดตัว

สรุปรายการตรวจสอบ Bearing

ชนิดของ Bearing	รายการตรวจสอบ
Bearing แบบยึดตัว	<ol style="list-style-type: none"> ความเสียหายในส่วนที่สำคัญของ Bearing การแตกกร้าว การบูดบูด การแตกออกเป็นชิ้น และการไฟดายิม ความเสียหายของฐานรอง การแตกกร้าวและการหลุดร่วงของปูนฐานรอง ความเสียหายของสลักยึด การกัดกร่อน การรวมตัวของสิ่งสกปรกและผุนละออง

6.3.4 การประเมินสภาพของ Bearing

Bearing ถูกพิจารณาให้เป็นชิ้นส่วนหนึ่งของ Superstructure อย่างไรก็ตามจุดสำคัญที่สุดที่ควรจำเกี่ยวกับการตรวจสอบ Bearing คือพากมันจะมีผลกระทบกับค่าคะแนนสภาพของ Superstructure ถ้าหากมันไม่อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง Bearing เป็นรายการการตรวจสอบที่สำคัญ อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัญหาการซ่อมบำรุงที่น้อยมาก สามารถที่จะพัฒนาไปในทางที่เลวร้ายถ้าหากถูกละเลย ท้ายที่สุดแล้วมันก็จะเป็นสาเหตุหลักของปัญหาสะพานพัง ถ้าการเชื่อมสภาพของพื้นที่ Bearing เป็นเหตุให้ Bearing คานไม่สามารถทำงานที่ผิดพลาดแล้วความเดินที่มากเกินปกติจะส่งถ่ายไปยัง Superstructure และ Substructure

สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นกับ Superstructure ถ้านั่นในเหตุการณ์นี้เกิดขึ้น

- ความวิบติดทางแนวอนขอนของ Bearing ซึ่งยอมให้ Superstructure หลุดออกจาก Substructure
- ความวิบติดของ อุปกรณ์ Tie-Down (Restraining) ซึ่งยอมให้ความพยายามรับความเดินมากเกิดไปและการพังทลายที่ซ่อนอยู่
- ความวิบติดของหมุดและ Link Hanger ในโครงสร้าง Two-Girder ซึ่งเป็นเหตุให้หน้าตัดของสะพานพังทลายถ้าปัญหาอย่างคงอยู่แล้ว Bearing คานจะแสดงผลกระทบกับค่าคะแนนสภาพ Superstructure ในทางตรงกันข้าม Bearing จะมีผลต่อค่าคะแนนเพียงเล็กน้อย



6.4 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนล่าง (Inspection of Substructures)

โครงสร้างส่วนล่าง (Substructures) เป็นส่วนประกอบของสะพานซึ่งประกอบด้วยชั้นส่วนทั้งหมดที่รองรับโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) มีจุดมุ่งหมายเพื่อถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบนไปยังฐานราก ดินหรือหิน

การอธิบายคุณลักษณะนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบทั่วไปได้แก่ วัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการก่อสร้าง และชั้นส่วนหลักของโครงสร้างส่วนล่าง ในบทนี้จะได้อธิบายถึงวิธีการตรวจสอบสำหรับโครงสร้างส่วนล่างแต่ละชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย ปัญหาของโครงสร้างทั่วไป สาเหตุ และวิธีการตรวจหาปัญหาเหล่านั้น

ชั้นส่วนหนึ่งที่สำคัญของโครงสร้างส่วนล่างคือเสาเข็ม เสาเข็มเป็นชั้นส่วนของโครงสร้างส่วนล่างซึ่งถ่ายน้ำหนักจากฐาน (Footing) ไปยังชั้นดินที่อยู่ล่างใต้ (Underlying Soil) หรือหิน เสาเข็มทำได้จาก ไม้ คอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตอัดแรง หรือเหล็ก หรืออาจทำมาจากเหล็กและคอนกรีตอย่างเช่น เสาเข็มที่เป็นหอเหล็กเติมด้วยคอนกรีต (A Concrete-Filled Steel Pipe Pile) เสาเข็มบางที่ถูกตอกลงไปตามแนวดิ่งหรือเอียง ขึ้นอยู่กับทิศทางของน้ำหนักที่มา gravet อย่างไรก็ตาม เสาเข็มที่ไม่แข็งแรงเนื่องจากการกัดเซาะของดิน (Soil Erosion) หรือปัจจัยอื่นๆ เช่น ภาวะมีตรวจสอบการกัดกร่อน (Corrosion) และการก่อกรด

6.4.1 ตอม่อริมฝั่ง (Abutments)

ลักษณะการออกแบบ (Design Characteristics)

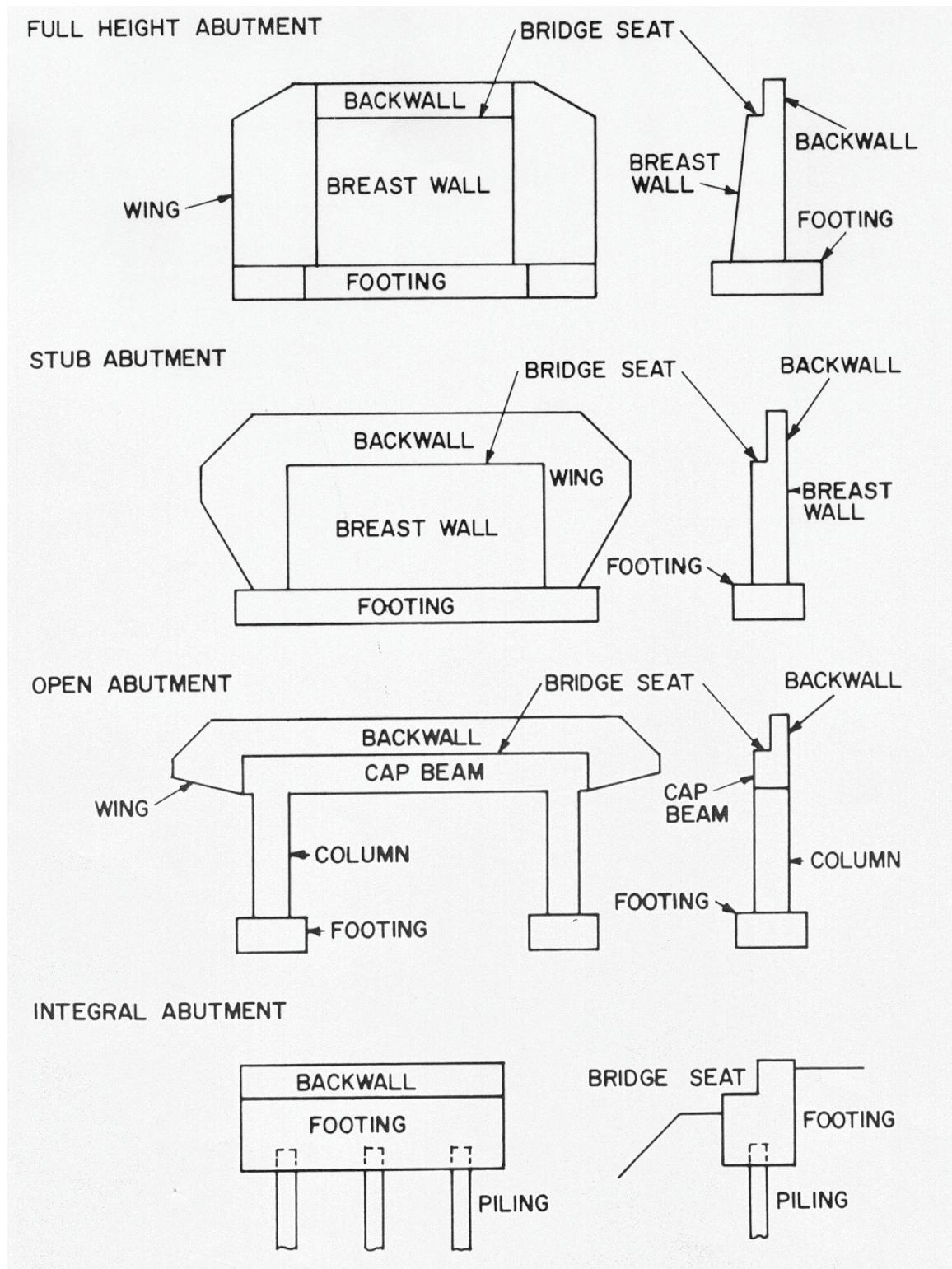
ตอม่อริมฝั่งเป็นโครงสร้างส่วนล่างอยู่ที่บริเวณปลายของสะพาน มีหน้าที่คือเป็นฐานรองรับที่จุดปลายของสะพาน และกันดินคันทางดินตามช่วงก่ออิฐ混凝ตัว

ชนิดของตอม่อริมฝั่ง (Abutment Types)

ตอม่อริมฝั่งถูกจัดแบ่งประเภทตามตำแหน่งที่ตั้งซึ่งเทียบกับคันทางดินดม ชนิดตอม่อริมฝั่งโดยทั่วไปแสดงในตารางที่ 6-4 และ รูปที่ 6-22

ตารางที่ 6-4 ชนิดตอม่อริมฝั่งโดยทั่วไป

<p>Full height or closed types:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravity - Counterfort - Cantilever - Timber bent - Crib - Mechanically-stabilized earth <p>Stub, semi-stub, or shelf type</p> <p>Open or spill-through type:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Curtain wall Integral type



รูปที่ 6-22 ชนิดของตอม่อริมฝั่งโดยทั่วไป

โครงสร้างส่วนใหญ่จะมีรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joint) ในโครงสร้างส่วนบนที่บริเวณตอม่อริมฝั่ง ตอม่อริมฝั่งนิยมใช้เสาเข็มเดียว (Single Row of Piles) รองรับ ในการออกแบบตอม่อริมฝั่งจะสมมติ โครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่างมีแรงกระทำเป็นชิ้นเดียวกันโดยปราศจากรอยต่อเพื่อขยาย



วัสดุพื้นฐาน

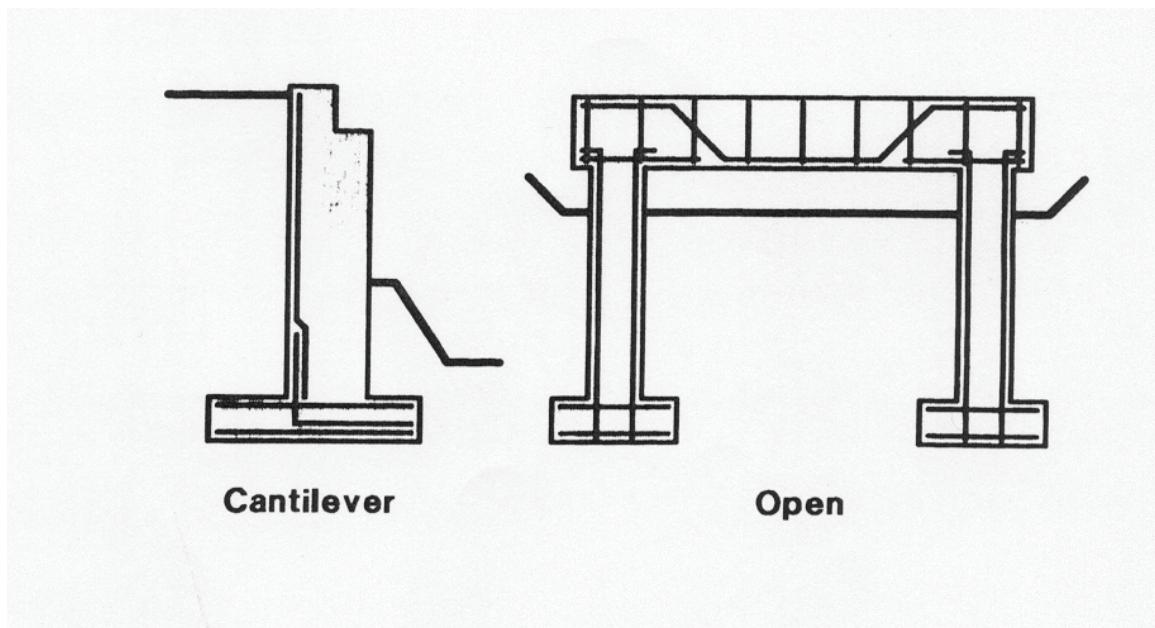
วัสดุพื้นฐานที่ใช้ในโครงสร้างตอม่อริมฝีดีคือ คอนกรีตที่มีซีเมนต์ล้วนๆ (Plain Cement Concrete) คอนกรีตเสริมเหล็ก งานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เหล็ก ไม้ หรือวัสดุประกอบของวัสดุเหล่านี้

เหล็กเสริมหลักหลายรูปแบบที่ใช้ในตอม่อริมฝีดีคือ คอนกรีตจะขันอยู่กับชนิดของตอม่อริมฝีดี

ใน Concrete Cantilever Abutment โดยทั่วไปมีเหล็กลูกตั้งอยู่ในผิวด้านหลังของ Stem และ Back wall เหล็กลูกนอนอยู่ในด้านล่างของฐาน (Toe Steel) และเหล็กลูกนอนอยู่ในด้านบนของฐาน (Heel Steel)

ใน Concrete Spill-Through Abutment โดยทั่วไปจะมีเหล็กลูกตั้งในผิวด้านหลังของ Back Wall เหล็กลูกนอนอยู่ในผิวด้านล่างของคานหัวหัวเสา (Cap Beam) เหล็กลูกตั้งอยู่ในทุกผิวของเสา และเหล็กลูกนอนอยู่ในผิวด้านล่างของฐาน

และเหล็กส่วนอื่นๆ ก็จะเป็น เหล็กปลอก หรือเหล็กเสริมรับคุณภาพมิและการทดสอบ



รูปที่ 6-23 เหล็กเสริมพื้นฐานในตอม่อริมฝีดี

ชิ้นส่วนตอม่อริมฝีดี (Abutment Elements)

ชิ้นส่วนพื้นฐานของตอม่อริมฝีดีคือ:

Bridge Seat ใช้เป็นพื้นที่สำหรับแผ่นรองรับคานซึ่งเป็นฐานรองรับโครงสร้างส่วนบน

Back wall กันดินและข่ายป้องกันดินไม่ให้เข้าไปบนบ่าตอม่อ (Bridge Seat) ซึ่ง Back Wall จะรองรับ แผ่นพื้นช่วงก่อนเข้าสู่พื้น (Approach Slab) และ รออยต่อเพื่อขยาย

Cheek Wall จะป้องกันจุดปลายของแผ่นรองรับคานจากชิ้นส่วนและป้องกันความสกปรกและดินทรายที่จะสะสมบริเวณรอบๆ Check Wall ไม่จำเป็นต้องมีก็ได้

Breast Wall จะกันดินด้านหลังของตอม่อริมฝีดี ซึ่ง Stem และ Web Walls เป็นรูปแบบของ Breast Walls

ฐาน (Footing) ส่งผ่านน้ำหนักของตอม่อริมเข้า ฐานน้ำหนักดิน และแรงปฏิกิริยาไปยังฐานรองรับดินหรือหินเมื่อเสาเข็มไม่ได้ถูกใช้ มันจะช่วยให้มีความเสถียรภาพต่อต้านการคว่ำ (Overturning) และแรงจากการเลื่อน (Sliding Forces) ส่วนของฐานหน้ากำแพงถูกเรียกว่า Toe และส่วนหลังกำแพงซึ่งต้านทานน้ำหนักการคว่ำ (Overturning) ของกำแพงกันดินถูกเรียกว่า Heel

เสาเข็ม (Piles) รับน้ำหนักโครงสร้างอยู่ในดิน เสาเข็มไม่จำเป็นต้องมีส่วนนี้แต่โดยทั่วไปมันจะใช้เมื่อฐานรากดินไม่มีความสามารถพอที่จะต่อต้านแรงดันของตอม่อริมผิว

วิธีการและตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ (Inspection Locations and Procedures)

ปัญหาโดยทั่วไปที่พบจากการตรวจสอบตอม่อริมผิวคือ

- การเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง (Vertical Movement)
- การเคลื่อนตัวตามแนวขวาง (Lateral Movement)
- การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)
- การหมุน (Rotation Movement)
- ความเสียหายของวัสดุ (Failure of Material)

การเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง

การเคลื่อนตัวตามแนวตั้งสามารถเกิดขึ้นได้ในรูปแบบของการทรุดตัวเสมอ (Uniform Settlement) หรือ การทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) กรณีของการทรุดตัวเสมอ (Uniform Settlement) ของโครงสร้างส่วนล่างทั้งหมดจะมีการปรับเปลี่ยนระดับเดียวกัน ขณะที่การทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) จะมีผลกระทบน้อยบนโครงสร้าง หากตรวจพบการทรุดตัวเสมอ (Uniform Settlement) ประมาณ 30 เซนติเมตร บนสะพานเล็กๆ ก็ยังไม่ได้หมายความว่ามันจะมีสภาพที่อันตราย

อย่างไรก็ตามการทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) สามารถก่อให้เกิดสภาพที่อันตรายได้ในสะพาน การทรุดตัวลักษณะนี้อาจก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างโครงสร้างส่วนล่าง ซึ่งเป็นสาเหตุของความเสียหายของสะพานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวช่วงและชนิดของสะพาน (ดูรูปที่ 6-24) บางที่มันจะเกิดภายใต้โครงสร้างเดียว (Single Substructure Unit) (ดูรูปที่ 6-25) ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการเปิดออกของรอยต่อเพื่อขยายระหว่าง ตอม่อริมผิว กับ กำแพง หรือบางที่มันจะเป็นสาเหตุของการแตกร้าวหรือ Tipping ของตอม่อริมผิวหรือกำแพง

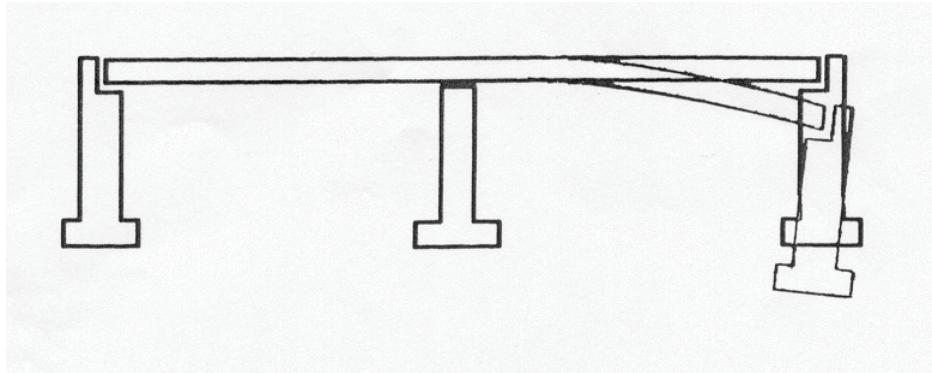
สาเหตุส่วนมากของการเคลื่อนตัวตามแนวตั้งคือการริบบิตในการแบกทรายของดิน (Soil Bearing Failure) การขัดตัวคายน้ำของดิน (Consolidation of Soil) การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour) และการเสื่อมสภาพของฐานรากตอม่อริมผิว

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง หรือการทรุดตัว ควรทำดังนี้

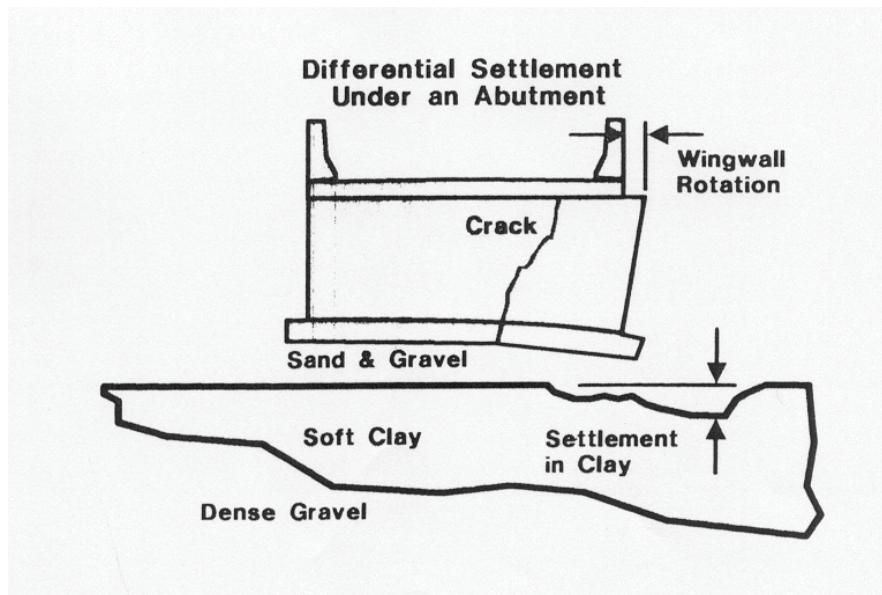
1. ตรวจสอบรอยต่อระหว่างปลายของแผ่นพื้นช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) และส่วนพื้นของสะพาน (Deck) ในบางกรณีการขยายตัวของชั้นทาง (Pavement Expansion) หรือ Approach Fill Expansion อาจเป็นสาเหตุของการเคลื่อนตัวแนวตั้งของแผ่นพื้นช่วงก่อนขึ้นสะพาน
2. ตรวจสอบการแตกร้าวใหม่เพื่อดูการทรุดตัว
3. พิจารณาโครงสร้างส่วนบนเพื่อดูการทรุดตัว



4. เช็คการกัดเซาะบริเวณทั้งน้ำรอบๆ ฐานของตอม่อคลองน้ำ (Abutment Footing) หรือ ฐานราก (Foundation)
5. ตรวจสอบรอยต่อซึ่งเป็นจุดแบ่งกำแพงตอม่อริมฝั่ง และตอม่อริมฝั่ง



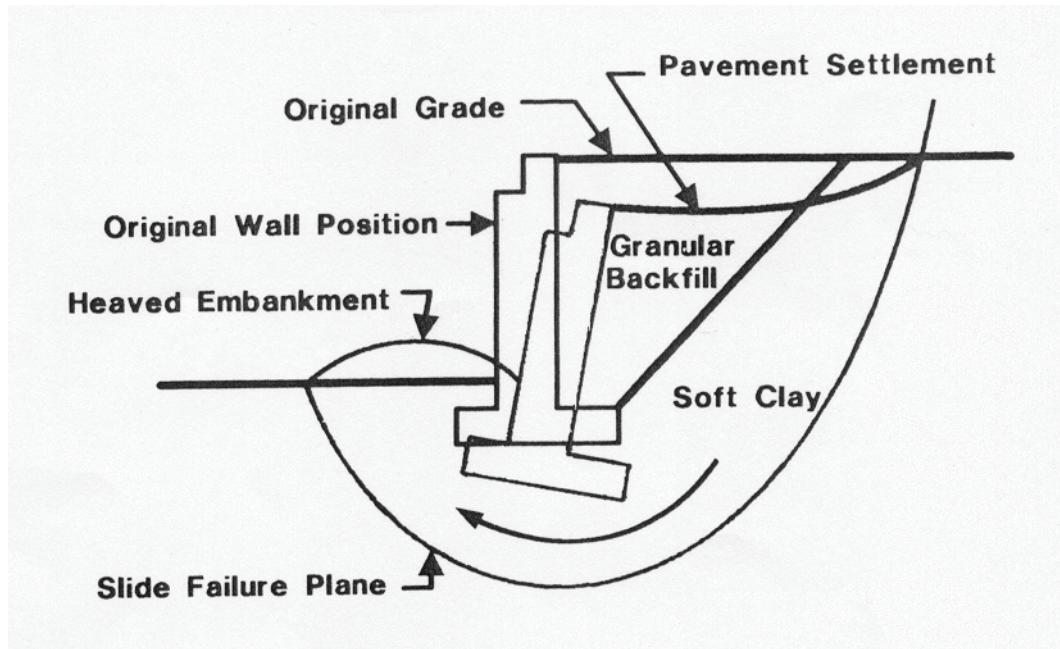
รูปที่ 6-24 การทรุดตัวไม่เท่ากันระหว่างโครงสร้างส่วนล่าง



รูปที่ 6-25 การทรุดตัวไม่เท่ากันภายในตัวโครงสร้างส่วนล่างอันเดียว

การเคลื่อนตัวด้านข้าง

โครงสร้างที่ใช้กันดิน (Earth Retaining) เช่น ตอม่อริมฝั่ง และกำแพงกันดิน (Retaining Walls) เป็นโครงสร้างที่อ่อนไหวต่อการเคลื่อนตัวด้านข้าง หรือการเลื่อน (รูปที่ 6-26) การเคลื่อนตัวด้านข้างเกิดขึ้นเมื่อมีแรงด้านข้างมากจากทำบก กำแพงเกินกว่าแรงตามแนวตั้ง



รูปที่ 6-26 การเคลื่อนตัวด้านข้างของดอมอิริมผึ้งเนื่องจาก Slope Failure

สาเหตุโดยทั่วไปของการเคลื่อนตัวด้านข้างคือ Slope Failure, การไหลซึมของน้ำในดิน (Seepage) การเปลี่ยนแปลงลักษณะของดิน (เช่น Frost Action และ Ice) และระยะเวลาการอัดด้วยน้ำของดินดังเดิม

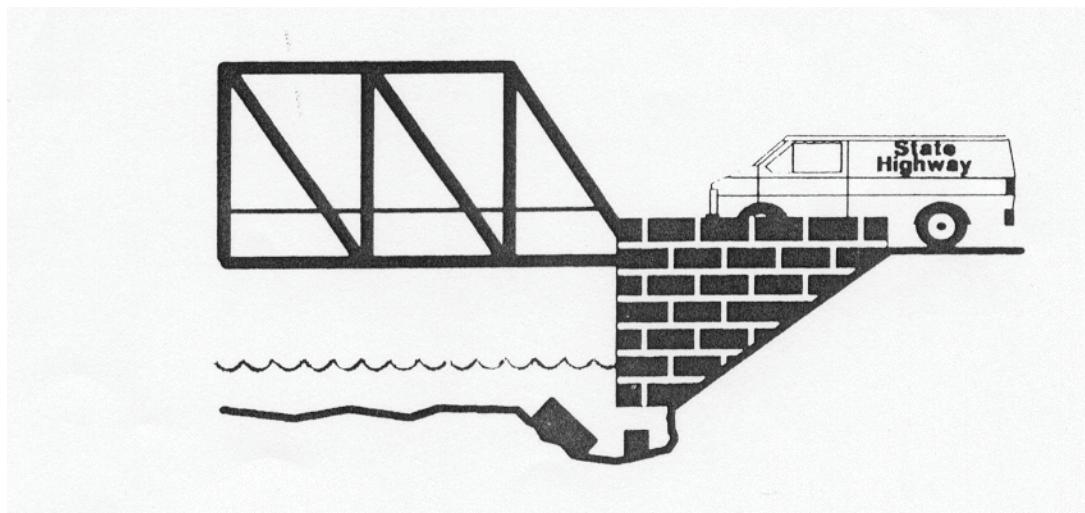
การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามขวาง หรือการเลื่อนทำได้โดย

1. ตรวจสอบแนวโน้มอิริมน้ำ
2. ตรวจเช็คแผ่นรองรับคานเพื่อคุณภาพรุดตัวตามแนวขวาง
3. พิจารณาอย่างเป็นจุดต่อโครงสร้างระหว่างกำแพงดอมอิริมผึ้งและดอมอิริมผึ้ง
4. ตรวจหารอยตอที่เปิดระหว่างส่วนของพื้นและแผ่นพื้นก่ออิฐ混泥土
5. เช็คระยะห่างระหว่างปลายของโครงสร้างส่วนบนและดินสามกบแต่ง
6. พิจารณาช่องระบายน้ำที่อุดตัน (Clogged Drains)
7. ตรวจสอบการกัดเซาะของกำแพงกันดินด้านหน้าของดอมอิริมผึ้ง

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour) คือ การที่วัสดุถูกกัดเซาะออกไปจากท้องน้ำ เป็นผลของการกัดเซาะของน้ำที่ไหลผ่าน (รูปที่ 6-27) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโพรงข้างใต้ของดอมอิริมผึ้ง โดยการไหลของ水流น้ำหรือแม่น้ำ

การตรวจสอบการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำควรรวมไปถึงการหยั่ง (Probing) รอบดอมอิริมผึ้งเพื่อคุ้วงว่าเกิดโพรงข้างใต้หรือเปล่า



รูปที่ 6-27 ตอนม่อริมผั่งซึ่งเกิดการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ

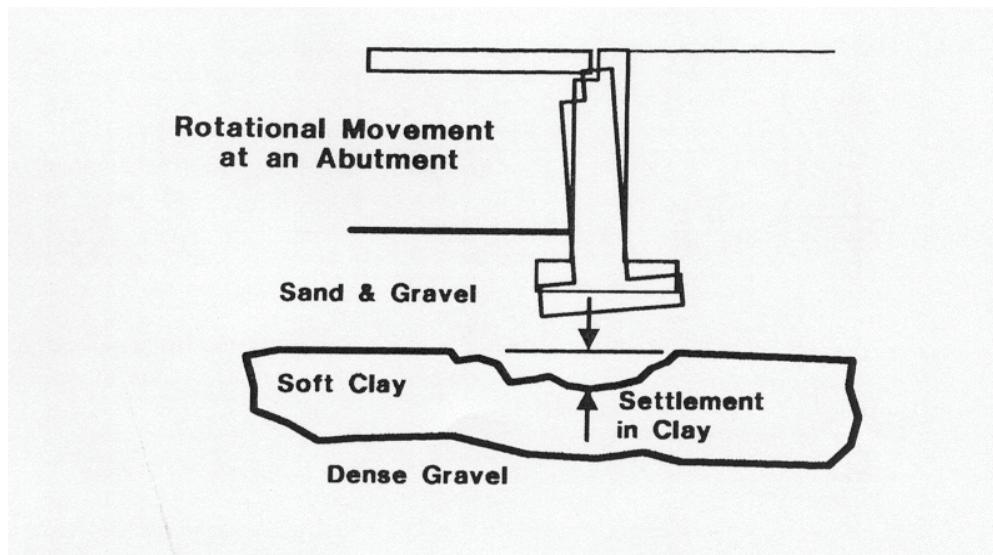
การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement)

การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) หรือ Tipping ของโครงสร้างส่วนล่างโดยทั่วไปเป็นผลมาจากการไม่สมดุลของการทุบตัวหรือการเคลื่อนตัวตามยาว (รูปที่ 6-28) การตรวจสอบการเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) ควรทำการตรวจสอบที่ขั้นส่วนเหล่านี้คือ ตอนม่อริมน้ำ ตามด้านข้างของตะม่อริมน้ำ และกำแพง

สาเหตุส่วนมากของการเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) คือ การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ, ความชื้นตัวของดินถม (Saturation of Backfill) การกัดเซาะของดินถม (Erosion of Back Fill) ตามด้านข้างของตะม่อริมน้ำและกกรอออกแบบที่ไม่เหมาะสม

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotation Movement) หรือ Tipping ทำได้โดย

1. ตรวจเช็คแนวดิ่งของตะม่อริมน้ำโดยใช้ลูกดิ่ง ระลึกไว้เสมอว่าตามม่อริบังตัวถูกสร้างด้วย Battered or Sloped Front Face



รูปที่ 6-28 การเคลื่อนตัวจาก การหมุนของตอนม่อริมผั่ง

2. ตรวจพิจารณาช่องว่างระหว่างคานและดินตกบดแต่ง
3. ตรวจสอบช่องระบายน้ำอุดตัน (Clogged Drains) หรือรูรั่ว (Weep Holes)
4. ตรวจหากการแตกและบันทึกความกว้าง ความยาว และทิศทาง

การวินิจฉัยของวัสดุ (Failure of Material)

ปัญหาโดยปกติอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการตรวจสอบคอมมอริมฟิล์มคือความวินิจฉัยของวัสดุก่อสร้าง

ตารางที่ 6-5 แสดงรูปแบบส่วนมากของความวินิจฉัยของวัสดุต่างๆ ที่ถูกใช้ในโครงสร้างส่วนล่าง

คอนกรีต :	เหล็ก :
<ul style="list-style-type: none"> - การแตกร้าว - การหลุดล่อน - การกะเทาะ - การกระแทก - การเบิดออกของเหล็กเสริม 	<ul style="list-style-type: none"> - การกัดกร่อน - การแตกร้าว - การโก่งเดาะ
งานก่อด้วยหิน :	ไม้ :
<ul style="list-style-type: none"> - สภาพอากาศ - การหลุดล่อน - การแตกร้าว - การแตกหัก - การแตกร้าวหรือเสื่อมสภาพของ Mortar 	<ul style="list-style-type: none"> - กาวผุ - แมลง - Maring Borers - Caddisflies - ความเสียหายจากสัตว์ (Vermin Damage) - สภาพอากาศ - ความเสียหายจากไฟ

การตรวจสอบความเสียหายของคอนกรีตและ Stone Masonry ของคอมมอริมน้ำทำได้ดังนี้

1. ตรวจพิจารณาที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seats) เพื่อหารอยแตกและการหลุดล่อน (Spalling) โดยเฉพาะใกล้ๆ ขอบ โดยเฉพาะจุดวิกฤตซึ่งคานคอนกรีต วางโดยตรงบนบ่าตอมมอริม (Abutment Seat.)
2. ตรวจสอบการสะสมของน้ำและน้ำที่ขึ้น (Standing Water) บนที่วางแผ่นรองรับคาน
3. ตรวจหากความเสื่อมสภาพของคอนกรีตในพื้นที่ซึ่งสัมผัสกับท่อระบายน้ำจากถนน (Roadway Drainage) โดยเฉพาะใต้รอยต่อระหว่างดินตกและตอมมอริมฟิล์ม
4. ตรวจเช็คดินตกเพื่อดูรอยแตกร้าวและการเคลื่อนตัวที่เป็นไปได้
5. ตรวจพิจารณาการอยู่ต่อระหว่างดินตกและ ตอมมอริมฟิล์ม



6. ตรวจสอบงานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เพื่อถูกการแตกร้าวของ Mortar หรือ การสูญเสีย Mortar ในรอยต่อ
7. พิจารณางานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เพื่อดูว่าพืช (Vegetation) รายน้ำไอลซึมผ่านรอยแตกร้าว ความหลวมหรือการสูญหายของหิน (Loose or Missing Stones) สภาพแวดล้อม (Weathering) และ การหลุดล่อนหรือการสูญหายของหิน
8. ตรวจเช็ครั้วที่เห็นและดูการทำงานของมัน

การตรวจสอบความเสียหายของตอม่อริมฝั่งเหล็ก

1. ดูว่าบริเวณที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seat) สภาพและมีการสะสมของดินหรือไม่
2. หลังจากการทำความสะอาดที่วางแผ่นรองรับคานแล้วให้เข้าดูการกัดกร่อนและการสูญเสียน้ำตัด
3. ตรวจสอบคานหุ้มหัวเสา (Cap Beam) เสาเข็ม และขั้นส่วนเหล็กว่าเกิดการกัดกร่อน การแตกร้าวและการสูญเสียน้ำตัด
4. ตรวจหาเสาเข็มใกล้กับที่ระดับพื้นดิน (Investigate Piles Closely at The Ground Line)
5. ตรวจเช็คการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำและการกัดเซาะรอบๆ เสาเข็ม
6. ตรวจพิจารณาตัวยึดทั้งหมดและจุดต่อเพื่อดูการกัดกร่อนและความแน่น

การตรวจสอบความเสียหายของไม้ในตะมะอิมฝั่งทำได้ดังนี้

1. พิจารณาที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seat) ว่ามีฝุ่นหรือกองดินและความชื้นอยู่หรือไม่
2. ตรวจสอบการผุ ความเสียหายจากแมลง และ การแตกหักของคานหุ้มหัวเสา (Cap Beam)
3. ตรวจหา Local Failure ใน Lagging หรือ เสาเข็ม ระหว่างการเคลื่อนตัวตามช่วง
4. ตรวจเช็คการ Lagging ไม้ และเสาเข็ม เพื่อดูการแตกแยก การแตกร้าว การผุ ความเสียหายจากแมลง หรือความเสียหายจากไฟ
5. ตรวจสอบการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำรอบๆเสาเข็ม
6. ตรวจพิจารณาเสาเข็มอย่างใกล้ชิดเพื่อดูการผุที่บริเวณใกล้ระดับน้ำ
7. ตรวจหารอยต่อและจุดต่อเพื่อถูกความแน่นและความหลวมของสลักเกลี้ยง
8. ในสภาพที่เป็นทะเลให้พิจารณาเสาเข็มเพื่อดูท่าที่ของ Marine Borers และ Caddisflies

6.4.2 ตอม่อกลางน้ำ (Pier and Bents)

ลักษณะการออกแบบ (Design Characteristics)

ตอม่อกลางน้ำหรือ Bent เป็นโครงสร้างส่วนล่างที่อยู่ตรงกลางระหว่างจุดปลายของสะพาน มีหน้าที่คือรองรับสะพานระหว่างกลางซึ่งจะต้องกีดขวางทางน้ำให้แน่นอยู่ที่สุด ความแตกต่างระหว่างตอม่อกลางน้ำ และ Bent คือฐานรากที่มีพื้นฐานที่ปราศจากแต่เมื่อน้ำที่ทำการทำงานที่เมื่อก่อนกัน

ชนิดของตอม่อกลางน้ำ มีดังนี้

1. Solid Shaft Pier
2. Column Pier
3. Column Pier with A Web Wall
4. Cantilever Pier with A Web Wall
5. Column Bent or Open Bent
6. Pile Bent

วัสดุพื้นฐาน (Primary Materials)

วัสดุพื้นฐานที่ถูกใช้ในการก่อสร้างตอม่อกลางน้ำ (Piers and Bents) คือคอนกรีตล้วน (Plain Cement Concrete) คอนกรีตเติร์เมล็อก งานก่ออิฐยัน (Stone Masonry) เหล็ก ไม้ หรือวัสดุประกอบขึ้นจากวัสดุเหล่านี้

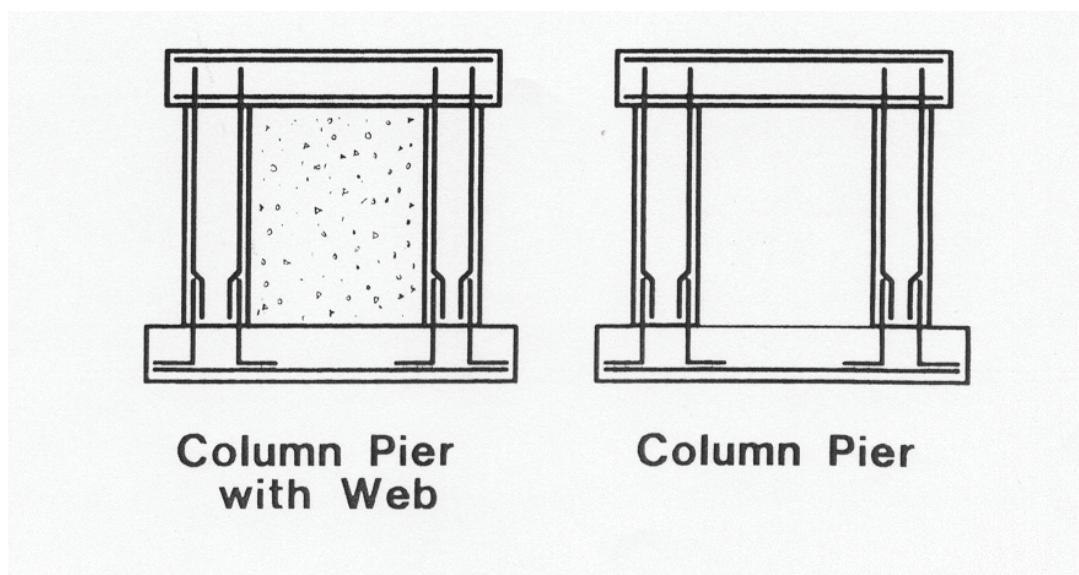
รูปแบบการวางเหล็กเสริมหลายๆ ชนิดถูกวางแผนในคอนกรีตขึ้นอยู่กับชนิดของตอม่อกลางน้ำ (Piers and Bents)

ใน Concrete Solid Shaft Pier Column Pier or Column Pier with Wall โดยทั่วไปจะมีเหล็กลูกตั้งใน stem หรือเสา (Column) และเหล็กลูกนกอนใน ด้านล่างของฐาน

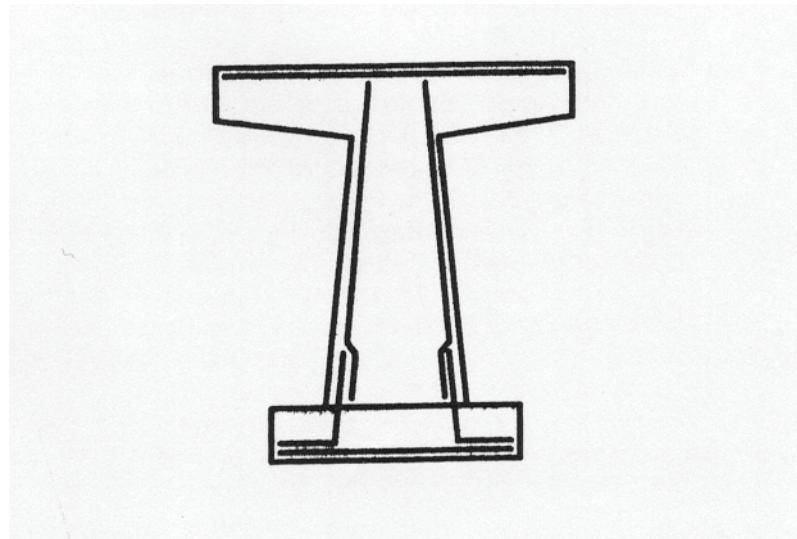
ใน Concrete Cantilever หรือ Hammerhead Pier โดยทั่วไปมีเหล็กลูกนกอนในผิวนบนของ Cap เหล็กลูกตั้งใน Stem และ เหล็กลูกนกอนใน ส่วนล่างของ Footing

ใน Concrete Column Bent or Open Pier โดยทั่วไปมีเหล็กลูกนกอนในผิวด้านล่างของหัวห้มคานระหว่างเสา เหล็กลูกตั้งในเสา และเหล็กลูกนกอนในส่วนล่างของฐาน

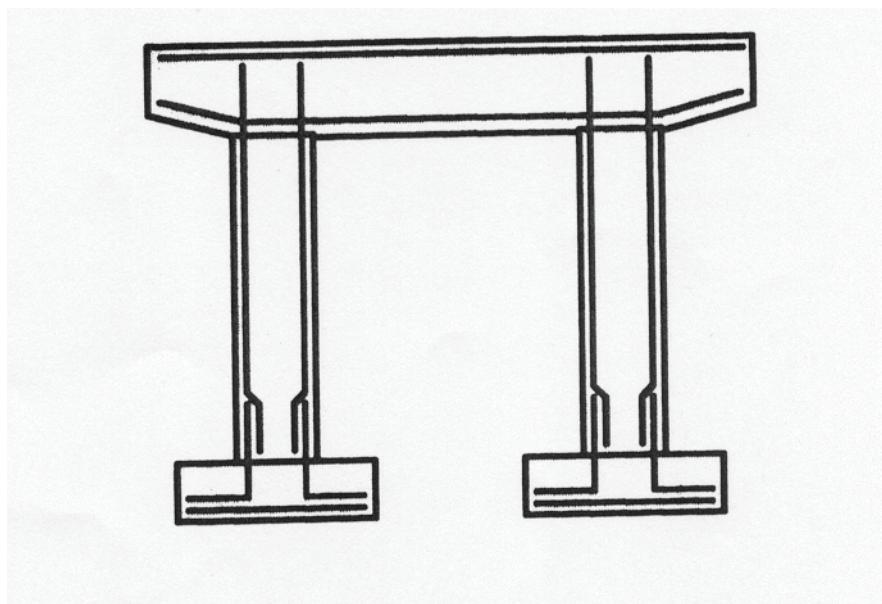
ใน Concrete Pile Bent โดยทั่วไปมีเหล็กลูกนกอนในผิวด้านล่างของหัวห้ม (Cap) ระหว่างเสา เหล็กลูกตั้งในเสาเข็มคอนกรีต ฐาน (Footing) ไม่ได้มีการระบุไว้ เหล็กอื่นๆ ก็จะเป็นเหล็กปลอกหรือเหล็กรับคุณภูมิและการทดสอบ



รูปที่ 6-29 เหล็กเสริมพื้นฐานใน Column Pier with Web and in Column Pier



รูปที่ 6-30 เหล็กเสริมพื้นฐานใน Hammerhead Pier



รูปที่ 6-31 เหล็กเสริมพื้นฐานใน Column Bents

ชั้นส่วนของตอม่อกลางน้ำ

ชั้นส่วนพื้นฐานของตอม่อกลางน้ำ

- แท่นหัวเข็ม (Pile or Bent Cap)
- Pier Wall or Stem
- เสา (Column)
- ฐาน (Footing)
- เสาเข็ม (Piles)

แท่นหัวเข็ม (Pile or Bent Cap) ใช้เพื่อเป็นฐานรองรับแผ่นรองรับความและโครงสร้างส่วนบน Pier Wall หรือ Stem ใช้ส่งถ่ายน้ำหนักจาก Pier Cap ไปยังฐาน

เมื่อเสาถูกใช้พากมันจะส่งถ่ายน้ำหนักของตอม่อคลองน้ำ น้ำหนักดิน และแรงปฏิกิริยาของสะพานไปยังฐานรองรับดินหรือหินถ้าไม่ใช้เสาเข็ม ฐานจะใช้เพื่อสร้างเสถียรภาพของตอม่อคลองน้ำ ด้านท่านการเกิด Overturning และ แรงการเลื่อน (Sliding Forces)

เสาเข็มเป็นชิ้นส่วนที่ตั้งตรงหรือเอียงซึ่งจะถูกตอก ใช้แม่แรงกด หรือหล่อลงไปในพื้นดิน จุดประสงค์เพื่อส่งถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนล่างไปยังดิน เสาเข็มไม่จำเป็นต้องมีแต่โดยทั่วไปมันจะถูกใช้เมื่อฐานรากดินสามารถที่จะด้านท่านแรงดันของตอม่อคลองน้ำ

การป้องกันตอม่อคลองน้ำ (Pier Protection)

การป้องกันตอม่อคลองน้ำสามารถทำได้โดยใช้ Collision Wall Pier Dolphins หรือ Fenders.

เสาตอม่อคลองน้ำของ Collision Wall Pier ถูกห่อโดยกำแพงแข็งของคอนกรีตเพื่อป้องกันยอดيان รถไฟ หรือการกัดกร่อนจากทะเล Ice Flows

Dolphins are Single เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ Sand-Filled Sheet Pile Cylinders Clusters ของเสาเข็มไม่หรือเหล็กกลม หรือ ก้อนคอนกรีตขนาดใหญ่ วางไว้ด้านหน้าของตอม่อคลองน้ำเพื่อป้องกันเรือเดินทะเลหรือการจราจรอื่นๆ

Fenders คือรั้วป้องกันล้อมรอบตอม่อคลองน้ำ เพื่อป้องกันตอม่อคลองน้ำจากการจราจรสทางทะเล พากมันประกอบด้วย การจัดเรียงไม้ให้เป็นโครง โครงเหล็กหรือคอนกรีต หรือแผ่นสำนับ

ตำแหน่งและวิธีการตรวจสอบ (Inspection Locations and Procedures)

ปัญหาที่ปรากฏในการตรวจสอบตอม่อคลองน้ำ

- การเคลื่อนตัวแนวตั้ง
- การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)
- การหัก และการเคลื่อนตัวตามขาวาง
- ความกว้างของวัสดุ

การเคลื่อนตัวแนวตั้ง (Vertical Movement)

การทรุดตัวที่แตกต่างกันของตอม่อคลองน้ำเป็นสาเหตุของปัญหาที่รุนแรงในสะพาน รายต่อพื้นสะพาน สามารถที่จะอยู่ชิดกันอย่างสมบูรณ์ที่ตอม่อคลองน้ำ และเปิดอย่างเหลือเฟือที่ตอม่อริมน้ำ การเสื่อมสภาพเช่น การหลุดล่อน (Spalling) การแตกร้าว (Cracking) และการโก่ง (Buckling) สามารถที่จะเกิดขึ้นได้

สาเหตุโดยทั่วไปของการเคลื่อนตัวตามแนวตั้งคือ Soil Bearing Failure, การอัดตัวคายน้ำของดิน (Soil Consolidation) การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour) และการเสื่อมสภาพของวัสดุฐานราก

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง หรือการทรุดตัวทำได้โดย

1. สำหรับสะพานที่มีหลายความยาวช่วง พิจารณาอยู่ต่อในพื้น (Deck) เนื้อตอม่อคลองน้ำ อย่างใกล้ชิด เช่นเดียวกับที่ ตรวจสอบตอม่อคลองน้ำและตอม่อริมฝั้ง (As Well As at Adjacent Piers and at The Abutments)



2. เช็คการแตกร้าวใหม่หรือการแตกร้าวที่ม่องไม้เห็นที่เกิดขึ้นในตอนม่อกรางน้ำ
3. ตรวจหาการโกร่งเดาในเสาเหล็กของตอนม่อกรางน้ำ ตรวจเช็คโครงสร้างส่วนบนเพื่อดูการทรุดตัว
4. ตรวจหาการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำรอบฐานตอนม่อกรางน้ำ
5. ในบางกรณี ต้องเช็คแผ่นรองรับคาน หรือยอดของระดับตอนม่อกรางน้ำโดยใช้การสำรวจด้วยอุปกรณ์ถ้าจำเป็น

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ เป็นการเอาสัดดูออกจากการพื้นท้องน้ำซึ่งเป็นผลของการกัดเซาะของน้ำที่แหล่งผ่าน การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำรอบฐานตอนม่อกรางน้ำเป็นสาเหตุทำให้สะพานพังทลายในหลายครั้ง

การตรวจสอบการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำทำได้โดย

1. ห้อง (Probe) ดูรอบๆ ตอนม่อกรางน้ำ (Pier or Bent) เพื่อดูความเป็นโพรง
2. การตรวจสอบใต้น้ำโดยการดำน้ำบางที่อาจต้องการ
3. Remote Sensing using Ground-Probing Radar

การเคลื่อนตัวโดยการหมุนและการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Rotational Movement and Lateral Movement)

การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) หรือ Tipping และ การเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Movement) ของตอนม่อกรางน้ำ บางที่จะเป็นสาเหตุของการทรุดตัวที่ไม่สมมาตรหรือ แรงตามแนวแกนมากเกินไป เช่นการเกิดแผ่นดินไหว

การตรวจสอบ การเคลื่อนตัวโดยการหมุน หรือ Tipping ทำได้ดังนี้

1. เช็คแนวตั้งของตอนม่อกรางน้ำโดยใช้ลูกกิจ
2. ตรวจระยะห่างระหว่างปลายของคานที่ต่อตอนม่อกรางน้ำและระหว่างคานกับ Back Wall
3. ตรวจสอบรอยแตกร้าวของการหลุดลอกซึ่งบางที่ไม่สามารถอธิบายได้ ในกรณีที่ทำการตรวจสอบหลังจากแผ่นดินไหว ความเสียหายจะปรากฏให้เห็นชัด

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามความกว้างคราวทำการตรวจสอบโดยการตรวจ แนวตามระยะยาวของรากันตก (Railing) หรือ ขอบกัน (Barrier) ของสะพาน

ความวินาศัยของวัสดุ (Failure of Material)

การตรวจสอบความเสียหายของคอนกรีตและ Stone Masonry ใน Piers และ Bents ทำได้ดังนี้

1. ตรวจสอบการแตกแยกของคอนกรีตโดยเฉพาะใน Splash Zone ที่ระดับน้ำ ที่ระดับพื้นดิน และ คอนกรีตทุกแห่งที่สัมผัสกับท่อระบายน้ำพื้นผิวน้ำ (Roadway Drainage)
2. พิจารณาเสาตอนม่อกรางน้ำและ หัวห้มตอนม่อกรางน้ำ (Pier Bent Caps) เพื่อดูการแตกร้าว
3. เช็คที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seat) เพื่อดูการแตกร้าวและ การหลุดล่อน
4. พิจารณา Grout Pads และ Pedestals เพื่อดูการแตกร้าว การหลุดล่อน และการเสื่อมสภาพ

5. ตรวจหาทุกๆ ที่เปลี่ยนแปลงในระยะห่างการเคลื่อนตัวแต่ละตอนม่อคลางน้ำ
6. เช็คทุกๆ ชิ้นส่วนตอนม่อคลางน้ำ เพื่อดูความเสียหายของโครงสร้างซึ่งเกิดจากชนกัน (Collision) หรือ การบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overstress)
7. พิจารณาสภาพของพื้นดินหรือหินเติมที่ใช้ในการต้านทานการเคลื่อนตัวของตอนม่อคลางน้ำให้อยู่ใน สภาพที่จะไม่ทำให้ตอนม่อคลางน้ำอยู่ในสภาพที่ไม่มั่นคง
8. เช็ค ตอนม่อคลางน้ำที่เป็นงานก่อด้วยหิน เพื่อดูการแตกร้าวของ Mortar, น้ำและวัชพืช ในรอยร้าว และ เพื่อดูการหลุดลอก การแตกแยก ความหลวม การหลุดหายของหิน



รูปที่ 6-32 การกัดกร่อนและการทับถมของเศษอิฐที่ตอนม่อคลางน้ำเหล็ก

การตรวจสอบความเสียหายของเหล็กในตอนม่อคลางน้ำ ทำได้ดังนี้

1. เช็คแท่นหัวเข็ม เพื่อดูท่าทีของการกัดกร่อน โดยเฉพาะที่ระดับน้ำ
2. Over Water Crossings ตรวจหา Splash Zone (ชั้นน้ำไป 0.60 เมตร เหนือ High Tide หรือ ระดับน้ำเฉลี่ย (Mean Water Level) และส่วนของเสาเข็มที่มมน้ำเพื่อดูการกัดกร่อนและการเกิดสนิมของ ส่วนของเสาเข็มที่มมน้ำได้น้ำ
3. ตรวจดูการสะสมของดินรอบๆ เสาเข็มหรือ Pier Bents ซึ่งการสะสมของดินจะเป็นตัวดูดความชื้นและ ทำให้เกิดการกัดกร่อน
4. ตรวจดูการหมุนในหัวห้มเหล็กเนื่องจากจุดต่อเยื่องศูนย์ (Eccentric Connections)
5. ตรวจสอบค้ำยันเพื่อดูการหักของจุดต่อและความหลวมของหมุดย้ำหรือสลักเกลี่ย
6. เช็คสภาพของ Web Stiffeners (ถ้ามี)
7. เช็คเสาตอนม่อคลางน้ำหรือหัวห้มตอนม่อคลางน้ำเพื่อหารอยแตกร้าว
8. เมื่อมีจุดสำคัญเกิดการเปลี่ยนแปลง ให้ทำการตรวจสอบด้วยสายตาและวัดการเคลื่อนตัวของ ตอนม่อ คลางน้ำ



9. ตรวจดูร่องรอยของโครงสร้างที่มีความเสียหายจากการชน (Collision) การโก่งเดา (Buckling) หรือ การรับน้ำหนักบริสุทธิกัน (Overstress)
10. ที่บิริเวณคานหัวห้มเหล็กและคานต่อเนื่องตามยาวถูกวางไว้ด้วยกัน ตรวจสอบ Top Flange Welds และ Webs เพื่อหารอยแตกร้าว

การตรวจสอบความชำรุดของไม้ในตอม่อกลางน้ำ ควรทำดังนี้

1. ตรวจเช็คการผุในเสาเข็ม หัวห้ม และค้ำยัน การผุสามารถตรวจพิจารณาได้โดยการ Tapping ด้วย Hammer หรือโดยการทดสอบ Boring The Timber ตรวจสอบที่ระดับเป็นพิเศษที่ระดับพื้นดินหรือระดับน้ำและที่จุดต่อและรอยต่อ เนื่องจาก การผุโดยทั่วไปจะเริ่มจากบริเวณเหล่านี้เนื่องจากโดยปกติ การผุเริ่มต้นที่จุดเหล่านี้
2. พิจารณารอยต่อและจุดต่อเพื่อถูกความแน่นหนาหรือความหลุมของลักษณะลักษณะ
3. ตรวจดูสภาพของหัวห้มที่ดำเนินแห้งซึ่งคานวางบนมันโดยตรง และที่ซึ่งคานหัวห้มวางโดยตรงบนเสาเข็ม จดบันทึกส่วนที่มีการแตกร้าวหรือแตกหักของไม้ในพื้นที่เหล่านี้
4. สังเกตหัวห้มซึ่งอยู่ติดน้ำหนักมากๆ เพื่อถูกการโก่งตัวที่มากเกินไป
5. ในสภาพแวดล้อมที่เป็นทะเล ตรวจเช็ค Marine Borers Shipworms and Caddisflies.
6. ตรวจเช็คตอม่อกลางน้ำเสาเข็มไม้ในน้ำเค็มเพื่อถูกความเสียหายที่มีสาเหตุจาก Marine Borers ดำเนินแห้งปกติของความเสียหายคือที่ Checks in The Wood รูสักเกลี้ยง หัวห้ม หรือจุดต่ออื่นๆ

Dolphins และ Fenders

สภาพของ Dolphins หรือ Fenders ควรถูกตรวจสอบในวิธีการคล้ายกับการตรวจสอบขั้นส่วนโครงสร้างหลัก ส่วนล่างในขั้นส่วน ค่อนกรีตป้องกันตอม่อ (Concrete Pier Protection) เช็คการหลุดลอกและการแตกร้าวของค่อนกรีต หรือการกัดกร่อนของเหล็กเสริม Investigate for Hour-Glass Shaping ของเสาเข็มที่ระดับน้ำและเช็คความเสียหายของโครงสร้างที่มีสาเหตุมาจากการจราจรทางน้ำ (0.6 เมตร) ให้ระมัดระวังการกัดกร่อนที่รุนแรง พิจารณาส่วนประกอบเหล็ก อื่นๆทั้งหมดเพื่อหาการกัดกร่อนและเช็คความเสียหายของโครงสร้าง

ในขั้นส่วนการป้องกันตอม่อกลางน้ำไม่ให้ถูกที่ส่วนบนระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับโคลนเพื่อถูก Marine Borers Caddisflies การผุและเช็คความเสียหายของโครงสร้าง

6.4.3 กำแพงตอม่อริมฝั่ง

ลักษณะการออกแบบ (Design Characteristics)

กำแพงตอม่อริมฝั่งเป็นกำแพงด้านข้างของตอม่อริมฝั่ง Enclose The Approach Fill. โดยทั่วไป กำแพงตอม่อถูกพิจารณาให้เป็นกำแพงกันดิน (Retaining Walls) เนื่องจากพื้นที่ด้านนอกแบบให้รักษาความแตกต่างระหว่างระดับผิวดินสองด้านของกำแพง กำแพงตอม่อริมฝั่งจะคล้ายตอม่อริมฝั่งน้ำยกเว้นว่ามันไม่มีความจำเป็นต้องรับน้ำหนักตามแนวดึงน้ำหนักที่หายไปตามแนวดึงของโครงสร้างส่วนบน โดยปกติจะเป็นที่จะต้องกว้างกว่าฐานเพื่อป้องกันการคว่ำกำแพง ตอม่อริมฝั่งบางที่อาจจะก่อสร้างจากค้อนกรีต งานก่ออั้นหิน (Stone Masonry) เหล็ก หรือไม้ ใน Concrete Cantilever

Wing Wall เหล็กเสริมพื้นฐานประกอบด้วยเหล็กลูกตั้งในผิวด้านหลังของ Stem เหล็กลูกนอนในด้านล่างของฐาน (Toe Steel) และเหล็กลูกนอนในส่วนบนของฐาน (Heel Steel) และเหล็กอื่นๆเป็นเหล็กเสริมรับคุณภูมิและหดตัว

มีการแบ่งกำแพงตามม่อริมฝั่งเป็นหลายๆ ช่วง และการใช้งานขึ้นอยู่กับการออกแบบที่ต้องการของโครงสร้าง

- Straight- Extensions of The Abutment Wall
- Flared-Form and Acute Angle with The Bridge Road Way
- U-Wings-Parallel to The Bridge Road Way

มีการแบ่งประเภทโครงสร้างกำแพงตามม่อริมฝั่งหลายอย่าง ได้แก่

- Integrat-Cast Monolithically with The Abutment
- Independent-Cast Separately จากตอม่อริมฝั่ง โดยปกติroyต่อส่วนขยายจะแยกพากมันออกจาก The Abutment Breast Wall

ตำแหน่งและวิธีในการตรวจสอบ

ตำแหน่งและวิธีการตรวจสอบของกำแพงตามม่อริมฝั่งส่วนมากคล้ายกับ ตอม่อริมฝั่งปัญหาหมายที่เกิดขึ้นใน ตอม่อริมฝั่งเป็นปัญหาของกำแพงตามม่อริมฝั่งด้วยปัญหาเหล่านี้ได้แก่

1. การเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง
2. การเคลื่อนตัวตามแนวขวาง
3. การกดเชิงบริเวณท้องน้ำ (Scour)
4. การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement)
5. ความเสียหายของวัสดุ (ดูรูปที่ 6-33)

กำแพงตามม่อริมฝั่งที่เป็นอิสระ ควรถูกตรวจสอบกับตอม่อริมฝั่งแต่สภาพของพากมันไม่มีผลกระทบต่อการนับ คะแนนการประเมินของโครงสร้างส่วนล่าง Integral Wing Walls ถูกรวมไปในการประเมินและการให้คะแนนโครงสร้าง ส่วนล่างแต่ส่วนที่ถูกพิจารณาจะมีแค่ Portion Up to The First Construction หรืออยู่ต่อส่วนขยาย



รูปที่ 6-33 การเสื่อมสภาพของกำแพงตามม่อริมฝั่งคอนกรีต

บทที่ 7

การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ

7.1 การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ

การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ หมายถึง วิธีการปฏิบัติและขั้นตอนในการตรวจหาสภาพและคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างจริง วิธีการเหล่านี้รวมถึงการสำรวจด้วยตา การทดสอบโดยไม่ทำลายและการทดสอบแบบทำลาย ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ใช้ในสถานที่ก่อสร้างและในห้องปฏิบัติการ

7.2 การพิจารณาข้อกำหนดเพื่อทำการทดสอบ

สิ่งที่ต้องการในการทดสอบ (Requirements) ข้อมูลข้อกำหนดที่ได้จากการตรวจสอบขั้นต้น การศึกษาเอกสารที่มาและสิ่งที่ต้องการของข้อเสนอข้อแก้ไข ทั้งนี้หากมีข้อมูลเพียงพอในการวิเคราะห์หาข้อสรุปที่เชื่อถือได้ ก็อาจไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากโครงสร้างนั้นอยู่ในสภาพดีและไม่มีความเสียหาย มิติ (Dimensions) ที่วัดได้ระหว่างการตรวจสอบ อาจนำมาใช้สรุปความเหมาะสมในการใช้งานในอนาคตของโครงสร้างได้ และอาจจำเป็นต้องทำการทดสอบหากพบว่ามีข้อมูลไม่เพียงพอเกี่ยวกับวัสดุในโครงสร้างที่เกิดความเสียหาย หรือคาดว่าจะเกิดความเสียหาย

ในการทดสอบควรทราบประเภทของข้อมูลที่ต้องการและควรเข้าใจจุดประสงค์ของการทดสอบแต่ละครั้ง และต้องเข้าใจข้อมูลที่จะได้จากการทดสอบนั้น เพื่อตัดสินใจเลือกวิธีการทดสอบอย่างเหมาะสม วิธีการทดสอบแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันในด้านค่าใช้จ่าย ความน่าเชื่อถือ และความซับซ้อน การทดสอบบางอย่างไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือรบกวนการใช้งาน (Disturbance) ในขณะที่การทดสอบบางวิธีก่อให้เกิดความเสียหายและจำเป็นต้องแยกชิ้นส่วนบางชิ้นออกจากโครงสร้างเพื่อใช้ทำการทดสอบ ผู้ทำการทดสอบควรมีประสบการณ์ที่เหมาะสมเพียงพอเพื่อดำเนินการทดสอบได้อย่างเหมาะสมและมีการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

ดำเนินบางกรณีค่าใช้จ่ายในการทดสอบอาจสูงเกินไปจนอาจต้องเลือกใช้วิธีซ่อมแซมแก้ไข (Remedical action) แทน โดยไม่ทำการทดสอบเพื่อความประหายด

การเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมจะมีจำนวนครั้งและตำแหน่งของการทดสอบขึ้นอยู่กับปัจจัยนี้ (ACI 228.1 R)



- ก) ความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุในโครงสร้าง
- ข) ตำแหน่งวิกฤต
- ค) ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการทดสอบ
- ง) พื้นที่ที่ต้องการทำการทดสอบสำหรับคุณสมบัติอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การใช้วิธีการวัดแบบ Ultrasonic-pulse-velocity สามารถบ่งบอกคุณภาพโดยเฉลี่ยทั่วไปตลอดแนวความลึกของโครงสร้าง ในขณะที่วิธีการเจาะทดสอบจะบ่งบอกสภาพของวัสดุที่เจาะออกมาก่าเท่านั้น

7.3 การทดสอบและการประเมินผล (Testing and Evaluation)

การประเมินผลคอนกรีตควรบ่งบอกกำลังและคุณภาพ (NRMCA 1979, ACI 228.1 R, และ Shroff 1986 และ 1988) โดยมีวิธีประเมินผล (Assessment and subsequent evaluation) ที่เหมาะสม เพื่อให้เข้าใจความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างและความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมรอบๆ โครงสร้างนั้น

7.3.1 ขั้นตอนการประเมินผลคอนกรีต

คอนกรีตมีหน้าที่สำคัญในโครงสร้างสองประการ ประการที่หนึ่ง คือ เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่ทำหน้าที่รับแรง ประการที่สอง ทำหน้าที่ป้องกันไฟและผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตส่วนที่หุ้มปอกป้องเหล็กเสริมจากการกัดกร่อนและจากไฟช่วยให้โครงสร้างมีความทนทานตามต้องการ

สำหรับคอนกรีตที่มีหน้าที่รับน้ำหนัก ควรมีลักษณะสามประการดังนี้คือ มีความแข็งแรงและมีกำลังเพียงพอต่อการใช้งาน มีพื้นที่หน้าตัดเหมาะสมสำหรับทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม หากขาดข้อใดข้อหนึ่งข้างต้นนี้ ถือว่าคอนกรีตนั้นยังไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

ลักษณะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมและคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมอัดแรง ซึ่งสามารถเสิร์ฟความทนทานให้โครงสร้าง คอนกรีตเหล่านี้ได้ด้วยมีลักษณะดังนี้ ก) มีความหนาแน่นพอสมควร ข) ไม่มีโพรงพูน ค) มีจำนวนโพรงคากิลารี (Capillary) น้อย ง) มีการซึมผ่านได้น้อย และ จ) ประกอบไปด้วยมวลรวมและปูนซีเมนต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา กันเองและไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนผสมอื่นๆ ถึงแม้ว่าคุณสมบัติเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับกำลังอัดแต่คุณสมบัติที่กำหนดดังกล่าวยังอาจได้จากการควบคุมปริมาณและชนิดของปูนซีเมนต์ ระดับของการกัดกรายฟองอากาศ การยุบตัว อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุ ประสาน ชนิดของมวลรวมและชนิดของสารผสมเพิ่มลดลงจากการควบคุมขั้นตอนในการผสม การเท และการบ่ม

จากข้อกำหนดข้างต้นจึงอาจนำคุณสมบัติคอนกรีตและสภาพทางกายภาพที่กำหนดไว้ในตาราง 7.1 (ก) และ 7.1 (ข) มาใช้ในการประเมินการยอมรับได้ (Acceptability) ของคอนกรีตและประสิทธิภาพการใช้งานในอนาคต (ASCE 11) วิศวกรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบอาจใช้ตารางเหล่านี้เป็นแนวทางโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจที่ดีควบคู่ไปด้วย

ตาราง 7.1 (ก) คุณสมบัติคุณภาพที่ใช้ในการประเมินเพื่อการยอมรับได้

วิธีการประเมินคุณภาพ	ผู้ทดสอบมาตรฐานสากล	การทดสอบปริมาณในตัน ASTM C457	การทดสอบค่าคงทนต่อแรงดึง ASTM C900	การทดสอบค่าคงทนต่อแรงดึง ASTM C805	การทดสอบค่าคงทนต่อแรงดึง ASTM C597	Winsor Probe ASTM C803
ความเป็นกรด		●				
ปริมาณอากาศ	●			●	●	
ปฏิกิริยาอัลคาไลน์คาร์บอนেต					●	
ปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา					●	
ปริมาณปูนซีเมนต์	●	●			●	
องค์ประกอบทางเคมี		●			●	
ปริมาณคลอไรต์		●			●	
กำลังอัด		●				● ● ● ●
การบันเบ็ดข้อมูลรวม	●				●	
การบันเบ็ดข้อมูลน้ำฝน	●				●	
สภาพภารภักดิกร้อน	●	●				
การดีบบ์		●				
ความหนาแน่น		●		●		
ค่าการยึดตัว		●				
องค์ประกอบการเยือกแข็ง					●	
ค่าโมดูลส์ยืดหยุ่น		●				●
ค่าโมดูลส์การแตกหัก		●	●			
ความชื้น		●	●		●	
การซึมผ่าน					●	
กำลังรับแรงดึงตอน					●	
คุณภาพของมวลรวม					●	
ความด้านทางการเยือกแข็งและหลอม		●		●	●	
ความคงตัว		●		●	●	
กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก		●				
ความด้านทานข้อเฟต	●				●	
กำลังรับแรงดึง		●				
ความสม่ำเสมอ	●				●	●
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุปูน					●	



ตาราง 7.1 (ข) คุณสมบัติและสภาพทางกายภาพที่ใช้ในการประเมินการยอมรับได้

วิธีการประเมินคุณภาพ		การกรองจ่ายของตัวอย่างสี	การทดสอบคุณภาพตามมาตรฐานสากล	การทดสอบคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C42	การใช้ไมโครไพล์	การทดสอบคุณภาพตามมาตรฐาน ACI 437 R	การวิเคราะห์เชิงภาพ(Petrographic)	การตัดทางกายภาพ	การใช้ไมโครทรีฟ์	คุณสมบัติของตัวอย่าง ASTM C 805	การทดสอบคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C 597	การตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C803
ช่องการเย็บร้าว												
การเต้มสภาพทางเคมี	●											
การเกิดสนิมของเหล็ก	●	●										
การแตกร้าว	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
คุณสมบัติของหน้าตัดและความหนา		●	●	●				●				
การแตกกร่อน	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
การเปลี่ยนสี		●						●				
ความไม่ต่อเนื่อง			●	●	●	●	●					
การผิดรูปหรือบิด												
การเกิดฝ้าขาว			●				●					
ความเสียหายจากการกัดเซาะ							●					
ความเสียหายจากการเบื้องแข็งและหลอม							●					
ลักษณะโครงแบบรังผึ้ง			●	●	●	●	●		●			
การหลุดร่อนของหิน												
การสะเทาของผิว												
การสะเทา/รอยบิบ			●	●	●							
การแยกชิ้น			●		●				●			
พฤติกรรมโครงสร้าง	●					●			●	●		
ความสม่ำเสมอของคอนกรีต					●		●		●	●		●

7.3.2 ขั้นตอนการประเมินผลสำหรับเหล็กเสริม

หน้าที่ของเหล็กเสริมในคอนกรีต คือ การรับแรงดึงและแรงกด นอกจากจะต้องหาคุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กเสริมเพื่อใช้คำนวนความสามารถในการรับน้ำหนักแล้วยังต้องหาความสามารถในการถ่ายเท (Transmitting) และการกระจายหน่วยแรง (Stresses) ลงบนโครงสร้างด้วย ข้อกำหนดดังกล่าวบ่งบอกว่าสามารถใช้คุณสมบัติและสภาพทางกายภาพในตารางที่ 7.2 (ASCE 11) ในการประเมินผลยอมรับได้ในเหล็กเสริมในคอนกรีต

ตาราง 7.2 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมินผลการยอมรับได้ของเหล็กเสริมในคอนกรีต

วิธีการประเมินคุณภาพ	ผลการทดสอบทางเชิง	การใช้มาตรฐาน ASTM A751	การทดสอบทางเชิง ASTM A775, G12, 14, 20 เครื่องตรวจระยะหูมุม Cover Metres Pachometer	การทดสอบทางเชิง	การทดสอบทางเชิง	การทดสอบทางเชิง	การทดสอบทางเชิง	การทดสอบทางเชิง
แรงยึดเหนี่ยวของ Epoxy		●						
การยึดผิง				●				
ทดสอบการตัด				●				
กำลังที่จุดแตกหัก					●			
บริมาณcarbон	●							
องค์ประกอบทางเคมี	●	●						
คุณสมบัติการเคลือบ	●			●	●	●		
ระยะหัวมุมคอนกรีต			●	●	●	●		
ความต่อเนื่องของ การเคลือบ Epoxy		●						
การกัดกร่อน				●	●			●
คุณสมบัติน้ำตัดและความหนา					●			
การเปลี่ยนสีปูร่อง					●			●
ค่าการยึดตัว						●		
การสัมผัสสภาพแวดล้อม								●
ตำแหน่งเหล็กเสริม	●		●	●	●	●		
การลดชนพื้นที่หน้าตัด						●		
สีปูร่อง					●			
กำลังที่จุดต่อ					●			
กำลังรับแรงดึง						●		
ความหนาของ การเคลือบ Epoxy		●						
กำลังรับแรงเฉือนที่จุดเชื่อม					●			
กำลังที่จุดคราก						●		



ในส่วนต่อไปนี้เป็นขั้นตอนที่ควรปฏิบัติเพื่อใช้หาคุณภาพ และคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและเหล็กเสริมในโครงสร้าง โดยได้อธิบายถึงวิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจสอบเพื่อหาแร่ประกอบหิน (Petrographic) และการตรวจสอบทางเคมีของคอนกรีตตลอดจนวิธีการตรวจสอบอื่นๆ ที่ใช้ในการหาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและเหล็ก

7.4 คอนกรีต

7.4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่เหมาะสม

ในบางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างเดิมเพื่อนำไปหาทำลังอัดรวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งขั้นตอนดังๆ เป็นสิ่งสำคัญ ตั้งแต่การเก็บตัวอย่าง การเคลื่อนย้าย (Handle) การระบุชื่อ (Labeled) และการจัดเก็บตัวอย่างวิธีที่เหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหายและการปนเปื้อน (contamination) ซึ่งหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่เหมาะสม

ASTM C823 กำหนดแนวทางในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมไว้ เพื่อให้นำข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตในโครงสร้างทั้งหมดเพื่อรับสภากพิดปกติในส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้าง โดยขั้นแรก ควรกำหนดบริเวณที่จะเก็บตัวอย่างให้กระจายทั่วบริเวณโครงสร้าง โดยจำนวนและขนาดของตัวอย่างขึ้นอยู่กับประเภทของการทดสอบ และระดับความมั่นใจที่ต้องการได้จากการค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ

สำหรับงานหนึ่งๆ ประเภทของแผนการเก็บตัวอย่างที่จำเป็นขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของคอนกรีต หรือในบางกรณีที่โครงสร้างคอนกรีตอาจมีหลายส่วนที่แตกต่างกันในด้านส่วนประกอบ สภาพ หรือคุณภาพ (Quality) จึงควรมีการตรวจสอบในเบื้องต้นและหาข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ มาประกอบ ก่อนที่จะวางแผนการเก็บตัวอย่างให้ลึกลงไปในรายละเอียดในกรณีที่คุณสมบัติของคอนกรีตมีความสม่ำเสมอ ควรกระจายตำแหน่งของการเก็บตัวอย่างให้ทั่วบริเวณที่จะสำรวจออกเป็นพื้นที่ย่อยที่เชื่อว่าแต่ละพื้นที่มีความสม่ำเสมอในระดับเดียวกัน ทั้งนี้ให้มีการเก็บตัวอย่างและประเมินผลต่างหากสำหรับแต่ละพื้นที่

สำหรับการทดสอบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น กำลัง (Strength) โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus) หรือปริมาณอากาศ (Air content) ควรใช้จำนวนตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ใน ASTM E122 ซึ่งจำนวนตัวอย่างที่จำเป็นต้องใช้ขึ้นอยู่กับ

- ก) ค่าแตกต่างสูงสุดที่ยอมรับได้ ระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่เก็บได้และค่าเฉลี่ยจริง
- ข) ความผันแปรของผลการทดสอบ
- ค) ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ หากมีค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้

ผู้ทดสอบควรคำนึงถึงเสมอว่าคอนกรีตไม่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic) และคุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงตามทิศทางในการเก็บตัวอย่างด้วย ดังนั้นควรใช้ค่าระมัดระวังอย่างสูงสำหรับโครงสร้างทางแนวตั้ง เช่น เสา กำแพง และคานลึก (Deep beams) คุณสมบัติของคอนกรีตในโครงสร้างเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูงเนื่องจากความแตกต่างในการ teste และการทำให้แน่น การแยกตัว (Segregation) หรือการเริ่ม โดยทั่วไปกำลังของคอนกรีตจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตในการเกร็งซึ่งเดียวกัน

7.4.2 การเจาะตัวอย่างคอนกรีต

ASTM C 42 กำหนดกระบวนการที่เหมาะสมในการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตไว้ แนวทางต่อไปนี้คือความสำคัญ เป็นอย่างยิ่งในการเจาะเก็บตัวอย่าง

- ก) อุปกรณ์โดยทั่วไปควรใช้หัวเจาะเพชร (Diamond-studded core bits) ในกรณีที่ทดสอบเพื่อหา กำลัง ส่วนในกรณีนี้ที่มีการเจาะในแนวตั้ง อาจใช้หัวเจาะแบบบิง (Shot drill) อย่างไรก็ตามควร ใช้หัวเจาะเพชรในการเจาะในทิศทางอื่น
- ข) ควรเลือกจำนวนขนาด และบริเวณที่จะเจาะอย่างระมัดระวังเพื่อให้เหมาะสมและเพียงพอสำหรับ การทดสอบที่จำเป็นควรใช้ตัวอย่างใหม่สำหรับการทดสอบแต่ละครั้งเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจ เกิดการทดสอบก่อนหน้านั้นในกรณีที่เป็นไปได้
- ค) เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างที่เจาะเก็บ (Core Diameter) ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบหากกำลัง ความมีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดระบุโดยสุดของมวลหายใจ หรือ 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) โดยให้เลือกใช้ค่าที่สูงกว่า
- ง) ความยาวของตัวอย่าง หากเป็นไปได้ควรให้ความยาวของตัวอย่างที่จะนำไปใช้ทดสอบกำลังมีค่า อย่างน้อยสองเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง
- จ) ไม่ควรมีเหล็กเสริมในตัวอย่างที่จะนำไปใช้ทดสอบหากกำลังอัด
- ฉ) ควรใช้ความระมัดระวังในการเจาะเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายของทางเดินสายไฟ หรือ เหล็กเสริมอัดแรงที่ฝังในเนื้อคอนกรีต
- ช) หากเป็นไปได้ควรเจาะคอนกรีตตลอดแนวความลึกเพื่อหลีกเลี่ยงชิ้นส่วนตัวอย่างจากโครงสร้าง แตกหัก หากไม่สามารถเจาะทะลุได้ ควรเจาะเพื่อให้มีความลึกเพิ่มขึ้น 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ใน กรณีที่มีความเสียหายปรากฏบริเวณฐานรากของตัวอย่าง
- ช) ในการเจาะตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบหากำลังควรเจาะอย่างน้อย 3 ตัวอย่างสำหรับแต่ละบริเวณ ของโครงสร้างนั้นๆ ค่ากำลัง ที่ใช้ควรเป็นค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างทั้งหมด ไม่ควรใช้ตัวอย่างเพียงชิ้น เดียวในการประเมินผลหรือวินิจฉัยปัญหาใดๆ

7.4.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างจากชิ้นคอนกรีตที่แตกหัก (Random sampling of broken concrete)

ไม่ควรใช้ตัวอย่างจากคอนกรีตที่แตกหักเสียหายในการทดสอบที่เกี่ยวกับกำลัง วิธีการนี้มักจะนำมาใช้ในกรณีที่ ต้องการหาคุณสมบัติทางเคมีในชิ้นส่วนคอนกรีตที่เกิดการเสื่อมสภาพ

7.4.4 การวิเคราะห์หัวแร่ประกอบหิน (Petrographic) และการวิเคราะห์ทางเคมี

ห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานสำหรับการหาแร่ประกอบหินและการวิเคราะห์ทางเคมีจะช่วยในการหาลักษณะ (Characteristics) และคุณสมบัติของคอนกรีตจากโครงสร้างซึ่งอาจจะมีความสำคัญในการวิเคราะห์หากำลัง โดยควร ปรึกษาผู้ทดสอบที่มีคุณสมบัติ (Qualified petrographer) ในการหาแร่ประกอบหิน เกี่ยวกับปัญหาของคอนกรีตก่อนเจาะ ตัวอย่างจากโครงสร้าง ผู้ทดสอบควรได้รับข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีตทั้งช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการก่อสร้างตลอดจน พฤติกรรมของโครงสร้างนั้นๆ



7.4.5 มวลรวม

การวิเคราะห์หาแร่ประizable ของหินของตัวอย่างคอนกรีตตาม ASTM C856 อาจนำมาใช้เพื่อหาคุณสมบัติของมวลรวมดังต่อไปนี้

- ก. รูปร่างของอนุภาค การกระจายขนาด และส่วนประizable
- ข. ขอบเขตที่อนุภาคได้รับการเคลือบผิว และคุณสมบัติของเพชรที่เคลือบ
- ค. ความน่าจะเป็นในการเกิดปฏิกิริยาที่ก่อความเสียหายระหว่างมวลรวมและต่างของปูนซีเมนต์ชัลเฟต และชัลไฟต์

7.4.6 คอนกรีต

การวิเคราะห์หาแร่ประizable หิน ตามที่กำหนดใน ASTM C856 อาจใช้หลักฐานของคอนกรีตดังต่อไปนี้

- ก. ความหนาแน่นของซีเมนต์เพชรของปูนซีเมนต์
- ข. ความเป็นเนื้อดียกันของคอนกรีต
- ค. การทรุดตัวและการเยิ้ม ของคอนกรีตสด
- ง. ความเสียหายที่เกิดจากการแข็งตัวและหลอมละลายของน้ำในคอนกรีต
- จ. การเกิดและการกระจายตัวของรอยแตกร้าว
- ฉ. ลักษณะและการกระจายตัวของซ่องว่างอากาศ
- ช. สารปนเปื้อนที่ปรากฏ
- ช. สัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาให้เดรอัน
- ฉ. สารผสมเพิ่มแร่ธาตุที่ใช้
- ญ. สัดส่วนโดยปริมาณระหว่างมวลรวม ซีเมนต์เพชร และซ่องว่างอากาศ
- ฎ. ปริมาณอากาศ (Air content) และลักษณะต่างๆ ของระบบซ่องว่างอากาศ (รวมถึง entrained และ entrapped air)
- ฎ. รูปแบบการสึกกร่อนจากผิวน้ำส่วนล่างสุด
- ฐ. ความเสียหายที่ปรากฏเนื่องจากการเสื่อมสภาพจากการขัดสีและการใหม่ไฟ

7.4.7 การตรวจสอบทางเคมี

การตรวจสอบทางเคมีสามารถใช้หาปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณของเกลือที่ละลายน้ำได้ความลึกของการเกิดปฏิกิริยา carbонเนชัน และปริมาณคลอไรด์ในกรณีที่โครงสร้างมีการสัมผัสน้ำที่อาจก่อให้เกิดอันตราย มักจะมีการทำการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติตามความลึกของโครงสร้าง (Profile) ซึ่งถือว่ามีความสำคัญเป็นพิเศษโดยเฉพาะต่อโครงสร้างที่สัมผัสน้ำที่โครงสร้าง

7.4.8 การทดสอบคอนกรีตเพื่อหากำลังอัด

7.4.8.1 การทดสอบแบบทำลาย (Destructive testing)

การหากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะได้จากโครงสร้างควรเป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้ใน ASTM C39 และ C42 โดยควรให้ความสำคัญกับข้อต่อไปนี้

- ก. สำหรับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.0 ควรใช้ค่าปรับแก้กำลัง (Strength correction factors) ที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้ใน ASTM C42
- ข. หากคอนกรีตในส่วนของโครงสร้างที่ต้องการทดสอบมีลักษณะแห้งอยู่ตลอด ระยะเวลาใช้งาน ตัวอย่างที่เจาะได้ควรถูกให้แห้งในอากาศ (Air-dried) ในช่วงอุณหภูมิ 15 ถึง 25 °C (อุณหภูมิ 60-80 °F) และความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 60 อย่างน้อย 7 วัน ก่อนการทดสอบและควรทดสอบในสภาพแห้ง
- ค. หากคอนกรีตในโครงสร้างที่ต้องการทดสอบอยู่ในสภาพเปียกชั่นรุนแรงระหว่างการใช้งาน ควรแข็งตัวอย่างที่เจาะได้ในน้ำปูนอิมตัว (Lime-saturated water) เป็นเวลาอย่างน้อย 40 ชั่วโมงและควรทดสอบในสภาพเปียก คอนกรีตที่ใช้งานภายนอก (Outdoor exposure) ควรทดสอบในสภาพเปียก นอกจากในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตดังกล่าวมีการป้องกันการซึมน้ำอย่างดีระหว่างการใช้งาน
- ง. ควรทดสอบหากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่เจาะเก็บได้ในสภาพเปียกเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอกที่ได้รับการบ่มแบบมาตรฐาน
- จ. ควรทดสอบหากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่เจาะเก็บได้ในสภาพเปียกเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานด 150 คูณ 300 มิลลิเมตร (6 คูณ 12 นิ้ว) ที่เก็บในระหว่างการก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตที่มีอายุมาก (Matured concrete) ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานสำหรับคอนกรีตที่มีกำลัง 20 MPa (3000 psi) จะถึงร้อยละ 70 สำหรับคอนกรีต 60 MPa (9000 psi) (Mindess and Young)
- ฉ. กำลังอัดตัวอย่างซึ่งเจาะเก็บจากส่วนบนของพื้น คาน ฐานราก กำแพง และเสา อาจมีค่าต่ำกว่ากำลังอัดของตัวอย่างจากส่วนล่างของโครงสร้างดังกล่าว

7.4.8.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (nondestructive testing)

ผู้ทำการทดสอบหากำลังอัดควรระลึกว่า ปัจจุบันยังไม่มีการทดสอบแบบทำลายใดๆ ที่สามารถใช้หากำลังได้โดยตรงในโครงสร้างคอนกรีตส่วนใหญ่จะใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายควบคู่ไปกับการทดสอบแบบเจาะ (Tests of drilled cores) เพื่อลดปริมาณการเจาะในการหากำลังอัดของโครงสร้าง ควรใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการประมาณค่ากำลังอัดที่เหมาะสมจากการทดสอบแบบไม่ทำลาย และควรห้ามข้อ 2.2.2.2 ใน ACI 437 R สำหรับข้อมูลเพิ่มเติม



7.5 เหล็กเสริม

7.5.1 วิธีการสำรวจหาตำแหน่ง

การหาขนาด จำนวน และตำแหน่งของเหล็กเสริมสามารถทำได้โดยวิธีการ หรือส่วนประกอบของวิธีการดังต่อไปนี้

ก. การทดสอบโดยใช้แม่เหล็ก (Magnetic tests)

อุปกรณ์สำรวจที่ใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีตใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจากคุปกรณ์สำรวจน้ำเมื่อเคลื่อนคุปกรณ์เข้าใกล้เหล็กเสริมในคอนกรีต โดยการเคลื่อนคุปกรณ์สำรวจไปตามผิวคอนกรีต) เมิร์วัด (Meter) จะบ่งบอกตำแหน่งของเหล็กเส้น เมื่อคุปกรณ์สำรวจอยู่เหนือเหล็กเส้นพอดี หากมีการปรับเทียบที่เหมาะสม อาจใช้เมิร์วัดน้ำคิดคะเนความลึกเหล็กเสริมได้หากหัวความหนาของระยะห้าม

การทดสอบโดยใช้แม่เหล็กมีข้อจำกัด คือ สามารถระบุตำแหน่งของเหล็กเสริมลึกจากผิวคอนกรีตได้ไม่เกิน 175 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) วิธีการนี้อาจไม่มีประสิทธิภาพหรือประสิทธิภาพต่ำ หากใช้กับคอนกรีตที่เสริมเหล็กหนาแน่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่มีเหล็กเสริมใกล้เคียงกันตั้งแต่ 2 เส้น ขึ้นไปหรือมีชั้นเหล็กเสริมที่ซ้อนอยู่ใกล้กัน อุปกรณ์สำรวจที่ใช้แบบเตอร์เรอเจให้ผลผิดพลาดได้ หากใช้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 0° C (32° F) แต่ก็ยังสามารถใช้คุปกรณ์สำรวจดังกล่าวในอุณหภูมิห้องต่ำได้ หากห่อหุ้มคุปกรณ์สำรวจนั้นไว้ด้วยแผ่นไห้ความร้อน (Heat pads)

ความแม่นยำของคุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างของเหล็กเสริม และความหนาของระยะห้าม โดยอาจให้ผลที่ไม่แม่นยำในกรณีที่ความหนาของระยะห้ามเท่ากับ หรือใกล้เคียงกับระยะห่างของเหล็กเสริม และต้องไม่ใช้วัดเมื่อคุปกรณ์อยู่ใกล้กับวัสดุเหล็กอื่นใดเพื่อป้องกัน ผลลัพธ์ที่ผิดพลาด ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้คุปกรณ์สำรวจนำໄไปปรับเทียบ (Calibrated) หรือเบรียบเทียบ (Correlated) กับผลลัพธ์ที่ได้จากการเจาะหรือสกัด (Chipping) เพื่อยืนยันความถูกต้องของความหนาของระยะห้ามและขนาดของเหล็กเสริม

ข. การวิเคราะห์โดยใช้รังสี (Radiographic Evaluation)

วิธีรังสีอาจใช้หาขนาด ตำแหน่ง และสัณฐาน (Configuration) ของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีต โดยเฉพาะในการหาตำแหน่งของเหล็กอัดแรงแบบดึงทึบลัง (Post-tensioning Strands) ในแผ่นคอนกรีต และสามารถใช้รังสีแกรมมาได้กับคอนกรีตที่หนาถึง 450 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) วิธีการนี้ได้รับการยอมรับให้ใช้ได้ในภาคสนามเนื่องจากคุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและสะดวกต่อการพกพา

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดโดยใช้รังสีควรนำໄไปปรับเทียบ หรือเบรียบเทียบ กับผลการเจาะหรือสกัด เพื่อยืนยันความถูกต้องกับความหนาของระยะห้าม และขนาดของเหล็กเสริมจริงเช่นกัน

ค. เรดาร์ (Radar)

การใช้ระบบเรดาร์แบบส่งคลื่นเป็นจังหวะ (Pulsed radar Systems) อาจนำมาใช้ในการหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต วิธีการนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แม่เหล็ก ในกรณีที่เหล็กเสริมที่การเสริมเหล็กหนาแน่น หรือในการสำรวจหาโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก การตีความผลลัพธ์ที่อ่านได้จากคุปกรณ์นี้ต้องการทำโดยบุคคลากรที่มีประสบการณ์ในด้านนี้สูงเท่านั้น

ง. การสกัดเปิดคอนกรีตห้ม (Removal of Concrete Cover)

วินัยต้องใช้การสกัดเปิดผิวคอนกรีต เพื่อหาตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีต หรือใช้ส่วนเจาะเพื่อหาความลึกของระยะห้ม มักใช้วินัยเพื่อการยืนยันและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบโดยไม่ทำลายดังที่กล่าวข้างต้น

7.5.2 การหากำลังคราก (Yield Strength) ของเหล็กเสริม

การหากำลังครากของเหล็กเสริมที่ใช้ในอาคารมี สองวิธี คือ วิธีแรก ได้จากการใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบของผู้ผลิตเหล็กเส้นหากผู้ตรวจสอบและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวกับอาคารยอมรับอย่างไรก็ตาม กำลังดึงจากรายงานการทดสอบของผู้ผลิตมักจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างจริง หากผลดังกล่าวไม่เป็นไปไม่ได้หรือยอมรับไม่ได้ ต้องเก็บตัวอย่างและทำการทดสอบแบบทำลาย แนวทางปฏิบัติสำหรับวิธีการนี้อยู่ในหัวข้อ 7.5.3 สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบเหล็กเสริมในโครงสร้างเก่า อาจหาได้จากเอกสารชี้แจงอิงของ Concrete Reinforcing Steel Institute (1981)

7.5.3 วิธีการเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม

การใช้วิธีการทดสอบแบบทำลายกับตัวอย่างเหล็กเสริมที่ได้จากโครงสร้างอาคารเก่าเพื่อหากำลังครากของเหล็กเสริมในคอนกรีต ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำต่อไปนี้

- ก. ASTM A 370 กำหนดลักษณะของตัวอย่างที่จะทดสอบ การเลือกตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง โดยสามารถทดสอบเหล็กเสริมได้ทั้งเส้น
- ข. ควรเก็บตัวอย่างจากบริเวณที่มีหน่วยแรง (Stress) ในเหล็กเสริมน้อยที่สุด
- ค. ไม่ควรเก็บตัวอย่างสองชิ้นจากหน้าตัดโครงสร้างเดียวกัน
- ง. บริเวณที่เก็บตัวอย่างในคอนกรีตที่เหตุอ่อนใน ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างควรอยู่ห่างกันอย่างน้อยเท่ากับความยาวของระยะผัง (Development length) ของเหล็กเสริมเพื่อป้องกันความเสียหายของเส้นน้ำ
- จ. สำหรับโครงสร้างเดี่ยวที่มีช่วงความยาว跨 (Span) น้อยกว่า 7.5 เมตร (25 ฟุต) หรือพื้นที่รับน้ำหนักขนาดเล็กกว่า 60 ตารางเมตร (625 ตารางฟุต) ควรเก็บอย่างน้อยหนึ่งตัวอย่างในบริเวณหลักที่เสริมเหล็กตามやり (ไม่ใช่เหล็กลูกตั้ง (Stirrup) หรือเหล็กยืด (Ties))
- ฉ. สำหรับช่วงที่ยกกว้างน้ำ หรือพื้นที่รับน้ำหนักที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องชั้นตัน ควรเก็บตัวอย่างมากขึ้น โดยเก็บให้ทั่วบริเวณที่ต้องการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่ามีการใช้เหล็กเสริมที่มีความแข็งแรง (Strength) เท่ากันทั้งโครงสร้าง
- ช. ตัวอย่างแต่ละชิ้นควรมีความยาวอย่างน้อย 400 มิลลิเมตร (16 นิ้ว) แต่อาจเก็บตัวอย่างขนาดใหญ่กว่าแล้วนำไปปั๊ส แต่ง (Machined) ตามข้อกำหนดใน ASTM A370 เพื่อนำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางกล



7.6 การทดสอบแบบไม่ทำลาย

วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบไม่ทำลายคือ เพื่อหาคุณสมบัติต่างของคอนกรีตเชิงเบรียบเที่ยบ เช่น กำลังค่าไม่ดูดสึญ ความเป็นเนื้อดีเยวกัน รวมถึงความเด่นและความเครียดด้วย โดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตได้รับความเสียหาย การเลือกวิธีทดสอบต้องมีการพิจารณาตัดสินที่ดี โดยขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ต้องการ ขนาดและลักษณะของโครงสร้างสภาพหน้าและความเสี่ยงของโครงสร้าง (ACI 207.3R) การใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่เหมาะสมต้องใช้เครื่องมือทางเทคนิคและผู้ชำนาญการที่เข้าใจการใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในสถานการณ์ต่างๆ วิธีการทดสอบอาจจำแนกเป็นวิธีการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับกำลัง และวิธีการทดสอบที่ใช้ในการหาตำแหน่งความเสียหายแบบแบน ในกลุ่มแรกมีการลอกห้องลูกน้ำ ได้แก่ วิธีการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับกำลัง Pullout Test, Break off Test, Torque Test , Pulloff Test และ Maturity Method ส่วนกลุ่มหลังได้ทบทวนการนำเสนอวิธี Infrared thermograohy, ground penetration radar และวิธีอื่นๆ อีกน้อยกว่าที่อิงกับการแพร์ของคลื่นด้วยความเด่น (Stress Wave Propagation) ทฤษฎีของแต่ละวิธี ได้มาจากภารกิจที่ต้องดำเนินการแล้วข้อดีและข้อจำกัดในที่นี้ รวมทั้งจุดที่ต้องเกี่ยวข้องกับมาตรฐาน ASTM

ก. ค่าตัวเลขการสะท้อนกลับ (Rebound number of Schmidt hammer)

ตัวเลขการสะท้อนได้จากการใช้ค้อนที่ประกอบด้วยแท่งเหล็กและสปริงแรงในแนวแกน ประกอบอยู่ในโครงรูปแบบ ดันค้อนเข้าหากันที่พิเศษของคอนกรีตซึ่งแท่งเหล็กจะถูกดันร่วงเข้ามาอัดสปริง เมื่อแท่งเหล็กถูกดันเข้ามาเต็มที่ สปริงจะคืนตัวโดยอัตโนมัติ และแท่งเหล็กจะถูกดันขับเข้ากับค้อนส่งแรงกระแทกไปยังคอนกรีต และสะท้อนกลับออกมาระยะของการสะท้อนกลับแสดงโดยตัวชี้บันสเกลซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 ค่าการสะท้อนที่อ่านได้เรียกว่า R การตีความค่าของ R จะแสดงไว้ในคู่มือการใช้งาน ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายจะเป็นผู้กำหนด ค่า R แสดงถึงสัมประสิทธิ์การคืนตัวของคอนกรีต และค่า R จะเพิ่มขึ้นตามกำลังของคอนกรีต

ค้อนส่วนใหญ่จะให้มาพร้อมกับแผ่นกฎิปรับเที่ยบ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต กับค่าการสะท้อนกลับที่อ่านได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดความมั่นใจมากขึ้นจากการใช้แผ่นกฎิปรับเที่ยบเพียงอย่างเดียว ผู้ใช้ควรพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างคอนกรีตที่ส่วนผสมต่างๆ กับค่าตัวเลขการสะท้อน

ตัวเลขที่วัดได้อาจใช้เพื่อประมาณความเป็นเนื้อดีเยวกันของคอนกรีต และคุณภาพของคอนกรีต รายละเอียดวิธีการทดสอบได้รายงานไว้ใน ASTM (805 C CRD-C-22)

การใช้ค้อนแรงสะท้อนเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย และทำได้รวดเร็วสำหรับการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลายหน้างาน คุ้มครองทดสอบราคาไม่แพงและสามารถใช้งานโดยบุคลากรที่หน้างานหลังจากได้รับคำแนะนำง่ายๆ ค้อนแรงสะท้อนมีประโยชน์มากในการทดสอบคุณภาพทั่วๆ ไปของคอนกรีต และสำหรับตรวจสอบการทำงานของคุณภาพของคอนกรีตที่คุณภาพไม่ดี วิธีการทดสอบนี้สามารถทำการทดสอบได้พื้นที่มากในเวลาขั้นรวดเร็ว ดังนั้นจึงสามารถจัดทำแผนที่ของการทดสอบได้ภายในระยะเวลาเพียง 2-3 ชั่วโมงเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม การวัดค่าการสะท้อนกลับนี้เป็นการทดสอบที่ไม่ค่อยแม่นยำนัก และไม่ได้ให้ค่าที่น่าเชื่อถือในการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของคอนกรีต การวัดแรงสะท้อนกลับของคอนกรีตในสถานที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ความเรียบของผิวเรียบ
- ปริมาณความชื้นของคอนกรีต
- ชนิดของมวลรวมหมาย

- ขนาด รูปวง และความแข็งแกร่งของตัวอย่าง (เช่น ผนังหนา หรือคาน)
- การเกิดคราบก่อนขันของผิวคอนกรีต

๙. กำลังต้านการทะลวงแบบทดลอง (แบบแท่ง)

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความต้านทานการทะลวง ส่วนใหญ่จะใช้ Windsor Probe ที่ใช้ในการยิงเข็มเหล็กกำลังสูงผ่านช่องว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. (0.32 นิ้ว) เข้าไปในเนื้อคอนกรีต การทดสอบ 1 ชุด จะวัด 3 ครั้งโดยทำในแต่ละพื้นที่โดยมีแผ่นเพลดกำหนดคระยะ ความยาวของเข็มที่พ้นจากผิวน้ำของคอนกรีตสามารถวัดได้โดยอุปกรณ์ง่ายๆ

ผู้ผลิตจะให้กราฟเปรียบเทียบมาตรฐานค่าคงที่ของความต้านทานการทะลุง ด้วยเส้นโค้งเหล่านี้ ค่าการวัดเข็มจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การใช้โครงสร้างที่ไม่ต้องมีการประมวลผลค่ากำลังอัดของคอนกรีต ดังนั้นวิธีการนี้จึงควรมีการปรับเทียบสำหรับผู้ใช้แต่ละราย และควรมีการปรับเทียบอีกครั้ง เมื่อมีการเปลี่ยนสัดส่วนผสมหรือมวลรวม

ความต้านทานการทะลุงสามารถใช้วัดคุณภาพและความสม่ำเสมอของคอนกรีตได้ เนื่องจากความแตกต่างทางกายภาพของคอนกรีตจะมีผลต่อความต้านทานทะลุง เข็มจะทะลุงลงไปได้ลึก เมื่อมีความหนาแน่น ความแข็งของพื้นผิว และกำลังของคอนกรีตลดลง พื้นที่ของคอนกรีตที่คุณภาพไม่ดี สามารถแสดงออกมาได้โดยการทดสอบการทะลุงที่ระยะห่างสม่ำเสมอ วิธีการทดสอบมีรายละเอียดไว้ใน ASTM C 803 (CRD-C59)

อุปกรณ์นี้ใช้งานง่าย ทนทานและไม่ต้องการบำรุงรักษามาก สามารถให้บุคลากรที่หน้างานใช้ได้โดยไม่จำเป็นต้องอบรมวิธีการใช้งานนัก การทดสอบนี้มีประโยชน์มากในการวัดคุณภาพโดยทั่วไปของคอนกรีตและกำลังของคอนกรีตในเชิงเปรียบเทียบในส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง

สำหรับข้อจำกัดของวิธีนี้ จะต้องระมัดระวังทุกครั้งที่ใช้อุปกรณ์นี้เนื่องจากใช้การยิงแบบบีบิ้ง และควรสวมแว่นนิรภัยขณะทำงาน วิธีการนี้เป็นการวัดความแข็งของผิวและบริเวณใต้ผิวคอนกรีตซึ่งไม่ได้ hac่าที่แม่นยำในการวัดค่ากำลังแรงอัดของคอนกรีตในส่วน อย่างไรก็ตาม ก็อาจหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตหากอุปกรณ์นี้ได้รับการเปรียบเทียบอย่างเหมาะสม วิธีการนี้ทำให้คอนกรีตได้รับความเสียหายโดยทำให้เกิดรูขนาด 8 มม. (0.32 นิ้ว) แห่งกับความลึกของเข็มที่ทะลุงลงไป และอาจทำให้เกิดผิวรอยแตกและหลุดออกมาก ทำให้อาจจำเป็นต้องมีการซ่อมแซมคอนกรีตในบริเวณนั้น

๑๐. Ultrasonic pulse – velocity Method

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ได้รับการใช้อย่างแพร่หลายที่สุดทำให้รับการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลายในส่วน วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับการวัดการเดินทางของคลื่นเร音ขัดเป็นจังหวะทางอิเลคโทรนิกผ่านระยะทางที่ทราบในคอนกรีต จากระยะเวลาที่ทราบและระยะทางที่เดินทางทำให้สามารถคำนวณหา Pulse Velocity ผ่านคอนกรีตที่มีคุณภาพดีโดยปกติ แล้วจะให้ค่าความเร็วที่สูงร่วมกับสัญญาณที่ดีของกำลังอัด คอนกรีตที่มีคุณภาพไม่ดีหรือเสื่อมสภาพจะทำให้ความเร็วสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของรอยแตก แต่จะทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง

วิธีการนี้ได้นำมาใช้งานหลายปีแล้ว โดยเป็นการใช้ตรวจสอบคุณภาพและสภาพโดยทั่วไปของคอนกรีต และใช้ทดสอบขอบเขตและความรุนแรงของรอยแตกในคอนกรีตรวมถึงใช้เพื่อกำหนดพื้นที่ของคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายและคอนกรีตที่มีคุณภาพไม่ดี วิธีการทดสอบนี้อธิบายรายละเอียดไว้ใน ASTM C 597 (CRD-C51)



เครื่องมือสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย และมีกำลังมากพอที่จะทะลุหางผ่านคอนกรีตคุณภาพดีที่มีความหนา 11 เมตร (35 ฟุต) และการทดสอบสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

วิธีการนี้ให้ค่าที่มีความแม่นยำในการประมาณกำลังของคอนกรีต ความชื้นที่ผ่านไปและการเสริมเหล็กมีผลกระทบต่อผลลัพธ์ จึงจำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความชำนาญในการวิเคราะห์ผล การวัดต้องการเข้าถึงด้านตรงข้ามของหน้าตัดที่ต้องการวัด

ก. Acoustic Mapping System

วิธีการนี้สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องรบกวนน้ำอุ่นจากโครงสร้าง สามารถประเมินผลในวงกว้างของการส่องประทุมของพื้นผิวน้ำ เช่น aprons , sills , พื้น lock chamber และ พื้นแอ่งรับน้ำ (Stilling basins) ที่ซึ่งกระแสน้ำวนพัดพาหินและเศษดินมาขัดทำให้เกิดความเสียหายแบบกัดกร่อน ระบบนี้ใช้หลักของโซนาร์ (Sonar) โดยการส่งผ่านคลื่นเสียงและรับการสะท้อนกลับจากโครงสร้างใต้น้ำ

ระบบนี้สามารถใช้ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำในการสำรวจพื้นผิวน้ำที่อยู่ใต้ระดับน้ำลึก 1.5 ถึง 12 เมตร (5 ถึง 40 ฟุต) โดยมีความแม่นยำ ± 50 มม. (2 นิ้ว) ในทางดิ่ง และ ± 0.3 ม.(1 ฟุต) ในทางราบ ความหลากหลายของระบบทำให้สามารถใช้สำหรับการทำงานใต้น้ำแบบอื่นๆ เช่น การซ้อมเชมและการตรวจสอบหาภูมิที่ดินน้ำหรือการก่อตัวของตะกอนใต้น้ำ ระบบนี้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการสำรวจชั้นอ่างน้ำนิ่งของเขื่อน fulsome ซึ่งเป็นโครงการหนึ่งของสำนัก Reclamation Project ของสหรัฐฯ (SONEX 1984) และอ่างน้ำของเขื่อน Ice Harbor ในเขต Walla Walla

วิธีการนี้อาจใช้เพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายและความไม่สะดวกของผู้ใช้กับระบบน้ำและอันตราย รวมถึงความไม่แม่นยำของทีมประจำน้ำผู้ทำการสำรวจ

ความแม่นยำทั้งทางดิ่งและทางราบจะลดลงเมื่อใช้กับความลึกมากกว่า 9 เมตร (30 ฟุต) และมีข้อจำกัดบางประการเกี่ยวกับความเร็วและความบันป่วนของกระแสน้ำ

ก. Ultrasonic pulse-echo (UPE)

ลักษณะการประยุกต์วิธีการ Pulse – Velocity อย่างหนึ่งก็คือวิธีการ Pulse Echo โดยคลื่น Pulse ที่ถูกสร้างและส่งผ่านพื้นผิว และรับการสะท้อนกลับที่จุดเดียวกัน ระยะเวลาสั�งที่หักห้ามจากพื้นผิว ระยะแตก ซึ่งว่าง รวมกับความเร็วภายในคอนกรีตที่ทราบ ทำให้สามารถคำนวณระยะทางระหว่างจุดไม่ต่อเนื่องต่างๆไปยังจุดส่งและจุดรับ ระบบนี้ได้รับการสาธิตว่าเป็นไปได้และมีการพัฒนามาตั้งแต่ ค.ศ.1988 (Alexander and Thornton 1988) ระบบ Impact pulse – echo สำหรับการประยุกต์ใช้ตรวจสอบเสาเข็มได้บรรยายโดย Alexander(1980) และปัจจุบันเริ่มมีการนำมาใช้งานแล้ว

ระบบนี้ใช้งานได้กับงานลักษณะแบบราบโดยมีความหนาไม่เกิน 0.3 เมตร (1 ฟุต) ระบบนี้สามารถตรวจจับวัสดุเปลกปลอก เช่น เหล็ก และท่อพลาสติกได้ สามารถใช้วัดพื้นที่ไม่ทราบความหนา และแสดงแยกชั้นได้สูงสุด 0.3 เมตร (1 ฟุต) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมระบบ Neutral Network Algorithms ให้เรียนรู้สภาพของชิ้นงานจากที่ได้รับการปรับเทียบแล้ว

ระบบมีความละเอียดสูงเนื่องจากการทำงานที่มีความถี่เฉลี่ยขนาด 200 kHz ความยาวคลื่นโดยประมาณ 25 มม. (1 นิ้ว) ในคอนกรีตที่มีคุณภาพดี ซึ่งให้ Spatial Resolution ที่ดีกว่าเรเดาร์ สามารถทำงานได้ใต้น้ำหรือที่แห้ง ความเร็วของเสียงในคอนกรีตที่แห้งและชั้นมีความผันแปรไม่เกิน 5 %

อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายส่วน ไม่สะดวกในการพกพามากนัก รวมถึงข้อมูลในการวัดทั้งหมดต้องการประมาณผลสัญญาณดิจิตอล เพื่อดึงคลื่นสัญญาณออกจากสัญญาณรบกวน และต้องใช้ผู้ชำนาญการที่มีทักษะทางด้านนี้

๔. Radar

วิธีนี้อาศัยการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เก็บเดียวกับการทำงานของวิธี Ultrasonic Pulse Echo (UPE) ระยะเวลาการเดินทางของคลื่นวัดจากเวลาที่คลื่นวิ่งผ่านผิวคอนกรีต ผ่านความต่อเนื่องต่างๆอยู่ต่อ และสะท้อนกลับมาที่จุดกำหนด ขณะที่คลื่นทางกลของเทคนิค UPE เคลื่อนที่ด้วยความเร็วของเสียง แต่สำหรับระบบนี้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบ Radar เคลื่อนที่ด้วยความเร็วของแสง

ระบบเรดาร์ทำงานที่ความถี่ 1 GHz มีความยาวของคลื่นประมาณ 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ในคอนกรีต ในปัจจุบัน สามารถตรวจผ่านคอนกรีตที่มีความหนา 0.5 เมตร (1.5 ฟุต) ได้ที่คลื่นความถี่นี้ ในการตรวจจับซึ่งว่าที่อยู่ลึก 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ในคอนกรีตซึ่งว่าพื้นต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ถึง 75 มิลลิเมตร (2 – 3 นิ้ว) และที่ความลึก 0.3 เมตร (1 ฟุต) ซึ่งว่าต้องมีขนาด 75 ถึง 100 มิลลิเมตร (3 ถึง 4 นิ้ว) จึงสามารถตรวจพบได้ ระบบที่มีความถี่ต่ำกว่านี้ จะสามารถตรวจลูกหูลูกလูได้ลึกกว่า แต่มีความละเอียดต่ำกว่า ระบบเรดาร์นี้มีความไวในการตรวจหาเหล็กเสริม แต่เหล็กเสริมอาจรบกวนการตรวจสอบได้ในกรณีที่ทำการตรวจสอบเพื่อหาความเสื่อมสภาพของคอนกรีต เรดาร์มีความไวต่อความชื้นและมีประโยชน์สำหรับการหาพื้นที่ที่เสื่อมสภาพ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเก็บความชื้นไว้มากกว่าคอนกรีตที่มีสภาพดี

เรดาร์เป็นระบบที่ไม่ต้องสัมผัสและได้ข้อมูลที่เร็วมาก แต่ความละเอียดและการตรวจลูกหูลูกလูมีข้อจำกัด ในปัจจุบัน นี้ได้พัฒนามาใช้ในเชิงพาณิชย์

เรดาร์ยังคงอยู่ในระหว่างการพัฒนาเพื่อใช้กับคอนกรีต และยังไม่มีมาตรฐานสำหรับการวัดนี้ ในปัจจุบันเครื่องเรดาร์มีราคาเริ่มต้นที่ 50,000 ถึง 100,000 US\$ และต้องใช้บุคลากรที่ได้รับการอบรมมาเป็นอย่างดี เพื่อใช้เครื่องมือและแปลผลข้อมูล ระบบที่ใช้ในทางพาณิชย์ในปัจจุบันซึ่งมีการนำมาใช้กับคอนกรีตนั้น ได้รับการพัฒนาระบบมาให้สามารถใช้ดินเพื่อการใช้งานให้ได้ผลที่ดีกว่าในการศึกษาปัญหาน้ำพาร์ค์ ภัยภาพ การใช้เทคนิคการประมาณผลสัญญาณซึ่งความเร็วของ Pulse ขึ้นกับ Dielectric Constant ของคอนกรีตและแบรนน์กีอบ 100 % ระหว่างคอนกรีตแห้ง กับคอนกรีตชื้น

บทที่ 8

การทดสอบสะพานในสภาวะ การรับน้ำหนักบรรทุกจริง

8.1 บทนำ

การทดสอบโครงสร้างโดยการรับน้ำหนักบรรทุกที่ทราบค่า เป็นรูปแบบหนึ่งของการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อช่วยให้สามารถประเมินได้ว่า โครงสร้างนั้นๆ มีพฤติกรรมและผลตอบสนองเช่นใดภายใต้น้ำหนักบรรทุกจริง และยังมีความสามารถในการรับรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจริง (Load Test) นี้จะถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อที่จะได้ออกแบบการซ่อมบำรุง และการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้างนั้นต่อไป

นอกจากนั้น ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลอง โครงสร้างด้วยวิธีไฟโนท์โอลิเมนต์เบื้องต้น และใช้เป็นเกณฑ์ในการปรับแก้พฤติกรรมของสะพานในแบบจำลองเบื้องต้นให้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของสะพานมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การประเมินความแข็งแรง และความปลอดภัยของโครงสร้างสะพาน (Bridge Evaluation) รวมถึงการคาดการณ์พฤติกรรมของสะพานภายใต้แรงกระทำรูปแบบต่างๆ มีความละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น

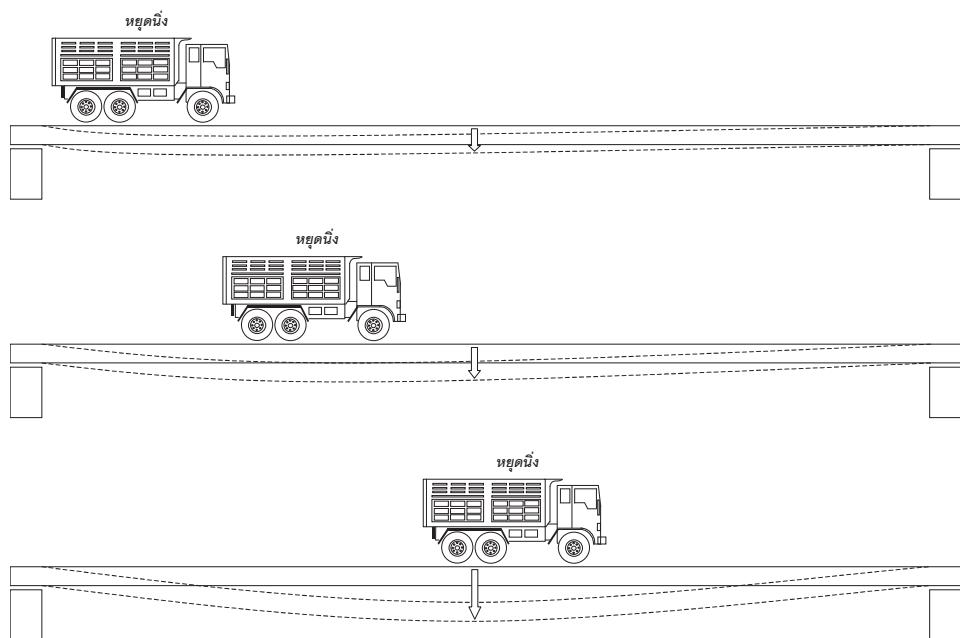
การทดสอบดังกล่าวสามารถกระทำได้ทั้งกับสะพานที่สร้างใหม่ สะพานเก่าที่เสื่อมสภาพ หรือสะพานที่ได้รับความเสียหายอันเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น คุบติเหตุเพลิงไหม้ เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ ดังนี้

- การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิติ (Static Load Test) เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปแบบสถิติของโครงสร้างสะพาน เนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน ณ ตำแหน่งต่างๆ
- การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต (Dynamic Load Test) เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปเชิงพลวัตของโครงสร้างสะพาน เนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกที่แล่นบนสะพานด้วยความเร็วต่างๆ

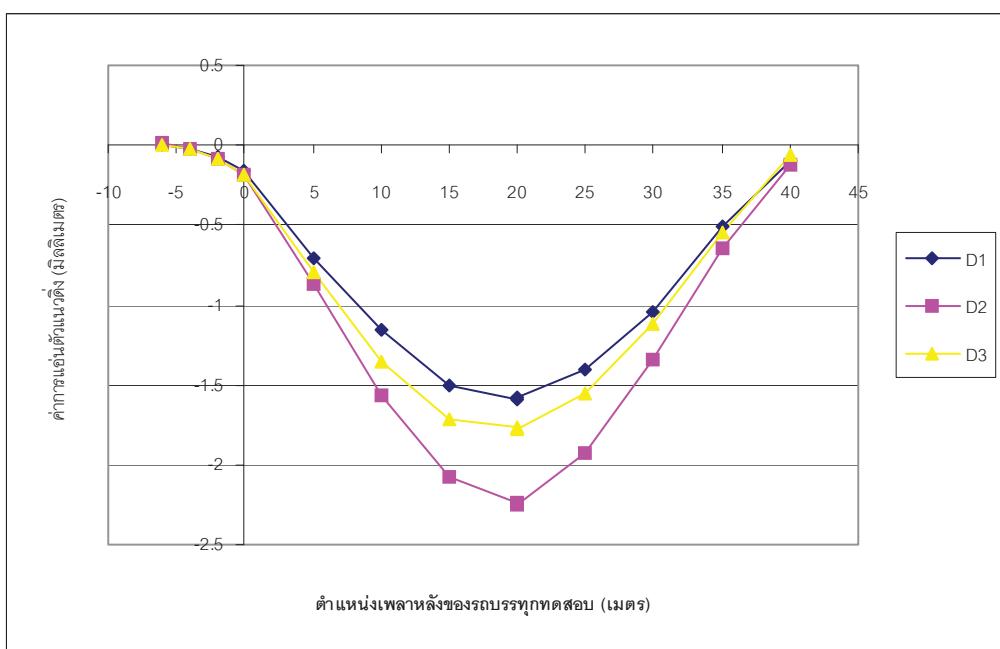


8.2 หลักการตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิต (Static Load Test)

การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิต เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปแบบสถิตของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักและตำแหน่งของรถบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน โดยการตรวจจะนำรถบรรทุกทดสอบที่มีขนาดน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งได้ทำการประเมินความปลอดภัย จากการวิเคราะห์โครงสร้างแล้ว มาหยุดนิ่งที่ตำแหน่งทดสอบต่างๆ ที่กำหนดบนสะพานดังแสดงในรูปที่ 8-1 ในแต่ละตำแหน่งที่หยุดรถจะทำการบันทึกค่าการเสียรูปของโครงสร้างสะพานซึ่งได้แก่ ค่าความเครียด (Strain) และค่าการเอ่นตัวแนวตั้ง (Vertical Displacement) ของชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างสะพาน

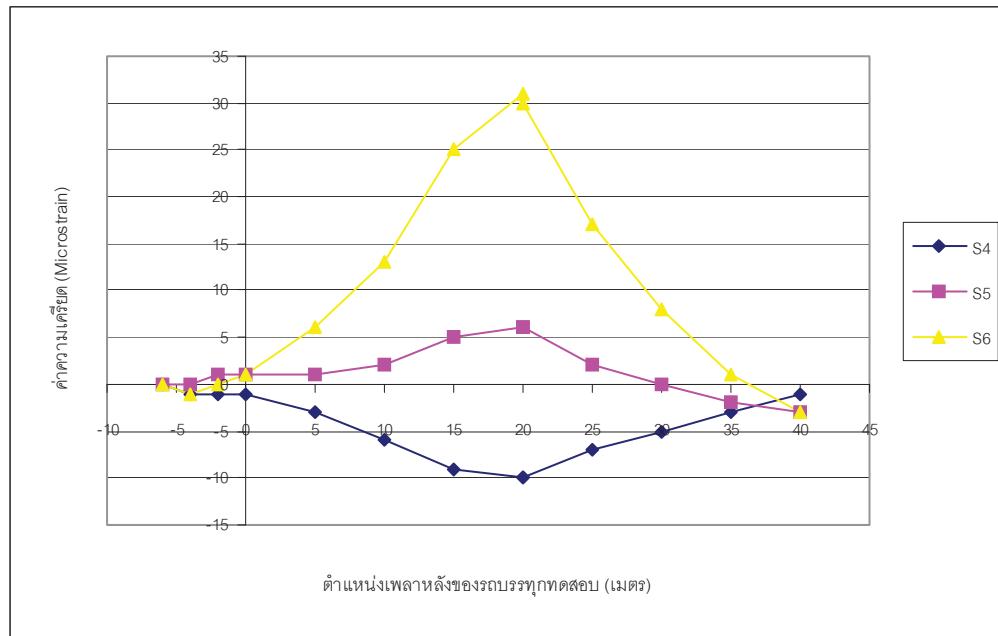


รูปที่ 8-1 ตัวอย่างพฤติกรรมการเสียรูปแบบสถิตของโครงสร้างสะพานเนื่องจากรถบรรทุกที่ตำแหน่งต่างๆ บนสะพาน



รูปที่ 8-2 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเอ่นตัวแนวตั้งและตำแหน่งเพลาหลังของรถบรรทุกทดสอบ

จากข้อมูลที่ตัวจัดได้ จะทำการวิเคราะห์และแสดงผลในรูปของความสัมพันธ์ต่างๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดกับตำแหน่งของรถบรรทุก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเอ็นตัวแแนวตั้งกับตำแหน่งของรถบรรทุก และความคุณสมบัติความเป็นเส้นตรงของโครงสร้าง (Linearity) เป็นต้น ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 8-2 และ 8-3

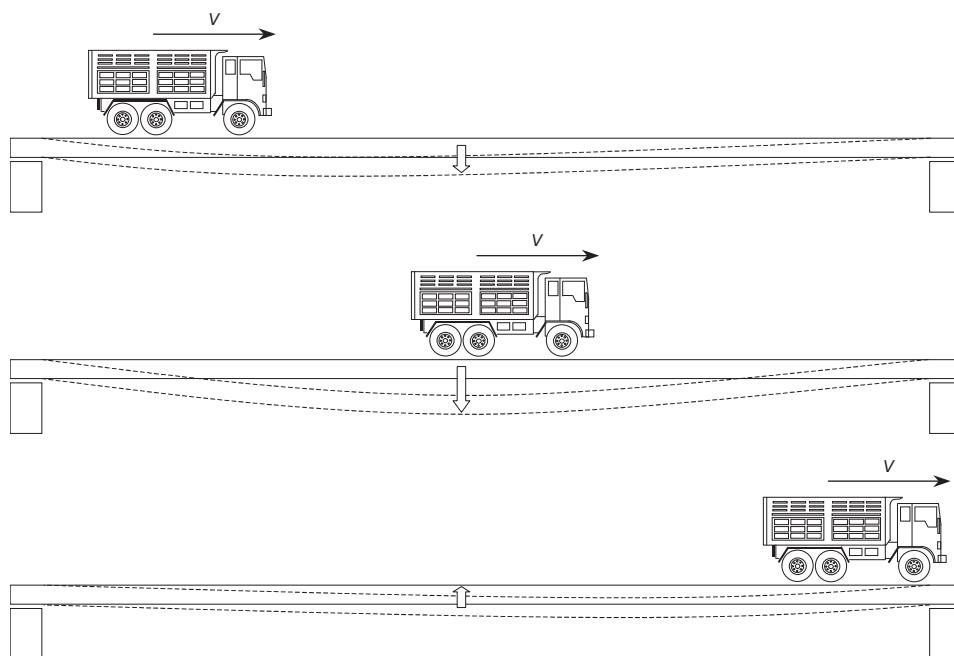


รูปที่ 8-3 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดและตำแหน่งเพลาหลังของรถบรรทุกทดสอบ

8.3 หลักการตรวจวัดภัยใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวติ (Dynamic Load Test)

การตรวจวัดภัยใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวติ เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินรูปเชิงพลวติของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่แล่นบนสะพาน โดยการตรวจวัดจะนำรถบรรทุกทดสอบที่มีขนาดน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งได้ทำการประเมินความปลอดภัยจากการวิเคราะห์โครงสร้างแล้ว มาแล่นผ่านบนสะพานที่ความเร็วต่างๆ กัน ตัวอย่างของพฤติกรรมการเดินรูปเชิงพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน แสดงในรูปที่ 8-4

ในแต่ละน้ำหนักและความเร็วที่แล่นผ่านบนสะพาน จะทำการตรวจวัดและบันทึกค่าการเดินรูปของโครงสร้างสะพานซึ่งได้แก่ ค่าความเครียด (Strain) ค่าการเอ็นตัวแนวตั้ง (Vertical Displacement) และค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical Acceleration) ซึ่งจากข้อมูลที่ตัวจัดได้จะทำการวิเคราะห์ค่า Factor ที่ใช้ในการออกแบบและคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน ได้แก่ ค่าคูณเพิ่มทางพลศาสตร์ (Dynamic Amplification Factor, DAF) ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) และค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) ของโครงสร้างเป็นต้น



รูปที่ 8-4 ตัวอย่างพัฒนาระบบแบบพลวตของโครงสร้างสะพานอันเนื่องจากรถบรรทุกแล่นผ่านบนสะพาน

8.4 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัด

8.4.1 ค่าคูณเพิ่มทางพลศาสตร์ (Dynamic Amplification Factor, DAF)

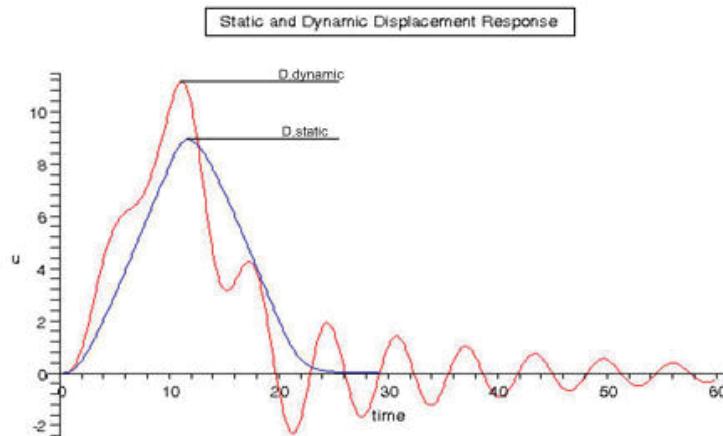
เป็นค่าที่ใช้คูณเพื่อขยายผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานที่วิเคราะห์พัฒนาระบบในแบบสถิติให้รวมผลจากการสั่นไหวของโครงสร้างเนื่องจากแรงที่กระทำมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางตามเวลา ในข้อกำหนดของมาตรฐาน AASHTO เรียกค่า DAF นี้ว่า Impact Factor การวิเคราะห์ค่า DAF ทำโดยอาศัยสมการที่ 8-1

$$DAF = \frac{R_{Dyn}}{R_{Sta}} \quad (8-1)$$

โดยที่ R_{Dyn} = ค่าสูงสุดของการตอบสนองเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้าง

R_{Sta} = ค่าสูงสุดของการตอบสนองในแบบสถิติ

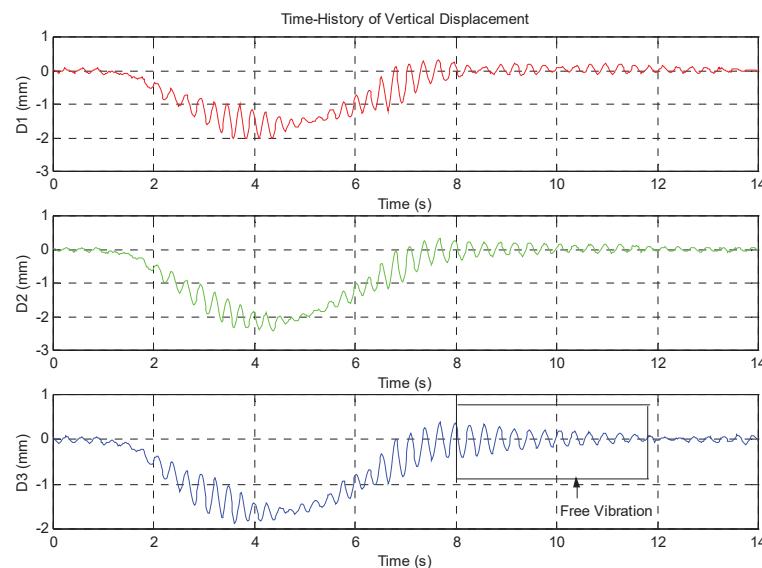
ค่า R_{Dyn} จะใช้ข้อมูลที่บันทึกได้จากการตรวจวัดเชิงพลศาสตร์ ซึ่งจะเป็น Dynamic Response ของโครงสร้าง โดยพิจารณาค่าสูงสุดของข้อมูลนั้น ส่วนค่า R_{Sta} จะใช้ค่าสูงสุดของการตอบสนองของโครงสร้างที่จุดที่พิจารณาจากการตรวจวัดแบบสถิติ และในกรณีที่ไม่สามารถทำการตรวจวัดแบบสถิติได้ จะวิเคราะห์โดยนำข้อมูลที่บันทึกได้จากการตรวจวัด Dynamic Load Test มาผ่านกระบวนการกรองความถี่แบบ Low Pass Filter เพื่อแยกส่วน Pseudo-Static ออกจาก Dynamic Response โดย Pseudo-Static นี้จะเป็นเสมือนพัฒนาระบบการตอบสนองของโครงสร้างที่จุดที่พิจารณาภายใต้ น้ำหนักที่กระทำเป็นแบบ Static และน้ำหนักที่กระทำเคลื่อนที่ไปตามความยาวของช่วงสะพานและไม่มีผลจากการสั่นไหวของโครงสร้างเข้ามาเกี่ยวข้อง ค่า R_{Sta} จะเป็นค่าสูงสุดของ Pseudo-Static



รูปที่ 8-5 ค่าการตอบสนองของโครงสร้างแบบ Pseudo Static และแบบ Dynamic

8.4.2 ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน (Natural Frequency)

เป็นคุณสมบัติพื้นฐานทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง โดยจะเป็นค่าความถี่ในการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้าง (Free Vibration) เมื่อแรงที่กระทำมีความถี่ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติ ผลการตอบสนองจะมีการสั่นพ้อง (Resonance) ทำให้มีระดับการตอบสนองสูงกว่าปกติมาก การวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานจากข้อมูลการตรวจวัด ทำโดยนำข้อมูลที่บันทึกได้จากการตรวจวัดซึ่งอยู่ในรูป Time-History ของข้อมูลต่างๆ โดยพิจารณาการสั่นไหวในช่วงการสั่นแบบอิสระมาแปลงให้อยู่ใน Frequency Domain โดยการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ตามสมการที่ 8-2 ตัวอย่าง Time History ของการ揺ตัวเนื่องจากรถบรรทุกทดสอบแล่นบนสะพานและการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพาน แสดงในรูปที่ 8-6 และ 8-7 จากนั้นพิจารณาค่าความถี่ที่มีขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์สูงสุด จะเป็นค่าความถี่หลักของการสั่นแบบอิสระหรือความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน ตัวอย่างข้อมูลที่แปลงให้อยู่ใน Frequency Domain โดยการแปลงฟูเรียร์แสดงในรูปที่ 8-8

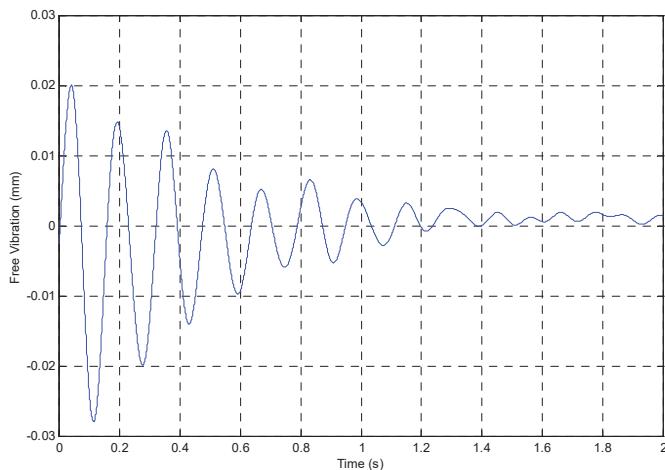


รูปที่ 8-6 ตัวอย่าง Time History ของการ揺ตัวเนื่องจากการตรวจวัดที่ได้จากการทดสอบแล่นบนสะพาน

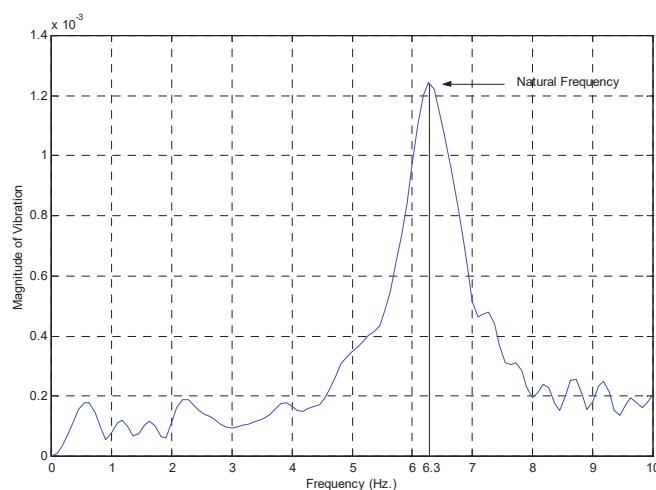


$$\tilde{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{x}(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} nk} \quad (8-2)$$

โดยที่ $k = 0, -1, 1, -2, 2, -3, 3, \dots$



รูปที่ 8-7 ตัวอย่างการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 8-8 ตัวอย่าง Frequency Domain ของการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพานจากข้อมูลการตรวจวัด

8.4.3 ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างสะพาน (Damping Ratio)

ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างสะพาน (Damping Ratio) เป็นค่าในการลดพลังงานของการสั่นไหวของโครงสร้างให้กลับมาอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง โดยสะพานที่มีอัตราส่วนความหน่วงสูง เมื่อรถแล่นออกจากสะพานแล้ว โครงสร้างสะพานจะสั่นแบบอิสระในช่วงเวลาสั้น ๆ ก็จะกลับมาอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง ในทางกลับกันสะพานที่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงต่ำกว่า จะมีช่วงเวลาในการสั่นแบบอิสระจนกระแทกหยุดนิ่งนานกว่า การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความหน่วงทำโดยนำข้อมูลการสั่นไหวในช่วงการสั่นแบบอิสระ (Free Vibration) มาคำนวณโดยอาศัยสมการที่ 8-3

$$\xi = \frac{\ln(Y_1/Y_2)}{2\pi} \quad (8-3)$$

โดยที่ Y_1 = แอมเพลจูดของคลื่นรอบแรกที่พิจารณา
 Y_2 = แอมเพลจูดของคลื่นรอบต่อมา

8.5 ตำแหน่งและจำนวนที่จะทำการทดสอบ

ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้างสะพาน จะพิจารณาจากภาระที่แบบจำลองของโครงสร้าง เพื่อเลือกตำแหน่งที่ติดตั้งในจุดที่เกิดการเสียรูปสูงสุด และครอบคลุมพื้นที่รวมของโครงสร้างทั้งหมด ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองของโครงสร้างด้วยวิธีไฟโนต์โอลิเมนต์เบื้องต้น จะนำมาพิจารณาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

- 1) พิจารณาชิ้นส่วนและจุดต่อที่มีค่าความเค้น (Stress) เนื่องจากโมเมนต์ด้าน (Bending Moment) มากที่สุด
- 2) พิจารณาระบบท่ายแรงในโครงสร้าง โดยติดในชิ้นส่วนที่รับแรงดัดบางชิ้นส่วน อาจทำการติดตั้ง Strain Gage ที่ผ่านสุด และผิวล่างสุด เพื่อดูผลของขนาดของชิ้นส่วน
- 3) พิจารณาผลของขนาดของชิ้นส่วน โดยในชิ้นส่วนที่รับแรงดัดบางชิ้นส่วน อาจทำการติดตั้ง Strain Gage ที่ผ่านสุด และผิวล่างสุด เพื่อติดตามแรงดันที่รับน้ำหนักของชิ้นส่วน
- 4) พิจารณาตำแหน่งที่เกิดค่าการเคลื่อนตัวของจุดต่อ แย่นตัว หรือเสียรูปมากที่สุด เช่น บริเวณฐานรองรับที่เป็น Roller หรือตำแหน่งกึ่งกลางของคาน เป็นต้น
- 5) พิจารณาตำแหน่งที่สามารถตรวจสอบสมดุลของโครงสร้างได้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

8.6 ตัวอย่างผลการตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างสะพานทางหลวง

ในการศึกษาพฤติกรรมการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน จะทำการทดสอบโดยการกำหนดน้ำหนักรถบรรทุก (Thai Truck) ที่ทราบค่า gramm ณ จุดต่างๆ ที่ความเร็วแตกต่างกันไป โดยรูปแบบและน้ำหนักรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8-1

รูปแบบการเดินรถจะกำหนดให้รถบรรทุกทั้ง 2 คัน วิ่งขนานไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเร็วที่ใช้ในการทดสอบจะกำหนดที่ 5, 25 และ 50 กม./ชม. ที่น้ำหนักบรรทุกเปล่าและน้ำหนักบรรทุกเต็มคัน โดยทำการทดสอบที่น้ำหนักและความเร็วเดียวกัน กรณีลักษณะ 2 รอบ รวมทั้งสิ้น 6x2 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 8-2 สำหรับค่าที่ได้จากการตรวจวัดแสดงไว้ดังตารางที่ 8-3



รูปที่ 8-9 การวัดน้ำหนักบรรทุกในแต่ละเพลา

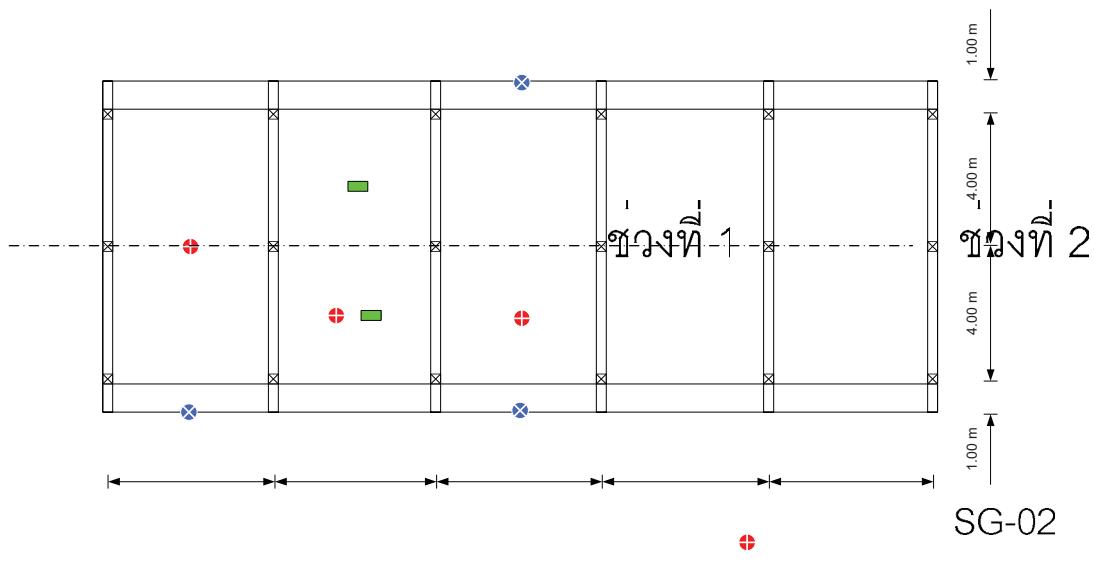


ตารางที่ 8-1 ขนาดและน้ำหนักรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

รถบรรทุก	เลขทะเบียน	ขนาดเพลา	น้ำหนักเพลา หน้า (Ton)	น้ำหนักเพลา หลัง (Ton)	น้ำหนักรวม (Ton)
คันที่ 1 (รถเปล่า)	80-8668 ปราจีนบุรี		3.95	7.59	11.54
คันที่ 1 (ใส่น้ำหนัก)	80-8668 ปราจีนบุรี		6.08	28.95	35.06
คันที่ 2 (ใส่น้ำหนัก)	80-2099 สระบุรี		7.88	32.87	40.75

ตารางที่ 8-2 รูปแบบการเดินรถที่ใช้ในการทดสอบ

กรณีที่	น้ำหนักบรรทุก	ความเร็วรถ (กม./ชม.)
1	รถเปล่า	5
2	รถเปล่า	25
3	รถเปล่า	50
4	บรรทุกเต็มคัน	5
5	บรรทุกเต็มคัน	25
6	บรรทุกเต็มคัน	50



รูปที่ 8-10 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการแข็งตัว



รูปที่ 8-11 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการแข็งตัว



รูปที่ 8-12 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการแข็งตัว



รูปที่ 8-13 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความถี่ของโครงสร้าง

ตารางที่ 8-3 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกที่ทราบค่าของโครงสร้างสะพาน

อุปกรณ์ตรวจวัด	ผลการตรวจวัด					
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6
DT-01	-0.69 mm	-0.63 mm	-0.64 mm	-	-	-
DT-02	-0.73 mm	-0.68 mm	-0.66 mm	-3.05 mm	-2.84 mm	-2.91 mm
DT-03	-0.70 mm	-0.66 mm	-0.73 mm	-3.14 mm	-2.68 mm	-3.02 mm
AP-01	24.1 Hz	24.6 Hz	23.5 Hz	25.3 Hz	26.1 Hz	26.6 Hz
AP-02						
AP-03						
SG-01	212.3 $\mu\epsilon$	181.0 $\mu\epsilon$	179.7 $\mu\epsilon$	904.2 $\mu\epsilon$	811.6 $\mu\epsilon$	820.7 $\mu\epsilon$
SG-02	200.8 $\mu\epsilon$	177.5 $\mu\epsilon$	186.8 $\mu\epsilon$	922.0 $\mu\epsilon$	710 $\mu\epsilon$	862.5 $\mu\epsilon$

บทที่ 9

การวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

9.1 บทนำ

ในงานด้านวิศวกรรมโยธาตุ การวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความซับซ้อนหรือมีขนาดใหญ่ จะต้องจำลองโครงสร้างในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีรูปร่างคุณลักษณะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับโครงสร้างจริงมากที่สุด วิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ วิธีไฟนิตอิเมเน็ต (Finite Element Method) ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองของโครงสร้าง (Bridge Response) ซึ่งได้แก่ ค่าการแอนตัว (Deflection) ค่าความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนต่าง ๆ และค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างเบื้องต้น และการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองที่ถูกปรับแต่งแล้ว

การวิเคราะห์โครงสร้างในชั้นเริ่มต้นจะใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากแบบแปลนก่อสร้าง และข้อมูลทางกายภาพของสะพานเท่าที่มีอยู่ เพื่อหาค่าการตอบสนองเบื้องต้นที่เกิดขึ้นภายใต้หนักบรรทุก แต่เนื่องจากสภาพของสะพานหลังจากการใช้งาน อาจมีการเสื่อมโทรมและชำรุดเสียหาย จึงทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมที่แตกต่างไปจากโครงสร้างของแบบจำลองเบื้องต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการปรับแต่งแบบจำลองให้มีพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกสอดคล้องพุติกรรมจริงมากที่สุด โดยจะใช้ผลจากการทำ Load Test ประกอบกับผลจาก Visual Inspection และ Material Testing มาปรับแต่งแบบจำลอง

โดยปกติแล้ว การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้แบบจำลองไฟนิตอิเมเน็ตมีวัตถุประสงค์อยู่ 2 ประการ คือ

- เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างโดยรวม (Global Behavior) และเฉพาะที่ (Local Behavior) เพื่อหาจุดวิกฤตในโครงสร้างแบบจำลองสะพานเบื้องต้น โดยข้อมูลที่ได้จะใช้ประกอบการพิจารณาดำเนินการที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจค่าการตอบสนองของสะพาน ในระหว่างการวัดความสั่นสะเทือน
- ใช้แบบจำลองที่ทำการปรับแก้แล้ว มาทำการวิเคราะห์หาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน เพื่อประเมินสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวม



9.2 โปรแกรมไฟล์เอลิเม้นต์ที่ใช้เคราะห์โครงสร้าง

โดยปกติในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะสร้างแบบจำลองพุติกรรมโครงสร้างสะพานในแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับว่ามีพุติกรรมใกล้เคียงกับพุติกรรมของสะพานจริงมากที่สุด โดยโปรแกรมไฟล์เอลิเม้นต์ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและได้รับการยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือ คือ โปรแกรม SAP2000 หรือ STAAD.Pro 2004

9.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟล์เอลิเม้นต์

ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟล์เอลิเม้นต์ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้เบื้องต้นในสมการพื้นฐานของกลศาสตร์โครงสร้าง หลักการวิเคราะห์ปัญหานิดต่างๆ ขั้นตอนในการวิเคราะห์ ตลอดจนการประมวลผลและนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ โดยความรู้เบื้องต้นดังกล่าวสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

9.3.1 สมการพื้นฐานของกลศาสตร์โครงสร้าง

สมการพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ของโครงสร้าง สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

9.3.1.1 สมการสภาวะสมดุล (Equilibrium Equations)

กล่าวคือ โครงสร้างโดยรวมและชิ้นส่วน (Element) แต่ละชิ้นที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างโดยรวม จะต้องอยู่ภายใต้สภาวะสมดุลของแรงที่กระทำจากภายนอกและภายใน โดยกำหนดให้แรงภายนอกจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงภายในของชิ้นส่วน ณ จุดต่อ (Joint) ทั้งหมดของระบบโครงสร้างนั้น

สมการสภาวะสมดุลเป็นกฎพื้นฐานทางฟิสิกส์ และเป็นสมการพื้นฐานแรกสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ดังนั้นจึงมีความสำคัญมากที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งถูกใช้ในการจำลองพุติกรรมของโครงสร้างจริง จะต้องสอดคล้องกับสมการพื้นฐานของภาวะสมดุลต่างๆ

สำหรับที่จุดต่อ ภายในโครงสร้าง 3 มิติ สมการของการสมดุล ทั้ง 6 สมการจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

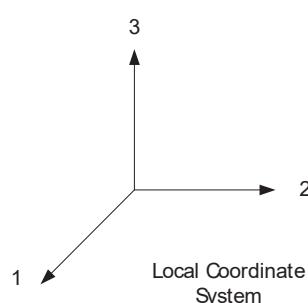
$$\sum F_1 = 0 \quad \sum F_2 = 0 \quad \sum F_3 = 0 \quad (9.1\text{ก})$$

$$\sum M_1 = 0 \quad \sum M_2 = 0 \quad \sum M_3 = 0 \quad (9.1\text{ข})$$

สำหรับโครงสร้าง 2 มิตินั้น มีเพียง 3 สมการเท่านั้นที่จำเป็นต้องสอดคล้องกัน คือ

$$\sum F_1 = 0 \quad \sum F_2 = 0 \quad \sum M = 0 \quad (9.1\text{ค})$$

โดยที่ F คือ แรง และ M คือ โมเมนต์



รูปที่ 6-1 ระบบ Coordinate System

9.3.1.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเด่น และความเครียด (Stress-Strain Relationship)

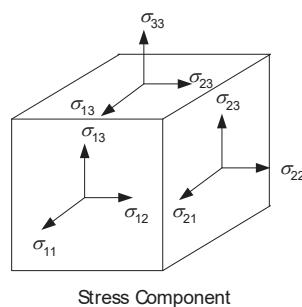
ในทางปฏิบัติสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเด่น และความเครียด (Linear Stress-Strain Relationship) ในช่วงความยืดหยุ่น (Elastic) ของวัสดุ โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กฎของ勾 (Hooke's Law)

จากกฎของ勾 (Hooke's Law) และการยึดหดตัวของวัสดุภายในตัว การเปลี่ยนอุณหภูมิ ความสัมพันธ์เชิงเส้นของความเด่นและความเครียด (Linear Stress-Strain Relationship) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E) ค่าอัตราส่วนพัวของ (Poisson's ratio, ν) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการยึดหดตัวของวัสดุภายในตัว การเปลี่ยนอุณหภูมิ (Coefficient of Thermal Expansion and Contraction, α)

รูปที่ 9-2 แสดงระบบบอกความเด่นในชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุใน 3 มิติ (เครื่องหมายของความเด่นในรูปนี้จะเป็น矢量) ค่าความเด่น คือ หน่วยของแรงต่อหน่วยของพื้นที่ ส่วนความเครียด คือ หน่วยการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และสามารถเขียนความเด่นและความเครียดบนชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ (Vector) ได้ดังสมการที่ 9.2 และสมการที่ 9.3 ตามลำดับ

$$f^T = [\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3 \quad \tau_{12} \quad \tau_{13} \quad \tau_{23}] \quad (9.2)$$

$$d^T = [\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \varepsilon_3 \quad \gamma_{12} \quad \gamma_{13} \quad \gamma_{23}] \quad (9.3)$$



รูปที่ 9-2 ความเด่นในชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุใน 3 มิติ

ชิ้นส่วนแบบ Isotropic จะมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์เหมือนกันโดยไม่ขึ้นอยู่กับทิศทาง เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากที่สุดเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อย ทำให้การคำนวณและแก้สมการเป็นไปได้สะดวกและง่าย โดยสามารถเขียนสมการ Stress-Strain Relationship ได้ดังนี้

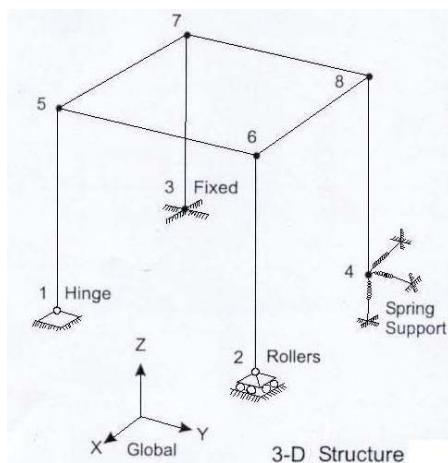


$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{21} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\nu & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & \frac{1}{E} & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & -\nu & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{21} \\ \tau_{31} \\ \tau_{23} \end{bmatrix} + \alpha \Delta T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9.4)$$

โดยที่

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

จะนั้น สำหรับ Isotropic Materials แล้วมีเพียงค่าโมดูลัสยึดหยุ่น (E) และค่าอัตราส่วนพัวของ (ν) เท่านั้นที่ต้องมี การกำหนด โปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้สมการนี้ในการคำนวณค่า Shear Modulus (ถ้าไม่ได้มีการกำหนดค่ามา ให้)



รูปที่ 9-3 ตัวอย่างแบบจำลองเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions)

9.3.1.3 สมการความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสภาพขอบ

ข้อกำหนดของความต่อเนื่องกัน (Compatibility Requirements) จะต้องเป็นไปตามที่กำหนด ใน การวิเคราะห์ ระบบโครงสร้างของชิ้นส่วนชนิดชิ้นหนึ่ง หรือทุกๆ ชิ้นส่วนที่ติดต่อกับจุดต่อ จะต้องให้ค่าของ การเคลื่อนที่ที่เท่ากัน หาก กำหนดค่าการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (Node Displacement) มาด้วย การเปลี่ยนรูป (Deformation) ของชิ้นส่วน ก็จะคำนวณ ได้จากการใช้สมการพื้นฐานของเรขาคณิต ใน การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟฟ้าโนดอล เมนต์ โดยยึดหลักของการเคลื่อนที่นี้ การสอดคล้องกันของการเคลื่อนที่ของจุดต่อจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions) จะต้องกำหนดให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามที่ได้ สำรวจพบ เช่น ส្ដานรองรับแบบหมุนได้ แต่เคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge) ส្ដานรองแบบเคลื่อนที่ได้เฉพาะแนวอน (Roller)

ฐานรองที่ไม่อนุญาตให้มีการหมุนและเคลื่อนที่ (Fixed) และฐานรองแบบสปริง (Spring) เป็นต้น อย่างไรก็ตามสภาพของฐานรองอาจจะมีพฤติกรรมก้ากว่าจะหว่างฐานรองที่ได้กล่าวมาทั้ง 3 ดังนั้นผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องมีวิจารณญาณในการเลือกแบบพฤติกรรมที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

9.3.2 หลักการวิเคราะห์แบบสถิต (Static Analysis) และ แบบพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

การวิเคราะห์แบบสถิต ของโครงสร้างหนึ่งๆ จะเกี่ยวพันกับระบบของสมการเชิงเส้นซึ่งแสดงได้โดย

$$Ku = r \quad (9.5)$$

โดย K = Stiffness Matrix

r = เวกเตอร์ของน้ำหนักที่บรรทุก (Vector of Applied Loads)

u = เวกเตอร์ของการย�ด (Static Displacement, u)

ค่า Stiffness Matrix สามารถหาได้จากการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเดิน และความเครียด และคุณสมบัติของพื้นที่หน้าตัด ในแต่ละกรณีของการบรรทุกน้ำหนัก (Load Case)

ในส่วนการวิเคราะห์แบบพลวัต จะทำการวิเคราะห์แบบ Eigen-Value และการวิเคราะห์ในพิสัยเวลา (Time History Analysis) โดยที่การวิเคราะห์ Eigen-Value จะใช้ในขั้นตอนการปรับแก้แบบจำลองให้มีคุณสมบัติทางพลศาสตร์ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดสอบการรับน้ำหนักรถบรรทุกที่ทราบค่าบนสะพาน (Tested Truck) ส่วนการวิเคราะห์ในพิสัยเวลาจะใช้ในการหาค่าการตอบสนองสูงสุด เช่น ค่าการเอ่นตัวสูงสุด (Maximum Deflection) และค่าความเดินสูงสุด (Maximum Stress) ในขณะที่รถวิ่งผ่านสะพาน

Eigenvector Analysis คือการคำนวนหา Mode Shapes ของการสั่นโดยอิสระแบบ Undamped และความถี่ (Frequency) ของระบบซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการหาค่าตอบจาก Eigenvector ทั่วไป ดังนี้

$$[K - \Omega^2 M] \phi = 0 \quad (9.6)$$

โดยที่ K คือ Stiffness Matrix

M คือ Diagonal Mass Matrix

Ω^2 คือ Diagonal Matrix of Eigenvalue

ϕ คือ Matrix of Corresponding Eigenvector (Mode Shape)

ปกติจะรียกแต่ละคู่ของ Eigenvalue-Eigenvector ว่า Natural Vibration Mode of Structure โดยที่ Mode ต่างๆ ลูกปิงชี้โดยหมายเลข 1 ถึง n ตามลำดับ เพื่อที่จะให้โปรแกรมสามารถคำนวนหา Mode ได้

Eigenvalue คือ ค่า Circular Frequency (ω) ของ Mode นั้นยกกำลังสอง ส่วนค่า Cycle Frequency (f) และ Period (T) ของ Mode นั้น จะสัมพันธ์กับ ω ดังนี้

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{และ} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (9.7)$$

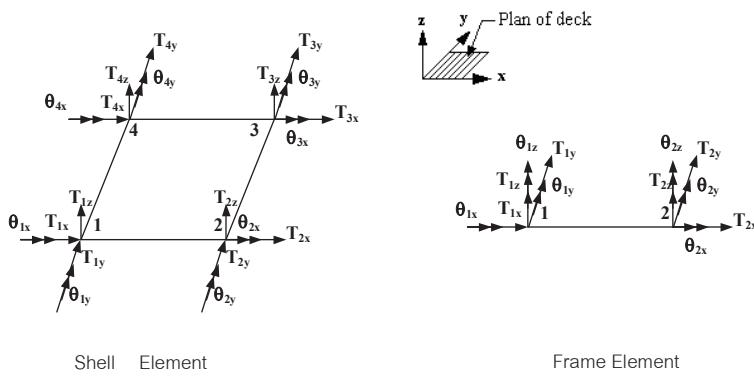


9.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟน์ท์เอลิเม้นต์

โดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟน์ท์เอลิเม้นต์ จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

1) การเลือกใช้ชนิดของ Element

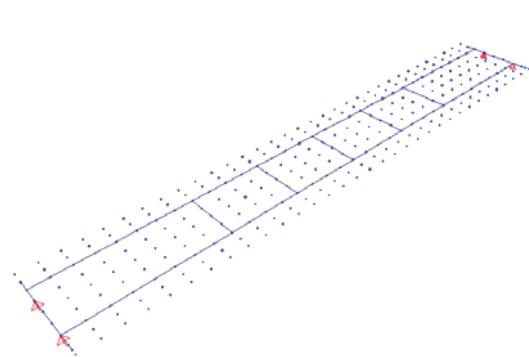
การเลือกใช้ชนิดของชิ้นส่วนจะต้องเลือกชนิดของชิ้นส่วนให้เหมาะสมกับลักษณะของโครงสร้างจริงที่จะทำ การวิเคราะห์ โดยที่ชนิดของชิ้นส่วนจะต้องมีพัฒนกรรมที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด เช่น หากจะใช้ Frame Element แทน Girder ของสะพาน หรืออาจใช้ Shell Element แทนพื้นสะพาน (Deck) หรืออาจใช้ Line element แทน Truss ตลอดจนจะต้องคำนึงถึงการกระทำของน้ำหนัก รวมทั้งความลักษณะอื่นๆ ที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ คืออาจจะเลือกใช้ element มิติเดียว, สองมิติ, สามมิติ หรือ ชนิดแกนไม่สมมาตร (Axi-symmetric Element) เป็นต้น



รูปที่ 9-4 ตัวอย่างชนิดของ Element

2) การแบ่งโครงสร้างสะพานเป็นชิ้นส่วนย่อย

การแบ่งโครงสร้างสะพานจริงให้ออกเป็นหลายๆ ชิ้นส่วนย่อย โดยแต่ละชิ้นส่วนจะต้องติดกับชิ้นส่วนข้างเคียงกับ จุดขอบของชิ้นส่วนซึ่งเรียกว่าจุดต่อ และจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างเดิมให้มากที่สุด กล่าวคือแบบจำลองทางไฟน์ท์เอลิเม้นต์จะต้องเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมมากที่สุด เช่น บริเวณที่มีส่วนเว้า ส่วนโตก หรือมีรู หรือ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างฉับพลันก็จำเป็นต้องแทนที่ด้วยชิ้นส่วนขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้การวิเคราะห์นั้น ถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักก็อาจแทนด้วยชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ถ้าแบบจำลองมี จำนวนชิ้นส่วนมากเกินไปก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการคำนวนสูง และอาจไม่สามารถทำงานได้ถ้าคอมพิวเตอร์มีข้อจำกัดในเรื่องหน่วยความจำ และการนำเสนอน้ำมูล



รูปที่ 9-5 แบบจำลอง Finite Element ของโครงสร้างหลักของสะพาน

3) การเลือกฟังก์ชันการขัดภายในชิ้นส่วน

จะต้องเลือกใช้ฟังก์ชันการขัดภายในชิ้นส่วนให้สอดคล้องกับจำนวนจุดต่อของชิ้นส่วนหรือสอดคล้องกับระดับความเสี่ยงของชิ้นส่วน ฟังก์ชันการขัดที่นิยมใช้คือ พอลินอยเมียลฟังก์ชัน ซึ่งอาจจะเป็นพอลินอยเมียลกำลังหนึ่ง, กำลังสอง, กำลังสาม ส่วนฟังก์ชันที่เป็นอนุกรมทางเรขาคณิติกสามารถเลือกใช้ได้แต่ไม่เป็นที่นิยม ทั้งนี้ เพราะพอลินอยเมียลฟังก์ชันให้ความสะดวกมากกว่า ในกรณีของปัญหา 2 มิติ ฟังก์ชันการขัดที่จุดต่อจะมีเงื่อนไขอยู่ในเทอมของพิกัดของระบบ $x-y$ เป็นต้น ฟังก์ชันการขัดที่จะเลือกใช้จะต้องทำให้ผลเฉลยมีความต่อเนื่องทั้งภายในชิ้นส่วน และแบบจำลองของระบบรวม

4) การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การขัด และความเด่น/ความเครียด

การหาสมการทางไฟไนท์เอลิเมนต์ของแต่ละชิ้นส่วนจำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการขัด และความสัมพันธ์ระหว่างความเด่นกับความเครียด ในกรณีของปัญหามิติเดียว การยึดหดตัว, ν ของชิ้นส่วนในทิศทางเดียวกันนี้ เช่น ทิศทาง x จะมีความสัมพันธ์กับความเครียด σ_x ในกรณีที่ ϵ_x มีค่าน้อย, $\epsilon_x = du/dx$ และถ้า ω แสดงอุณหภูมิในช่วงเยื้องหยุ่น, จากกฎของอุค ความสัมพันธ์ของความเด่นและความเครียด คือ

$$\sigma_x = E \epsilon_x \quad (9.8)$$

ซึ่ง σ_x คือ ค่าความเด่นในทิศทาง x และ

E คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ผลเฉลยของการขัด, ความเด่น, ความเครียด โดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์จะถูกต้องแม่นยำเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณ และความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการขัด และความเด่นกับความเครียดจะเป็นลักษณะเป็นสมการเชิงเส้น หรือไม่เป็นสมการเชิงเส้น

5) การหา Stiffness matrix และสมการของชิ้นส่วน

วิธีสมดุลโดยตรงนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เราสามารถหา Stiffness Matrix และสมการสมดุลของแรงในเทอมการขัดที่จุดต่อของชิ้นส่วนได้โดยใช้เงื่อนไขการสมดุลของแรงในชิ้นส่วน ส่วนมากจะใช้หา Stiffness Matrix ของชิ้นส่วนมิติเดียว เช่น สปริง, ท่อนโลหะ, เพลา และคานเป็นต้น

โดยอาศัยวิธีสมดุล เราจะได้รับสมการสมดุลของแรงในเทอมของ Stiffness Matrix และการจัดที่จุดต่อของชิ้นส่วน สมการดังกล่าวสามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & \dots & k_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad (9.9)$$

$$\text{หรือ } \{f\} = [k]\{d\}$$

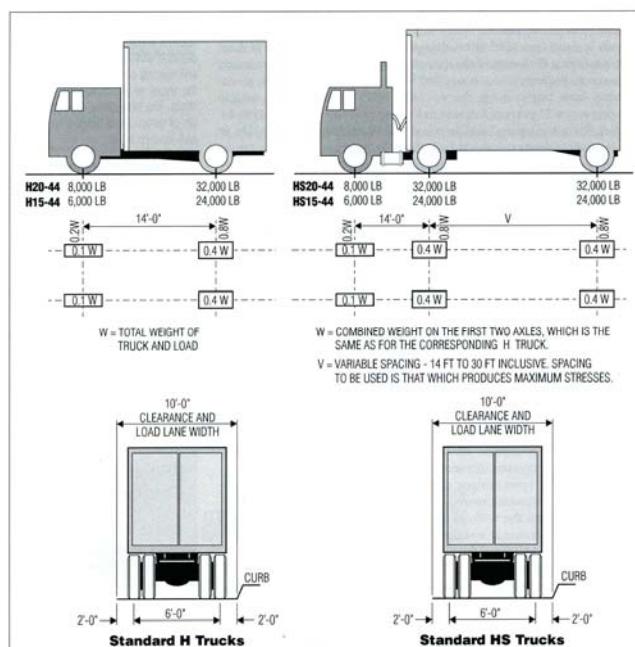


\mathbf{f}	คือ	Matrix ของแรงกระทำที่จุดต่อ
$[k]$	คือ	Stiffness matrix ของ Element
$\{d\}$	คือ	การกระจัดที่จุดต่อที่ยังไม่ทราบค่า และ
n	คือ	จำนวนของระดับความเสี่ยงของ element

6) น้ำหนักบรรทุก (Loads)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads) คือ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานอยู่ตลอดอายุการใช้งาน สำหรับโครงสร้างส่วนบนนั้น น้ำหนักบรรทุกคงที่จะรวมถึงน้ำหนักของพื้นสะพาน (Deck) ทางเท้า (Side Walks) รัวสะพาน (Railings) แผงบัง (Parapets) องค์ค่าคราลักและองค์ค่าครารอง (Primary and Secondary Members) Stiffeners ป้ายสัญลักษณ์และอุปกรณ์สาธารณูปการอื่นๆทั้งหมด (Signs and All The Utilities) ในກາປະເມີນສພາພຄວາມແຂງແຮງຂອງสะพานน้ำหนักบรรทุกคงที่จะถูกคำนวณโดยใช้การพิจารณาถึงเงื่อนไขข้อกำหนดจริงๆ ของสะพานที่ใช้เมื่อเวลาทำการวิเคราะห์สะพาน

น้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุก (Truck Loads) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการออกแบบสะพานโดยทั่วไปนั้นจะใช้มาตรฐานของ AASHTO ซึ่งได้พัฒนาข้อกำหนดของชุดน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน (Set of Standard Loading Conditions) สามารถนำไปใช้กับโครงสร้างสะพานทั่ว ๆ ไปดังแสดงในรูปที่ 9-6



รูปที่ 9-6 น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานชนิด H และ HS

7) การหาสมการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบ

สมการรวมของระบบโครงสร้างหาได้จาก การรวมสมการของแต่ละชิ้นส่วนในขั้นที่ 5 เข้าด้วยกัน โดยวิธี Superposition method หรือ Direct stiffness method โดยอาศัยหลักการสมดุลของแรงที่จุดต่อของชิ้นส่วนและความต่อเนื่องของโครงสร้าง สมการรวมของระบบโครงสร้างที่ได้รับ สามารถเขียนในรูปของเมตريกซ์ได้คือ

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (9.10)$$

- ซึ่ง $\{F\}$ คือ เมตริกซ์รวมของแรงที่จุดต่อ
 $[K]$ คือ Stiffness matrix รวมของระบบ และ
 $\{d\}$ คือ เมตริกซ์รวมของการ拘束ของการ拘束ที่อาจ trab ค่าบางค่า และบางตัวอาจไม่ trab ค่า

เนื่องจาก $[K]$ เป็น Singular matrix ซึ่งมี Determinant เท่ากับ 0 จึงไม่สามารถหาค่า $\{d\}$ โดยตรงได้ จึงต้องมีเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) หรือ เงื่อนไขบังคับ (Constraints) ที่เหมาะสมกับลักษณะของจุดรองรับจริง (Supports) และไม่เกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะ Rigid Body Motion ซึ่งทำให้ $[K]$ ไม่เป็น Singular Matrix และสามารถหาค่าการ拘束ที่แต่ละจุดต่อที่ต้องการได้

8) การหาการขัดของระบบ

หลังจากกำหนดเงื่อนไขขอบ หรือเงื่อนไขบังคับแล้วจะสามารถหาการขัด $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ ได้โดยการแก้สมการพีชคณิตพร้อมๆ กันคือ

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (9.11)$$

การหาการขัด $\{d\}$ อาจใช้ Gauss's Elimination Method หรือ Iteration Method หรืออาจหาจากการคูณด้วย $[K]^{-1}$ ตลอดโดย $[K]$ จะต้องไม่เป็น Singular Matrix

9) การหาค่าความเครียดและความเด่น

ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกล นอกจากต้องการทราบการขัดแล้วยังต้องการทราบค่าของความเครียด, ความเด่น หรือค่าของโมเมนต์ และแรงเฉือน ค่าต่างๆ เหล่านี้สามารถคำนวณหาได้โดยใช้ความรู้พื้นฐานทางกลศาสตร์ของแข็ง อาทิ เช่น ปัญหาเมติกีเดียว ถ้าทราบค่าการขัด d ก็สามารถหาความเครียดจาก $\epsilon_n = du/dx$ และหากความเด่นจาก $\sigma_x = E\epsilon_x$

10) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนท์เอกลีเมนต์

เนื่องจากการจำลองโครงสร้างสะพานด้วยวิธีไฟไนท์เอกลีเมนต์ จะยึดเอาชนิดของโครงสร้างสะพาน มิติของชิ้นส่วนของสะพาน ลักษณะของฐานรากรองรับ ตลอดจนรายละเอียดของรอยเชื่อม จากข้อมูลตามที่ระบุเบื้องต้นไว้ในแบบก่อสร้าง คุณสมบัติสมมุติของวัสดุ และจากข้อมูลการสำรวจด้วยตาเป็นหลัก ซึ่งแบบจำลองที่ได้นั้นจะมีความถูกต้องในระดับเบื้องต้นเท่านั้น

เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องตามสภาพความเป็นจริงของสะพาน จะต้องนำเอาข้อมูลผลการตรวจสอบสะพานมาเปรียบและปรับแต่งแบบจำลอง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ค่าคุณสมบัติทางกลจริงของวัสดุ และการเปรียบเทียบค่าการเสียรูปภายใต้หนักบรุกจะช่วยให้แบบจำลองไฟไนท์เอกลีเมนต์ และค่าการเสียรูปของโครงสร้างจริงซึ่งได้จาก



การทดสอบการรับน้ำหนักของรถบรรทุกที่ทราบค่า เพื่อให้โครงสร้างของแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์มีพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกสอดคล้องกับพฤติกรรมการเดียวกันของสะพานที่เกิดขึ้นจริง

9.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างเบื้องต้นของสะพานด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ จะประกอบด้วย ขั้นตอนต่อไปนี้

1. การเลือกใช้ชนิดของ Element ให้เหมาะสมกับสะพานที่ทำการวิเคราะห์

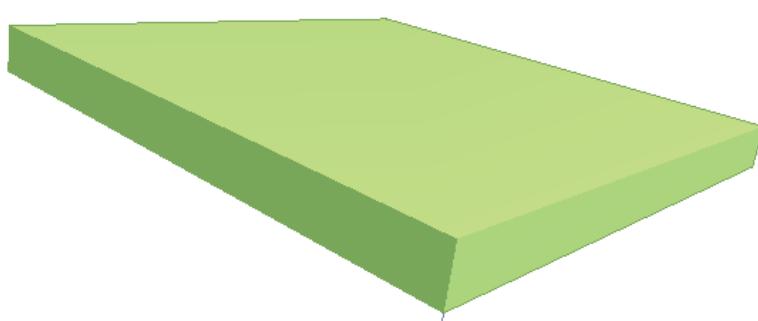
การเลือกใช้ชนิดของ Element นั้นจะต้องเลือกชนิดของ Element ให้เหมาะสมกับลักษณะของโครงสร้างจริงที่จะทำการวิเคราะห์ โดยที่ชนิดของ Element จะต้องมีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด เช่น อาจจะใช้ Frame Element แทน Girder ของสะพาน และอาจใช้ Plate Element หรือ Shell Element แทนพื้นสะพาน (Slab)



รูปที่ 9-7 ตัวอย่างแบบจำลอง

Column Element

รูปที่ 9-8 ตัวอย่างแบบจำลอง Beam Element



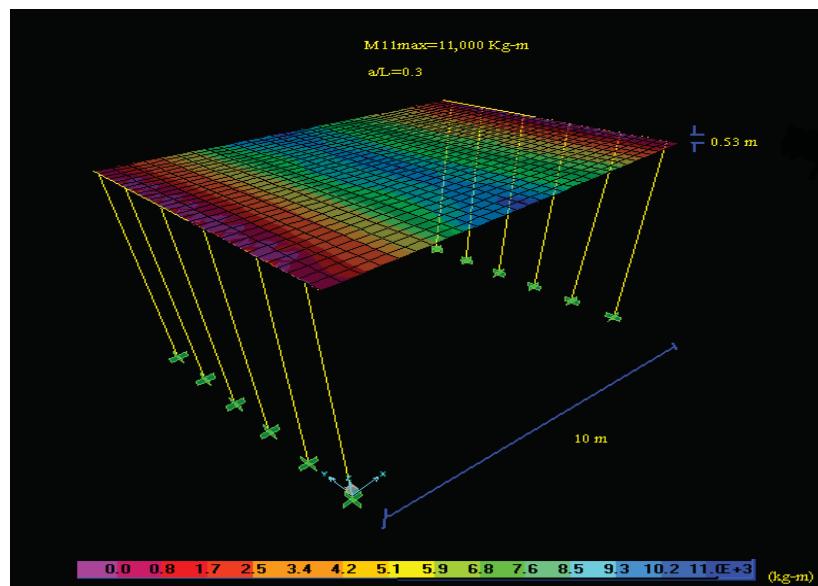
รูปที่ 9-9 ตัวอย่างแบบจำลอง Shell Element เพื่อจำลองพื้นสะพาน

2. แบ่งโครงสร้างสะพานเป็น Element ย่อย ๆ (Discretization)

การแบ่งโครงสร้างสะพานจริงให้ออกเป็นหลาย ๆ Element ย่อย โดยแต่ละ Element จะต้องติดกับ Node ของ Element ข้างเคียง และจะต้องคำนึงถึงรูปทรงลักษณะของโครงสร้างเดิมให้มากที่สุด กล่าวคือแบบจำลอง Finite Element จะต้องมีลักษณะเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมมากที่สุด เช่น บริเวณที่มีส่วนเว้า ส่วนโค้ง หรือมีรู หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างชบพลันก็จำเป็นต้องแทนที่ด้วย Element ขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้การวิเคราะห์นั้นถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักก็อาจแทนด้วย Element ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

3. กำหนดสภาพฐานรองรับน้ำหนัก (Support Condition)

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบ จะต้องกำหนดสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามที่ได้สำรวจพบ เช่นฐานรองรับแบบ Hinge จะหมุนได้แต่เคลื่อนที่ไม่ได้ ฐานรองแบบ Roller จะเคลื่อนที่ได้เฉพาะแนวอน ฐานรองแบบ Fix ที่ไม่อนุญาตให้มีการหมุนและเคลื่อนที่ เป็นต้น อย่างไรก็ตามสภาพของฐานรองอาจจะมีพฤติกรรมกึ่ง ๆ ระหว่างฐานรองที่ได้ถ่วงมากทั้ง 3 ลักษณะ ดังนั้นผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องมีวิจารณญาณในการเลือกแบบที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 9-10 ตัวอย่างแสดงลักษณะฐานรองรับและโครงสร้างของแบบจำลองของสะพาน

4. กำหนดขนาดน้ำหนักบรรทุก (Loads) ซึ่งประกอบด้วย

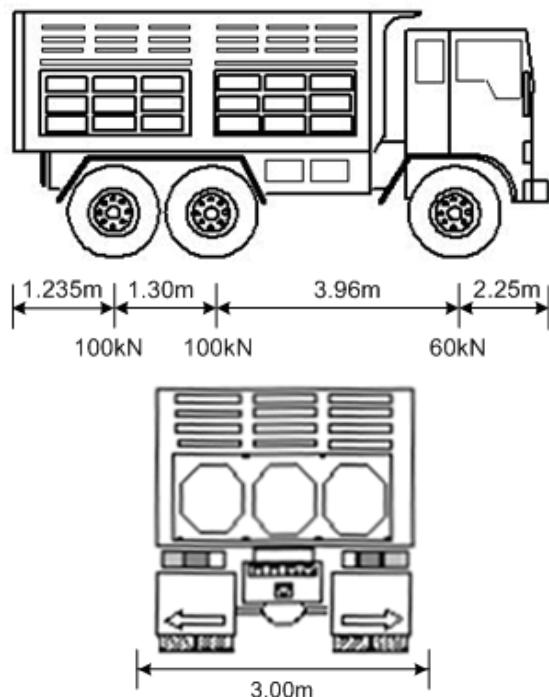
1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads – Bridge Self Weight)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads) คือ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานอยู่ตลอดอายุการใช้งาน เช่น น้ำหนักของโครงสร้างสะพาน ตลอดจนอุปกรณ์สาธารณูปการอื่น ๆ ทั้งหมด (All the Utilities)

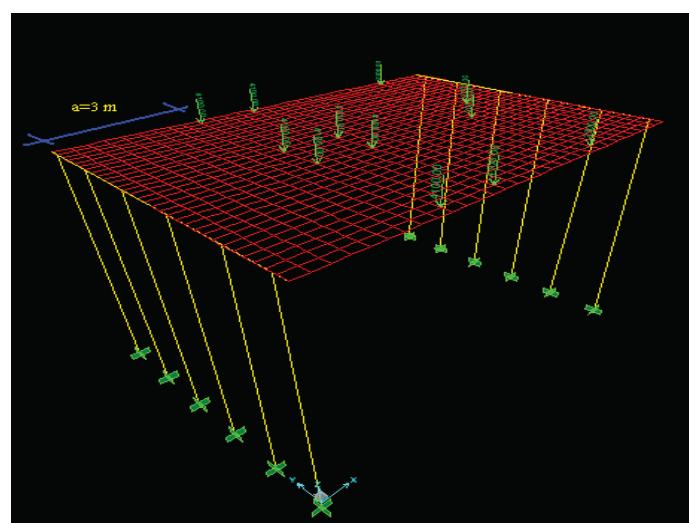
2) น้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะ (Live Loads – Vehicle Loading)



สำหรับน้ำหนักบรรทุกจักรที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อคำนวนหาค่าการตอบสนองต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้น จะใช้รถบรรทุกไทยหนัก 26 ตัน ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง (ดังแสดงในรูปที่ 9.11) วิ่งบนแบบจำลองตลอดความยาวของโครงสร้างสะพาน คือ



รูปที่ 9-11 รูปแบบน้ำหนักบรรทุกจักรของรถบรรทุกสิบล้อไทยหนัก 26 ตันตามมาตรฐานของกรมทางหลวง



รูปที่ 9-12 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างสะพานรับน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO

5. ทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธี Static และ Dynamic เพื่อหาค่าตอบสนองของโครงสร้าง

ในการจำลองโครงสร้างสะพานเบื้องต้นนี้จะใช้คุณสมบัติของหน้าตัดในแต่ละชิ้นส่วนของสะพานที่มีอยู่ตามแบบก่อสร้างและข้อมูลทางกายภาพของสะพานเท่าที่มีอยู่ แล้วใช้วิธี Static และ Dynamic คำนวนหาค่าการตอบสนองของโครงสร้าง ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดชิ้นส่วนและตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องวัดการ 移位 (Displacement Transducer) ความเครียด (Strain Gage) และความเร่ง (Accelerometer) ต่อไป

ตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

1. คอนกรีต (Concrete)

- Isotropic material		
- Weight per Unit Volume	=	2400 kg/m ³
- Modulus of Elasticity	=	2.80 E+09 kg/m ²
- Poisson's Ratio	=	0.2
- Shear Modulus	=	9.83 E+08 kg/m ²

2. เหล็ก (Steel)

- Isotropic material		
- Weight per Unit Volume	=	7850 kg/m ³
- Modulus of Elasticity	=	2.038 E+10 kg/m ²
- Poisson's Ratio	=	0.3
- Shear Modulus	=	8.08 E+09 kg/m ²

9.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เพื่อให้แบบจำลองโครงสร้างมีพฤติกรรมสอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างจริง จึงมีการเปรียบเทียบค่าของแบบจำลองโครงสร้างกับค่าได้จากการทดสอบ Load Test ดังต่อไปนี้

- 1) การเปรียบเทียบผลของโครงสร้างสะพานหลัก (Main Span)
- 2) การเปรียบเทียบผลของโครงสร้างสะพานหลัก (Approach Span)
- 3) ใหมดการสั่นไหวของโครงสร้าง

9.7 การปรับแต่งแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

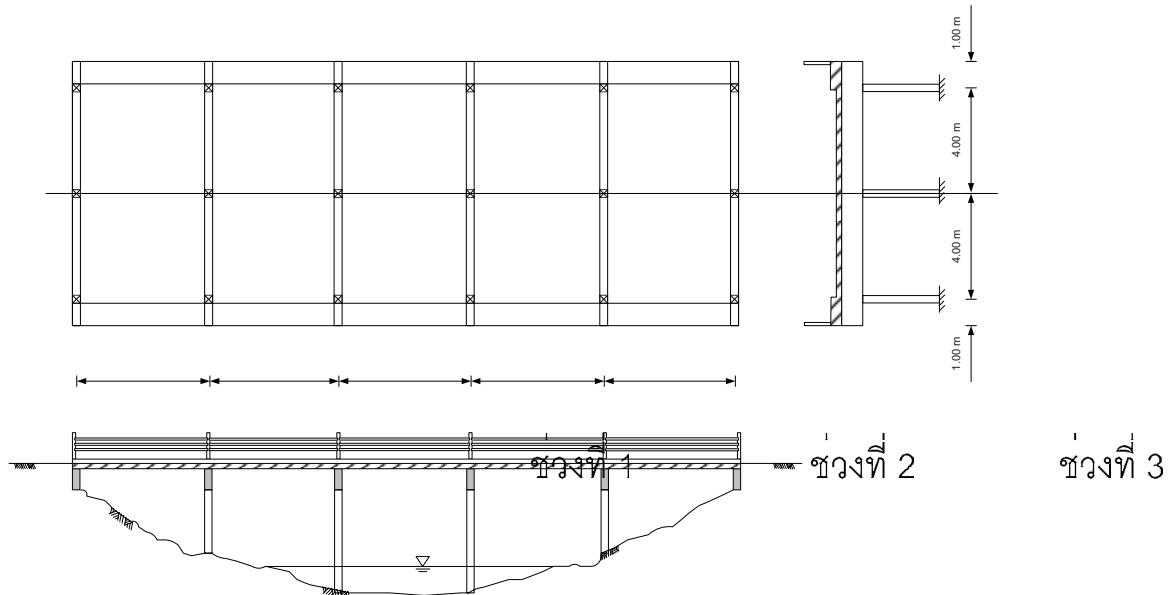
เพื่อให้แบบจำลองมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกสอดคล้องกับพฤติกรรมจริงของสะพาน จะต้องนำเอาข้อมูลผลการตรวจสอบสะพานมาปรับแต่งแบบจำลอง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ปริมาณการสูญเสียหน้าตัดเนื่องจากความชำรุดเสียหาย ค่าคุณสมบัติทางกลจริงของวัสดุ และการเปรียบเทียบค่าพฤติกรรมต่างๆ ภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร ะหร่วงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าที่วัดได้จากโครงสร้างจริงซึ่งได้จากการทดสอบการรับน้ำหนัก (Load Test) เพื่อให้โครงสร้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีการเสียรูปของสะพานใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริงให้มากที่สุด

9.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์สะพานด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

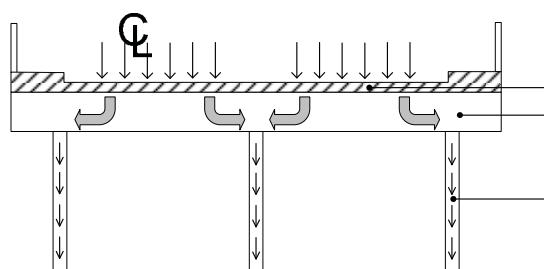
ลักษณะของโครงสร้างสะพานทางหลวงที่จะวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 9-13 เป็นโครงสร้างประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก ประกอบด้วยส่วนพื้นสะพานวางต่อกันเป็นช่วงๆ โดยพื้นสะพานจะมีลักษณะเป็นแผ่นพอนกรีตเสริม



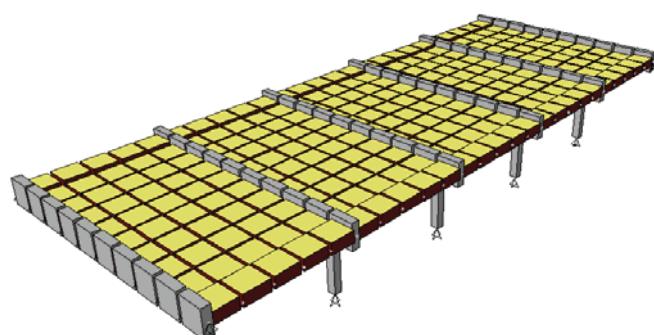
เหล็กหล่อในที่ต่อเนื่องกันตั้งแต่ช่วงที่ 1-4 และในส่วนที่ 5 จะมีลักษณะเป็นแผ่นพื้นไม่ต่อเนื่องของบานคน 2 ด้านซึ่งแผ่นพื้นทั้งหมดจะรับน้ำหนักจากการจราจรแล้วถ่ายลงสู่คานขวาง จากนั้นจึงถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาและฐานรากต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 9-14



รูปที่ 9-13 แบบแปลนทั่วไปของสะพานทางหลวง



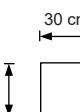
รูปที่ 9-14 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน
5.00 m 5.00 m 5.00 m



รูปที่ 9-15 ลักษณะการแบ่งชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน

รูปที่ 9-15 แสดงลักษณะการแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยแบ่งเลือกใช้ประเภทของชิ้นส่วนเป็น Frame Element และ Shell Element ดังนี้

ตารางที่ 9-1 คุณสมบัติของชิ้นส่วนชนิด Frame Element

ชิ้นส่วน	ขนาดหน้าตัด (cm)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	Moment of Inertia (cm^4)	
			Major	Minor
คาน		2,100	857,500	157,500
เสา		900	67,500	67,500

- Frame Element

ใช้สำหรับจำลองโครงสร้างในส่วนคานและเสา โดยมีคุณสมบัติของหน้าตัด (Section properties) ดังแสดงในตารางที่ 9-1 แบบจำลองนี้สร้างขึ้นให้วิเคราะห์หาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบริบทโดยรวม (Overall Behavior) ของโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งหน้าตัดที่เกิด Bending Moment สูงสุด

- Shell Element

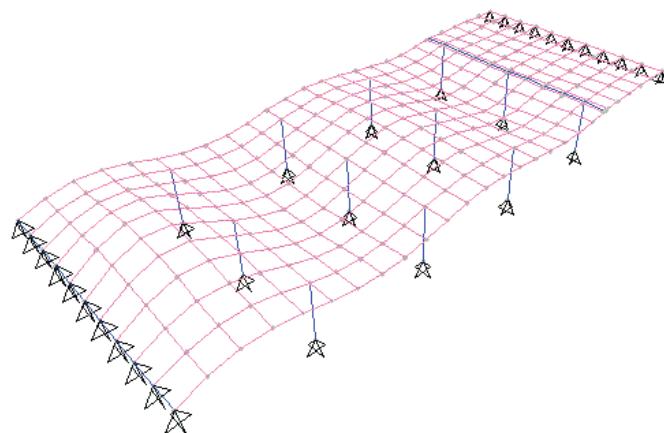
เป็นแบบจำลองที่สร้างโดยใช้ Shell Element สำหรับโครงสร้างส่วนพื้นสะพาน ซึ่งทำขึ้นเพื่อรับน้ำหนักกระทำจากแบบจำลองรถบรรทุก และถ่ายแรงที่เกิดขึ้นลงสู่คาน (Frame Element) ในบริเวณจุดต่อ (Node) โดย Shell Element ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นพื้นสะพานจะมีความหนา 22 ซม. (ไม่ว่ามีความหนาของผิวทางแอสฟัลต์ซึ่งไม่ใช่ส่วนโครงสร้างที่รับแรง) เท่ากันตลอด และจะหนาเท่ากับ 45 ซม. ในบริเวณที่เป็นทางเดินเท้าด้านข้าง

โดยข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง จะกำหนดให้เป็นวัสดุประเภทคอนกรีตทั้งหมด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

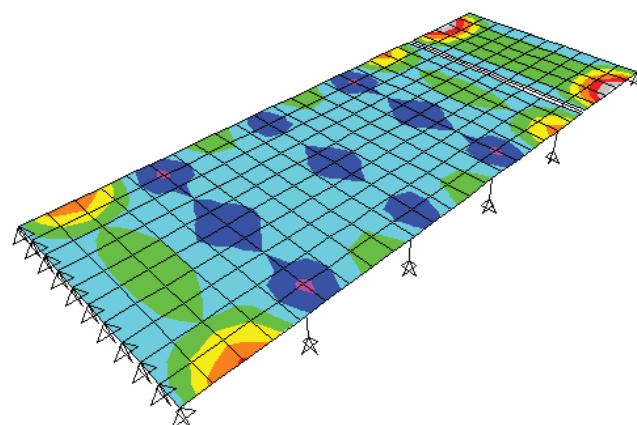
- วัสดุประเภท Isotropic Material

- น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร	=	2,400	30 cm	kg/m ³
- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น	=	2.40E+09		kg/m ²
- อัตราส่วนปัวของ	=	0.2		
- สมบัติทรีกการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ	=	9.9e-06		$\text{E}/^\circ\text{C}$
- Shear Modulus	=	3.91E+09		kg/m ²

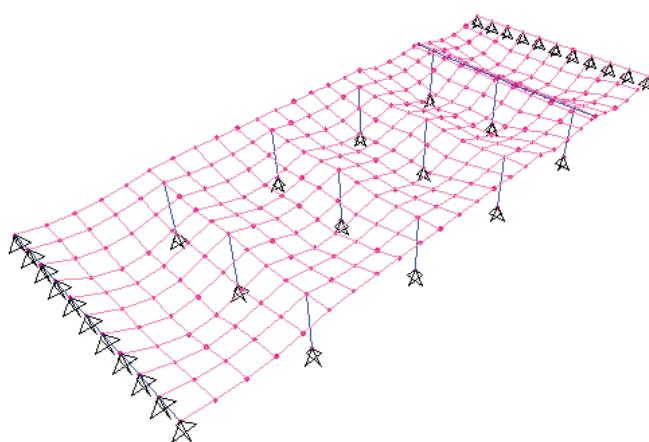
การตรวจสอบคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลองโครงสร้างเบื้องต้น สามารถแสดงได้ด้วยค่าความเค้น ความถี่ และ荷ะของการสั่นไหวของแบบจำลองโครงสร้าง ดังต่อไปนี้



รูปที่ 9-16 ค่าความถี่ธรรมชาติรูปแบบการดัด (Bending Mode =23.3Hz) ของโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 9-17 ค่าความเค้นต์ดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพื้นสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่



รูปที่ 9-18 การเดียรูป ของโครงสร้างสะพานอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกจักร Thai Truck 26 ton

บทที่ 10

การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง

10.1 หลักการของการประเมินความแข็งแรง

งานออกแบบสะพานเป็นงานที่ต้องการความเอาใจใส่ดูแลจากวิชาชีพวิศวกรรมศาสตร์เป็นอย่างมาก โดยการออกแบบต่างๆ จะต้องอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ (Analytical Techniques) ใหม่ๆ และข้อกำหนดความต้องการต่างๆ เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยของโครงสร้างเหล่านั้นตามแบบที่ได้รับการออกแบบมา ส่งผลให้กรรมทางหลวงได้มีความรับผิดชอบและภารกิจใหม่ๆ ที่ท้าทายมากขึ้น อย่างไรก็ตาม กรมทางหลวงก็ยังคงมีความรับผิดชอบยิ่งกว่า ใน การ ดำเนินการให้ซึ่งความปลอดภัยของโครงสร้างเหล่านี้ และยิ่งไปกว่านั้นก็คือ สะพานต่างๆ นั้น ต่างก็ได้ถูกใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลาหลายปี

มีสะพานต่างๆ ที่สร้างมาเป็นระยะเวลามาก่อนแล้ว อุปกรณ์ที่ต่างๆ ทั่วประเทศ และมีความจำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาที่ดีและเหมาะสม ถ้าจะมีการสร้างสะพานขึ้นมาทดแทน ก็จะมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ฉะนั้น การบำรุงรักษาที่เหมาะสมและการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพานเหล่านี้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

การประเมิน (Rating) ของสะพานต่างๆ ดังกล่าวนั้น จะเป็นการปฏิบัติงานผสานกันระหว่างการตรวจสะพานภาคสนาม (Field Inspection) และการศึกษาวิเคราะห์ (Analytical Study) โดยในประเทศไทยมีวิธีการนับ คู่มือจาก AASHTO ทั้งในเรื่องของการตรวจสอบสะพานและการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพาน โดยจะมีวิธีการประเมินสะพานโดยใช้ปัจจัยของน้ำหนักบรรทุกและแรงต้านทาน (Loading and Resistance Factors) วิธีการใหม่ๆ จะทำให้สามารถนำทฤษฎีความน่าจะเป็นและข้อมูลทางสถิติ รวมทั้งการพิจารณาเชิงวิศวกรรม เข้าไปใช้ประกอบการตัดสินใจอย่างสมเหตุสมผล คู่มือต่างๆ เหล่านี้จะให้แนวทางในการตรวจสอบสะพาน การจัดเก็บข้อมูลของสะพาน การประเมินสภาพความแข็งแรงทบทวนของสะพาน และข้อกำหนดต่างๆ (Specification) สำหรับการตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนัก (Capacities)

ในช่วงต่อไปจะเป็นการสาธิตการนำแนวทางต่างๆ มาใช้ในการประเมินสภาพสะพานหลายแบบ โดยจะอ้างอิงจากการกำหนดต่างๆ จากคู่มือการตรวจสอบเพื่อกำรบำรุงรักษาสะพาน (Manual for Maintenance Inspection of Bridges) ของ AASHTO และใช้ข้อกำหนดนี้ในการคำนวณหาค่าแรงต่างๆ ที่ยอมให้ เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพาน ซึ่งจะต้องพิจารณาอายุของสะพานด้วยเช่นกัน ในการประเมินสภาพสะพานใน



ระดับการใช้งานปลดภัย (Inventory Level) มักจะใช้ค่าแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ที่ใช้ในการออกแบบ หรือค่าแรงที่ AASHTO แนะนำไว้ในขณะที่ทำการก่อสร้าง

การประเมินขณะที่ทำการก่อสร้างนี้จะมีอยู่ 2 ระดับ ที่ AASHTO ได้กำหนดไว้ในปัจจุบัน คือ

1. น้ำหนักบรรทุกกระดับบน (Upper Load Level Capacity Rating) หรือที่เรียกว่า Operating Rating ซึ่งจะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Permissible Load) ที่โครงสร้างสามารถรับได้
2. น้ำหนักบรรทุกกระดับล่าง (Lower Load Level Capacity Rating) หรือที่เรียกว่า Inventory Rating ซึ่งจะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกปลดภัย (Safe Load) ที่โครงสร้างสามารถรับได้ตลอดอายุการใช้งาน

หรือกล่าวแบบง่ายๆ Inventory Rating คือ น้ำหนักที่ทำให้เกิดแรงในชิ้นส่วนวิกฤตของสะพาน (Critical Bridge Element) เท่ากับ 0.55 เท่าของค่าแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ที่ใช้ในการออกแบบที่ ส่วน Operating Rating นั้นคือค่าน้ำหนักสูงสุด (Maximum Load) ที่สะพานจะสามารถรับได้เป็นครั้งคราว ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ และแรงที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.75 เท่าของค่าดังกล่าว

ในการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพาน หรือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานนี้ วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ การใช้ Rating Factor โดยทั่วไปแล้ว Rating Factor ของคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีรายละเอียดดังนี้

1. Inventory Level

$$RF_{(inv)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(5/3)(M_{LL+I})} \quad (10.1)$$

2. Operating Level

$$RF_{(opr)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(M_{LL+I})} \quad (10.2)$$

โดยที่

RF = Rating Factor

M_u = Ultimate Moment Capacity

M_{DL} = Moment Created by Dead Load

M_{LL+I} = Moment Created by Rating Vehicle Load + Impact (เช่น รถบรรทุกแบบ HS20)

โดยปกติแล้วรถบรรทุกที่ใช้ประเมินความแข็งแรง (Rating Vehicle) จะเป็นรถบรรทุกแบบ HS20 ซึ่งเป็นไปตามที่ AASHTO กำหนดไว้ รถบรรทุกจะถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งที่จะได้ค่าโมเมนต์สูงสุดและมีค่าเพิ่มขึ้นโดยใช้ Impact Factor สำหรับสะพาน และสามารถคำนวณค่า M_{LL+I} ได้ มีข้อพึงสังเกตว่า คำว่า "HS" และ "H" เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ (Design Loading) และไม่ใช่ตัวแทนรถบรรทุกต่างๆ เช่น อิฐ ค่า Design Loading ในแต่ละกรณีจะถูกเปลี่ยนให้เป็น Lane Loading ณ ความยาวที่ต่างๆ ของสะพาน เช่นเดียวกันกับขั้นตอนในการออกแบบ

ในหนังสือคู่มือ “แนวทางและข้อกำหนดสำหรับ การประเมินความแข็งแรงของสะพาน” ของ AASHTO ได้ใช้ สมการต่อไปนี้ในการประเมินความแข็งแรง

$$\phi_L Rn = \mu_d D + \mu_L (RF) L(1+I) \quad (10.3)$$

หรือ

$$RF = \frac{\phi_L Rn - \mu_D D}{\mu_L L(1+I)} \quad (10.4)$$

โดยที่

I = Impact Factor เพื่อเพิ่มขนาด น้ำหนักบรรทุกที่อยู่กับที่ โดยขึ้นอยู่กับการขยายค่าทาง จลศากสตร์ (Dynamic Amplification)

L = Nominal Live Load Effect

D = Nominal Dead Load Effect

RF = Rating Factor

Rn = Nominal Strength หรือ Resistance

μ_d = Dead Load Factor

μ_L = Live Load Factor

Φ_L = Resistance Factor (Capacity Reduction)

แม้ว่าสมการนี้มีความคล้ายคลึงกับสมการสำหรับประเมินความแข็งแรงของสะพานคอนกรีตที่ให้มาก่อนหน้านี้ แต่ก็มีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ Impact Factor (**I**) เข้ามาในสมการ จะขึ้นอยู่กับ สภาพของผังการจราจรมากกว่าความยาว ช่วงสะพาน ค่าของ Impact Factor ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 10-2

โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว Dead Load Factor (μ_d) มีค่า เท่ากับ 1.2 เมื่อทราบค่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และจะมีค่า เท่ากับ 1.4 ถ้าใช้ค่าความหนาของผิวการจราจรที่ปูทับหน้า (Overlay) ส่วนค่า Line Load Factor นั้น เป็นสมการของ ปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยของรถบรรทุกในแต่ละวัน (Average Daily Truck Traffic – ADTT) และจะมีค่าระหว่าง 1.3 (สำหรับ ADTT ที่มีค่าน้อย ADTT<1000 โดยอยู่ในการควบคุมน้ำหนักได้) จนถึง ค่าเท่ากับ 1.8 สำหรับที่มีค่ามาก (ADTT>1000 โดยที่มีการบรรทุกน้ำหนักมากและไม่มีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ)

ค่า Resistance Factor (Φ_L) เป็นสมการของสภาพของโครงสร้างส่วนบน (Superstructure Redundancy) ประเภทของการตรวจสอบ (โดยคร่าวๆ หรือโดยละเอียด) การบำรุงรักษา (เป็นประจำหรือเป็นครั้งคราว) และประเภทของ โครงสร้าง (เหล็ก คอนกรีตอัดแรง หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก)

ค่า Factor นี้ มีค่าตั้งแต่ 0.55 ถึง 0.95 โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 10-3 นอกจากนี้ยัง มีตารางสำหรับการกำหนดค่าต่างๆ อีก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 10-4 10-5 และ 10-6



ตารางที่ 10-1 Live Load Moment Values on Longitudinal Stringers or Girders (Foot-Kips)

Span	Type of Loading				
	HS-20	H-15	3	3-S2	3-3
5	20.0	15.0	10.6	9.7	10.0
6	24.0	18.0	12.8	11.6	12.0
7	28.0	21.0	15.0	13.6	14.0
8	32.0	24.0	19.0	17.4	16.0
9	36.0	27.0	23.1	21.1	19.0
10	40.0	30.0	27.2	24.8	22.4
11	44.0	33.0	31.3	28.5	25.8
12	48.0	36.0	35.4	32.2	29.1
13	52.0	39.0	39.4	36.0	32.5
14	56.0	42.0	43.5	39.7	35.8
15	60.0	45.0	47.6	43.4	39.2
16	64.0	48.0	51.7	47.1	42.6
17	68.0	51.0	55.8	50.8	45.9
18	72.0	54.0	59.8	54.6	49.3
19	76.0	57.0	63.9	58.3	52.6
20	80.0	60.0	68.0	62.0	56.0
21	84.0	63.0	72.2	65.9	59.5
22	88.0	66.0	76.5	69.8	63.0
23	92.0	69.0	80.7	74.9	66.5
24	96.0	72.0	85.0	80.0	70.0
25	103.7	75.0	89.3	85.1	73.5
26	111.1	78.0	93.5	90.2	77.0
27	118.5	81.3	97.7	95.4	80.5
28	126.0	85.1	102.0	100.5	84.0
29	133.5	88.8	106.2	105.6	87.5
30	141.1	92.5	111.6	110.7	91.0
32	156.3	99.8	123.6	121.0	101.0
34	171.8	107.4	135.6	131.2	111.5
36	189.5	114.8	148.0	141.5	122.1
38	207.2	122.3	160.5	151.7	132.6
40	224.9	129.7	173.0	162.0	143.2
42	242.7	137.2	185.5	172.2	153.8
44	260.5	144.7	198.0	182.5	164.3
46	278.3	152.1	210.5	192.7	175.0
48	296.1	159.6	223.0	203.0	186.0
50	314.0	167.1	235.5	219.6	197.0
52	331.8	174.6	248.0	236.9	214.0
54	349.7	182.0	260.5	254.2	231.0
56	276.6	189.5*	273.0	271.4	248.0

ตารางที่ 10-2 Impact Allowances Based on Condition of Wearing Surface

Condition of Wearing Surface	Impact Effect
1- สภาพดี ไม่ต้องการซ่อมแซมใดๆ	0.1
2- สภาพพอใช้ มีความเสียหายเล็กน้อย ยังใช้งานได้ตามปกติ	0.1
3- สภาพทรุดโทรม มีความเสียหายค่อนข้างมาก ต้องการซ่อมแซม	0.2
4- สภาพวิกฤต ไม่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้	0.3

ตารางที่ 10-3 Resistance Factors (Capacity Reduction Factors)

Superstructure condition	Redundancy		Inspection		Maintenance		Steel P/S concrete	Reinforced Concrete
	Yes	No	Careful	Estimated	Vigorous	Intermittent		
Good or Fair	X		X		X		0.95	0.95
	X		X			X	0.90	0.85
	X			X	X		0.95	0.95
	X			X		X	0.90	0.85
Deteriorated		X	X		X		0.85	0.80
		X	X			X	0.75	0.70
		X		X	X		0.85	0.80
		X		X		X	0.75	0.70
Heavily Deteriorated	X		X		X		0.95	0.90
	X		X			X	0.85	0.80
	X			X	X		0.90	0.85
	X			X		X	0.80	0.75
Severely Deteriorated		X	X		X		0.80	0.80
		X	X			X	0.70	0.70
		X		X	X		0.75	0.75
		X		X		X	0.65	0.65

The determination of resistance factors (capacity reduction factors) depends on the judgment of the engineer supplemented by any additional information available. Verbal guidelines are in the reference publication.
Adapted from AASHTO Guide Specification [2].

ตารางที่ 10-4 Correction Factors สำหรับการวิเคราะห์

Distribution of loads	Steel	Correction factor P/concrete	R/concrete
1. AASHTO distribution	1.00	1.00	1.00
2. Tabulated analysis with simplifying assumptions	1.10	1.05	0.95
3. Sophisticated analysis—finite element, etc.	1.07	1.03	0.90
4. Field measurements	1.03	1.01	0.90

Actual girder distribution shall be multiplied by the appropriate correction factors to obtain the girder distribution for rating.

Correction factors are applied if average or expected values are used for the distribution factor from analysis or measurements. The correction factor shall be used to increase the load factor taken from Table 11.4.

Adapted from AASHTO Guide Specifications [2].



ตารางที่ 10-5 Load Factors

Loading	Load Factor
Dead Load	$\mu_D = 1.2$
Allow an additional allowance of 20 percent on overlay thickness if nominal thicknesses are used. No allowances needed when measurements are made for thickness.	

Live Load Category

1. Low volume roadways (ADTT less than 1000) with reasonable enforcement and apparent control of overloads. $\mu_L = 1.30$
2. Heavy volume roadways (ADTT greater than 1000) with reasonable enforcement and apparent control of overloads. $\mu_L = 1.45$
3. Low volume roadways (ADTT less than 1000) with significant sources of overloads without effective enforcement. $\mu_L = 1.65$
4. Heavy volume roadways (ADTT greater than 1000) with significant sources of overloads without effective enforcement. $\mu_L = 1.80$

ตารางที่ 10-6 Reduction Factors สำหรับ Live Loads

ฉบับนี้ แนวทางของใหม่เหล่านี้ได้มีความพยายามที่จะรวม Factors ต่างๆ เช่น สภาพของสะพาน การบังคับใช้กฎหมาย การนำร่องรักษา ประเภทของการตรวจสอบ และการตัดสินใจในการใช้ Factor สำหรับการประเมินความแข็งแรงของสะพาน ในขณะที่การกำหนด Rating Factor ก่อนหน้านี้ จะเป็นการแปรผันกับสมการต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

แนวทางทั่วไปในการคำนวณค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (Load Capacity) ของสะพาน มีดังต่อไปนี้

1. Total Load Capacity สำหรับสะพานจะถูกคำนวณได้โดยการใช้ คุณสมบัติของหน้าตัด (Cross-Sectional Properties) และ ระดับ Stress–Rating ที่เหมาะสม
2. น้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างจะถูกคำนวณได้
3. Line Load Capacity ที่มีอยู่นั้น จะถูกคำนวณมาได้โดยใช้ความแตกต่างระหว่าง Total Load Capacity และ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load)

4. Line Load Capacity ของโครงสร้างที่ต้องการจะถูกคำนวณได้ โดยใช้ระบบราชบุกพระกา HS 20
5. ค่าอัตราส่วนของ Line Load Capacity ที่มีอยู่และ Line Load Capacity ที่มีอยู่ของระบบราชบุก มาตรฐานที่ใช้ออกแบบ จะให้ค่าที่สอดคล้อง กับ Capacity Rating ของโครงสร้าง

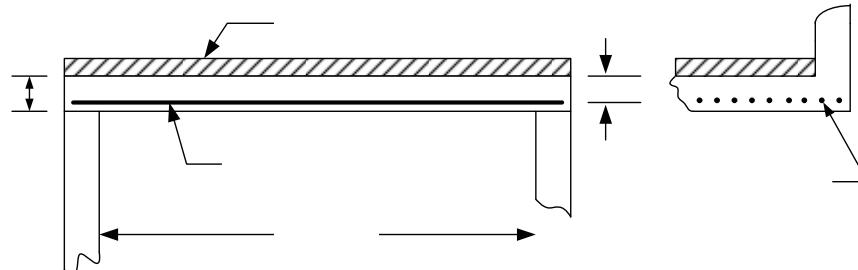
ข้อมูลข้างต้นคือสำหรับการตรวจสอบเพื่อการบำรุงรักษาสะพาน ของ AASHTO ได้กล่าวว่า ส่วนที่อยู่บนแอ๊มมากกว่า ของสะพานส่วนใหญ่ ก็คือ Superstructure ไม่ใช่ Pier หรือ Abutment ด้วยเหตุนี้เอง Capacity ของสะพานจึงถูกคำนวณจากการวิเคราะห์ Superstructure เว้นแต่ว่าจะมีรายงานผลการตรวจสอบแบบของโครงสร้างที่ผิดปกติ ซึ่งได้ยืนยันผลการวิเคราะห์ของ Substructure โดยปกติแล้ว Capacity Rating Analysis นี้ จะรวมถึงพื้นสะพาน (Deck) คานชอย (Stringer) คานพื้น (Floor Beams) โครง Truss หรือ Girder โดยจะขึ้นอยู่กับประเภทของสะพาน ตัวอย่างในข้อ 10.2 จะแสดงถึงการประเมินสภาพความแข็งแรงในชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน

10.2 ตัวอย่างการประเมินสภาพของชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน

10.2.1 Concrete Slab Capacity Rating

พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต (Concrete Deck) หรือ (Concrete Slab) ซึ่งถูกรองรับแบบ Simple ที่ต้องการวิเคราะห์ เพื่อหา Capacity เช่นกัน วิธีการวิเคราะห์เพื่อหา Inventory และ Operating Capacity Ratings) แสดงไว้ในตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 แผ่นพื้นคอนกรีต (Concrete Slab)



รูปที่ 10-1 Concrete Slab Data

Clear Span = 4.7 m.

ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของ Bearing = 5.0 m.

Concrete Strength, f'_c = 210 ksc (3000 lb/in²)

เหล็ก Grade 40, f_y = 2,800 ksc (40,000 lb/in²)

Depth of Slab, D = 30 cm.



ขั้นตอนที่ 1: Capacity ของ Slab ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง เป็นพืด

เหล็กขนาด DB25 1 เส้น มีพื้นที่ 4.91 ตร.ซม (0.79 ตร.นิ้ว) และแผ่นคอนกรีต ซึ่งมีเหล็ก 7 เส้น ต่อความกว้าง 1.0 m. ดังนั้น พื้นที่ของเหล็กที่รับแรงดึง (A_s) ต่อความกว้าง 1.0 m. คือ

$$A_s = 7 \times 4.91 = 34.37 \text{ cm}^2/\text{m width}$$

ความสามารถในการรับแรงดึงทั้งหมด (Total tensile force capacity, T) คือ

$$T = A_s \times f_y = 34.37 \times 2,800 = 96,236 \text{ kg/m width}$$

$$a = \frac{T}{0.85 \times f'_c \times b}$$

โดยที่

b = ความกว้าง 1.0 m.

$$f'_c = 210 \text{ ksc}$$

$$a = \frac{96,236}{0.85(210)(100)} = 5.39 \text{ cm.}$$

Nominal Moment (M_n) และ Ultimate Moment (M_u)

$$M_n = (A_s f_y)(d - a / 2)$$

$$M_u = \phi M_n$$

โดยที่

$$\phi = 0.9 \text{ for Flexure}$$

$$M_u = 0.9(A_s f_y)(d - a / 2)$$

$$M_u = 0.9(96,236)(27 - 5.39 / 2)$$

$$M_u = 2,105,114.38 \text{ kg-cm} = 21,051.14 \text{ kg-m}$$

ขั้นตอนที่ 2: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load Moment)

$$\text{น้ำหนักคอนกรีต} = 0.3 (2,400) = 720 \text{ kg/m/m width}$$

$$\text{น้ำหนัก Asphalt} = 0.075 (2,300) = 172.5 \text{ kg/m/m width}$$

$$\text{น้ำหนักรวม} = 892.5 \text{ kg/m/m width}$$

$$M_{DL} = \frac{WL^2}{8} = \frac{892.5(5)^2}{8} = 2,789.06 \text{ kg-m/m width}$$

ขั้นตอนที่ 3: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกจր (Line Load Moment)

กำหนดจากโมเมนต์จากตารางที่ 10-1 รถบรรทุกแบบ HS20 ความยาวช่วง 5.0 เมตร (16 ฟุต)

$$M_{LL} = 8,846.80 \text{ kg-m/ wheel Line (64 k-ft/ wheel Line)}$$

ปรับเปลี่ยนค่า สำหรับ Impact

$$I = \frac{50}{L+125} \leq 30\% = \frac{50}{(3.28 \times 5) + 125}$$

$$= 0.35 \quad \text{ดังนั้น ใช้ค่า } 0.30$$

$$M_{LL+I} = M_{LL} \times 1.3$$

$$= 8,846.80 (1.3) = 11,500.84 \text{ kg-m / wheel Line}$$

ให้ปรับเปลี่ยนค่า ต่อ ระยะความกว้าง 1.0 เมตร สำหรับ Concrete Slab การกระจายน้ำหนักของเส้นแนวล้อ (Wheel Line Distribution) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยอ้างอิงกับ ข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสะพานของ AASHTO มีค่าเท่ากับ $4+0.06(3 \times \text{Span}) \leq 2.10$ เมตร ส่วน Span ที่ยาว 5.0 เมตร จะบ่งบอกถึง 1.50 เมตร Distribution สำหรับ 1 เส้นแนวของล้อ (Wheel Line)

$$M_{LL+I} = 11,500.84/1.5 = 7,667.23 \text{ kg-m / wheel Line}$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณ Rating Factors

$$RF_{(inv)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(5/3)(M_{LL+I})} = \frac{21,051.14 - 1.3(2,789.06)}{1.3(5/3)(7,667.23)} = 1.05$$

$$RF_{(opr)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(M_{LL+I})} = \frac{20,765.32 - 1.3(2789.06)}{1.3(7,667.23)} = 1.75$$

$$\text{หมายเหตุ } RF_{(opr)} = 5/3(RF_{(inv)})$$

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณ Inventory และ Operating Rating

$$\begin{aligned} \text{Inventory Rating} &= RF_{(inv)} (\text{HS20}) \\ &= (1.05) (\text{HS20}) \\ &= \text{HS21.0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Operating Rating} &= RF_{(opr)} (\text{HS20}) \\ &= (1.75) (\text{HS20}) \\ &= \text{HS35.0} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าประเมินสภาพความแข็งแรงของ Concrete Slab ของสะพานมีค่าดังนี้

$$\text{Inventory Rating} = \text{HS21.0}$$

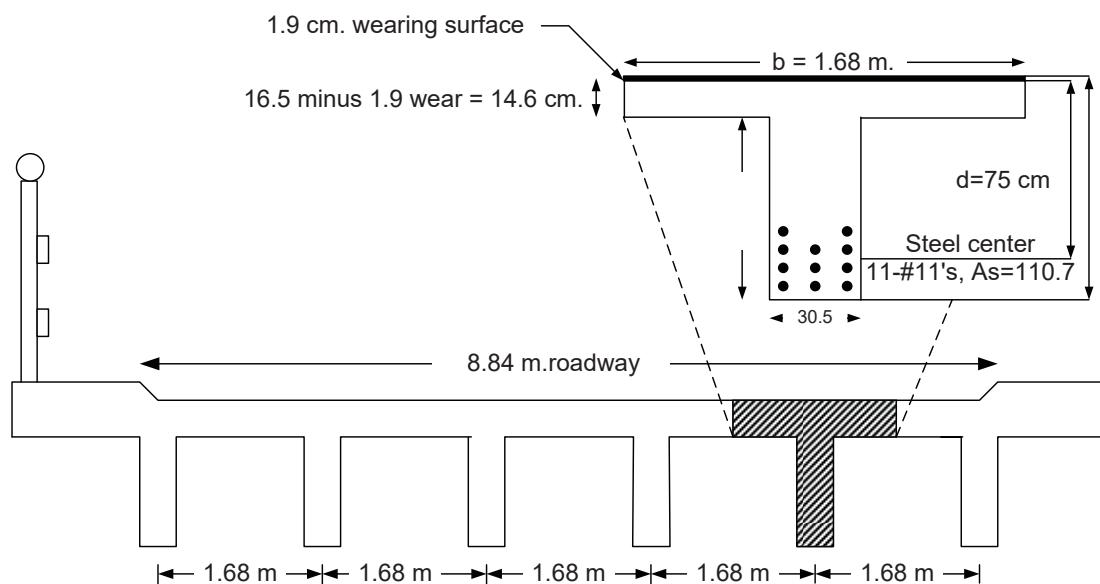
$$\text{Operating Rating} = \text{HS35.0}$$

ตัวอย่างที่ 2. คานคอนกรีตขนาดใหญ่ (Concrete Girders)

คานคอนกรีตขนาดใหญ่ของพื้นสะพาน (Concrete Deck Girders) รูป T-Beam มีความยาวช่วงของ Simple Span ทั้งหมด 15.25 เมตร โดยวัดจากจุดศูนย์กลางของ Bearing ระยะของเหล็กเสริมรับแรงดึงจากผังที่รับแรงอัด (d) มีค่า = 0.75 เมตร ความหนาของ Slab (ล่วนบนของ "T") เท่ากับ 16.5 เซนติเมตรโดยในนี้ 1.9 เซนติเมตร นั้นจะเป็นความ



หนาของพื้นผิวจราจร (Wearing Surface) ระยะห่างของ Girder = 1.68 เมตร โดยจากจุดศูนย์กลางของ Girder และมีความกว้างประสิทธิผล (Effective Width) ของ Slab เท่ากับ 1.68 เมตร ถนนกว้าง 88.4 เมตร กำลังของคอนกรีต เท่ากับ 210 กิโลกรัม ต่อ ตารางเซนติเมตร (3000 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว) และมีเหล็กเสริมเกรด 40 ขนาด # 11 จำนวน 11 เส้น รดที่ใช้ประเมินคือ รถบรรทุกขนาด HS20



รูปที่ 10-2 ข้อมูลของ Concrete Girder

Span c-c Bearings, $L = 15.25$ เมตร

Concrete Strength, $f'_c = 210$ ksc ($3,000$ lb/in 2)

Grade 40 Steel, $f_y = 2,800$ ksc ($40,000$ lb/in 2)

Steel: 11 Bars, A_s : $11 \times 10.06 = 110.7$ cm 2 per beam

Girder Spacing = 1.68 m.

Total Depth = 90 cm.

Effective Depth, d = 75 cm.

Slab Thickness = 16.5 cm.

Stem Width = 30.5 cm.

Stem Depth = 75 cm.

Wearing Surface = 1.9 cm.

Effective Thickness of Slab: $16.5 - 1.9 = 14.6$ cm.

Unit Weight of R/C Concrete = 2,400 kg/m 3 (150 lb/ft 3)

Rating Vehicle = HS20

ขั้นตอนที่ 1: Total Moment Capacity ของ Girders (M_u)

ถ้าความลึกประสิทธิผลของ ส่วนที่รับแรงอัด (Compressive Block) มีค่าน้อยกว่าความหนาประสิทธิผล (Effective Thickness) ของ Slab เจ้าก์สามารถกำหนดให้ Slab นั้นมีสภาพคล้ายกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้โดยมีความกว้าง (b) เท่ากับ 1.68 เมตร เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ ของ Moment Capacity ซึ่งการกระทำเช่นนี้ เป็นเรื่องปกติสำหรับชั้นส่วน T-Beams

หาค่า a และเปรียบเทียบค่ากับ Effective Thickness ของ Slab

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{(110.7)(2,800)}{0.85(210)(168)} = 10.34 \text{ cm.} \leq 14.6 \text{ cm.}$$

เนื่องจาก a มีค่าน้อยกว่า Effective Slab Deck เท่ากับ 14.6 cm. เจ้าก์จะกำหนดหน้าตัดนี้ เป็นสมैือนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีความกว้าง 168 cm.

การหาค่า Nominal Moment (M_n) และ Ultimate Moment (M_u)

$$M_n = (A_s f_y)(d - \frac{a}{2})$$

$$M_u = \phi M_n$$

โดย

$\phi = 0.9$ สำหรับแรงดัด (Flexure) ในคอนกรีตเสริมเหล็ก

$$\begin{aligned} M_u &= 0.9(A_s f_y)(d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.9 (110.7)(2,800)(75-10.34/2) \\ &= 19,480,056.12 \text{ kg-cm} \end{aligned}$$

หรือ 194,800 kg-m

ขั้นตอนที่ 2: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (M_{DL})

น้ำหนัก Deck : $(0.165)(1.68)(2,400)$ = 665.28 kg-m per beam

น้ำหนัก Girder : $(0.3054)(0.75)(2,400)$ = 549.72 kg-m per beam

น้ำหนัก Curbs, Railings, และอื่นๆ = 267.94 kg-m per beam

น้ำหนักรวมทั้งหมด (w_d) = 1482.94 kg-m per beam

$$M_{DL} = \frac{w_d L^2}{8} = \frac{1482.94(15.25)^2}{8} = 43,110 \text{ kg-m}$$

ขั้นตอนที่ 3: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกจรที่ต้องการ (M_{LL+I})

คำนวณค่าโมเมนต์ (M_{HS}) จากตารางที่ 10-1 สำหรับรถบรรทุกแบบ HS20 และความยาวซ่วงเท่ากับ 15.25 เมตร (50 ฟุต) การใช้ค่า Impact Adjustment (I) มีวิธีการเข่นเดียวกันกับ ตัวอย่างของ Concrete Slab ก่อนหน้านี้



และพบว่า I จะมีค่าเท่ากับ 0.286 โดย Impact Factor จะมีค่าเท่ากับ 1.286 Distribution Factor (DF) จะหาได้จากข้อกำหนดเกี่ยวกับสะพานของ AASHTO และพบว่ามีค่าเท่ากับ $s / 6.0$ สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่บนคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูป T Beams โดยที่มีช่องจราจรจำนวน 2 ช่อง

$$M_{HS} = 43,424.2 \text{ kg-m per wheel line}$$

$$I = \frac{50}{L+125} = \frac{50}{3.28 \times 15.25 + 125} = 0.286$$

$$DF = s / 6.0 = 0.92$$

$$M_{LL+I} = M_{HS} \times 1.286 \times DF = (43,424.2)(1.286)(5.5/6.0) \\ = 51,190 \text{ kg-m per beam}$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวนค่า Rating Factor

$$RF_{(inv)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(5 / 3M_{LL+I})} = \frac{194,800 - 1.3(43,110)}{1.3(5 / 3)(51,190)} = 1.25$$

$$RF_{(opr)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(M_{LL+I})} = \frac{194,800 - 1.3(43,110)}{1.3(51,190)} = 2.08$$

ข้อสังเกต $RF_{(opr)} = 5 / 3(RF_{(inv)})$

ขั้นตอนที่ 5: คำนวน Inventory และ Operating Rating

$$\text{Inventory Rating} = RF_{(inv)}(\text{HS20}) = (1.25)(\text{HS20}) = \text{HS25}$$

$$\text{Operating Rating} = RF_{(opr)}(\text{HS20}) = (1.72)(\text{HS20}) = \text{HS41.6}$$

ค่าการประเมินสภาพความแข็งแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัว T มีดังนี้

$$\text{Inventory Rating} = \text{HS25} \quad \text{Gross weight 45.0 ตัน}$$

$$\text{Operating Rating} = \text{HS41.6} \quad \text{Gross weight 45.0 ตัน}$$

โปรดสังเกตว่า น้ำหนักรวมทั้งหมด (Gross weight) ของรถบรรทุก HS เท่ากับ 1.8 เท่าของค่าที่กำหนดให้มาในรูปหน่วยน้ำหนักเป็นตัน นั่นคือ น้ำหนักรวมทั้งหมดของรถบรรทุกแบบ HS41.6 จะมีค่าเท่ากับ 74.9 ตัน

10.2.2 น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ได้ (Permit Loads)

มีบ่อຍครั้งที่สะพานจำเป็นต้องได้รับการประเมินค่าความแข็งแรงสำหรับการรองรับรถบรรทุกขนาดหนักซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน ในขณะที่โดยทั่วไปแล้ว สะพานจะได้รับการประเมินโดยการใช้น้ำหนักบรรทุกแบบ HS ดังนั้นแทนที่จะต้องทำการวิเคราะห์สะพานทั้งหมดใหม่ อีกครั้งสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ได้อยู่ในมาตรฐาน เราสามารถใช้ Rating Capacity ได้โดยตรงเพื่อคำนวน Capacity ซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน

โดยปกติมักสมมุติฐานไว้ก่อนว่า เงื่อนไขของการวิบัติของสะพานอาจจะเกิดขึ้นได้ เช่น กัน เมื่อเราได้ประเมิน ความแข็งแรงของสะพานที่ไม่ได้ใช้งานตามมาตรฐาน ในตัวอย่างต่างๆ ที่พบมากนั้น การวิบัติส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเนื่องจาก โมเมนต์ดัด (Bending Moment) ส่วนในกรณีของโครงข้อหมุน (Truss) เราต้องพิจารณาให้เลือกซึ่งเข้าไปอีกว่า ชิ้นส่วน (Member) ไหน เป็นตัวแปรในการควบคุมการเกิดวิบัติ

AASHTO ได้ให้ข้อแนะนำว่า เราสามารถที่จะอนุญาตให้มีการบรรทุกน้ำหนักเกินระดับของ Inventory Capacity ได้ แต่ต้องไม่เกินระดับของ Operating Capacity ซึ่งโดยปกติแล้วจะแสดงไว้ในรูปแบบของ HS Loading โดย Capacity ของสะพานจะใช้ตามรูปแบบของน้ำหนักที่ยอมให้ (Permit Configuration) เนื่องจากว่า การคำนวณนี้ จะเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Computations) เรายังสามารถหาอัตราส่วนของสมการของแรง (Force) และ โมเมนต์ (Moment) ที่เกิดขึ้นจาก Rating Vehicle สมการของแรงที่เกิดจาก Permit Vehicle และรักษาผลการคำนวณในขณะนั้นไว้ได้ ทั้งนี้ เราสามารถทำให้เสร็จสิ้นได้อย่างง่ายดายโดยดูที่ Rating Factors

Operating Factor (RF_o) ที่ใช้การวิเคราะห์ Load Factor จะหาได้ดังนี้

$$RF_o = \frac{M_u - 1.3 \times D}{1.3 \times M_{HS} \times DF \times (1 + I)} \quad (10.5)$$

โปรดสังเกตว่า Factor ที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ และลักษณะทาง Geometry ของสะพาน ก็คือ โมเมนต์ที่ เกิดจาก Wheel Line ของน้ำหนักบรรทุกแบบ HS 20 คือ M_{HS} เพราะฉะนั้น เรายังสามารถหาค่า Rating Factor สำหรับ Permit Vehicle (RF_p) ได้โดยการคูณ RF_o ด้วยค่าอัตราส่วนของโมเมนต์ที่เกิดจาก Wheel Line ของ HS20 Loading สำหรับความยาวช่วงสะพานต่อค่าโมเมนต์ที่เกิดจาก Wheel Line ของ Permit vehicle (M_{per}) ถ้าเรามีค่า Rating Factor กับค่า Gross weight ของ Permit Vehicle เราจะได้ค่า Rating ในรูปแบบของ Wheel Configuration ของ Permit Vehicle หรือพูดง่ายๆ ก็คือ ถ้า Rating Factor (RF_p) มีค่ามากกว่า 1 แล้ว Permit Vehicle จะไม่ทำให้เกิดค่าที่เกิน ขีดจำกัดของ Operating Capacity ของสะพาน ดังที่ได้กำหนดไว้ในรูปแบบของ HS Loading

$$RF_p = \frac{(M_u - 1.3 \times D) \times (M_{HS} / M_{per})}{1.3 \times M_{HS} \times DF \times (1 + I)} \quad (10.6)$$

$$RF_p = RF_o \times (M_{HS} / M_{per}) \quad (10.7)$$

ถ้ารถบรรทุกหนัก (Heavy Vehicle) ไม่ได้มีน้ำหนักเกิน Operating Capacity ของสะพาน ก็สามารถอนุญาตให้ รถข้ามสะพานได้ ถ้ารถบรรทุกที่ไม่ได้มาตรฐานเหล่านั้นมีน้ำหนักเกินกว่า Operating Capacity เรายังไม่ควรอนุญาตให้รถ วิ่งผ่านสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการทางวิศวกรรมซึ่งเป็นหน้าที่ของเราเพื่อหา Operating Capacity มาได้นั้น ก็อาจทำ ให้ Operating Capacity มีค่าเพิ่มขึ้นได้ สิ่งนี้จะปรับเปลี่ยนได้ในรูปแบบ Impact Factor Lateral Distribution Factor และ คุณสมบัติของวัสดุที่มีอยู่ เป็นต้น

ยกตัวอย่างเช่น Impact Effect อาจจะลดลงให้โดยการลดขีดจำกัดความเร็วของ Permit Vehicle ส่วน Actual Distribution Factor ก็จะสามารถหาได้โดยวิธี Load Test สำหรับค่า Yield Strengths ของวัสดุต่างๆ สามารถหาได้ โดยการทดสอบต่างๆ การปรับเปลี่ยนต่างๆ เหล่านี้ ได้รับการอธิบายไว้แล้วใน AASHTO Guide Lines และสามารถทำได้ โดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น



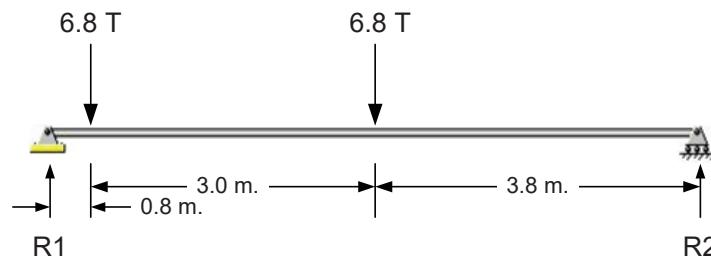
ตัวอย่างที่ 3. Permit Load

ให้พิจารณาด้านหนึ่งซึ่งจะถือว่าเป็น Permit Vehicle มีเพลา 2 แกน ห่างกัน 3 เมตร Gross Weight 30 ตัน โดยมีน้ำหนักรถบรรทุกเท่ากันทั้งล้อหน้าและล้อหลัง สะพานที่มีอยู่เป็นสะพานเหล็กแบบ Simple Supported Steel Beam โดยมีพื้นสะพานเป็นแบบ Non-Composite Reinforced Concrete สะพานมีความยาวระหว่างจุดศูนย์กลางของ Bearing เท่ากับ 7.6 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่าสะพานนี้มี Operating Capacity เท่ากับ HS26.8 ซึ่งคำนวนมาได้โดยใช้ Rating Factor (RF_o) เท่ากัน 1.34 ตามว่า รถคันดังกล่าวจะสามารถก่อผ่านสะพานนี้ไปได้อย่างปลอดภัยหรือไม่

ขั้นตอนที่ 1: คำนวนโมเมนต์ตัด (Bending Moment)

ซึ่งเกิดจาก Wheel Line ของ Permit Vehicle (M_{per})

สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วง 7.6 เมตร โดยปกติแล้วมักจะไม่ค่อยมีตารางที่แสดงค่าโมเมนต์ตัดที่เกิดจาก Permit Vehicle แต่ละแบบ เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการใช้ Influence Line เพื่อที่จะหาค่า Bending Moment ที่จุดกึ่งกลางของ Simple Span เพื่อที่จะคำนวนค่า Bending Moment สำหรับ Permit Vehicle



$$\sum M = 0 \text{ ที่ Hinge support (R1)}$$

$$R2 \times 7.6 = (6.8 \times 3.8) + (6.8 \times 0.8)$$

$$R2 = 4.12 \text{ Tons-m}$$

$$M_{per} = 4.12 \times 3.8 = 15.64 \text{ Tons-m per Wheel Line}$$

$$\text{ขั้นตอนที่ 2: คำนวนค่าอัตราส่วน } \frac{M_{HS}}{M_{per}}$$

$$M_{HS} = 14.34 \text{ Tons-m (103.7 kip-ft, จากตารางที่ 10-1)}$$

$$\frac{M_{HS}}{M_{per}} = (14.34 / 15.64) = 0.92$$

$$\text{ขั้นตอนที่ 3: คำนวนค่า Permit Rating Factor: } RF_p$$

$$RF_p = R_{fo} \times \frac{M_{HS}}{M_{per}} = 1.34(0.92) = 1.23$$

เนื่องจากว่า Rf_p มีค่ามากกว่า 1.0 จึงสามารถอนุญาตให้น้ำหนักบรรทุกขนาดนี้ผ่านสะพานได้ เพราะค่าของมันไม่ได้มากกว่าค่า Operating Capacity ของ HS26.8 loading

ขั้นตอนที่ 4: คำนวนค่า Operating Capacity

ค่า Operating Capacity ในรูปแบบของน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ ก็คือค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Loads) ที่มี Wheel Line Configuration เมื่อกันกับค่าที่สามารถใช้กับสะพานนี้ได้

$$\begin{aligned} \text{Operating Capacity} &= Rf_p \times \text{Permit Gross Weight} \\ &= 1.23(30) = 36.9 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ค่า 36.9 ตันนี้ เป็นค่า Maximum Gross Weight ของระบบบรรทุกที่มี Wheel Configuration และ Load Distribution เมื่อกัน กับค่าที่ Permit vehicle สามารถมีได้โดยไม่มากกว่าค่า HS Operating Capacity ข้อสมมุติฐาน ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวน Operating Capacity สำหรับ HS Loading นั้น ก็สามารถนำต่อมาใช้ ณ ที่นี่ ได้อย่างเท่าเทียม กัน

บทที่ 11

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง

11.1 กำลังของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

สมมติฐานการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดประลัย

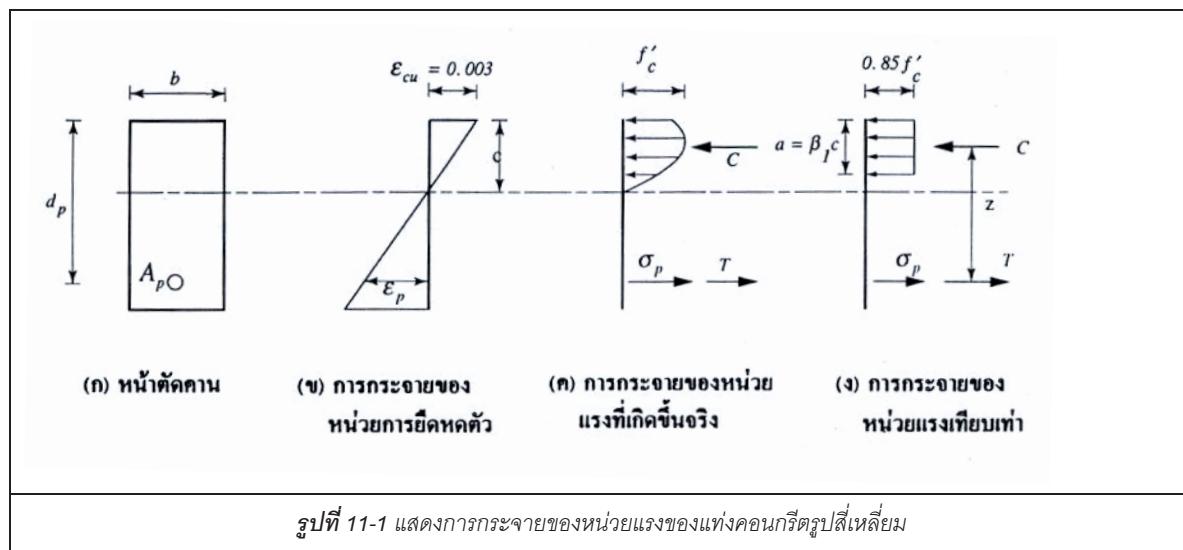
- การกระจายของหน่วยการยึดหดในคอนกรีตและเหล็กเสริม เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแนวแกนสะเทิน
- คอนกรีตไม่รับแรงดึงหรือกำลังในการรับแรงดึงของคอนกรีตไม่ถูกนำมาพิจารณาในการคำนวณที่สถานะประลัย
หน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ผิวด้านรับแรงอัดมีค่าเท่ากับ 0.003

สัญลักษณ์

A_g	เนื้อที่ทั้งหมดของหน้าตัดโครงสร้าง หน่วยเป็น ตร.ซม.
A_{ps}	เนื้อที่หน้าตัดของปริมาณของเหล็กเสริมอัดแรงในบริเวณที่เกิดแรงดึง หน่วยเป็น ตร.ซม.
A'_s	เนื้อที่หน้าตัดของปริมาณเหล็กเสริมธรรมดาก่อนรับแรงอัด หน่วยเป็น ตร.ซม.
a	ความลึกของการกระจายของหน่วยแรงอัดของคอนกรีตเทียบเท่าเป็นรูปสี่เหลี่ยม หน่วยเป็น ตร.ซม.
c	ระยะตั้งฉากจากแกนสะเทินถึงจุดที่เกิดความเครียดอัดสูงสุด หน่วยเป็น ซม.
d	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมธรรมดาก่อนรับแรงดึงหน่วยเป็น ซม.
d'	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมธรรมดาก่อนรับแรงอัดหน่วยเป็น ซม.
d_p	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น ซม.
f_c	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่ออายุ 28 วัน โดยทดสอบจากแท่งทรงกระบอกมาตรฐาน หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
f_{ps}	หน่วยแรงอัดเฉลี่ยในคอนกรีตเนื่องจากการอัดแรงเท่านั้น (ภายหลังการเสื่อมลดของแรงอัด) หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
f_{ps}	หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงที่สภาวะวิบัติ หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.



f_{pu}	หน่วยแรงดึงประดับในเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
f_{py}	กำลังคลากของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
f_{se}	หน่วยแรงดึงประดับของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
f_y	กำลังคลากของเหล็กเสริมchromda หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
β_1	ตัวคูณที่เปลี่ยนตามกำลังของคอนกรีต
r_p	ตัวคูณที่คำนึงถึงกำลังครากของเหล็กเสริมอัดแรง มีค่าตั้งนี้ 0.40 เมื่อ f_{py} / f_{pu} มีค่าไม่น้อยกว่า 0.85 0.28 เมื่อ f_{py} / f_{pu} มีค่าไม่น้อยกว่า 0.90
ρ	อัตราส่วนของเหล็กเสริมchromdaที่รับแรงดึง = A_s / bd
ρ'	อัตราส่วนของเหล็กเสริมchromdaที่รับแรงอัด = A'_s / bd
ρ_p	อัตราส่วนของเหล็กเสริมอัดแรง = A_{ps} / bd_p
ω	= $\rho f_y / f_c$
ω'	= $\rho' f_y / f_c$
ω_p	= $\rho_p f_{ps} / f_c$



สมการคำนวณค่ากำลังโมเมนต์ตัดประดับ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (11.1)$$

โดยที่

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{r_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \quad (11.2)$$

โดยที่ r_p คือ ตัวคูณที่คำนึงถึงระดับกำลังครากของเหล็กเสริมอัดแรง มีค่าดังนี้

$$0.40 \text{ เมื่อ } 0.85 \leq f_{py}/f_{pu} < 0.90$$

$$0.28 \text{ เมื่อ } f_{py}/f_{pu} \geq 0.90$$

f_{pu} คือ หน่วยแรงดึงประดับในเหล็กเสริมอัดแรง

β_1 คือ $0.85 \text{ เมื่อ } f_c' \leq 300 \text{ ksc}$

$$\text{และ } 0.85 - 0.0008(f_c' - 300) \geq 0.65 \text{ เมื่อ } f_c' > 300 \text{ ksc}$$

$$a \text{ คือ } A_{sp_ps} / 0.85 f_c'$$

เหล็กเสริมไม่อัดแรงไม่ช่วยรับโมเมนต์ตัดของหน้าตัด ดังนั้น $\omega = \omega' = 0$

ตารางที่ 11-1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดอัดแรงภายหลังการถ่ายแรง

	Tendon Type		
	Stress Relieved Strand and Plain High-Strength Bars	Low Relaxation Strand	Deformed High-Strength Bars
At jacking: (f_{pj})			
- Pretensioning	$0.72 f_{pu}$	$0.78 f_{pu}$	-
- Post-tensioning	$0.76 f_{pu}$	$0.80 f_{pu}$	$0.75 f_{pu}$
At jacking: (f_{pj})			
- Pretensioning	$0.70 f_{pu}$	$0.74 f_{pu}$	-
- Post-tensioning – At anchorages and couplers immediately after anchor set	$0.70 f_{pu}$	$0.70 f_{pu}$	$0.66 f_{pu}$
- Post-tensioning – General	$0.70 f_{pu}$	$0.74 f_{pu}$	$0.66 f_{pu}$
At Service Limit State: (f_{pe})			
After Losses	$0.80 f_{pu}$	$0.80 f_{pu}$	$0.80 f_{pu}$



11.2 กำลังของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

- กำลังดัดของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานคอนกรีต

สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หากำลังดัดโดยวิธีตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกให้งาน มีดังนี้

 1. ระนาบฐานปัตตั้งคงเป็นระนาบก่อนและหลังการดัด
 2. การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์
 3. หน่วยแรงสูงสุดและความเครียดสูงสุดไม่เป็นสัดส่วนกันทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม
 4. “ไม่มีคิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตภายหลังการแตกหัก”
 5. การกระจายหน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่สภาวะวิบัติเป็นตามแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดที่ใช้ในการวิเคราะห์ และความเครียดสูงสุดของคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.003
 6. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของเหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติก โดยสมบูรณ์ (Neglect Strain Hardening) ซึ่งหน่วยแรงดึงหรือแรงอัดสูงสุดมีค่าเท่ากับกำลังที่จุดคราก
- กำลังดัดของหน้าตัดคาน/พื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก

ก. การวิเคราะห์หน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

พิจารณาปุ่ปุ่ 11-2 พบว่า แรงดึงลักษณะในเหล็กเสริมเป็นดังสมการ

$$T = A_s f_s \quad (11.3)$$

แรงอัดลักษณะในคอนกรีต ดังสมการ

$$C = 0.85 f_c' ab \quad (11.4)$$

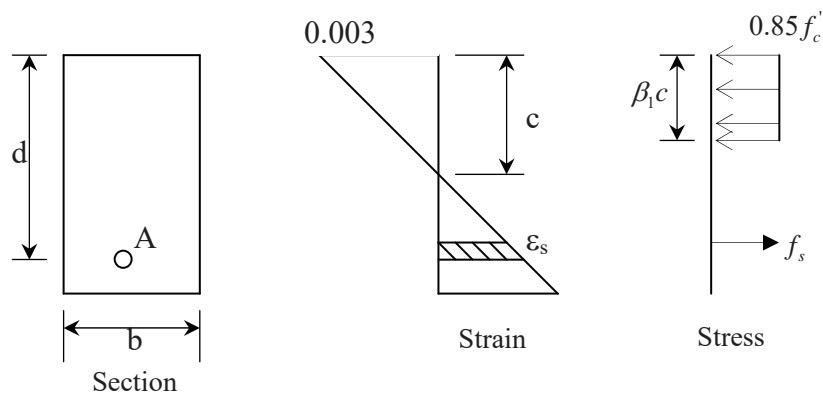
ระยะห่างระหว่างแรงดึงลักษณะและแรงอัดลักษณะหรือเรียกว่าแขนโมเมนต์ ดังสมการ

$$jd = d - 0.5a \quad (11.5)$$

กำลังโมเมนต์ระบุ (Nominal Flexural Strength) หรือเรียกว่ากำลังตามสมมติฐาน (Ideal Flexural Strength) ดังสมการ

$$M_n = Tjd = Cjd \quad (11.6)$$

รูปแบบของการวิบัติ อาจจะเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก และอัดเป็นหลักหรือแบบสภาวะเหล็กเสริมสมดุล ซึ่งการวิบัติทั้งสามแบบดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงเป็นหลัก



รูปที่ 11-2 การกระจายความเครียดและหน่วยแรงที่สภาวะประดิษฐ์ของหน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงดึง

การวินาศัยแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension Failure)

ถ้าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงมีปริมาณน้อยกว่าสภาวะเหล็กเสริมสมดุล จะทำให้เหล็กเสริมครากก่อนที่ค่อนกรีตจะแตก นั่นหมายความว่า $f_s = f_y$ และที่สภาวะแรงสมดุลของหน้าตัด, $C = T$, หรือเรียกว่าแรงคู่ควบ จากสมการที่ (11.3) และ (11.4) จะได้

$$0.85f_c ab = A_s f_y \quad (11.7)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85f_c b} \quad (11.8)$$

จากสมการที่ (11.5) และ (11.6) จะได้

$$M_n = A_s f_y (d - 0.5a) \quad (11.9)$$

แทนค่า a จากสมการ (11.8) จะได้

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{0.59 A_s f_y}{f_c b} \right) \quad (11.10)$$

$$= \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{0.59 \rho f_y}{f_c} \right) \quad (11.11)$$

$$= b d^2 f_c \omega (1 - 0.59 \omega) \quad (11.12)$$

$$\text{โดยที่ } \rho = \frac{A_s}{bd}, \omega = \frac{\rho f_y}{f_c}$$



การวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก (Compression Failure)

ถ้าบริเวณเหล็กเสริมรับแรงดึงมากกว่าสภาวะเหล็กเสริมสมดุล จะทำให้ $f_s < f_y$ นั้นหมายความว่า ขณะที่ค่อนกรีตแตก ($\varepsilon_c = 0.003$) เหล็กเสริมจะยังอยู่ในช่วงอิลาสติกเชิงเส้นและการหาค่าหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมจะหาในเทอมของความลึกของแนวแกนสะเทิน , c, พิจารณาอุปที่ 11-2 จาก Strain Diagram โดยใช้สามเหลี่ยมคล้ายจะได้

$$\frac{\varepsilon_s}{0.003} = \frac{d - c}{c}$$

$$\text{ดังนั้น } \varepsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c} \quad (11.13)$$

$$\text{จาก } f_s = \varepsilon_s E_s = 0.003 \frac{d - c}{c} E_s \quad (11.14)$$

$$\text{จาก } a = \beta_1 c \quad \text{ดังนั้น } f_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad (11.15)$$

จากสภาวะแรงสมดุลของหน้าตัด , $C = T$, และจากสมการ (11.3) และ (11.4) จะได้

$$0.85 f_c' ab = A_s f_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s A_s$$

$$\text{จัดเทอมใหม่ได้ } \left(\frac{0.85 f_c'}{0.003 E_s \rho} \right) a^2 + ad - \beta_1 d^2 = 0 \quad (11.16)$$

จากสมการที่ (11.16) หาก a และจากสมการที่ (11.5) และ (11.6) จะได้

$$M_n = 0.85 f_c' ab (d - 0.5a) \quad (11.18)$$

การวิบัติแบบสภาวะสมดุลของหน้าตัดหรือเรียกว่าสภาวะเหล็กเสริมสมดุล(Balanced Failure)

ถ้าเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากพร้อมกับค่อนกรีตแตก แล้วเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า การวิบัติแบบสภาวะสมดุล

นั้นคือ $\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$ และจากสามเหลี่ยมคล้ายของ Strain Diagram ดังแสดงในอุปที่ 11-2 จะได้

$$\frac{f_y / E_s}{0.003} = \frac{d - c_b}{c_b}$$

โดยที่ $c_b = \text{ความลึกของแกนสะเทินที่สภาวะเหล็กเสริมสมดุล}$

$$\text{จัดเทอมใหม่ได้ } c_b = \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} d \quad (11.18)$$

$$\text{หรือ} \quad a_b = \frac{0.003E_s}{0.003E_s + f_y} \beta_1 d \quad (11.19)$$

โดยที่ a_b = ความลึกของหน่วยแรงเทียบเท่าสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สภาวะเหล็กเสริมสมดุล

จากสภาวะสมดุลของแรงในหน้าตัด, $C=T$, ดังนั้นได้

$$0.85f_c' a_b b = A_s f_y = \rho_b b d f_y$$

$$\text{โดยที่} \quad \rho_b = \frac{A_s}{bd}$$

สำหรับการวิบัติแบบสภาวะหน้าตัดสมดุล ได้

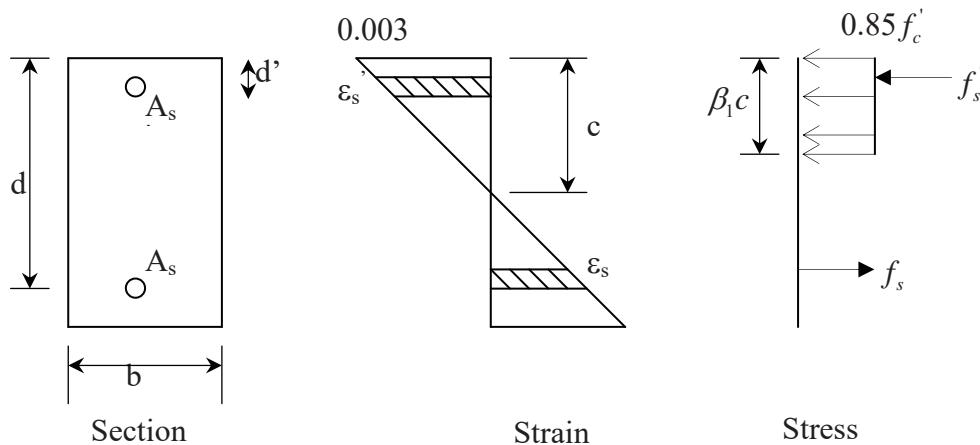
$$\rho_b = \frac{0.85f_c' a_b}{f_y d} \quad (11.20)$$

แทนค่าสมการที่ (11.19) ลงในสมการที่ (11.20) ได้

$$\rho_b = \frac{0.85f_c' \beta_1}{f_y} \frac{0.003E_s}{0.003E_s + f_y} \quad (11.21)$$

๙. การวิเคราะห์หน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

พิจารณาภาชนะที่ 11-3 แสดงหน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงอัดและแรงดึงในสภาวะที่รับแรงดัดจนกระแทกถึงจุดวิบัติ ซึ่งสภาวะดังกล่าวเหล็กเสริมรับแรงดึงหรือแรงอัดอาจจะถึงจุดครากหรือไม่ก็ได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จะสมมติว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัดอย่างต่อเนื่อง แล้วจึงมาคำนวณยื่อกลับดูว่าเหล็กเสริมเกิดการครากหรือไม่



รูปที่ 11-3 การกระจายความเครียดและหน่วยแรงที่สภาวะประลักษณ์ของหน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด



ถ้าเหล็กเสริมทั้งหมดเกิดการคราบ , $f_s = f'_s = f_y$, โดยที่ f'_s คือ หน่วยแรงของเหล็กเสริมรับแรงดึง , f'_s คือ หน่วยแรงของเหล็กเสริมรับแรงอัด และ f_y คือ หน่วยแรงครากของเหล็กเสริม นั่นคือ หน่วยแรงลัพธ์ (แรง) ภายใน เป็นดังนี้

หน่วยแรงอัดลัพธ์เนื่องจากคุณทรีต

$$C_c = 0.85 f'_c ab \quad (11.22)$$

หน่วยแรงอัดลัพธ์เนื่องจากเหล็กเสริมรับแรงอัด

$$C_s = A'_s f_y \quad (11.23)$$

โดยที่ A'_s = ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด

หน่วยแรงอัดลัพธ์เนื่องจากเหล็กเสริมรับแรงดึง

$$T = A_s f_y \quad (11.24)$$

จากสภาวะแรงสมดุลของหน้าตัด จะได้

$$C = C_c + C_s = T$$

$$0.85 f'_c ab + A'_s f_y = A_s f_y$$

$$\text{ดังนั้น ได้ } a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} \quad (11.25)$$

โดยใช้สามเหลี่ยมคล้ายของ Strain Diagram เพื่อตรวจสอบว่าเหล็กเสริมเกิดการคราบหรือไม่ ถ้าความเครียดในเหล็กเสริมมากกว่า $\frac{f_y}{E_s}$ หมายความว่าเหล็กเสริมเกิดการคราบ จากสามเหลี่ยมคล้ายได้

$$\varepsilon'_s = 0.003 \frac{c - d'}{c} = 0.003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} \quad (11.26)$$

$$\varepsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c} = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \quad (11.27)$$

$$\text{เพรากะฉะนั้น } f'_s = f_y \quad \text{ถ้า } 0.003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (11.28)$$

$$\text{และ } f_s = f_y \quad \text{ถ้า } 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (11.29)$$

โดยการหาโมเมนต์รอบเหล็กเสริมรับแรงดึง ดังนั้นกำลังโมเมนต์ระบุ ดังสมการ

$$M_n = 0.85 f_c' ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \quad (11.30)$$

โดยที่ a คือค่าที่ให้ไว้ในสมการที่ (11.25)

ภายหลังการตรวจสอบว่าเหล็กเสริมในสมการที่ (11.28) และ (11.29) ไม่เกิดการคราก ดังนั้นค่าของ a ที่คำนวณได้จากสมการที่ (11.25) จะใช้มีได้ การคำนวณค่าของ a ต้องใช้สมการของแรงสมดุลของหน้าตัดและ Strain Diagram ดังนั้น จากสมการสมดุล ได้

$$a = \frac{A_s f_s - A_s' f_s'}{0.85 f_c' b} \quad (11.31)$$

จากสามเหลี่ยมคล้ายของ Strain Diagram ได้

$$f_s' = \varepsilon_s' E_s = 0.003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} E_s \quad \text{หรือ} \quad f_y \quad (11.32)$$

$$f_s = \varepsilon_s E_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad \text{หรือ} \quad f_y \quad (11.33)$$

ดังนั้นได้

$$M_n = 0.85 f_c' ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d') \quad (11.34)$$

กำลังต้านทานแรงเฉือนของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานคอนกรีต

รอยแตกร้าวในแนวทแยง (Diagonal Tension Crack) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีต มี 2 ชนิด คือ

1. รอยร้าวจากแรงเฉือน (Web-Shear Crack)
2. รอยร้าวจากแรงเฉือนร่วมกับโมเมนต์ (Flexural-Shear Crack)

รอยแตกร้าวจากแรงเฉือนมักเกิดขึ้นที่แนวแกนสะเทินหรือปลายคาน/พื้น ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะมีค่าแรงเฉือนมากแต่ค่าโมเมนต์เกือบเป็นศูนย์ ซึ่งคานตัวที่หรือตัวไอล์มีความหนาของเอวัน้อยมักจะเกิดการแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือน

กำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดคาน/พื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก

ก. กำลังต้านทานแรงเฉือนในส่วนของคอนกรีต

จากผลการทดลอง พบว่า บริเวณที่มีแรงเฉือนมากแต่โมเมนต์มีค่าน้อย กำลังต้านทานแรงเฉือน ดังสมการ

$$V_c = 0.93 \sqrt{f_c' bd} \quad (11.35)$$



รอยแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนร่วมกับโมเมนต์จะเกิดขึ้นบริเวณที่มีแรงทั้ง 2 กระทำ เช่น บริเวณซึ่งกล่องคานฐานรองรับแรงภายในของคานต่อเนื่อง เป็นต้น พฤติกรรมของการแตกร้าวจะเริ่มจากบริเวณผิวด้านรับแรงดึงเนื่องจากโมเมนต์ (Flexural Crack) หลังจากนั้นรอยแตกร้าวจะขยายสูงขึ้นจนกระทั่งเลยตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึง หลังจากนั้นการแตกร้าวจะเริ่มอ่อนเข้าหากันแน่น gerein เนื่องจากมีแรงเฉือนกระทำร่วมด้วย รอยร้าวแบบนี้พบมากกว่ารอยร้าวแบบแรก จากผลการทดลองพบว่า บริเวณที่มีโมเมนต์กระทำจะส่งผลให้กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคุณวิศว์ต้องสมการ

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c}bd \quad (11.36)$$

สมการที่ (11.36) พบว่าจะมีค่าน้อยกว่าสมการที่ (11.35) อよุประมาณครึ่งหนึ่ง เนื่องจากโมเมนต์ทำให้เหลือส่วนของคุณวิศว์ที่จะต้านทานแรงเฉือนน้อยลง ประกอบกับการกระทำร่วมกันของโมเมนต์ร่วมกับแรงเฉือน ทำให้แรงดึงท้ายมีค่ามาก

ข. กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวา

เมื่อคาน/พื้น ต้องรับแรงเฉือนประลัยมากกว่าหน้าตัดที่คุณวิศว์สามารถต้านทานได้ ก็จำเป็นต้องเสริมเหล็กทางขวาเพื่อช่วยต้านทานแรงเฉือนประลัยส่วนที่เหลือ ดังสมการ

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (11.37)$$

โดยที่ V_s = แรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวาที่ต้องรับ (กก.)

V_c = กำลังต้านทานแรงเฉือนของคุณวิศว์ (กก.)

V_u = แรงเฉือนประลัยบนหน้าตัด (กก.)

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง มีค่าเท่ากับ 0.85

ตำแหน่งของรอยร้าวในแนวทแยงรอยแรกจะเป็นหน้าตัดวิกฤติ ที่ใช้สำหรับหาแรงเฉือนประลัย V_u ที่กระทำมาตฐานทั่วไปกำหนดให้พิจารณาหน้าตัดวิกฤติที่ระยะ d จากขอบของที่รองรับ แต่ให้เสริมเหล็กรับแรงเฉือนระหว่างขอบของที่รองรับกับระยะที่ห่างออกจากเป็นระยะ d ด้วย โดยการเสริมเหล็กเท่ากับปริมาณที่หาได้ที่หน้าตัดวิกฤติ อนึ่งในคานซึ่งสันหรือคานลึกหรือคานที่มีน้ำหนักแบบจุดกระทำใกล้กับขอบของที่รองรับ ให้คำนวณหาแรงเฉือนประลัย โดยพิจารณาจากหน้าตัดวิกฤติอยู่ที่ขอบที่รองรับ

เหล็กเสริมทางขวา เช่น เหล็กเสริมอย่างโดยย่างหนึ่งหรือหลายอย่างร่วมกัน ดังนี้

1. เหล็กลูกตั้ง (Vertical Stirrups) เป็นเหล็กที่วางตั้งฉากกับเหล็กเสริมตามยาว
2. เหล็กลูกตั้งเอียง (Inclined Stirrups) เป็นเหล็กที่วางทำมุมมากกว่า 45 องศา กับเหล็กเสริมตามยาว
3. เหล็กคอแมว (Bent Up Bar) เป็นเหล็กที่ตัดจากเหล็กเสริมตามยาวและทำมุมมากกว่า 30 องศา กับเหล็กเสริมตามยาว

กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวา V_s , สามารถหาได้ดังสมการ

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (11.38)$$

โดยที่ V_s = แรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวางที่ต้องแบกรับ (กก.)

A_v = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทางขวาง (เหล็ก 1 ปลอกคิดพื้นที่หน้าตัด 2 ขา)

f_{yh} = กำลังครากของเหล็กเสริมทางขวาง (กก./ซม.²)

d = ความลึกประสิทธิผลของหน้าตัด (ซม.)

s = ระยะห่างของเหล็กเสริมทางขวาง (ซม.)

α = มุมที่เหล็กเสริมทางขวางทำกับแนวเหล็กเสริมตามยาว (องศา)

ในกรณีที่เหล็กเสริมทางขวางเป็นเหล็กกลูกตั้ง (นั้นคือ มุม $\alpha = 90$ องศา) จากสมการที่ (1.38) จะได้

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} d}{s} \quad (11.39)$$

มาตรฐานทั่วไปกำหนด กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวาง, V_s , ต้องมีค่าไม่เกินกว่า $2.1\sqrt{f_c}bd$ ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้คาน/พื้น คด屈. มีพุติกรรมแบบเบรเว (เมื่อเปรียบเทียบกับการรับแรงเฉือน) จะนั้นเมื่อ V_s มีค่ามากกว่าค่าดังกล่าว ต้องเปลี่ยนหน้าตัดให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม หรือพิจารณาเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีตหรือเพิ่มทั้งสองอย่าง

บทที่ 12

หลักการคำนวณผลจากน้ำหนักบรรทุกๆ

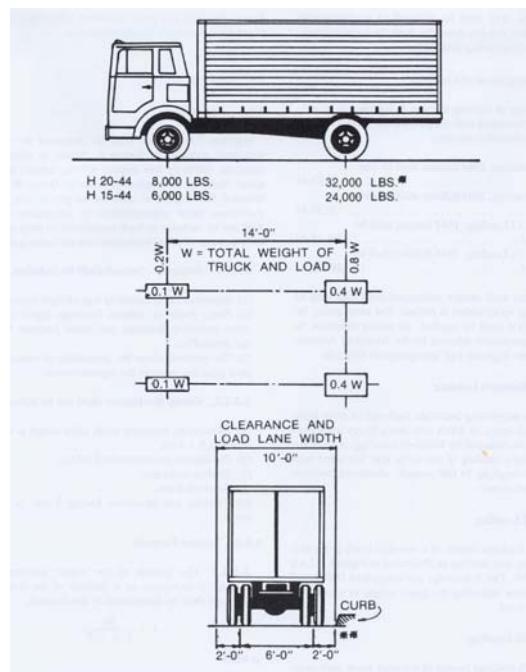
12.1 น้ำหนักบรรทุกๆ

น้ำหนักบรรทุกๆ บนสะพานทางหลวง จะขึ้นอยู่กับการจราจรที่เคลื่อนที่ไปตามแนวของช่วงสะพาน (ตามแนวซ่องจราจร) ในกรณีที่ต้องการสร้างพื้นฐานสำหรับเคราะห์ การออกแบบและการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพานนั้น AASHTO ได้พัฒนาข้อกำหนดของชุดน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน (Set of Standard Loading Conditions) ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างสะพานทั่ว ๆ ไป โดยมีการกำหนดให้มีการใช้ยานพาหนะหลาย ๆ ประเภท และก็ได้รับการพิจารณาแล้วว่า ชุดมาตรฐานน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากรถบรรทุก (Truck Traffic) เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

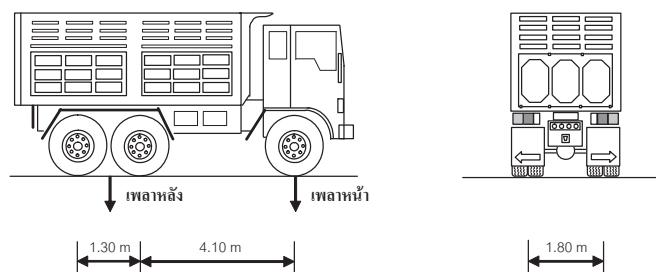
ในปี ค.ศ. 1944 AASHTO ได้พัฒนาชุดของรถบรรทุกขึ้นมาโดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภท H และ ประเภท HS รถบรรทุกเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นโดยให้มีเพลาจำนวน 2 เพลาและ 3 เพลา (2,3 axle) ตามลำดับ ทั้งนี้ ถูกจัดให้มีระยะห่างที่กำหนดได้ รถบรรทุกประเภท H และ HS ยังคงเป็นเงื่อนไขและข้อกำหนดในการออกแบบ ของ AASHTO จนถึงปัจจุบัน

ชุดของน้ำหนักบรรทุกอีกชนิดหนึ่งคือ น้ำหนักบรรทุกในช่องจราจร (Lane Load) จะประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกแบบต่อเนื่องคงที่ (Uniform Load) ต่อระยะความยาว 1 ฟุต ของช่องจราจร และรวมกับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในจุดจำนวน 1 จุด (Single Concentrated Load) แต่ถ้าเป็นกรณีของสะพานที่มีความยาวช่วงแบบต่อเนื่องก็ให้ใช้ Concentrated Load 2 จำนวน 2 จุด โดยน้ำหนักทั้งสองแบบที่รวมกันนี้จะถูกพิจารณาว่าเป็นน้ำหนักแบบแผ่กระจายอย่างทั่วถึงเหนือบริเวณที่มีความกว้างภายใน 10 ฟุต บนเส้นที่ตั้งฉาก Normal Line กับเส้นศูนย์กลางของช่องจราจรนั้น

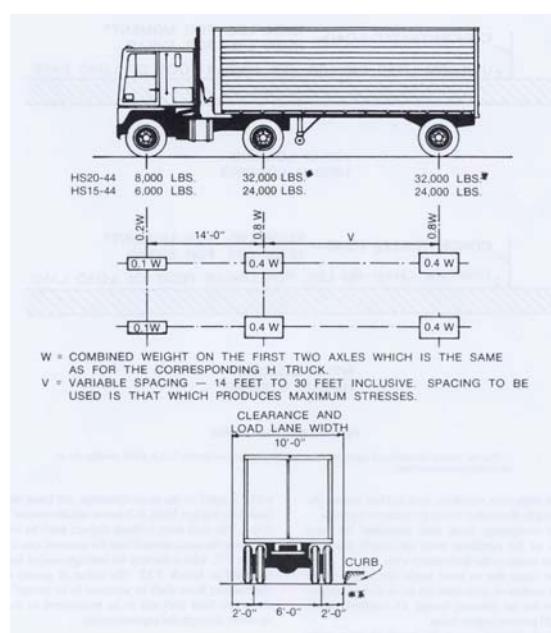
สำหรับการประเมินความแข็งแรงของสะพานนี้ นิยมจำลองสถานการณ์จริงและรถที่ใช้จริงในการพิจารณา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่าการใช้รถชนิด H20 ของ AASHTO มีค่าไกล์เดียงกับรถบรรทุกสิบล้อของไทย เพียงแต่รถสิบล้อของไทยจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกที่มากกว่า กล่าวคือ น้ำหนักบรรทุกของรถ H20 มีค่ารวมเท่ากับ 18.2 ตัน ในขณะที่น้ำหนักบรรทุกรถสิบล้อของไทยมีค่ารวมเท่ากับ 21 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 12-2 สำหรับการวางแผนล้อรถและการกระจายน้ำหนักของรถบรรทุก จากการทดสอบพบว่ามีการกระจายน้ำหนักและตำแหน่งที่ไกล์เดียงกับรถ H20 มาก ดังแสดงในรูปที่ 12-1 ในขณะที่รถบรรทุกชนิด HS20 จะมีน้ำหนักบรรทุกโดยรวมที่สูงกว่าคือ 32.7 ตันและมีลักษณะรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 12-3 นอกจากนี้ในการศึกษาข้อมูลพิจารณา Lane Load ดังแสดงดังรูปที่ 12-4



รูปที่ 12-1 ขนาดมิติและลักษณะการกระจายน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน H20



รูปที่ 12-2 ขนาดมิติและลักษณะการกระจายน้ำหนักบรรทุก 10 ล้อของไทย



รูปที่ 12-3 ขนาดมิติและลักษณะการกระจายน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน HS20



CONCENTRATED LOAD

รูปที่ 12-4 Lane Loading ตามมาตรฐานของ AASHTO

UNIFORM LOAD 640 L

12.2 หลักการทั่วไปของ Influence Lines

สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่มีการเคลื่อนที่ได้ วิศวกรกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกเหล่านั้นอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด โดยทั่วไปแล้ว น้ำหนักบรรทุกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Moving Loads) เหล่านี้ จะเป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุด (Concentrated Load) และน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจาย (Distributed Load) น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำเป็นจุดที่เคลื่อนที่ได้นี้ ประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากล้อและน้ำหนักบรรทุกจากเพลา น้ำหนักบรรทุกจากแต่ละช่องจราจร (Lane Loading) ส่วนน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายนั้น จะประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากช่องจราจร (Lane Loading)

จุดวิกฤตสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ได้ จะแตกต่างกันไปสำหรับแต่ละองค์อาคาร (Member) และจุดข้อต่อ (Connections) ในบางครั้ง ก็เป็นไปได้ที่จะตรวจสอบว่า ควรจะวางน้ำหนักบรรทุกนั้นที่จุดใดเพื่อให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด แต่ส่วนใหญ่แล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องสร้าง Influence Line ขึ้นมา เพื่อคำนวณดูว่าควรวางน้ำหนักบรรทุกไว้ที่จุดใด

หลักการของ Influence Line นี้ใช้ได้กับทุกโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Plane Structures) ซึ่งรับน้ำหนักในระนาบ เช่น คาน (Beams) โครงข้อแข็ง (Frames) และโครงข้อหมุน (Trusses) สำหรับโครงสร้างสามมิติ เช่น แผ่นเหล็ก (Plates) แผ่นโค้ง (Shells) และตะแกรงข่าย (Grids) ก็จะต้องสร้าง Influence Surfaces ขึ้นมาเพื่อค้นหาจุดวิกฤตในการรับน้ำหนัก

แม้ว่าจริงๆ แล้ว สะพานจะเป็นโครงสร้างสามมิติ (Three Dimensional Space Structures) แต่สะพานก็ถูกจำลองให้มีความง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ (Design and Analysis) จึงทำให้สามารถทำการวิเคราะห์องค์อาคารหลัก (เช่น คานขนาดใหญ่ คานซอย และคานพื้น ฯลฯ) เช่นเดียวกับโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ เราคาจะระลึกไว้ว่า เมื่อสะพานซึ่งเป็นรูปแบบสามมิติ (Three-Dimensional) ถูกจำลองให้เป็นรูปแบบง่ายๆ สำหรับการออกแบบ และการให้คะแนนในการประเมินในรูปแบบของโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Plane Structures) นั้น องค์อาคารองลงไปอย่างเช่น โครงยึดด้านข้าง (Lateral Bracing) จะถูกวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ไม่ได้

การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่าย (Simplification) นี้ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งพบได้เมื่อทำการคำนวณ Stresses ในองค์อาคารและข้อต่อต่างๆ ของสะพาน การปรับปรุงรูปแบบของโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่ายนี้ จะเป็นที่ยอมรับในการออกแบบสะพานสำหรับน้ำหนักบรรทุกสถิต (Static Loading) โดยปฏิบัติตามข้อกำหนดของ AASHTO ในเรื่องของ Allowable Stress หรือวิธีการใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor Design Method) แต่อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างนี้ อาจไม่เป็นที่ยอมรับในการออกแบบและการให้คะแนนประเมินสภาพสะพานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรอยแตกที่เกิดจากการล้า (Fatigue Cracking) ในองค์อาคารต่างๆ

H2
HS



(Secondary Members) อย่างเช่น โครงค้ำยันตามขวาง (Cross Bracing) โครงค้ำยันด้านข้าง (Lateral Bracing Members) และข้อต่อ (Connections) และมักจะไม่ให้ค่าค่าแนวการประเมินที่แท้จริงของสะพาน

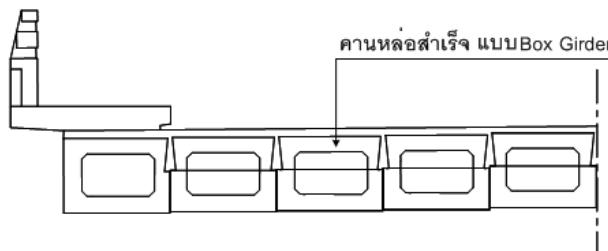
เนื่องจากว่าการออกแบบสะพานนั้น ได้มีทิศทางเข้าสู่การวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis) ของโครงสร้างแบบ 3 มิติของสะพานโดยการใช้คอมพิวเตอร์ วิศวกรสะพานจึงต้องมีความเข้าใจในการ Influence Line ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจใน Influence Surface เมื่อทำการวางน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักกระแทก (Impact Load) เพื่อหาผลกระทบสูงสุดต่อ Member และข้อต่อต่างๆ

บทที่ 13

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง

13.1 การคำนวณ荷重กำลังรับน้ำหนักของ Box Girder

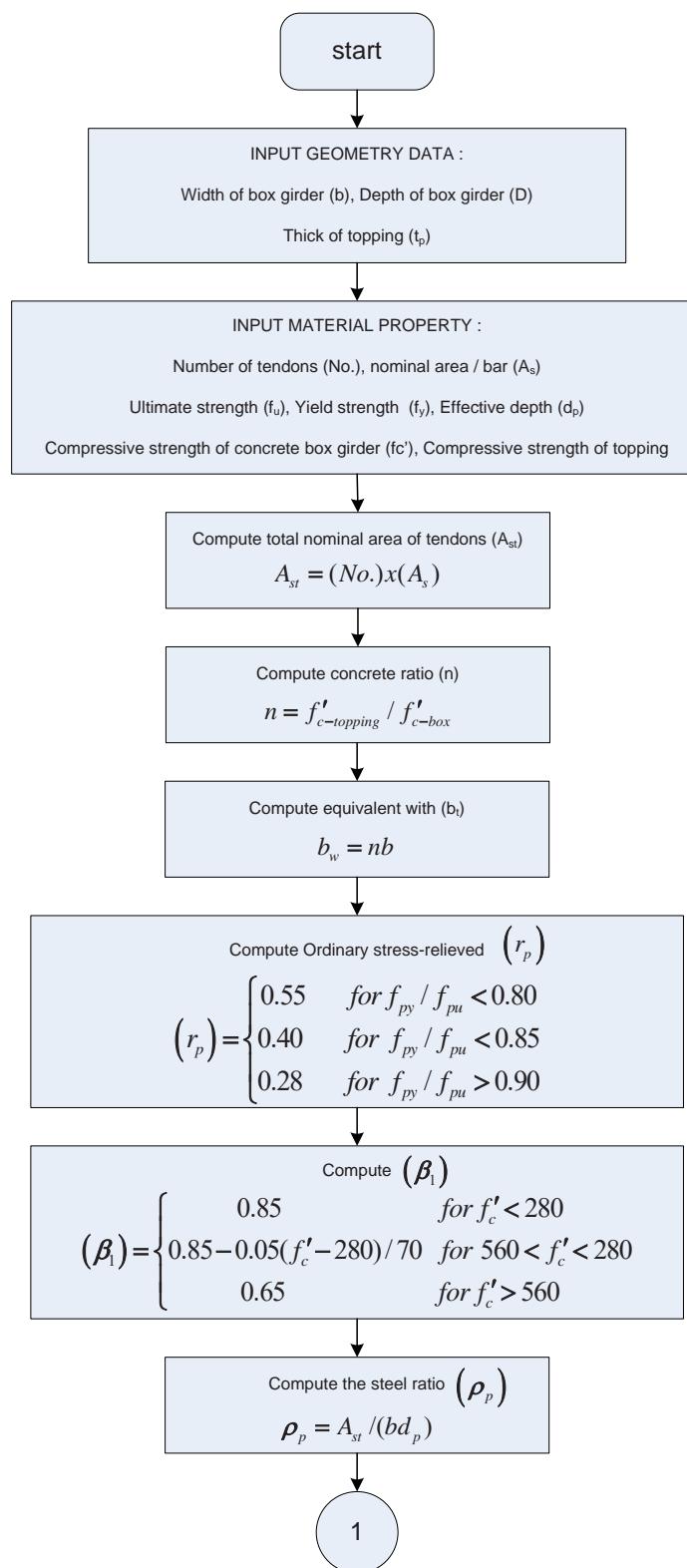
สะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องวางประชิด (PC Box Girder Bridge) จะมีลักษณะเป็นคานคันกรีตอัดแรงรูปกล่องวางเรียงกันบนต่อกัน และมีการเทคโนโลยีทับหน้าเพื่อสร้างความต่อเนื่อง สามารถออกแบบให้มีความยาวซึ่งมากกว่าแบบแผ่นพื้นได้ โดยทั่วไปจะมีความยาวซึ่งระหว่าง 10 – 20 เมตร รูปที่ 13-1 แสดงหน้าตัดของสะพาน

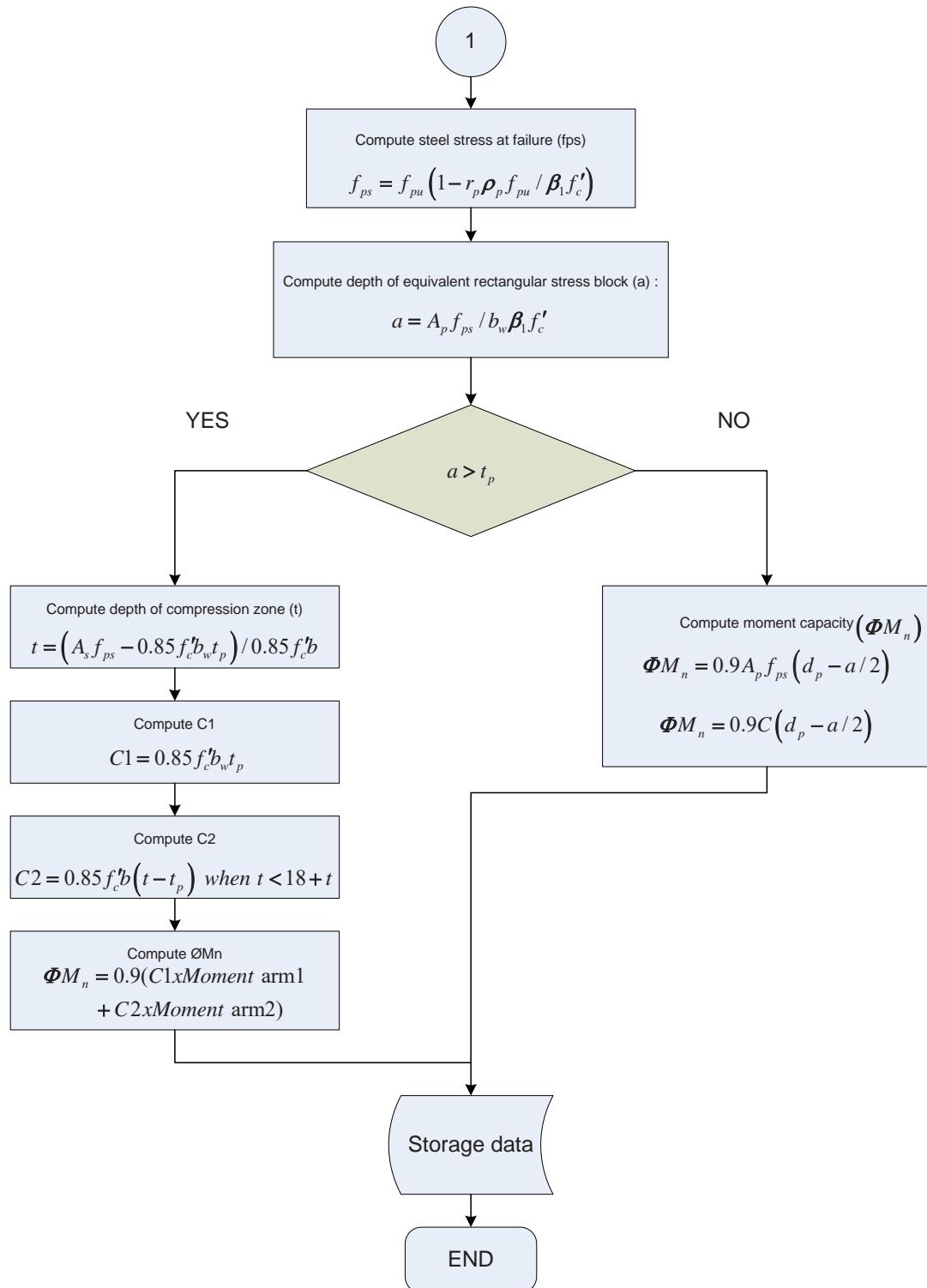


รูปที่ 13-1 รูปแสดงหน้าตัดของสะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องวางประชิด

13.1.1. การคำนวณ荷重ความสามารถในการรับไมเมนต์ตัดของหน้าตัด

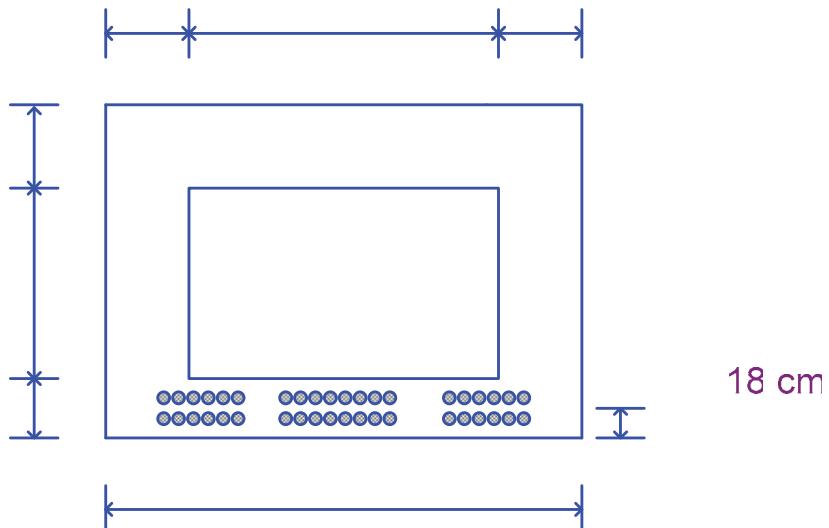
การคำนวณ荷重ความสามารถในการรับไมเมนต์ตัดของหน้าตัด มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ต่อไปนี้







ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณค่ากำลังรับไมเมเนต์ดัดของหน้าตัดของสะพานชั้งมีโครงสร้างแบบ Box Girder (ในที่นี่พิจารณาเฉพาะ Box Girder) คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของวัสดุ

ลวดเป็นลวดเกลียวขัดแรงชนิด 7 เส้น ตาม มอก.420-2534 (Grade 1725) ขนาด Ø 3/8 นิ้ว ซึ่งมี

$$\text{ค่ากำลังดึงประจำตัว} (f_{pu}) = 17600 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงที่จุดคราก} (f_{py}) = 15800 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงเริ่มต้น} (f_{pi}) = 12300 \text{ ksc.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัด (Nominal Area) ของลวด} = 0.5161 \text{ cm}^2 / \text{bar}$$

$$\text{จำนวนของลวดขัดแรง} = 40 \text{ เส้น}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Box Girder)} = 360 \text{ ksc.}$$

$$\text{และความลึกประจำตัวของหน้าตัด} = 64 \text{ cm.}$$

12 cm

ขั้นตอนการคำนวณ

$$\text{คำนวณพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดขัดแรง} (A_{st})$$

$$A_{st} = 40(0.5161) = 20.644 \text{ cm}^2$$

$$\text{เนื่องจากเป็นคอนกรีตอัดแรงมีการยึดเหนี่ยว ดังนั้น} (f_{ps})$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \right\}.$$

ຄໍານວນຄ່າ (γ_p)

$$f_{py} / f_{pu} = 15800 / 17600 = 0.898 \text{ ດັ່ງນັ້ນ ໃຫ້ } \gamma_p = 0.4$$

ຄໍານວນຄ່າ (β_1)

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05(360 - 280) / 70 = 0.792857$$

ຄໍານວນຄ່າ (ρ_p)

$$\rho_p = 20.644 / (99 \times 64) = 0.003258$$

$w = w' = 0$ ເພຣະໄມມື່ເໜີ້ເໜີ້ເລື້ອກເສີມແບບອຽມດາ

ແກນຄ່າຈະໄດ້

$$f_{ps} = 17600 \left\{ 1 - \frac{0.4}{0.792857} \left[\frac{0.0032589(17600)}{360} + 0 \right] \right\} = 16185.34 \text{ ksc.}$$

ຄໍານວນຄ່າຄວາມລຶກຂອງບັດືອກຮັບແຮງຂັດ (a)

$$a = \frac{A_s f_{ps}}{0.85 b f'_c} = \frac{20.644(16185.34)}{0.85(99)(360)} = 11.02956 \text{ cm.}$$

ຄໍານວນຄ່າກຳລັງຮັບໃມ່ເມນຕົດຂອງໜ້າຕົດ

$$M_n = c(d - a/2) \text{ ທີ່ມີ } M_n = f_{ps}(d - a/2)$$

$$M_n = 20.644(16185.34)(64 - 11.02956/2) = 19541675.86 \text{ kg.-cm}$$

$$M_n = 0.85(360)(99)(11.02956)(64 - 11.02956/2) = 19541636.7 \text{ kg.-cm}$$

ເພຣະຈະນັ້ນ $M_n = 195416 \text{ kg.-m.}$

ຝຶ່ງຮາຍລະເອີ້ດຂອງກາຣຄໍານວນສາມາຮັດສຽງເປັນໂປຣແກຣມຕາວາງສູດໃຈ ໄດ້ດັ່ງນີ້



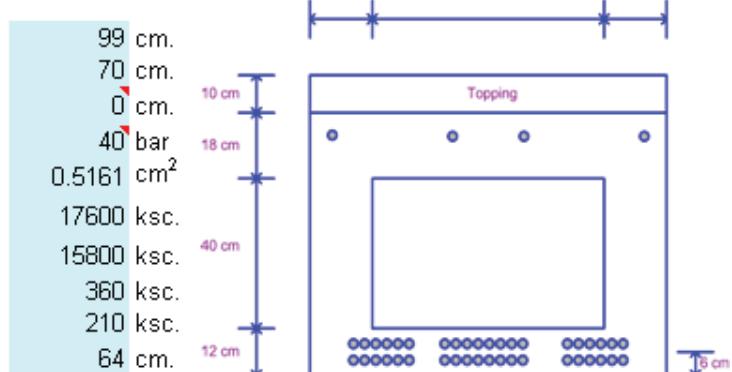


JOB #
BY #
DATE #
SHEET #

Moment Capacity of Box Girder

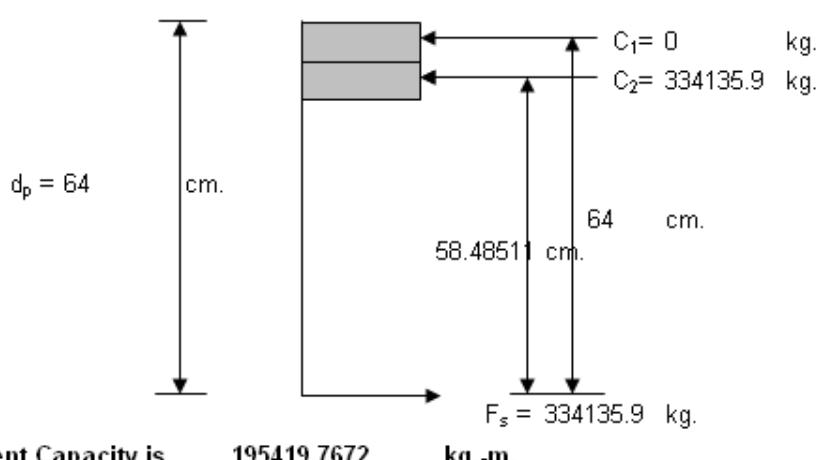
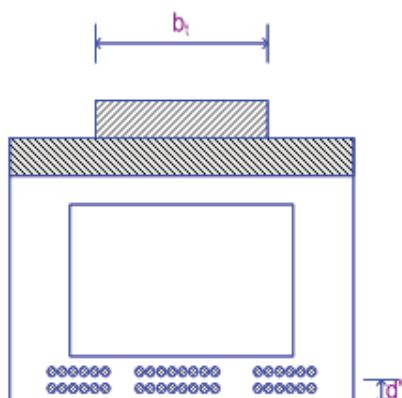
Input Data

width of box girder (b)
 depth of box girder (D)
 thick of topping (t_p)
 number of tendon (No)
 nominal area / bar (A_s)
 ultimate strength (f_u)
 yield stress (f_y)
 f_c' (box girder)
 f_c' (topping)
 Effective depth (d_0)



Computation

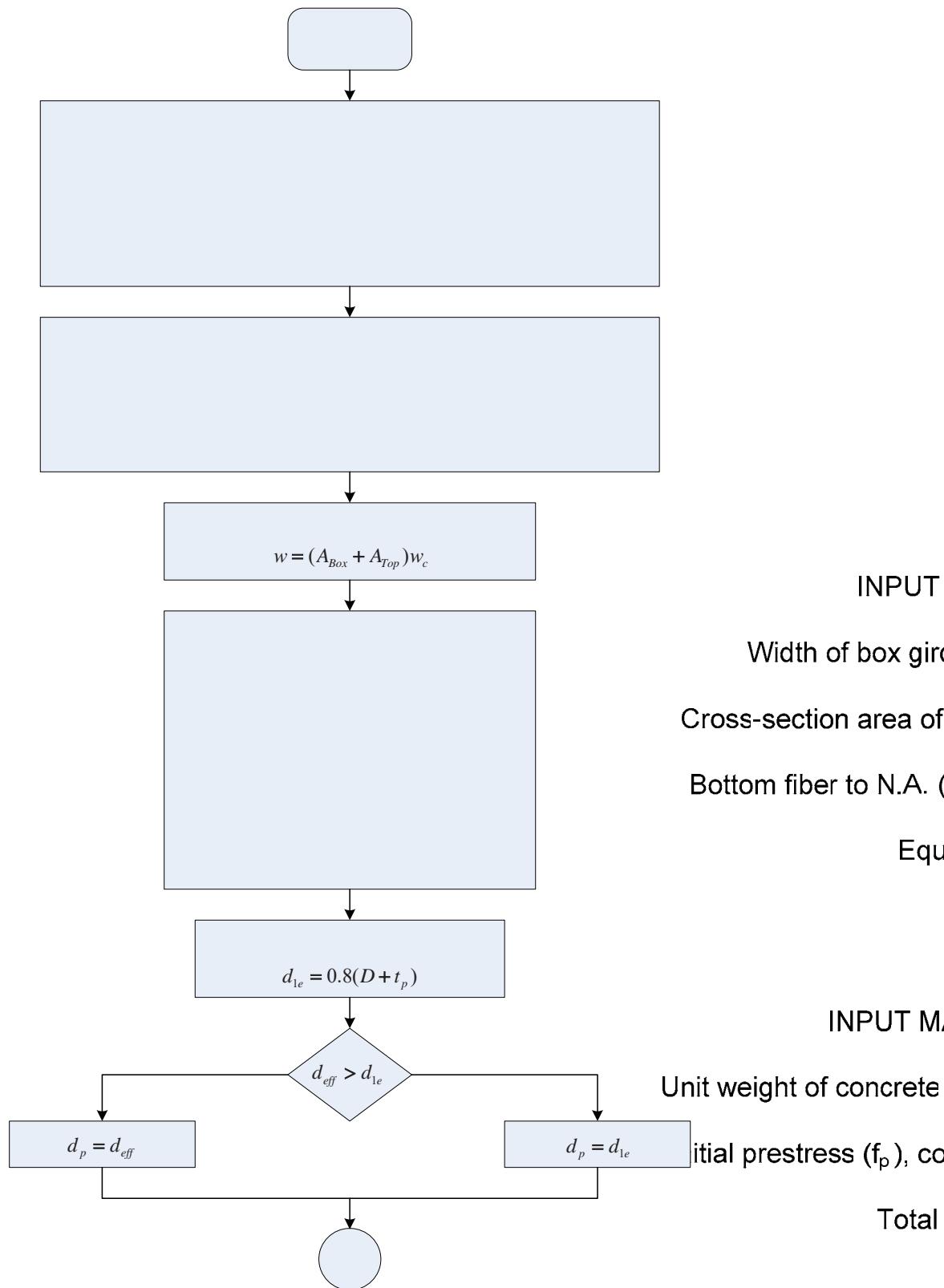
total area (A_{st})	20.644	cm^2
concrete ratio (n)	0.583333	
equivalent width (b_t)	99	cm.
f_{py}/f_{pu}	0.4	
β_1	0.792857	
steel ratio (p_p)	0.003258	
steel at failure (f_{ps})	16185.62	ksc.
stress block (a)	11.02977	cm.
compression zone (t)	11.02977	cm.
compression force (C_1)	0	kg.
compression force (C_2)	334135.9	kg.

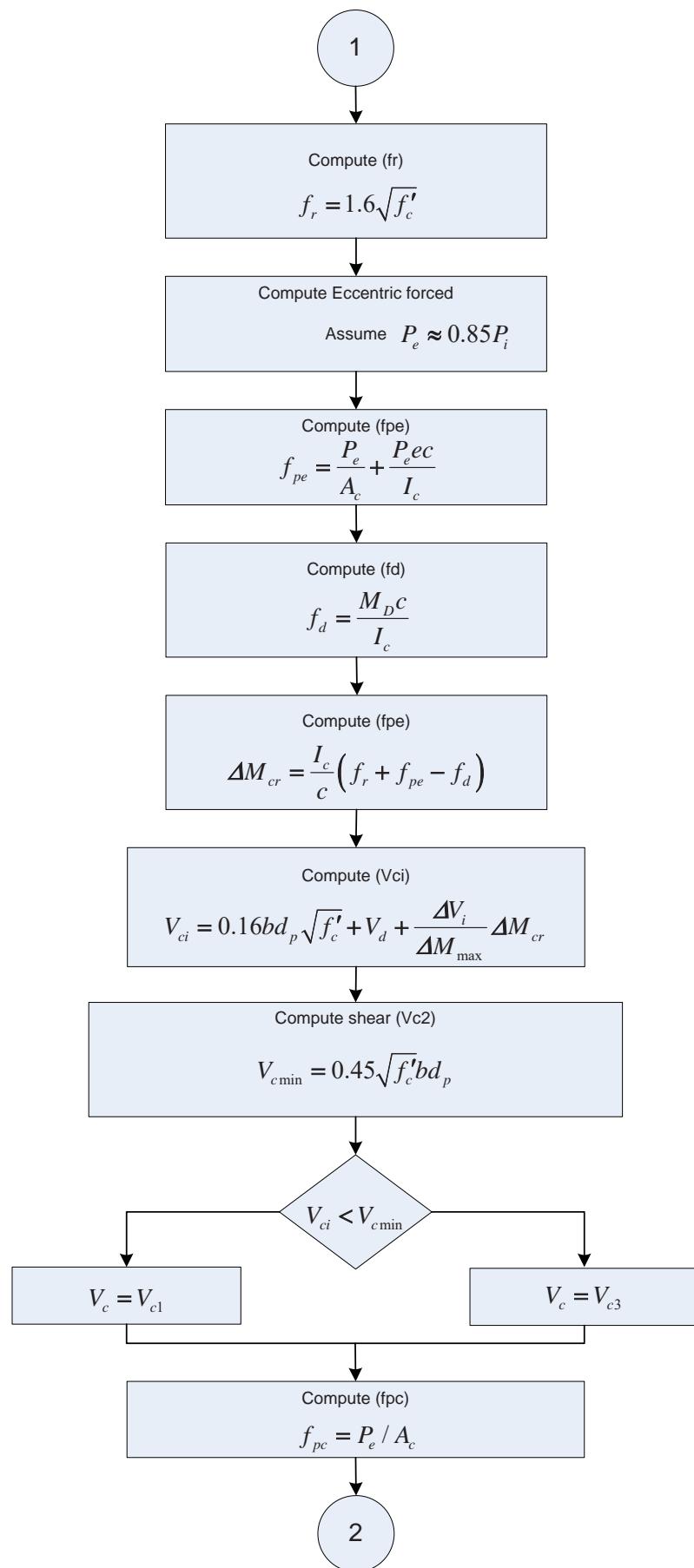


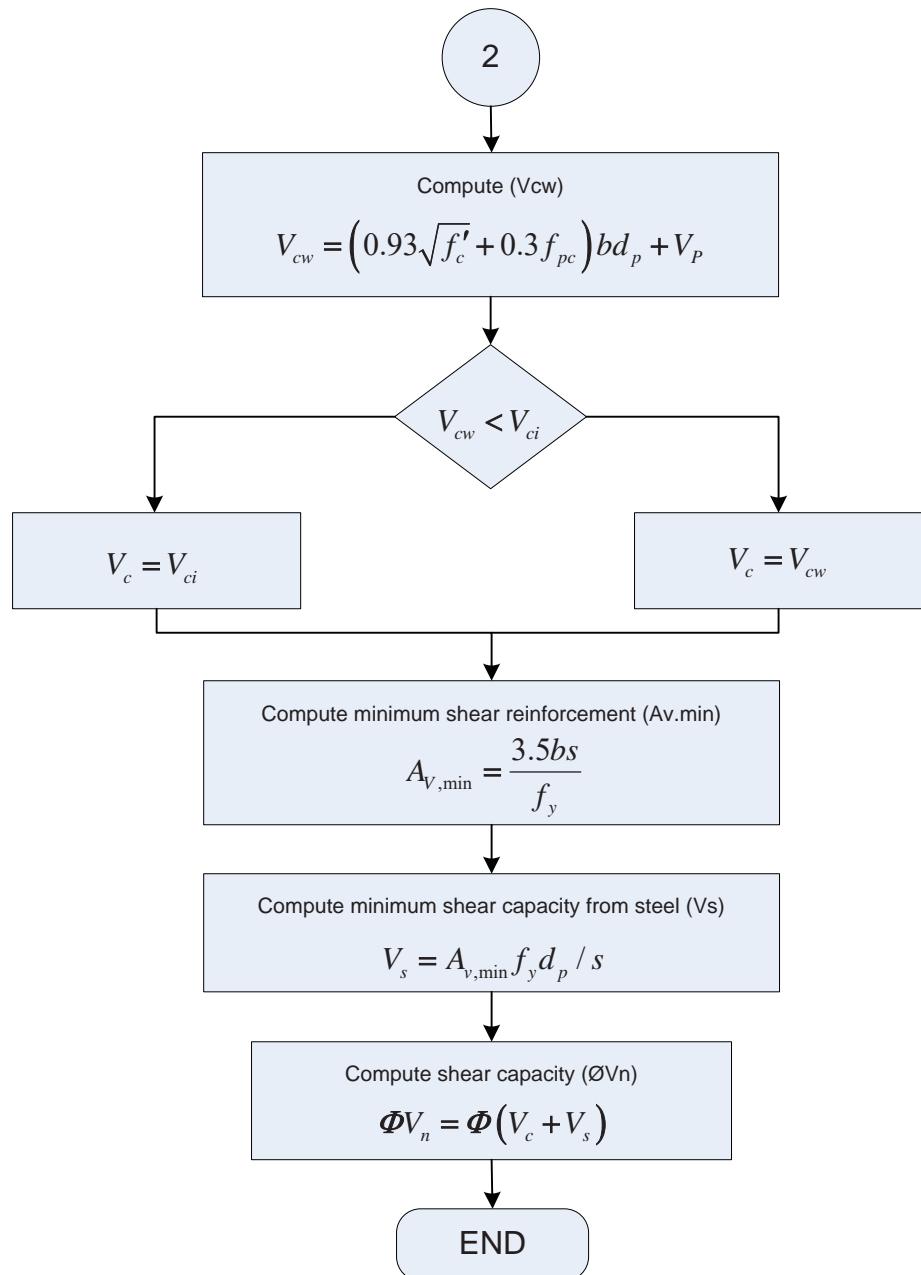
Moment Capacity is 195419.7672 kg.-m.

13.1.2. การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด

มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ดังนี้

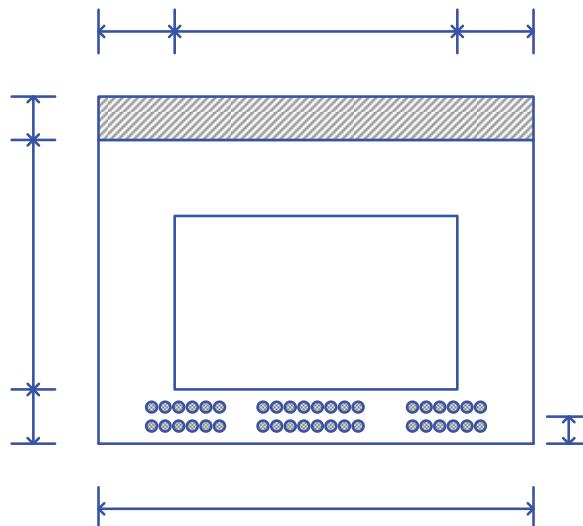








ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดสะพานซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ Box Girder คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



18

10

คุณสมบัติของ Box Girder

$$\text{พื้นที่หน้าตัด } (A_c) = 4410 \text{ cm}^2$$

$$\text{ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบอกสุดของพื้นที่รับแรงดึง} = 36.71 \text{ cm.}$$

$$\text{ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบอกสุดของพื้นที่รับแรงอัด} = 33.29 \text{ cm.}$$

$$\text{โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด} = 2.458 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

40 cm

ลดขัดแรงชนิดลวดเกลี้ยง 7 เส้น มอก 420-2534 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว

$$\text{กำลังดึงเริ่มต้น } (f_{pi}) = 12300 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Box Girder)} = 360 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)} = 210 \text{ ksc.}$$

$$\text{และความลึกประสีทิพลดของหน้าตัด} = 64 \text{ cm.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดขัดแรง} = 20.644 \text{ cm}^2$$

12 cm

$$\text{ระยะเยื้องศูนย์ของลวดอัดแรง} = 35.14 \text{ cm.}$$

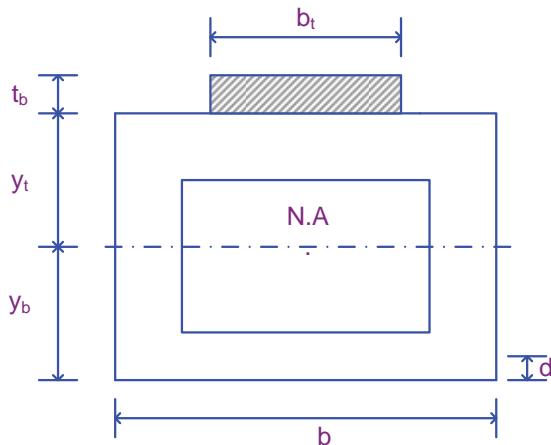
ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณอัตราส่วนของคอนกรีต Box Girder ต่อ Topping (n)

$$n = \frac{f'_{Topping}}{f'_{Box}} = \frac{210}{360} = 0.5833$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_w)

$$b_w = nb = 0.583(99) = 57.75 \text{ cm.}$$



คำนวณจุดศูนย์กลางของหน้าตัดแปลง (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{4410(36.71) + 57.75(10)(75)}{4410 + 57.75(10)}$$

$$\bar{y} = 41.14 \text{ cm.}$$

คำนวณค่าโมเมนต์ความเรื้อร่ายของหน้าตัดแปลง (I_{new})

$$I_{new} = 2.458 \times 10^6 + 4410(41.14 - 36.71)^2 + \frac{57.75(10)^3}{12} + 57.75(10)(75 - 41.14)^2$$

$$I_{new} \cong 3211462 \text{ cm}^4$$

คำนวณน้ำหนักของ Box Girder

$$w_G = 0.441(2400) = 1058 \text{ kg/m.}$$

คำนวณน้ำหนักของ Topping

$$w_t = 0.099(2400) = 238 \text{ kg/m.}$$

ในที่นี่ แสดงการคำนวณแรงเฉือนเฉพาะที่ระยะ $x = 0.68 \text{ m.}$ ห่างจาก Support

$$\text{Shear from DL } (V_d) = w_d \left(\frac{L}{2} - x \right) = 1296 \left(\frac{20}{2} - 0.68 \right) = 12079 \text{ kg.}$$

$$\text{Shear from LL } (\Delta V_i) = 9027 \text{ kg}$$

$$\text{Moment from DL } (M_d) \frac{w_d x}{2} (L - x) = \frac{1296(0.68)}{2} (20 - 0.68) = 8513 \text{ kg.-m.}$$

$$\text{Moment from LL } (\Delta M_{max}) = 13727 \text{ kg.-m.}$$

$$f_r = 1.6\sqrt{f'_c} = 1.6\sqrt{360} = 30.358 \text{ ksc.}$$

$$\text{Assume } P_e = 0.85P_i : \quad P_e = 0.85(20.644)(12300) = 215833 \text{ kg.}$$

$$f_{pe} = \frac{P_e}{A} + \frac{My}{I_c} = \frac{215833}{4410} + \frac{215833(41.14 - 6)(41.14)}{3211462} = 146.10 \text{ ksc.}$$



$$f_d = \frac{M_G c}{I_{new}} = \frac{8513(100)(41.14)}{3211462} = 10.906 \text{ ksc.}$$

$$\Delta M_{cr} = \frac{I_{new}}{\bar{y}} (f_r + f_{pe} - f_d) = \frac{3211462}{41.14} (30.358 + 146.1 - 10.906)$$

$$\Delta M_{cr} = 12923285 \text{ kg.-cm.}$$

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c}b_w d + V_d + \frac{\Delta V_i}{\Delta M_{max}} \Delta M_{cr} = 0.16\sqrt{360}(36)(64) + 12079 + \frac{9027(129232)}{13727}$$

$$V_{ci} = 104057.6 \text{ kg.}$$

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A} = \frac{215833}{4410} = 48.94 \text{ ksc.}$$

$V_p = P_e y' = 0$ เพราะ Slope ของ tendon มีค่าเป็น 0

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc})b_w d + V_p = (0.93\sqrt{360} + 0.3(48.942))(36)(74)$$

$$V_{cw} = 86121.86 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้นความสามรถในการรับแรงเฉือนที่ระยะ $x = 0.68 \text{ m.}$ คือ $V_c = 86122 \text{ kg.}$

ปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุดที่ต้องการ

$$A_{vmin} = 3.5b(spacing)/f_y = 3.5(36)(12.5)/3000 = 0.525$$

ความสามารถในการรับแรงเฉือนจากเหล็กเสริม (V_s)

$$V_s = A_v f_y d / spacing = 0.525(3000)(74)/12.5 = 9324 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้น $V = 86122 + 9324 = 95446 \text{ kg.}$

ซึ่งสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตามตารางดูต่อได้ดังนี้



JOB #
BY #
DATE #
SHEET #

Shear Capacity of Box Girder

Input Data

width of box girder (b)	99	cm.
depth of box girder (D)	70	cm.
Cross-Section area (A_c)	4410	cm ²
top fiber to N.A. (y_t)	33.29	cm.
bottom fiber to N.A. (y_b)	36.71	cm.
moment inertia (I_b)	2.46E+06	cm ⁴
Equivalent width (b_t)	57.75	cm.
thick of topping (t_p)	10	cm.
unit weight of con. (w_c)	2400	kg./m ³
Effective depth (d_p)	74	cm.
yield stress of reinf. (f_y)	3000	ksc.
initial prestress (f_{pi})	12300	ksc.
f'_c	360	ksc.
total area of tendon	20.644	cm ²
span	2000	cm

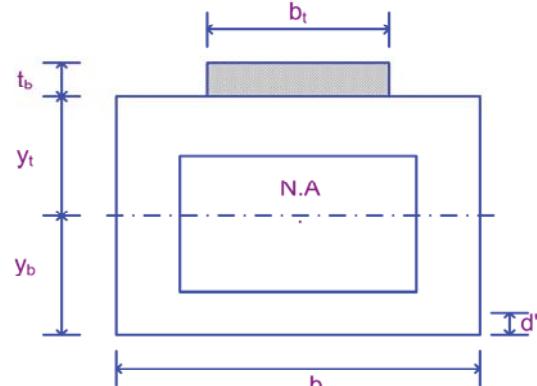
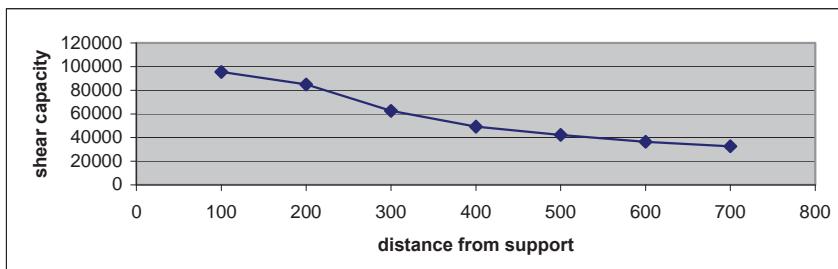


Table for computation

distance	100	200	300	400	500	600	700
eccentricity	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14
shear from LL (V_L)	11532	10723	10116	9308	8701	7893	7286
moment from DL (M_L)	1072388	2144776	2934123	3723469	4229774	4736079	5026443
shear reinf. Spacing	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5

ΔM_{cr}	12542902	11441302	10469302	9626901.53	8914102	8330902	7877302
V_{ci}	154632.31	75657.15	53254.43	39928.8505	32904.39	27155.35	23393.75
V_{cw}	86121.866	86121.87	86121.87	86121.8658	86121.87	86121.87	86121.87
V_s	9324	9324	9324	9324	9324	9324	9324

Shear Capacity	95445.866	84981.15	62578.43	49252.8505	42228.39	36479.35	32717.75
----------------	-----------	----------	----------	------------	----------	----------	----------





13.1.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยการใช้โปรแกรม SAP2000 ชื่อ.คุณสมบัติของโครงสร้างและวัสดุดังนี้

คุณสมบัติของวัสดุ

คอนกรีต (Concrete)

- Isotropic Material	=	
- Mass Per Unit Volume	=	2.450×10^{-6} kg/cm ³
- Weight Per Unit Volume	=	2.450×10^{-3} kg/cm ³
- Modulus of Elasticity	=	2.53×10^5 kg/cm ³
- Poisson's Ratio	=	0.20
- Coefficient of thermal Expansion	=	9.9×10^{-6} ϵ /celsius
- Shear Modulus	=	105460 kg/cm ²
- Specified concrete compression strength	=	360 kg/cm ²
- Bending Reinforcement, Yield stress	=	4000 kg/cm ²
- Shear Reinforcement , Yield Stress	=	2800 kg/cm ²

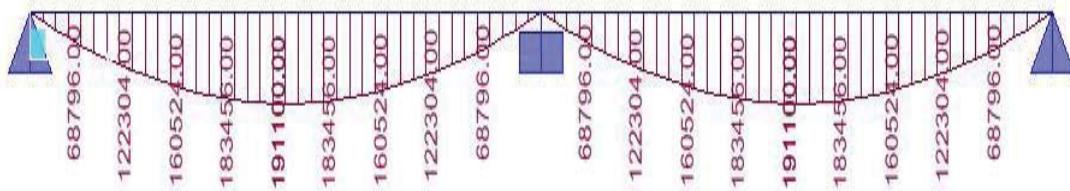
คุณสมบัติทางกายภาพของโครงสร้าง

- ความกว้าง (width)	=	15 m.
- ความยาวช่วงพาด (Span)	=	20 m.
- เงื่อนไขจุดรองรับแบบบีเดมูนบีเดมูน	=	

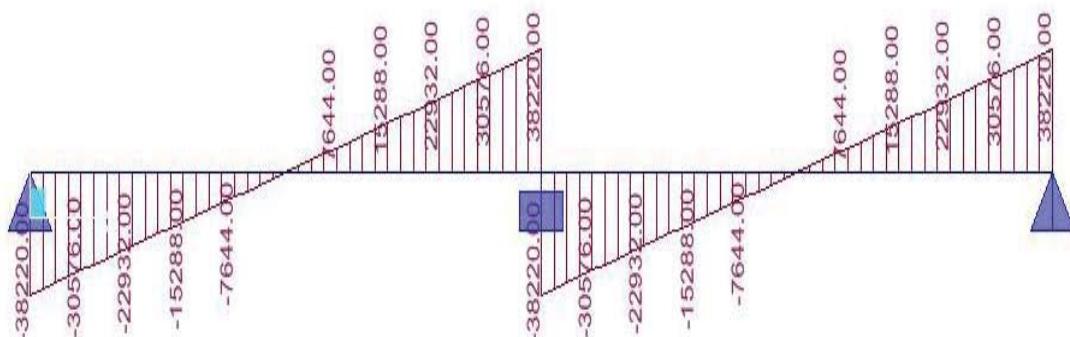
คุณสมบัติของ Box Girder

- ความสูง	=	70 cm.
- ความกว้างต่อ Box	=	99 cm.

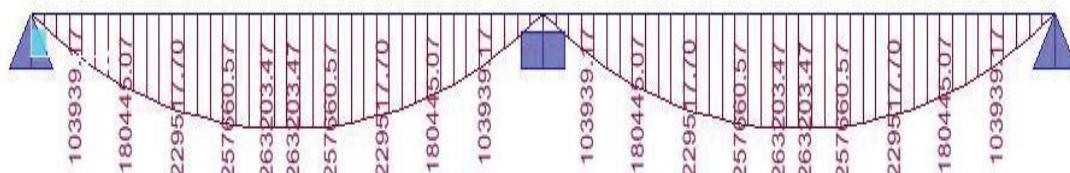
ผลการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดและค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้าง แสดงได้ดังรูป (ผลการวิเคราะห์ต่อความกว้าง 3 เมตรสำหรับแบบจำลอง)



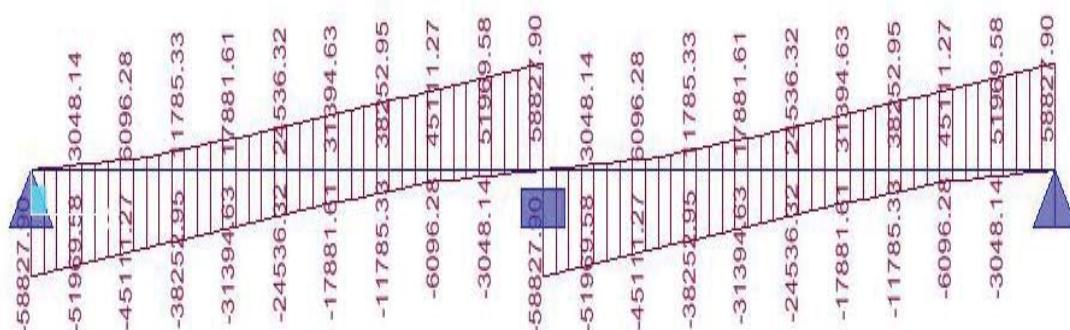
รูปที่ 13-2 แผนภาพของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (M_{DL}) kg.-m.



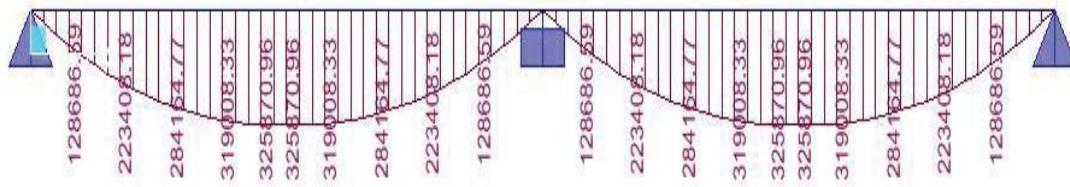
รูปที่ 13-3 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (V_{DL}) kg.



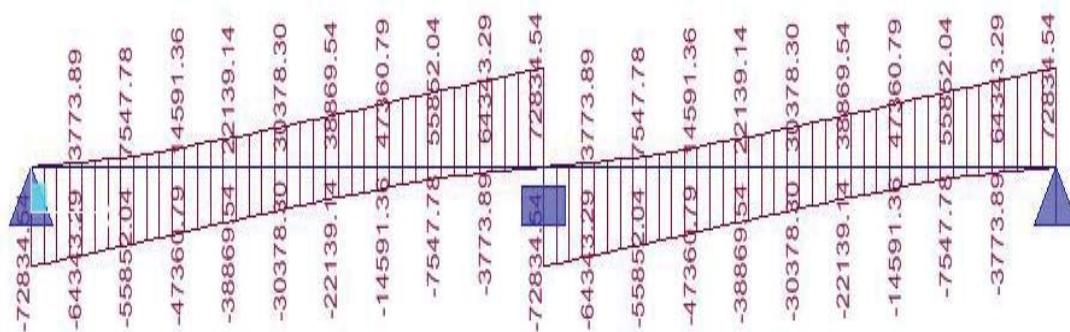
รูปที่ 13-4 แผนภาพโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (M_{LL21}) kg.-m.



รูปที่ 13-5 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (V_{LL21}) kg.



รูปที่ 13-6 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (M_{LL26}) kg.m.



รูปที่ 13-7 แผนภาพไมเมเนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (V_{LL26}) kg.

จากการวิเคราะห์ดังข้างต้นเราสามารถนำไปใช้หาค่า Theoretical Moment Rating Factor ของสะพานแบบ Box Girder ที่มีความยาวช่วงพอด 20 เมตร และความกว้าง 15 เมตร โดยสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 13-1 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

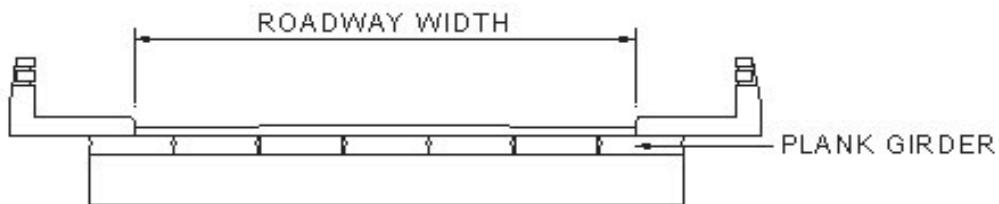
	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	1.18	0.96
Operating	1.54	1.24

ตารางที่ 13-2 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor (At critical section)

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	3.69	2.98
Operating	4.79	3.88

13.2 การคำนวนหากำลังรับน้ำหนักของ Plank

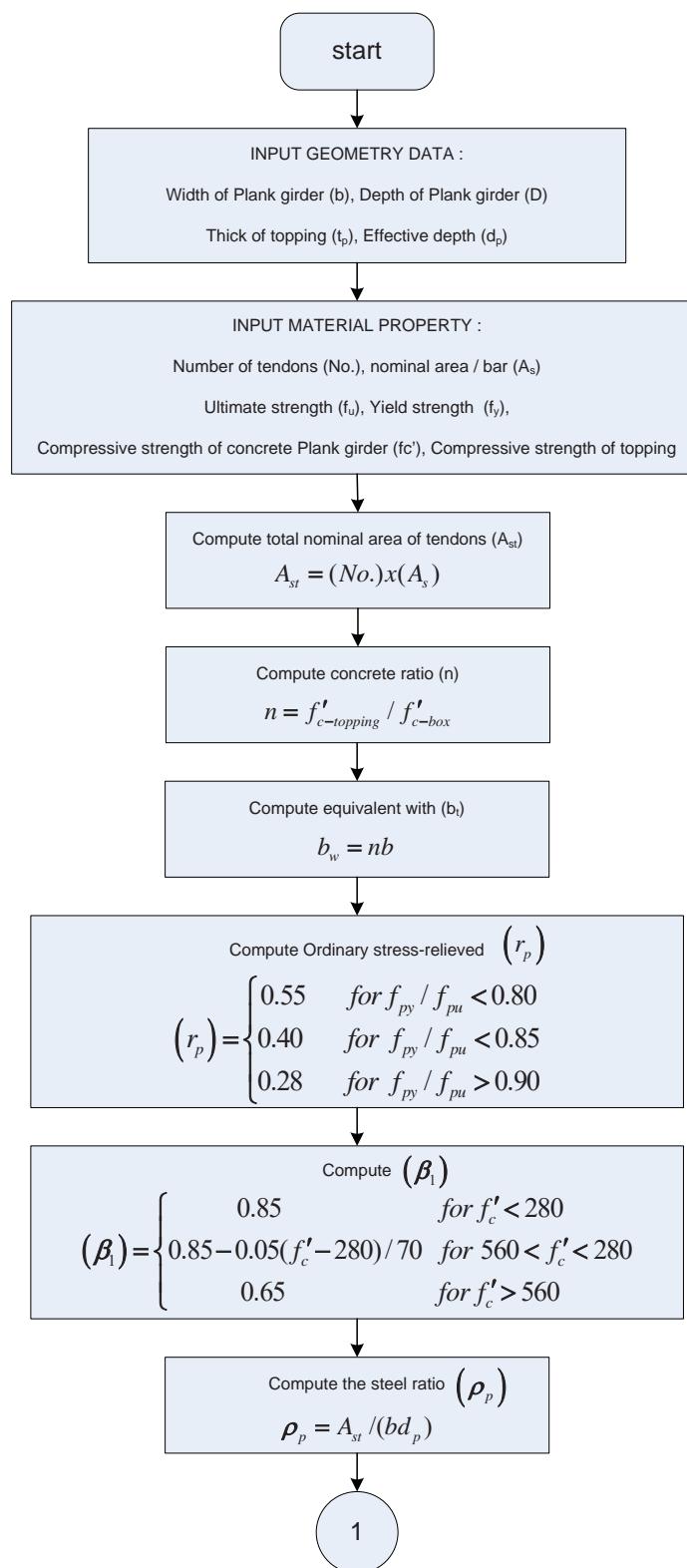
PC Plank Girder Bridge เป็นสะพานที่มีกาวางแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงระหว่างตอม่อ และมีการเทคอนกรีตทับหน้าเพื่อทำให้หน้าตัดมีความต่ำเนื่อง มีความยาวช่วงสั้น และใช้ข้ามคลองขนาดเล็กคล้ายสะพานแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ ความยาวช่วงระหว่าง 5-10 เมตร สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วและไม่เปลี่ยนไปแบบ รูปที่ 13-8 แสดงหน้าตัดของสะพานประเภทนี้

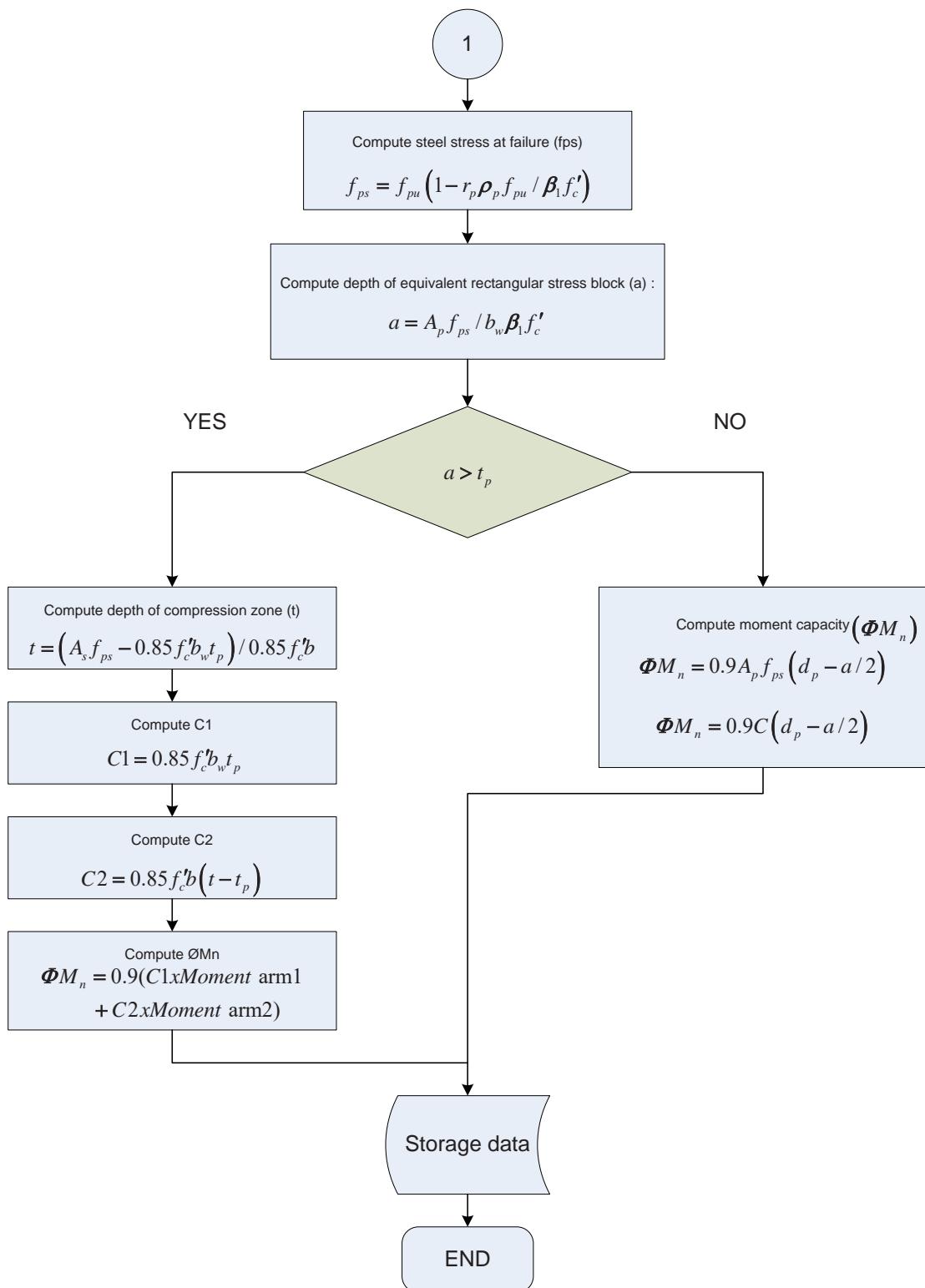


รูปที่ 13-8 รูปแสดงหน้าตัดของสะพานแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

13.2.1. การคำนวนหาค่าความสามารถในการรับ荷重เมนต์ดัดของหน้าตัด

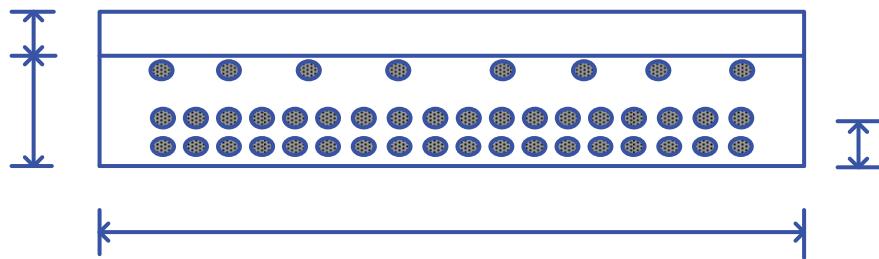
การคำนวนหาค่าความสามารถในการรับ荷重เมนต์ดัดของหน้าตัด มีขั้นตอนในการคำนวนดังแสดงใน Flowchart ต่อไปนี้







ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณค่ากำลังรับไมเมนต์ดัดของหน้าตัดของสะพานซึ่งมีโครงสร้างแบบ Plank Girder ที่ใช้สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วงพาด 10 เมตร คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของวัสดุ

ลวดเป็นลวดเกลียวขัดแรงชนิด 7 เส้น ตาม นก.420-2534 (Grade 1725) ขนาด Ø 3/8 นิ้ว ซึ่งมี

$$\text{ค่ากำลังดึงประจำ} (f_{pu}) = 17574 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงที่จุดคราก} (f_{py}) = 15816 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงเริ่มต้น} (f_{pi}) = 12300 \text{ ksc.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัด (Nominal Area) ของลวด} = 0.5161 \text{ cm}^2 / \text{bar}$$

$$\text{จำนวนของลวดขัดแรง} = 40 \text{ เส้น}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Box Girder)} = 420 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)} = 300 \text{ ksc}$$

$$\text{และความลึกประสีทิกผลของหน้าตัด} = 36 \text{ cm.}$$

ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง (A_{st})

$$A_{st} = 42(0.5161) = 21.6762 \text{ cm}^2$$

คำนวณอัตราส่วนของกำลังอัดคอนกรีต (n)

$$n = 300 / 420 = 0.714286$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_t)

$$b_t = nb = 0.714286(99) = 70.71429 \text{ cm.}$$

เนื่องจากเป็นคอนกรีตอัดแรงมีการยึดเหนี่ยว ดังนั้น (f_{ps})

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \right\}.$$

ค่า (γ_p)

$$f_{py} / f_{pu} = 15816 / 17574 = 0.899 \text{ ดังนั้น } \gamma_p = 0.4$$

ค่านวนค่า (β_1)

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05(420 - 280) / 70 = 0.75$$

ค่านวนค่า (ρ_p)

$$\rho_p = 21.6762 / (99 \times 36) = 0.006082$$

$w = w' = 0$ เพราะไม่มีเหล็กเสริมแบบชรอมดา

แทนค่าจะได้

$$f_{ps} = 17574 \left\{ 1 - \frac{0.4}{0.75} \left[\frac{0.006082(17574)}{420} + 0 \right] \right\} = 15188.73 \text{ ksc.}$$

ค่านวนค่าความลึกของบล็อกรับแรงขัด (a)

$$a = \frac{A_{st} f_{ps}}{0.85 b f'_c} = \frac{21.6762(15188.73)}{0.85(70.714)(420)} = 13.04161 \text{ cm.} > t_p$$

ค่านวน (t) ใหม่

$$t = \left(A_{st} f_{ps} - 0.85 f'_c b t_p \right) / 0.85 f'_c b \\ = [21.6762(15188.73) - 0.85(420)(70.714)(10)] / 0.85(420)(99) = 2.17256 \text{ cm.}$$

ค่านวนค่ากำลังรับโมเมนต์ด้านหน้าตัด

$$M_n = C_1 d_1 + C_2 d_2$$

$$M_n = 0.85 f'_c b t_p (d - t_p / 2) + 0.85 f'_c b t (d - 10 - t / 2) \\ = 0.85(420)(70.714)(10)(36 - 10 / 2) + 0.85(420)(99)(2.17256)(36 - 10 - 2.17256 / 2) \\ = 9738913 \text{ kg.-cm}$$

เพราะฉะนั้น $M_n = 97389.13 \text{ kg.-m.}$

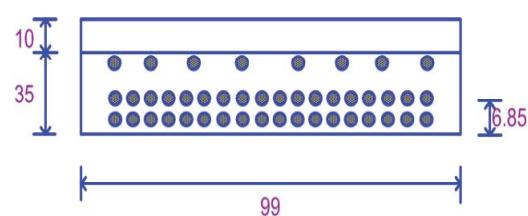
ซึ่งรายละเอียดของการคำนวนสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้



Moment Capacity of Plank Girder

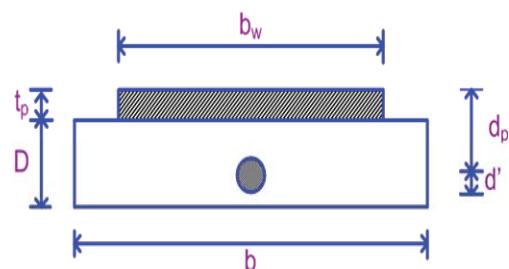
Input Data

width of Plank girder (b)	99	cm.
depth of Plank girder (D)	35	cm.
thick of topping (t_p)	10	cm.
number of tendon (No)	42	bar
nomial area / bar (A_s)	0.5161	cm ²
ultimate strength (f_u)	17574	ksc.
yield stress (f_y)	15816	ksc.
f'_c (box girder)	420	ksc.
f'_c (topping)	300	ksc.
Effective depth (d_p)	36	cm.

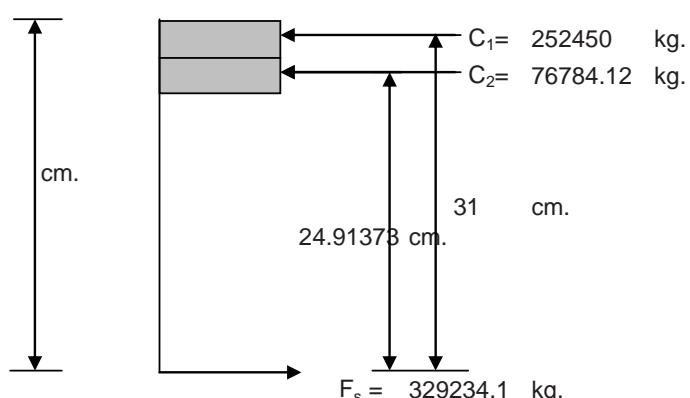


Computation

total area (A_{st})	21.6762	cm ²
concrete ratio (n)	0.714286	
equivalent width (b_t)	70.71429	cm.
f_{py}/f_{pu}	0.4	
β_1	0.75	
steel ratio (ρ_p)	0.006082	
steel at failure (f_{ps})	15188.74	ksc.
stress block (a)	13.04156	cm.
compression zone (t)	2.172541	cm.
compression force (C_1)	252450	kg.
compression force (C_2)	76784.12	kg.

 $d_p = 36$

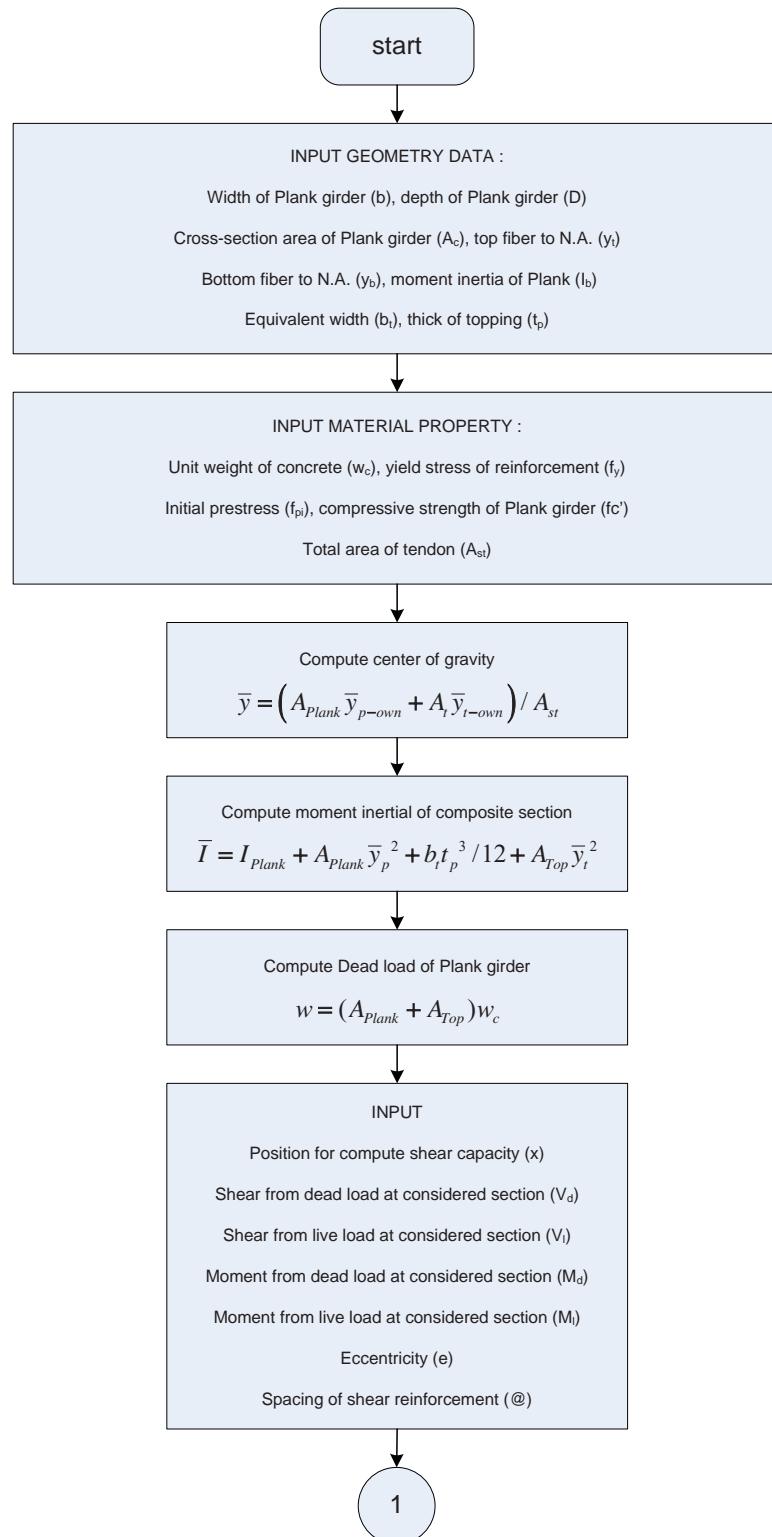
cm.

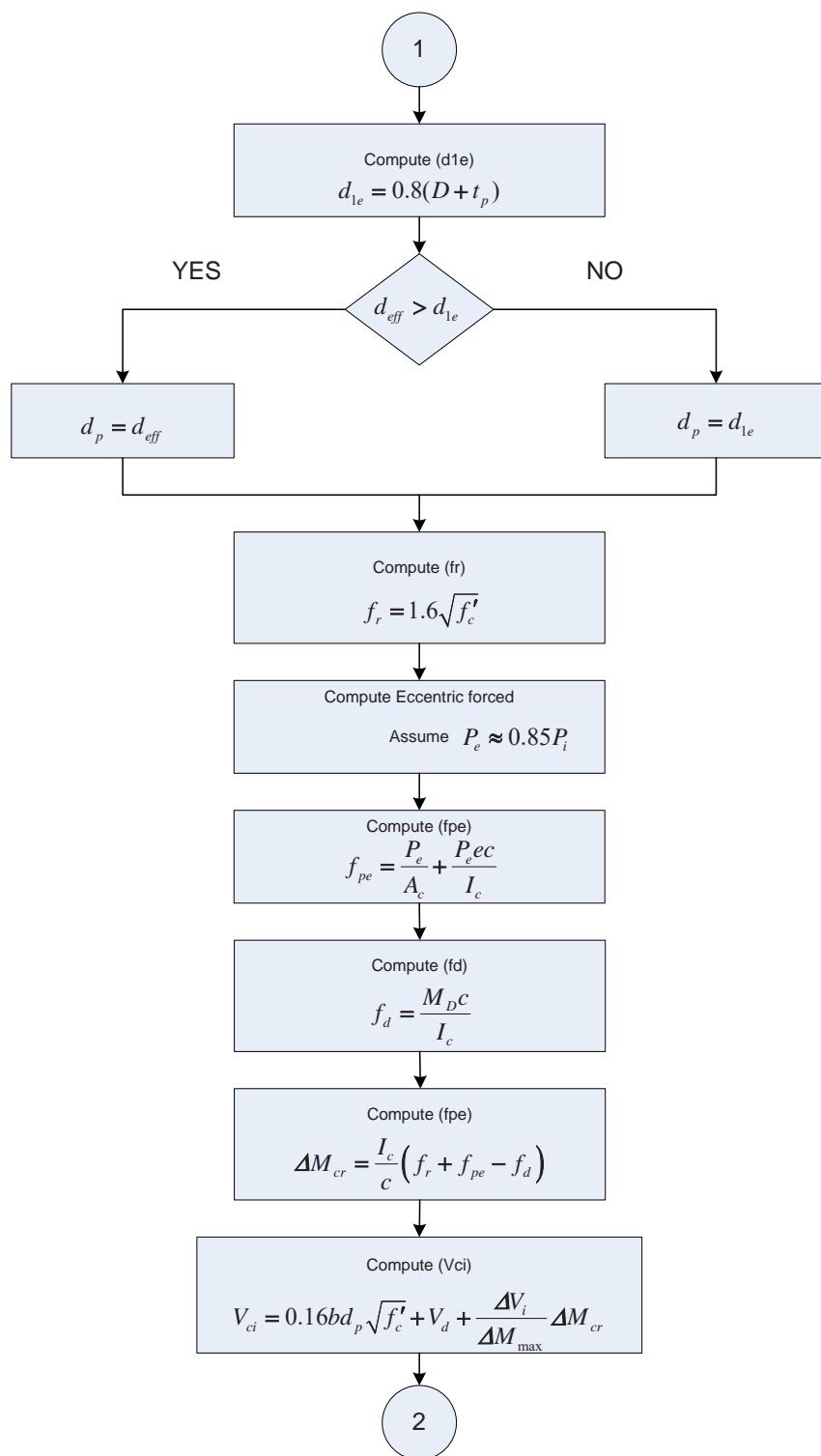


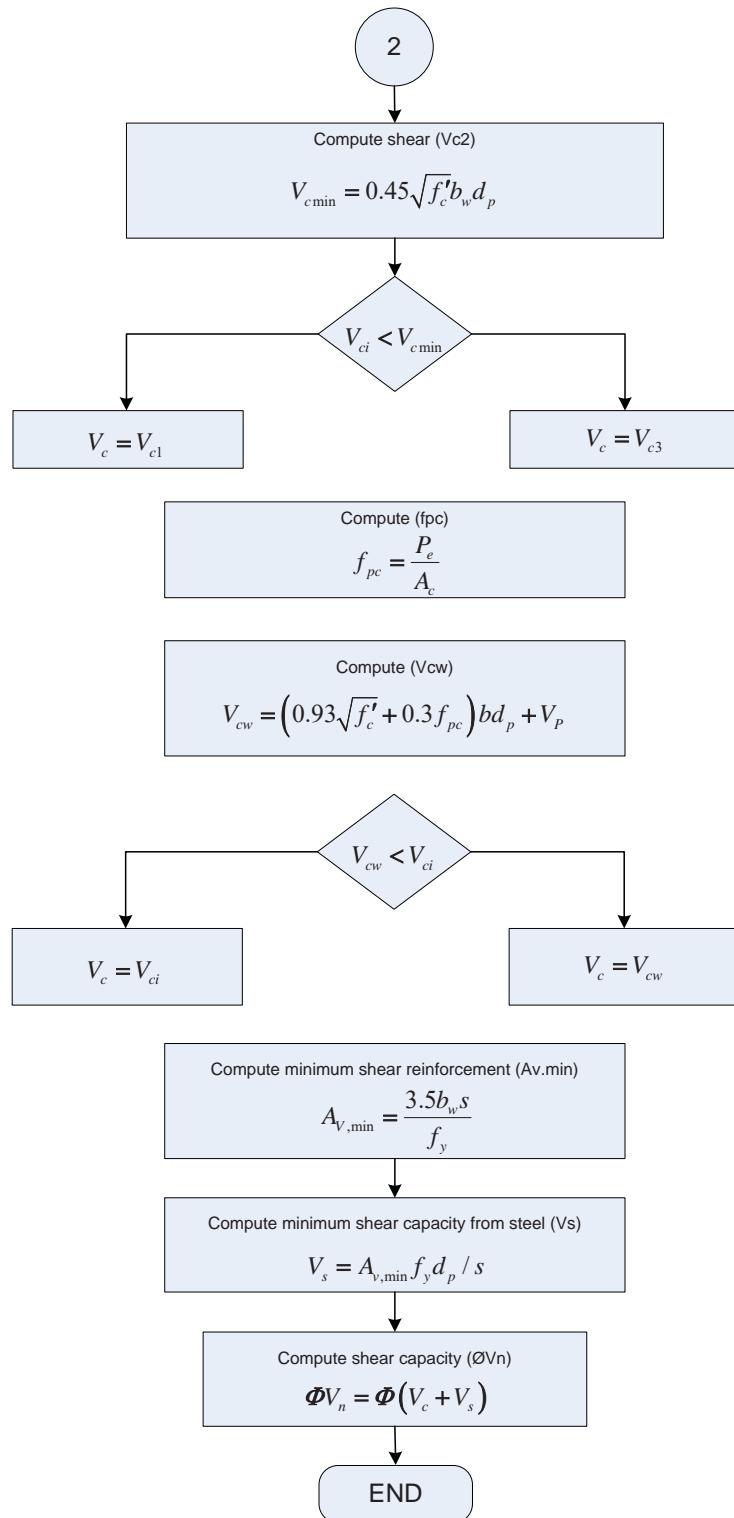
Moment Capacity is **97389.28723 kg.-m.**

13.2.2 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด

มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ดังนี้

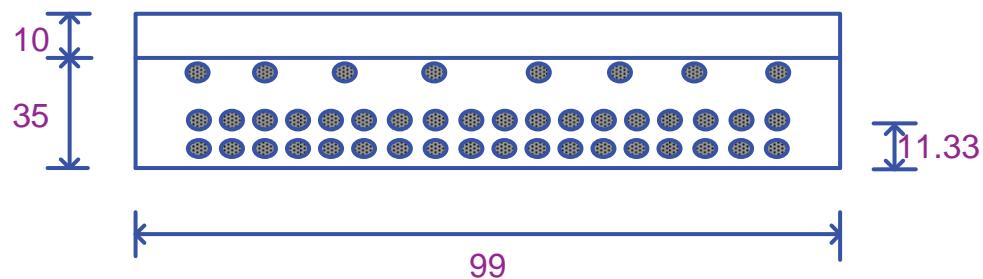








ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดสะพานซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ Plank Girder คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงดังรูป



คุณสมบัติของ Plank Girder

$$\text{พื้นที่หน้าตัด } (A_c) = 3465 \text{ cm}^2$$

$$\text{ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบอกสุดของพื้นที่รับแรงดึง} = 17.5 \text{ cm.}$$

$$\text{ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบอกสุดของพื้นที่รับแรงอัด} = 17.5 \text{ cm.}$$

$$\text{โมเมนต์ความเนื้อยื่นของหน้าตัด} = 3.53718 \times 10^5 \text{ cm}^4$$

ลดอัดแรงชนิดลาดเกลี้ยง 7 เส้น มาก 420-2534 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว

$$\text{กำลังดึงเริ่มต้น } (f_{pi}) = 12265 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Plank Girder)} = 420 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)} = 300 \text{ ksc.}$$

$$\text{ระยะความลึกประสีทิกผลของหน้าตัด} = 36.00 \text{ cm.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง} = 21.6762 \text{ cm}^2$$

$$\text{ระยะเยื่องศูนย์ของลวดอัดแรง} = 10 \text{ cm.}$$

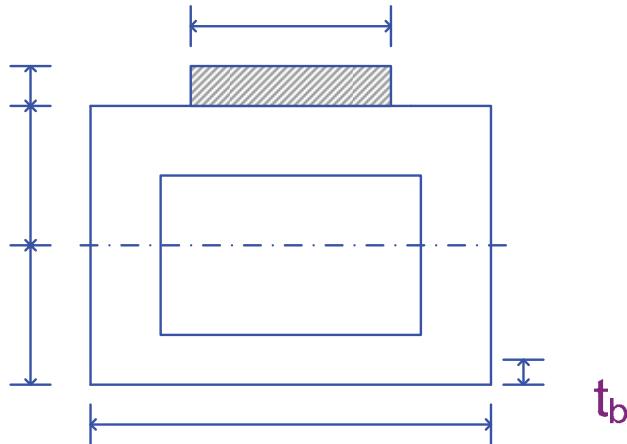
ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณอัตราส่วนของคอนกรีต Plank Girder ต่อ Topping (n)

$$n = \frac{f'_{Topping}}{f'_{Plank}} = \frac{300}{420} = 0.714286$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_w)

$$b_w = nb = 0.714286(99) = 70.7143 \text{ cm.}$$



คำนวณจุดศูนย์กลางของหน้าตัดแปลง (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{3465(17.5) + 70.714(10)(35+5)}{3465 + 70.714(10)} = 21.31355 \text{ cm.}$$

 y_t

คำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแปลง (I_{new})

$$I_{new} = 3.53178 \times 10^5 + 3465(21.313 - 17.5)^2 + \frac{70.714(10)^3}{12} + 70.714(10)(35+5 - 21.313)^2$$

$$I_{new} \cong 656384 \text{ cm}^4$$

คำนวณน้ำหนักของ Plank Girder

$$w_G = 0.3465(2400) = 831.6 \text{ kg/m.}$$

คำนวณน้ำหนักของ Topping

$$w_t = 0.099(2400) = 237.6 \text{ kg/m.}$$

$$w_d = 831.6 + 237.6 = 1069.2 \text{ kg/m.}$$

ในที่นี่แสดงการคำนวณแรงเฉือนเฉพาะที่ระยะ $x = 0.36 \text{ m.}$ ห่างจาก Support

$$\text{Shear from DL } (V_d) = w_d \left(\frac{L}{2} - x \right) = 1069.2 \left(\frac{10}{2} - 0.36 \right) = 4961.9 \text{ kg.}$$

$$\text{Shear from LL } (\Delta V_i) = 7812 \text{ kg}$$

$$\text{Moment from DL } (M_d) \frac{w_d x}{2} (L - x) = \frac{1069.2(0.36)}{2} (10 - 0.36) = 1855.28 \text{ kg.-m.}$$

$$\text{Moment from LL } (\Delta M_{max}) = 7035 \text{ kg.-m.}$$

คำนวณ

$$f_r = 1.6\sqrt{f'_c} = 1.6\sqrt{420} = 32.7902 \text{ ksc.}$$

$$\text{Assume } P_e = 0.85P_i$$

$$P_e = 0.85(21.6762)(12265) = 225979.8 \text{ kg.}$$



$$f_{pe} = \frac{P_e}{A} + \frac{My}{I_c} = \frac{225979}{3465} + \frac{225979(10)(21.313)}{656384}$$

$$f_{pe} = 138.59 \text{ ksc.}$$

$$f_d = \frac{M_d c}{I_{new}} = \frac{1855.28(100)(21.313)}{656384} = 6.024 \text{ ksc.}$$

$$\Delta M_{cr} = \frac{I_{new}}{\bar{y}} (f_r + f_{pe} - f_d) = \frac{656384}{21.313} (32.7902 + 138.59 - 6.024)$$

$$\Delta M_{cr} = 5092533 \text{ kg.-cm.}$$

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c} b_w d + V_d + \frac{\Delta V_i}{\Delta M_{max}} \Delta M_{cr} = 0.16\sqrt{420} (70.714)(36) + 4961.9 + \frac{7812(50925)}{7035}$$

$$V_{ci} = 69860 \text{ kg.}$$

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A} = \frac{225979}{3465} = 65.217 \text{ ksc.}$$

$V_p = P_e y' = 0$ เพราะ Slope ของ tendon มีค่าเป็น 0

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f'_c + 0.3f_{pc}}) b_w d + V_p = (0.93\sqrt{420} + 0.3(65.217))(70.714)(36)$$

$$V_{cw} = 98326 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้นความสามรถในการรับแรงเฉือนที่ระยะ $x = 0.36 \text{ m.}$ คือ $V_c = 69860 \text{ kg.}$

ปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$A_{vmin} = 3.5b(\text{spacing}) / f_y = 3.5(70.714)(20) / 3000 = 1.65$$

ความสามารถในการรับแรงเฉือนจากเหล็กเสริม (V_s)

$$V_s = A_v f_y d / \text{spacing} = 1.65(3000)(36) / 20 = 8910 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้น $V = 69860 + 8910 = 78770 \text{ kg.}$

ซึ่งสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้

Shear Capacity of Plank Girder

Input Data

width of box girder (b)	99	cm.
depth of box girder (D)	35	cm.
Cross-Section area (A_c)	3465	cm^2
top fiber to N.A. (y_t)	17.5	cm.
bottom fiber to N.A. (y_b)	17.5	cm.
moment inertia (I_b)	3.53E+05	cm^4
Equivalent width (b_t)	70.714	cm.
thick of topping (t_p)	10	cm.
unit weight of con. (w_c)	2400	kg./m^3
Effective depth (d_p)	36	cm.
yield stress of reinf. (f_y)	3000	ksc.
initial prestress (f_{pi})	12265	ksc.
f'_c	420	ksc.
total area of tendon	21.6762	cm^2
span	1000	cm.

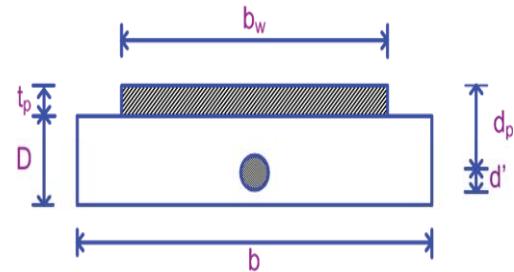
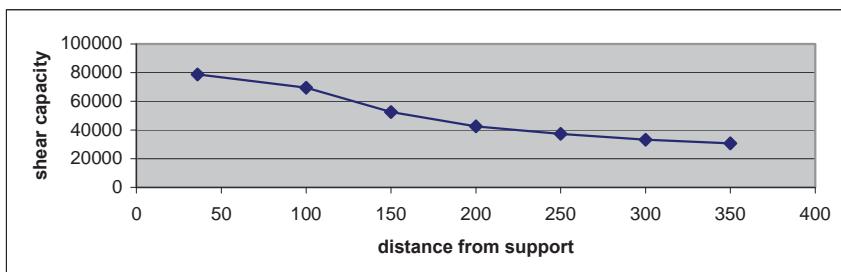


Table for computation

	36	100	150	200	250	300	350
distance (m.)	36	100	150	200	250	300	350
eccentricity	10	10	10	10	10	10	10
shear from LL (V_L)	7812	8710	8045	7380	6751	6121	5493
moment from DL (M_L)	703500	871000	1173400	1475900	1656200	1836500	1891000
shear reinf. Spacing	20	20	20	20	20	20	20

ΔM_{cr}	5092584.6	4796972	4596497	4422752.21	4275737	4155452	4061897
V_{ci}	69859.005	60593.95	43603.87	33670.2845	28449.18	24335.82	21750.27
V_{cw}	137658.36	137658.4	137658.4	137658.357	137658.4	137658.4	137658.4
V_s	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964

Shear Capacity	78768.969	69503.91	52513.84	42580.2485	37359.14	33245.79	30660.24
-----------------------	------------------	-----------------	-----------------	-------------------	-----------------	-----------------	-----------------





13.2.3 การวิเคราะห์荷ามิเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

การวิเคราะห์荷ามิเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยการใช้โปรแกรม SAP2000 ชื่อ.คุณสมบัติของโครงสร้างและวัสดุดังนี้

คุณสมบัติของวัสดุ

คอนกรีต (Concrete)

- Isotropic Material	=	
- Mass Per Unit Volume	=	2.450×10^{-6} kg/cm ³
- Weight Per Unit Volume	=	2.450×10^{-3} kg/cm ³
- Modulus of Elasticity	=	2.53×10^5 kg/cm ²
- Poisson's Ratio	=	0.20
- Coefficient of thermal Expansion	=	9.9×10^{-6} ϵ /celsius
- Shear Modulus	=	105460 kg/cm ²
- Specified concrete compression strength	=	420 kg/cm ²
- Bending Reinforcement, Yield stress	=	4200 kg/cm ²
- Shear Reinforcement , Yield Stress	=	2800 kg/cm ²

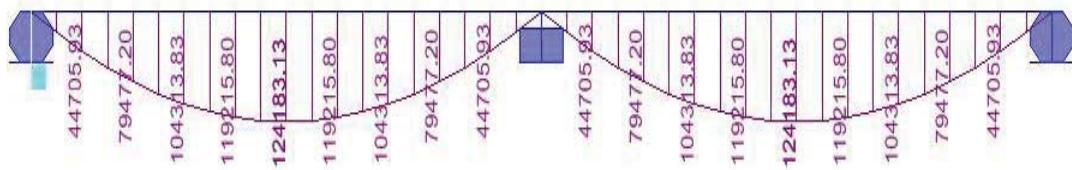
คุณสมบัติทางกายภาพของโครงสร้าง

- ความกว้าง (width)	=	9 m.
- ความยาวช่วงพาด (Span)	=	10 m.
- เงื่อนไขจุดรองรับแบบเบี่ยดหมุน-แบบเบี่ยดหมุน	=	

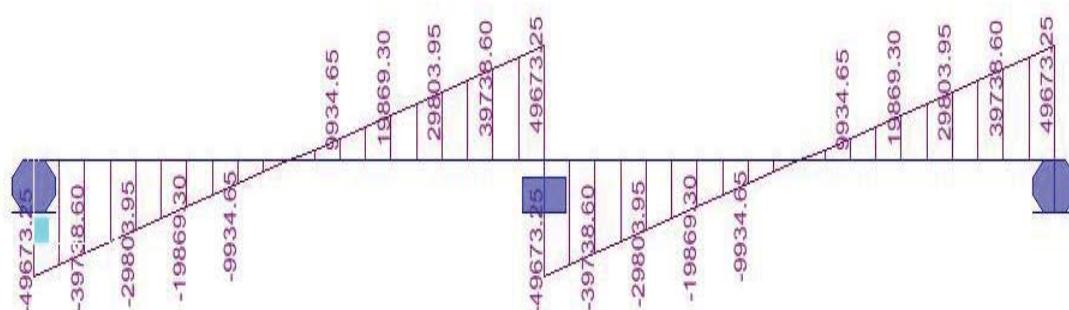
คุณสมบัติของ Plank Girder

- ความสูง	=	45 cm.
- ความกว้างต่อ Plank Girder	=	99 cm.

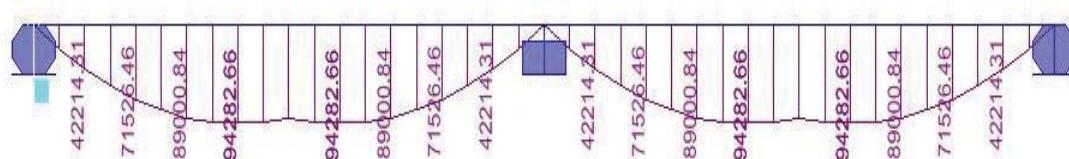
ผลการวิเคราะห์荷ามิเมนต์ดัดและค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้าง แสดงได้ดังรูป (ผลการวิเคราะห์ต่อความกว้าง 9 เมตรของแบบจำลอง)



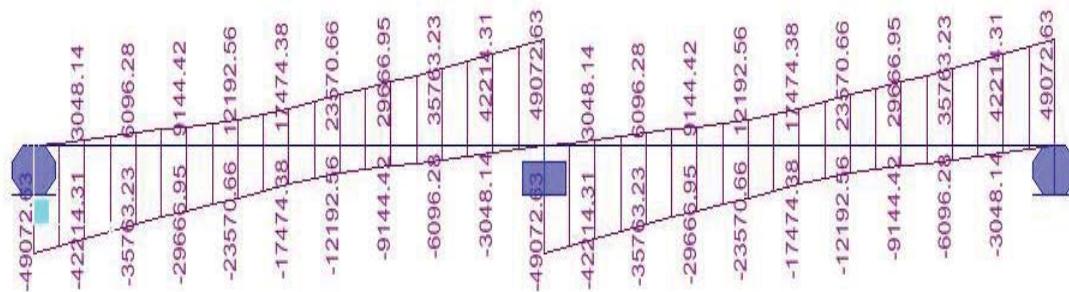
รูปที่ 13-9 แผนภาพของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบาร์ทุกคันที่ (M_{DL}) kg.-m.



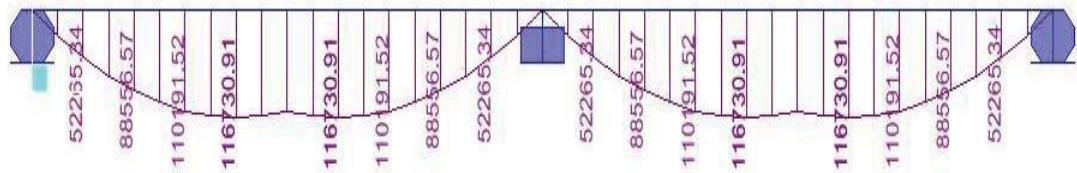
รูปที่ 13-10 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบาร์ทุกคันที่ (V_{DL}) kg.



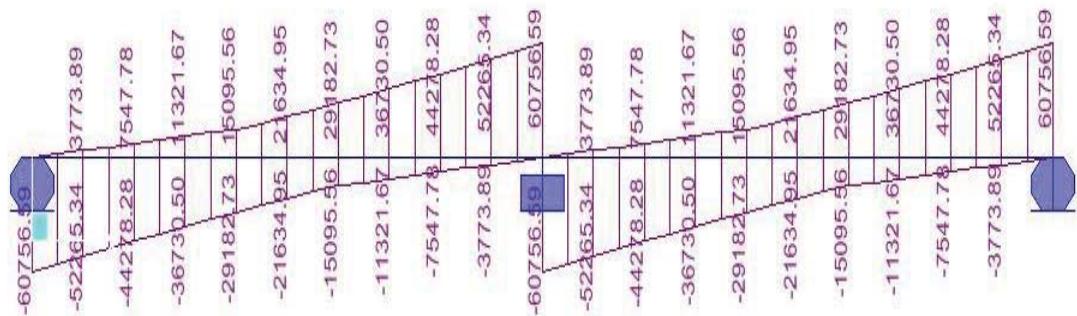
รูปที่ 13-11 แผนภาพโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบาร์ทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (M_{LL21}) kg.-m.



รูปที่ 13-12 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบาร์ทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (V_{LL21}) kg.



รูปที่ 13-13 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (M_{LL26}) kg.-m.



รูปที่ 13-14 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (V_{LL26}) kg.

จากการวิเคราะห์ดังข้างต้นเราสามารถนำไปใช้หาค่า Theoretical Moment Rating Factor ของสะพานแบบ Plank Girder ที่มีความยาวช่วงพาด 10 เมตร และความกว้าง 9 เมตร โดยสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 13-3 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

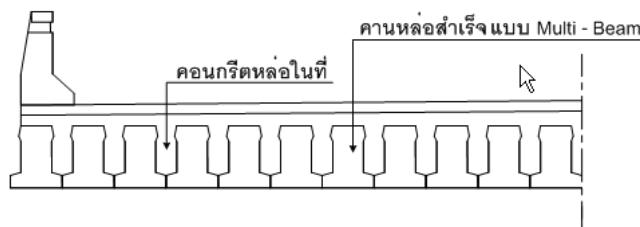
	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	2.33	1.88
Operating	3.03	2.45

ตารางที่ 13-4 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor (At critical section)

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	4.05	3.27
Operating	5.27	4.26

13.3 การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของ Multi-Beam

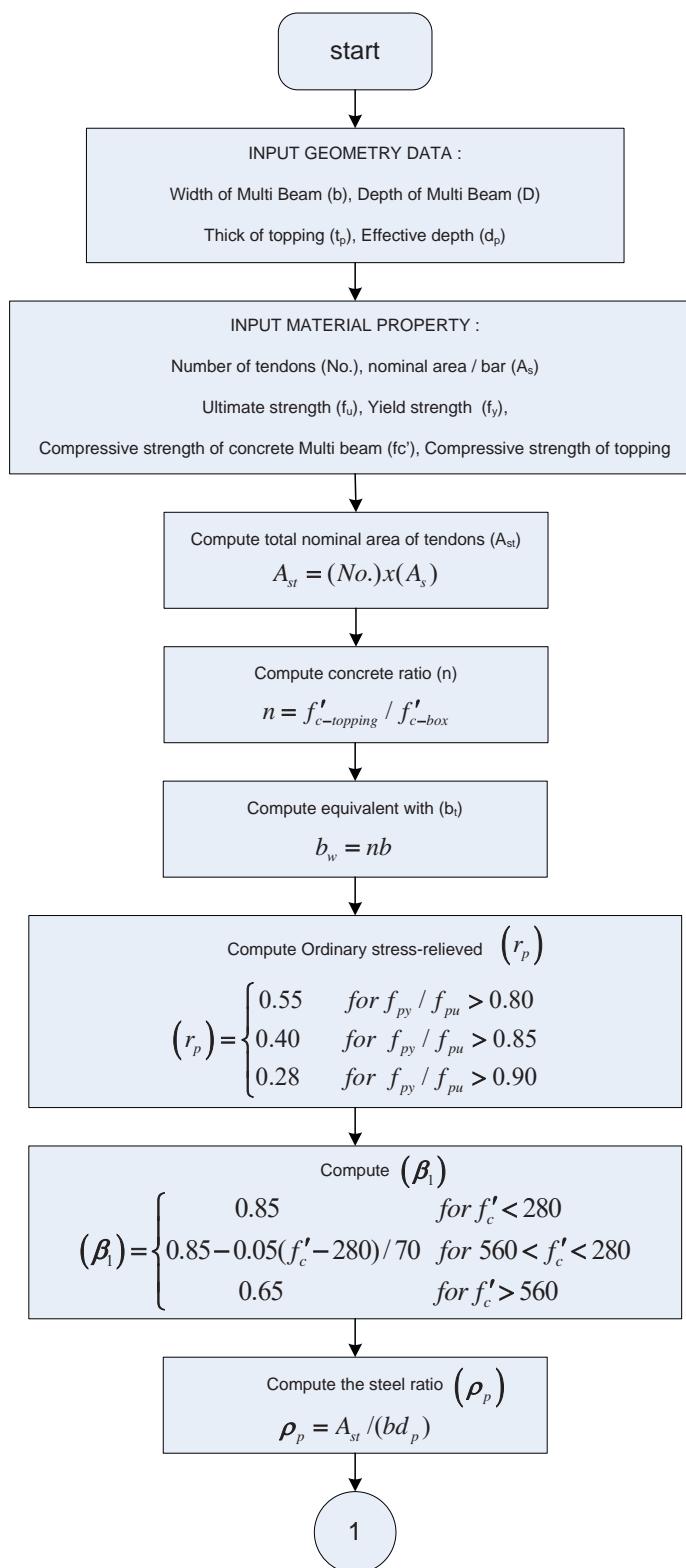
สะพานแบบคานคอนกรีตขัดแรงวางประชิดกัน (PC Multi-Beam Bridge) ซึ่งความยาวซึ่งที่กรมทางหลวง
ชนบทใช้โดยส่วนใหญ่มีค่าระหว่าง 5.00 – 15.00 เมตร

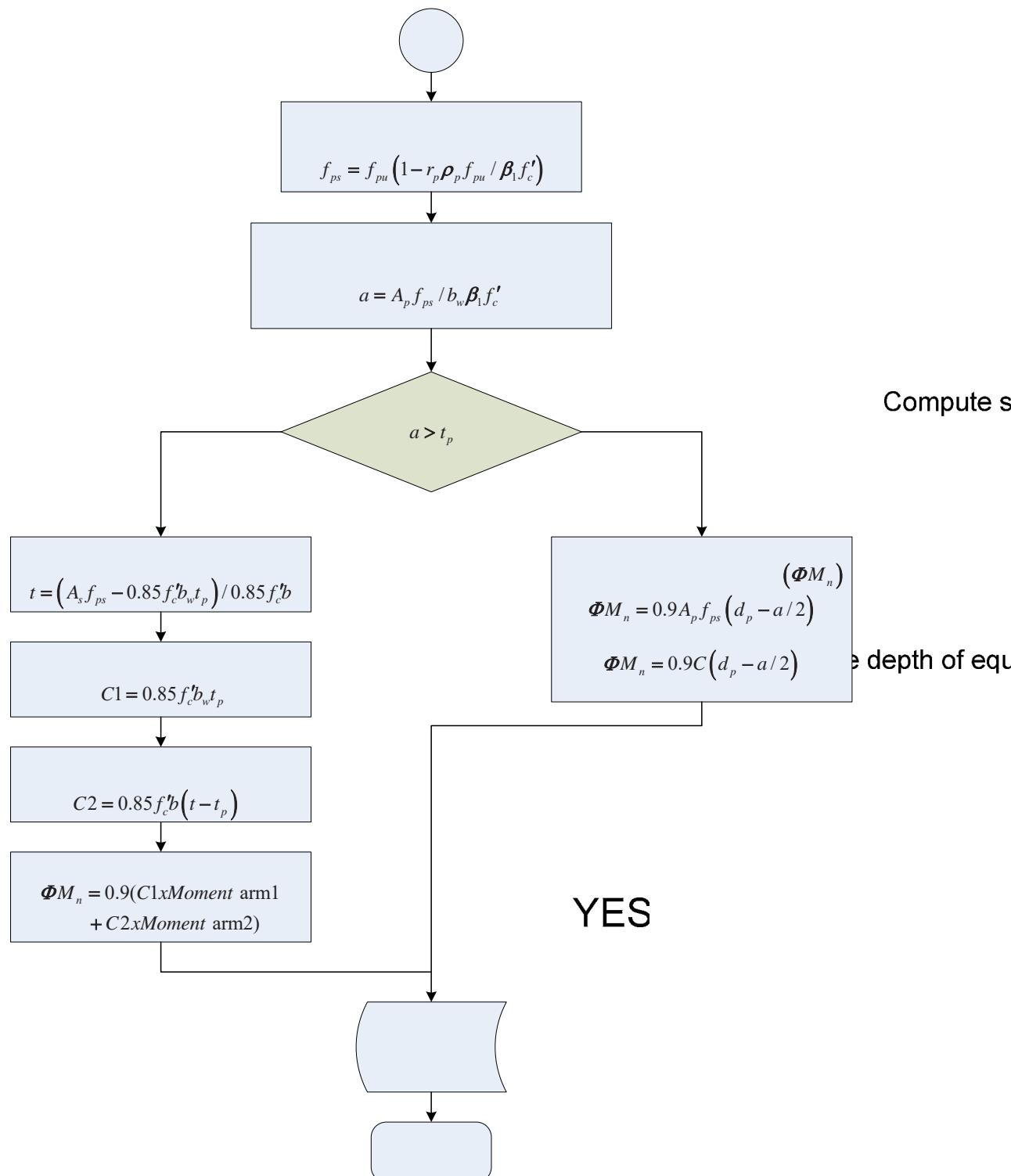


รูปที่ 13-15 สะพานแบบคานคอนกรีตขัดแรงวางประชิดกัน

13.3.1 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับ荷重เมนต์ดัดของหน้าตัด

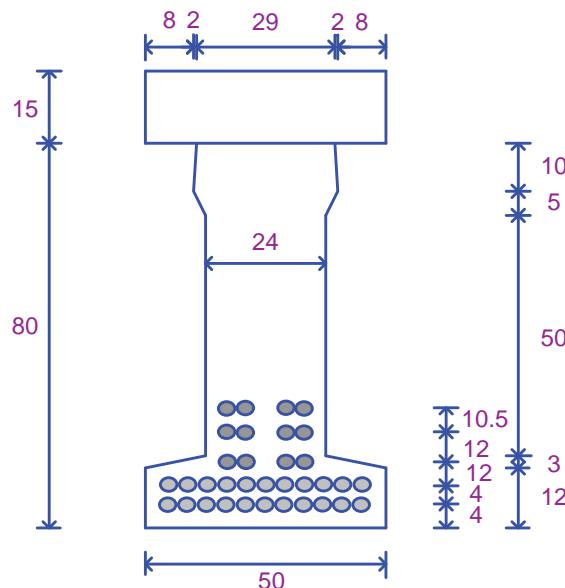
การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับ荷重เมนต์ดัดของหน้าตัด มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ดังไปนี้



Compute depth of compression zone (t)Compute $C1$



ตัวอย่างที่ 5 การคำนวณค่ากำลังรับไมเมนต์ตัดของหน้าตัดของสะพานซึ่งมีโครงสร้างแบบ Multi Beam ที่ใช้สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วงพาด 24 เมตร คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของวัสดุ

ลวดเป็นลวดเกลียวขัดแรงชนิด 7 เส้น ตาม มอก.420-2534 (Grade 1725) ขนาด $\varnothing 3/8$ นิ้ว ซึ่งมี

$$\text{ค่ากำลังดึงประจำ} \left(f_{pu} \right) = 17574 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงที่จุดคราก} \left(f_{py} \right) = 15816 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงเริ่มต้น} \left(f_{pi} \right) = 12300 \text{ ksc.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัด (Nominal Area) ของลวด} = 0.5161 \text{ } cm^2 / bar$$

$$\text{จำนวนของลวดขัดแรง} = 34 \text{ เส้น}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Multi Beam)} = 400 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)} = 200 \text{ ksc}$$

$$\text{และความลึกประสิทธิผลของหน้าตัด} = 80 \text{ cm.}$$

ขั้นตอนการคำนวณ

$$\text{คำนวณพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง} \left(A_{st} \right)$$

$$A_{st} = 34 \left(0.5161 \right) = 17.5474 \text{ } cm^2$$

$$\text{คำนวณอัตราส่วนของกำลังอัดคอนกรีต} (n)$$

$$n = 200 / 400 = 0.5$$

$$\text{คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping} \left(b_t \right)$$

$$b_t = nb = 0.5 \left(49 \right) = 24.5 \text{ cm.}$$

$$\text{เนื่องจากเป็นคอนกรีตอัดแรงมีการยึดเหนี่ยว ดังนั้น} \left(f_{ps} \right)$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \right\}$$

ຄໍານວນຄ່າ (γ_p)

$$f_{py} / f_{pu} = 15816 / 17574 = 0.899 \text{ ດັ່ງນີ້ໃຫ້ } \gamma_p = 0.4$$

ຄໍານວນຄ່າ (β_1)

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05(400 - 280) / 70 = 0.764286$$

ຄໍານວນຄ່າ (ρ_p)

$$\rho_p = 17.5474 / (24.5 \times 80) = 0.008953$$

$w = w' = 0$ ເພວະໄມ່ມີເລື້ອກເສີມແບບຍ່ວນດາ

ແທນຄ່າຈະໜີ

$$f_{ps} = 17574 \left\{ 1 - \frac{0.4}{0.764286} \left[\frac{0.008953(17574)}{400} + 0 \right] \right\} = 13956 \text{ ksc.}$$

ຄໍານວນຄ່າຄວາມລຶກຂອງບລືອກຮັບແຮງອັດ (a)

$$a = \frac{A_{st} f_{ps}}{0.85 b f'_c} = \frac{17.5474(13956)}{0.85(24.5)(400)} = 29.40 \text{ cm.} > t_p$$

ຄໍານວນ (t) ໃໝ່

$$\begin{aligned} t &= (A_{st} f_{ps} - 0.85 f'_c b t_p) / 0.85 f'_c b \\ &= [17.5474(13956) - 0.85(400)(24.5)(15)] / 0.85(400)(24) = 14.7 \text{ cm.} \end{aligned}$$

ຄໍານວນຄ່າກຳລັງຮັບໂມເມນຕິດຂອງໜ້າຕັດ

$$M_n = C_1 d_1 + C_2 d_2$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0.85 f'_c b t_p (d - t_p / 2) + 0.85 f'_c b t (d - t_p - t / 2) \\ &= 0.85(400)(24.5)(15)(80 - 15/2) + 0.85(400)(24)(14.7)(80 - 15 - 14.7/2) \\ &= 15974180 \text{ kg.-cm} \end{aligned}$$

ເພວະໄນ້ $M_n = 159742 \text{ kg.-m.}$

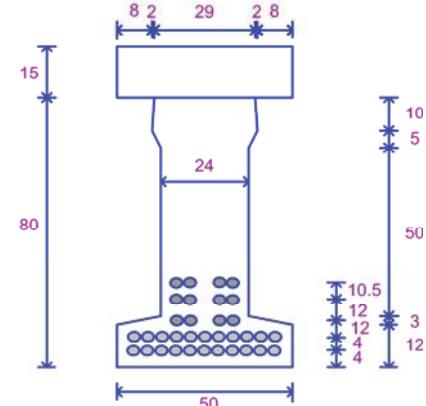
ໜີ້ງໄຍລະເອີ້ດຂອງກາຣຄໍານວນສາມາຮັສຈຸບເປັນໂປຣແກຣມຕາວາງສູງ ໄດ້ດັ່ງນີ້



Moment Capacity of Multi Beam

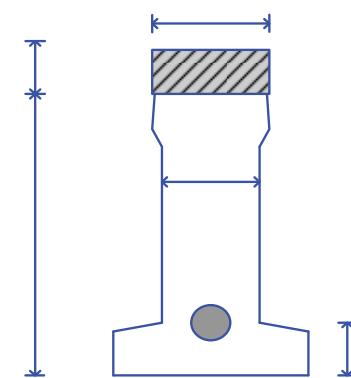
Input Data

width of Multi girder (b)	49	cm.
depth of Multi girder (D)	80	cm.
thick of topping (t_p)	15	cm.
number of tendon (No)	34	bar
nomial area / bar (A_s)	0.5161	cm ²
ultimate strength (f_u)	17574	ksc.
yield stress (f_y)	15816	ksc.
f'_c (girder)	400	ksc.
f'_c (topping)	200	ksc.
Effective depth (d_p)	80	cm.

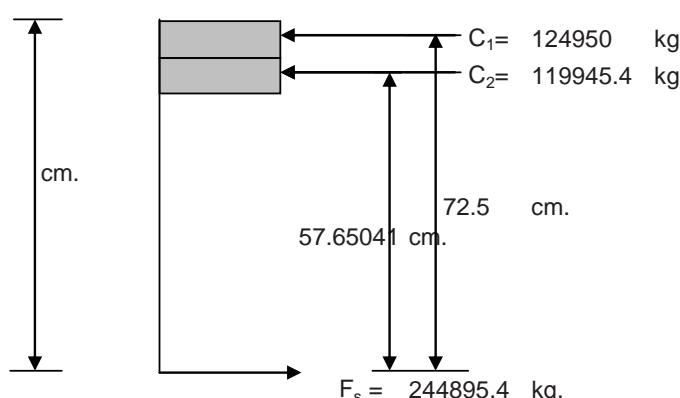


Computation

total area (A_{st})	17.5474	cm ²
concrete ratio (n)	0.5	
equivalent width (b_t)	24.5	cm.
f_{py}/f_{pu}	0.4	
β_1	0.764286	
steel ratio (ρ_p)	0.008953	
steel at failure (f_{ps})	13956.22	ksc.
stress block (a)	29.3992	cm.
compression zone (t)	14.69919	cm.
compression force (C_1)	124950	kg.
compression force (C_2)	119945.4	kg.



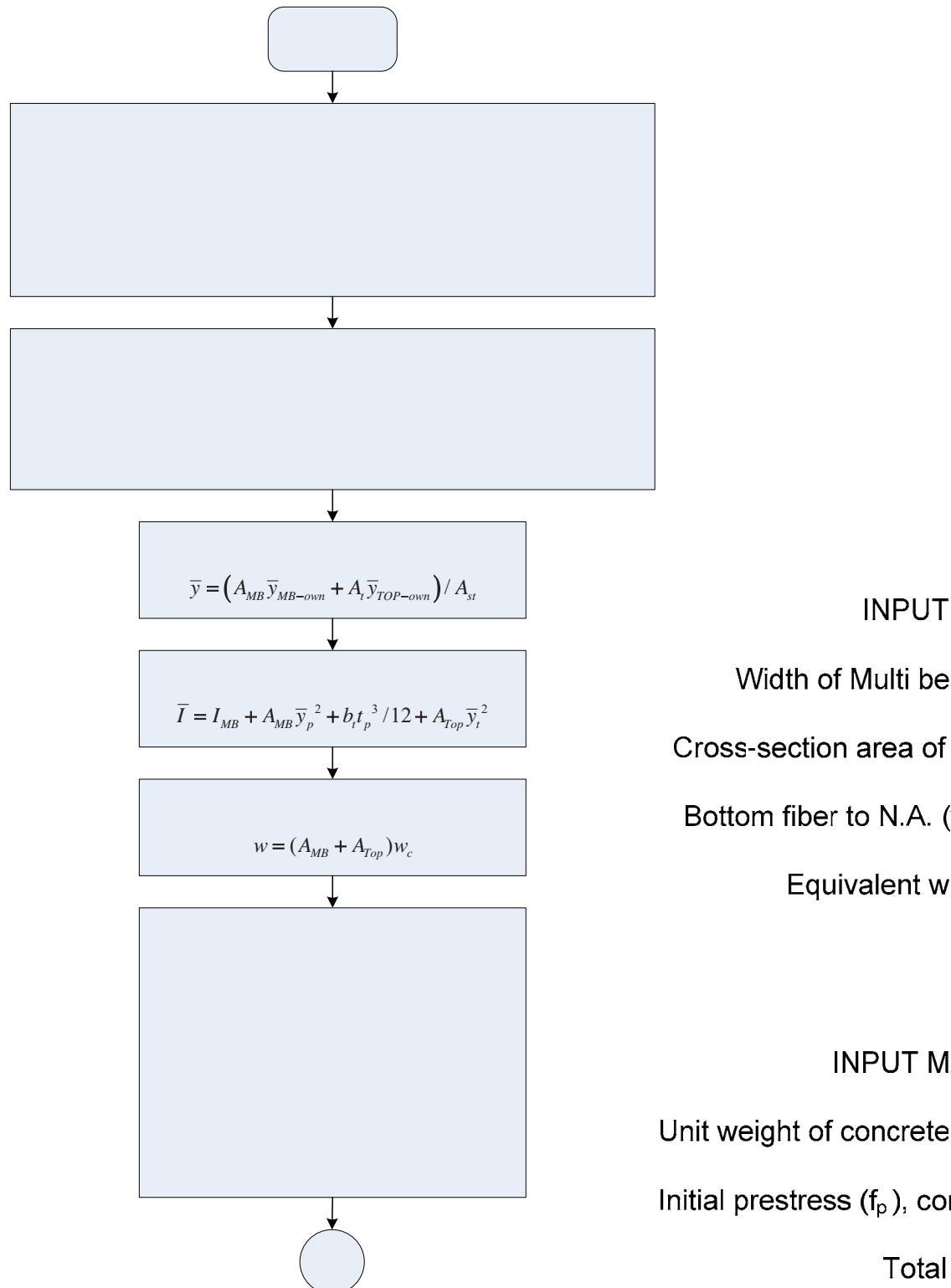
$d_p = 80$

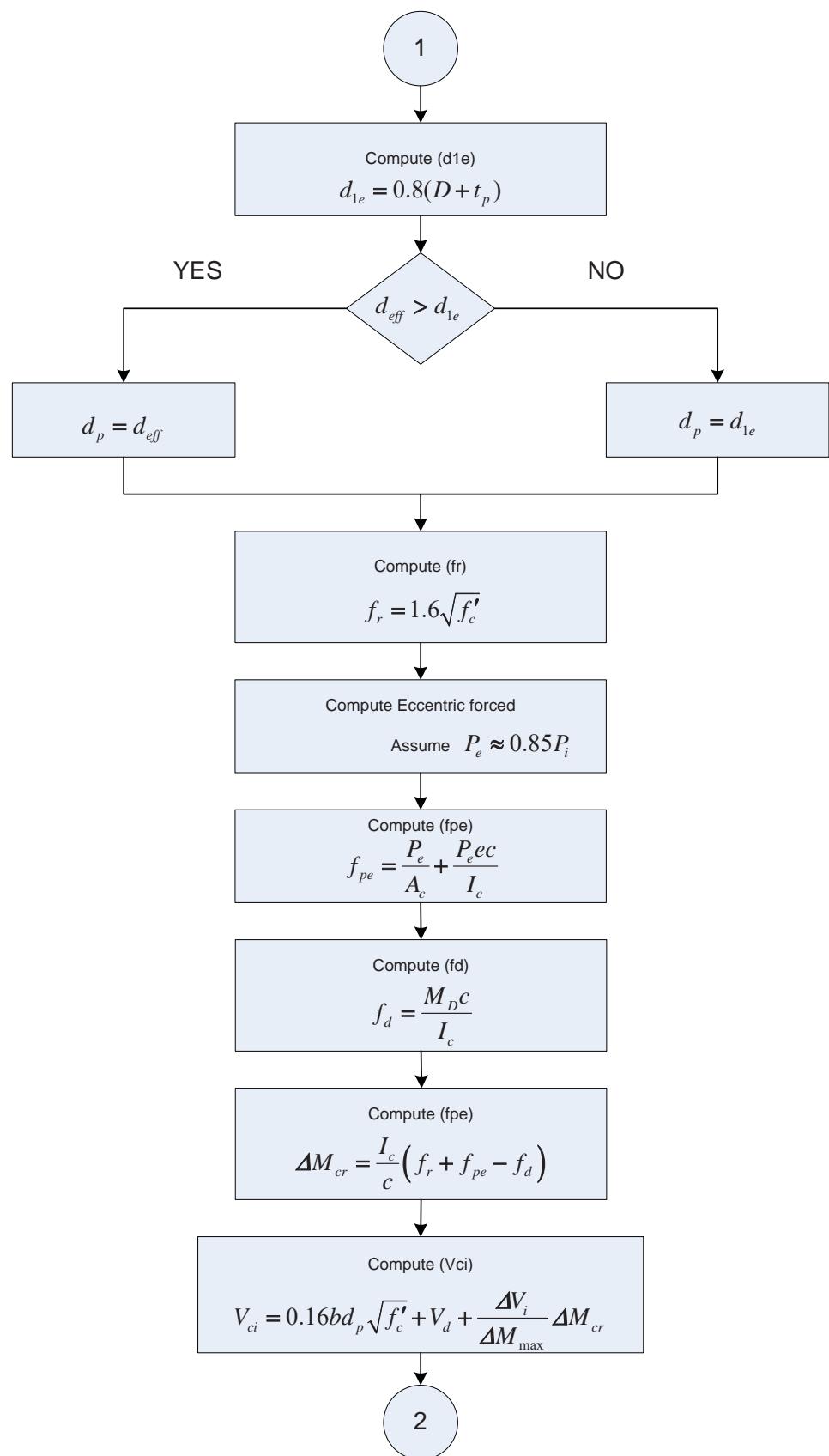


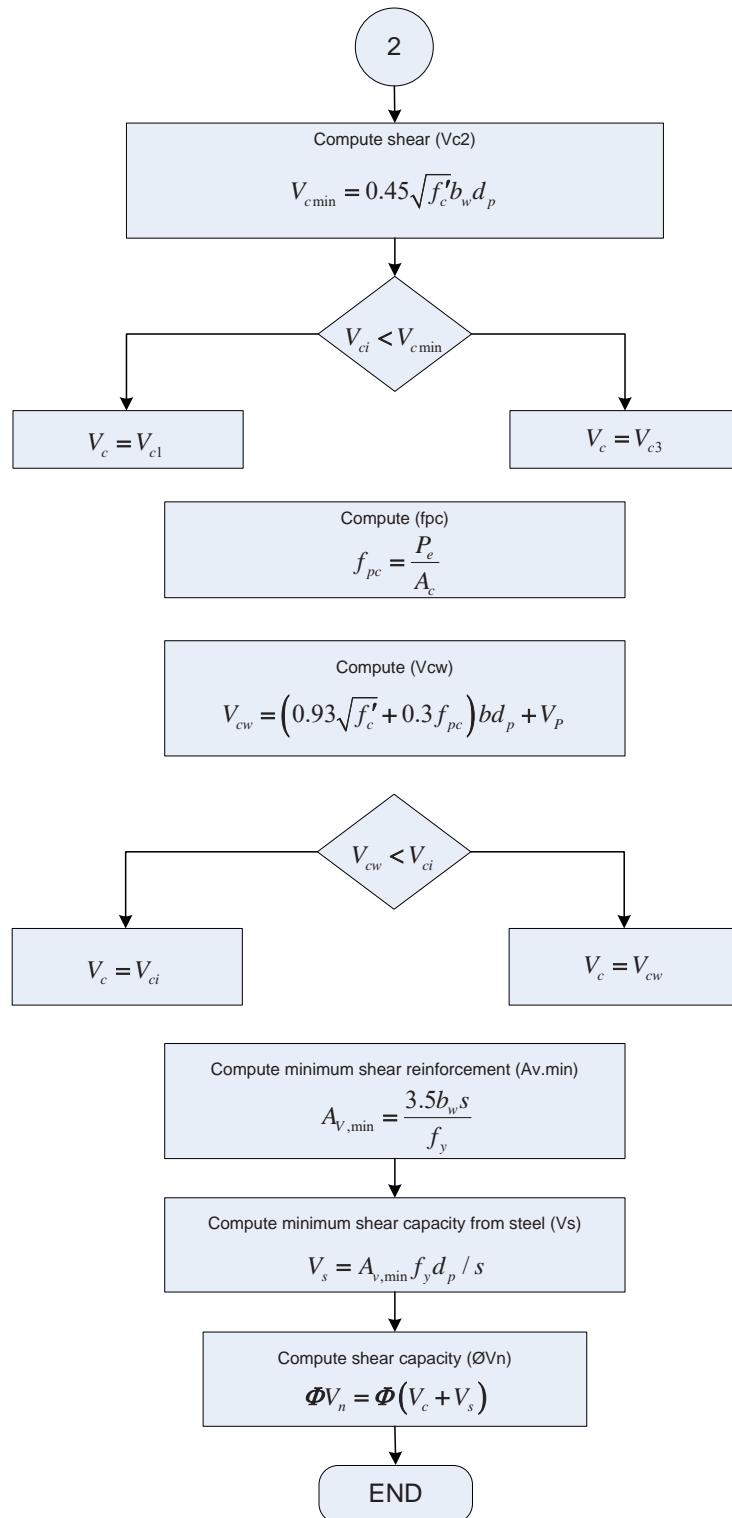
Moment Capacity is 159737.7416 kg.m.

13.3.2. การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด

มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ดังนี้

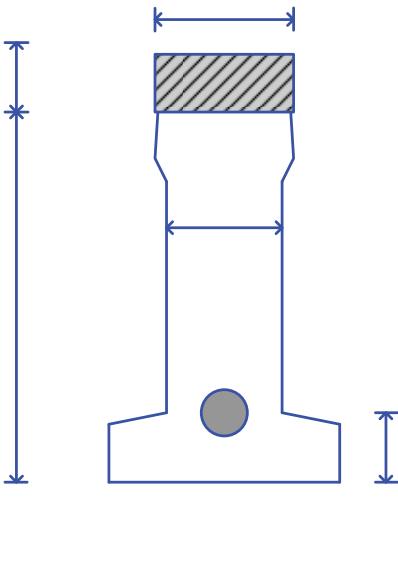








ตัวอย่างที่ 6 การคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดสะพานซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ Multi Beam คุณสมบัติของหน้าตัดเปล่ง แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของ Multi Beam

$$\text{พื้นที่หน้าตัด } (A_c) = 2330 \text{ cm}^2$$

$$\text{ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบอกสุดของพื้นที่รับแรงดึง} = 35.9045 \text{ cm.}$$

$$\text{ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบอกสุดของพื้นที่รับแรงอัด} = 44.9055 \text{ cm.}$$

$$\text{โมเมนต์ความเนื้อยื่นของหน้าตัด} = 1.449 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$\text{ลักษณะเด่นของลวดเกลี้ยง 7 เส้น มอก 420-2534 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง } 3/8 \text{ นิ้ว } d$$

$$\text{กำลังดึงเริ่มต้น } (f_{pi}) = 12265 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Multi Beam)} = 400 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)} = 200 \text{ ksc.}$$

$$\text{ระยะความลึกประดิษฐ์ของหน้าตัด} = 80 \text{ cm.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง} = 17.5474 \text{ cm}^2$$

$$\text{ระยะเยื่องศูนย์ของลวดอัดแรง} = 27.934 \text{ cm.}$$

ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณอัตราส่วนของคอนกรีต Multi Beam ต่อ Topping (n)

$$n = \frac{f'_{Topping}}{f'_{Plank}} = \frac{200}{400} = 0.5$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_t)

$$b_t = nb = 0.5(49) = 24.5 \text{ cm.}$$

គំនាល់អុទុនីកលាចខាងក្រោមនៃតួបែង (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{2330(35.9045) + 24.5(15)(80 + 7.5)}{2330 + 24.5(15)} = 42.934 \text{ cm.}$$

គំនាល់គំនិតគំនិតថ្មីនៃតួបែង (I_{new})

$$I_{new} = 1.449 \times 10^6 + 2330(42.934 - 35.9045)^2 + \frac{24.5(15)^3}{12} + 24.5(15)(80 + 7.5 - 42.9045)^2$$

$$I_{new} \cong 2301894 \text{ cm}^4$$

គំនាល់អុទុនីកខាងក្រោម Multi Beam

$$w_G = 0.233(2400) = 559.2 \text{ kg/m.}$$

គំនាល់អុទុនីកខាងលើ Topping

$$w_t = 0.15(0.49)(2400) = 176.4 \text{ kg/m.}$$

$$w_d = 559.2 + 176.4 = 735.6 \text{ kg/m.}$$

នៃពីនេះ សេចក្តីផ្តើមការគំនាល់រំលែកដែលមានលាចខាងក្រោម $x = 0.8 \text{ m.}$ ពេញចិត្ត Support

$$\text{Shear from DL } (V_d) = w_d \left(\frac{L}{2} - x \right) = 735.6 \left(\frac{24}{2} - 0.8 \right) = 8238.72 \text{ kg.}$$

$$\text{Shear from LL } (\Delta V_i) = 11766 \text{ kg}$$

$$\text{Moment from DL } (M_d) \frac{w_d x}{2} (L - x) = \frac{735.6(0.8)}{2} (24 - 0.8) = 6826.37 \text{ kg.-m.}$$

$$\text{Moment from LL } (\Delta M_{max}) = 10719 \text{ kg.-m.}$$

គំនាល់

$$f_r = 1.6\sqrt{f'_c} = 1.6\sqrt{400} = 32.0 \text{ ksc.}$$

$$\text{Assume } P_e = 0.85P_i$$

$$P_e = 0.85(17.5474)(12265) = 182936 \text{ kg.}$$

$$f_{pe} = \frac{P_e}{A} + \frac{My}{I_c} = \frac{182936}{2330} + \frac{182936(27.934)(42.934)}{2301894}$$

$$f_{pe} = 173.8255 \text{ ksc.}$$

$$f_d = \frac{M_d c}{I_{new}} = \frac{6826.37(100)(42.934)}{2301894} = 12.732 \text{ ksc.}$$

$$\Delta M_{cr} = \frac{I_{new}}{\bar{y}} (f_r + f_{pe} - f_d) = \frac{2301894}{42.934} (32.0 + 173.8255 - 12.732)$$

$$\Delta M_{cr} = 10352652 \text{ kg.-cm.}$$



$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c}b_w d + V_d + \frac{\Delta V_i}{\Delta M_{\max}} \Delta M_{cr} = 0.16\sqrt{400}(24)(80) + 8238.72 + \frac{11766(103526)}{10719}$$

$$V_{ci} = 128021 \text{ kg.}$$

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A} = \frac{182936}{2330} = 78.5133 \text{ ksc.}$$

$V_p = P_e y' = 0$ เพราะ Slope ของ tendon มีค่าเป็น 0

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f'_c + 0.3f_{pc}})b_w d + V_p = (0.93\sqrt{400} + 0.3(78.5133))(24)(80)$$

$$V_{cw} = 80935.66 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้นความสามารถในการรับแรงเฉือนที่ระยะ $x = 0.8 \text{ m.}$ คือ $V_c = 80936 \text{ kg.}$

ปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$A_{v\min} = 3.5b(spacing)/f_y = 3.5(24)(20)/3000 = 0.56 \text{ cm}^2$$

ความสามารถในการรับแรงเฉือนจากเหล็กเสริม (V_s)

$$V_s = A_v f_y d / spacing = 0.56(3000)(80)/20 = 6720 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้น $V = 80936 + 6720 = 87656 \text{ kg.}$

ซึ่งสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตามด้านล่างได้ดังนี้



JOB # test
 BY # Somchai
 DATE # 9/1/2549
 SHEET # 1

Shear Capacity of Multi Beam

Input Data

width of Multi girder (b)	49	cm.
depth of Multi girder (D)	80	cm.
Cross-Section area (A_c)	2330	cm ²
top fiber to N.A. (y_t)	44.0955	cm.
bottom fiber to N.A. (y_b)	35.9045	cm.
moment inertia (I_b)	1.45E+06	cm ⁴
Equivalent width (b_t)	24.5	cm.
thick of topping (t_p)	15	cm.
unit weight of con. (w_c)	2400	kg./m ³
Effective depth (d_p)	80	cm.
yield stress of reinf. (f_y)	3000	ksc.
initial prestress (f_{pi})	12265	ksc.
f'_c	400	ksc.
total area of tendon	17.5474	cm ²
span	2400	cm.

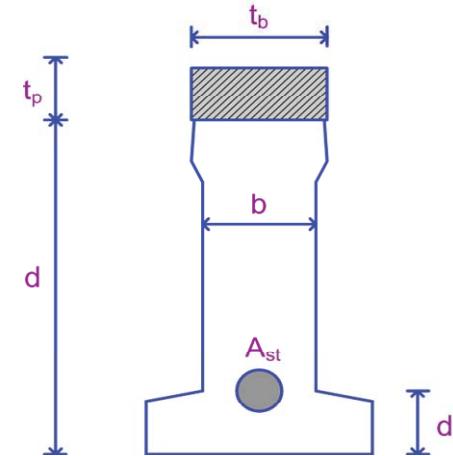
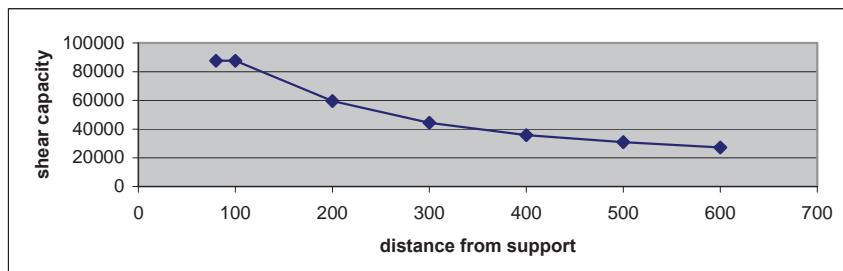


Table for computation

	80	100	200	300	400	500	600
eccentricity	27.934	27.934	27.934	27.934	27.934	27.934	27.934
shear from LL (V_L)	11766	11059	8932	8361	7789	7218	6646
moment from DL (M_L)	1071900	1607850	2143800	2940450	3737100	4261250	4785400
shear reinf. Spacing	20	20	20	20	20	20	20

ΔM_{cr}	10351332	10188029	9415649	8716828.72	8091569	7539869	7061729
V_{ci}	128134.91	84438.18	52857.67	37678.1998	29021.54	24192.75	20492.98
V_{cw}	80935.671	80935.67	80935.67	80935.6714	80935.67	80935.67	80935.67
V_s	6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720

Shear Capacity	87655.671	87655.67	59577.67	44398.1998	35741.54	30912.75	27212.98
----------------	-----------	----------	----------	------------	----------	----------	----------





13.3.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยการใช้โปรแกรม SAP2000 ชื่อ.คุณสมบัติของโครงสร้างแล้ววัดดังนี้

คุณสมบัติของวัสดุ

คอนกรีต (Concrete)

- Isotropic Material	=	
- Mass Per Unit Volume	=	2.450×10^{-6} kg/cm ³
- Weight Per Unit Volume	=	2.450×10^{-3} kg/cm ³
- Modulus of Elasticity	=	2.53×10^5 kg/cm ²
- Poisson's Ratio	=	0.20
- Coefficient of thermal Expansion	=	9.9×10^{-6} ϵ /celsius
- Shear Modulus	=	105460 kg/cm ²
- Specified concrete compression strength	=	400 kg/cm ²
- Bending Reinforcement, Yield stress	=	4200 kg/cm ²
- Shear Reinforcement , Yield Stress	=	2800 kg/cm ²

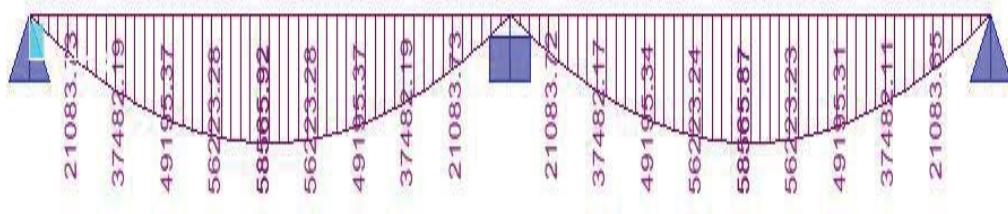
คุณสมบัติทางกายภาพของโครงสร้าง

- ความกว้าง (width)	=	14 m.
- ความยาวช่วงพาด (Span)	=	24 m.
- เงื่อนไขจุดรองรับแบบเบี่ยดหมุน-แบบเบี่ยดหมุน	=	

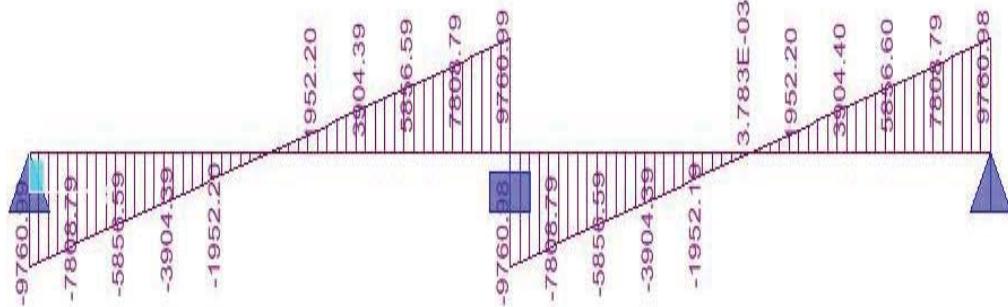
คุณสมบัติของ Multi Beam

- ความสูง	=	95 cm.
- ความกว้างต่อ Multi Beam	=	49 cm.

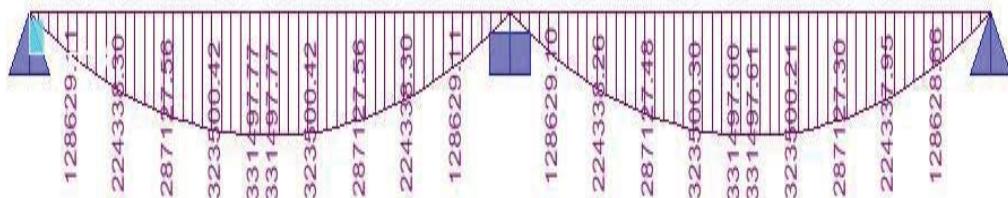
ผลการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดและค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้าง แสดงได้ดังรูป (ผลการวิเคราะห์ต่อความกว้าง 0.5 เมตรของแบบจำลอง)



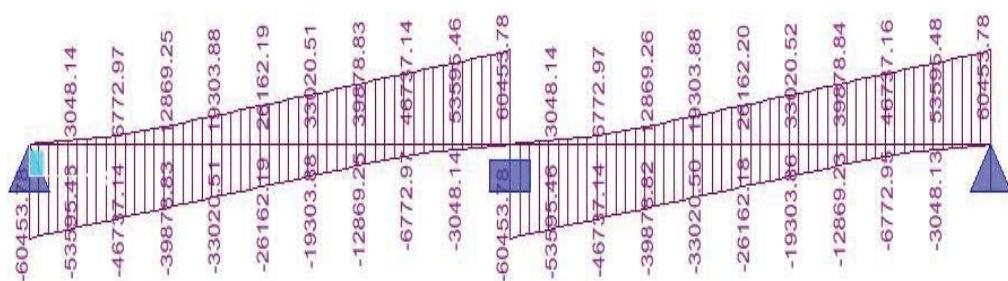
รูปที่ 13-16 แผนภาพของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (M_{DL}) kg.-m.



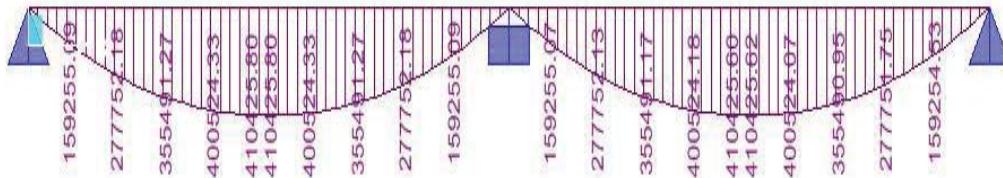
รูปที่ 13-17 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (V_{DL}) kg.



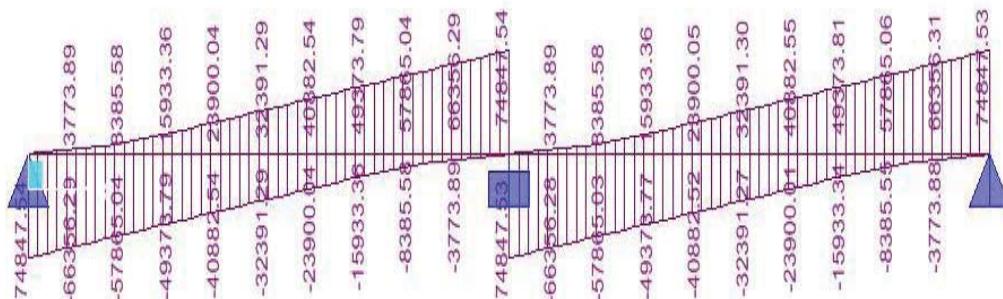
รูปที่ 13-18 แผนภาพโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (M_{LL21}) kg.-m.



รูปที่ 13-19 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (V_{LL21}) kg.



รูปที่ 13-20 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (M_{LL26}) kg.-m.



รูปที่ 13-21 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (V_{LL26}) kg.

จากการวิเคราะห์ดังข้างต้นเราสามารถนำไปใช้หาค่า Theoretical Moment Rating Factor ของสะพานแบบ Multi Beam ที่มีความยาวช่วงพาด 24 เมตร และความกว้าง 14 เมตร โดยสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 13-5 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	1.40	1.13
Operating	1.86	1.50

ตารางที่ 13-6 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor (At critical section)

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	7.20	5.82
Operating	9.58	7.74

บทที่ 14

การปรับแก้ค่าที่ได้จากการประเมิน

14.1 หลักการของการปรับแก้ค่า Rating Factor

การทำ Diagnostic Load Test เป็นวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสะพานที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายและไม่ทำให้สูญเสียกำลังรับน้ำหนักของสะพาน ซึ่งการทำ Load Test วิธีนี้ เป็นการทดสอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานให้มากขึ้น โดยการทำ Diagnostic Load Test จะไปลดตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนต่างๆ (Uncertainties) ที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง อันได้แก่ ตัวแปรที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุ สภาพการยึดรัง ผลจากหน้าตัดหรือโครงสร้างที่ไม่ได้ถูกออกแบบให้เป็นส่วนของโครงสร้างหลักที่ช่วยในการรับน้ำหนัก ผลจากการซ้อมแซม ผลจากความเสียหายที่เกิดขึ้น หั้นนี้ดุประسنค์ของการทำ Diagnostic Load Test คือเพื่อเป็นแนวทางในการประเมินหา Rating factor ที่แท้จริงของสะพานจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนาม

ในการทดสอบ Diagnostic Load Test จะทำให้ทราบถึงหน่วยแรงมากที่สุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนโครงสร้าง (Critical Member) ซึ่งถ้านำໄไปเปรียบเทียบกับผลของการวิเคราะห์จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์แล้ว ค่าที่ได้มีความแตกต่างกัน ก็จะมีการปรับแก้ค่า Rating ของสะพานให้มีความถูกต้องดังแสดงในสมการที่ 14.1

$$RF_T = RF_c \times K \quad (14.1)$$

โดยที่ RF_T = ค่า Rating Factor ที่นำมาจากการทดสอบ เมื่อพิจารณาถึงกำลังรับน้ำหนัก

บรรทุกจร

RF_c = ค่า Rating Factor ที่นำมาจากการคำนวณในทางทฤษฎี ก่อนหน้าที่จะทำการทดสอบ

K = เป็นค่าคงที่ใช้สำหรับปรับแก้ เนื่องจากความแตกต่างกันของผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี

สำหรับค่า RF_c สามารถเขียนอธิบายได้ดังสมการที่ 14.2



$$RF_c = \frac{(\text{Capacity}) - (\text{Factored Dead Load Effect})}{(\text{Factored Live Load Effects Plus Impact})} \quad (14.2)$$

สำหรับความหมายสมของ Area และ Section Modulus ที่จะใช้ในการหาค่า RF_c ควรจะต้องพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบ เนื่องจากโครงสร้างบางชนิดออกแบบเป็น Non-Composite แต่กลับมีพฤติกรรมเป็น Composite ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาความหมายสมในส่วนนี้ด้วย

การหาค่า K คำนวนได้ตามสมการที่ 14.3

$$K = 1 + K_a \times K_b \quad (14.3)$$

ค่าของ K_a จะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่เป็นผลการตรวจวัดที่ได้จากการทำ Load Test

K_b จะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่สืบเนื่องจากการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพาน และจากปัจจัยทางด้านโครงสร้างของส่วนประกอบที่ไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับการรับน้ำหนักของสะพาน
(Redundancy due to non-structural elements)

ถ้าหากมีได้ทำการ Load Test ค่าสัมประสิทธิ์ (K) จะมีค่าเท่ากับ 1 และหากว่า $K > 1$ จะบ่งชี้ว่าโครงสร้างจริงมีประสิทธิภาพสูงกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวนเชิงทฤษฎี และทำนองเดียวกันหาก $K < 1$ จะบ่งชี้ว่าโครงสร้างจริงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวนเชิงทฤษฎี

โดย

$$K_a = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_T} - 1 \quad (14.4)$$

โดยที่ ε_T = ค่าสูงสุดของ Strain ที่วัดได้ระหว่างการทำ Load Test

ε_c = ค่า Strain ที่คำนวนได้จากการทดสอบโดยใช้ Load Case แบบเดียวกับตอนวัดค่า

โดยปกติ

$$\varepsilon_c = \frac{L_T}{(SF)E} \quad (14.5)$$

และ

$$K_b = K_{b1} \times K_{b2} \times K_{b3} \quad (14.6)$$

โดย K_{b1} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงว่าโครงสร้างมีกำลังรับน้ำหนักส่วนเสริม (Inherent Capacity) มากน้อยเพียงใด ซึ่งการหา K_{b1} นี้ไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัวในการหา แต่แนวทางทั่วไปที่ใช้ใน การประเมินหาค่า K_{b1} ดังแสดงในตารางที่ 14-1

ตารางที่ 14-1 แสดงค่า K_{b1}

โครงสร้างมีกำลังรับน้ำหนักเกิน Rating Load Level (1.33W)		น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ			K_{b1}
Yes	No	$\frac{T}{W} < 0.4$	$0.4 < \frac{T}{W} < 0.7$	$\frac{T}{W} > 0.7$	
✓		✓			0
✓			✓		0.8
✓				✓	1.0
	✓	✓			0
	✓		✓		0
	✓			✓	0.5

โดย T เป็นผลที่ได้ (โมเมนต์ดัดหรือแรงเฉือน) จากน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบจริง

และ W เป็นผลที่ได้ (โมเมนต์ดัดหรือแรงเฉือน) จากค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดตามข้อกำหนดที่ระดับหนึ่งๆ (รวม Impact Factor)

ทั้งนี้การประเมินหาค่า K_{b1} ต้องดำเนินการควบคู่ไปกับ

- (1) การทำโมเดลคอมพิวเตอร์แบบสามมิติเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักในช่วง Linear Elastic
- (2) หาว่าโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักที่ $1.33W$ โดยพิจารณาจาก Composite Action เพิ่มเติม

K_{b2} พิจารณาถึงปัจจัยของมาตรฐานการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 14-2

ตารางที่ 14-2 แสดงค่า K_{b2}

การตรวจสอบสภาพสะพาน		K_{b2}
ประเภท	ความถี่ในการตรวจสอบ	
ทั่วไป	ระหว่าง 1 ถึง 2 ปีต่อครั้ง	0.8
ทั่วไป	น้อยกว่า 1 ปีต่อครั้ง	0.9
อย่างละเอียด	ระหว่าง 1 ถึง 2 ปีต่อครั้ง	0.9
อย่างละเอียด	น้อยกว่า 1 ปีต่อครั้ง	1.0



K_{b3} หาได้จากตารางที่ 14-3 ซึ่งขึ้นอยู่กับความล้าและ Redundant System

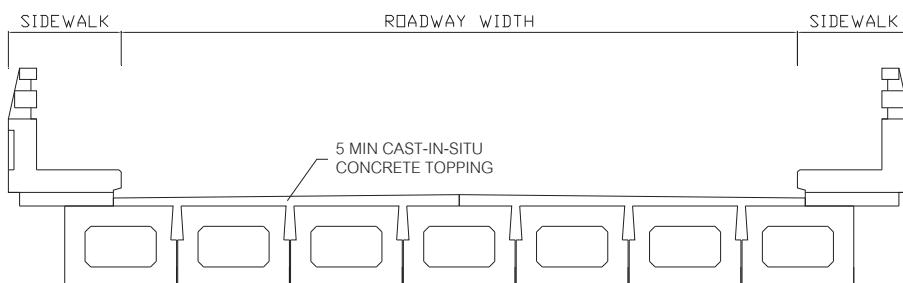
ตารางที่ 14-3 แสดงค่า K_{b3}

Fatigue Control		Redundancy		K_{b3}
No	Yes	No	Yes	
	x	x		0.7
	x		x	0.8
x		x		0.9
x			x	1.0

14.2 ตัวอย่างการขอการปรับแก้ค่า Rating Factor

14.2.1 Box-Girder Bridge

สะพานแบบ Box Girder ที่มีความยาวช่วง 20 เมตร และกว้าง 15 เมตร สำหรับหน้าตัดของสะพาน

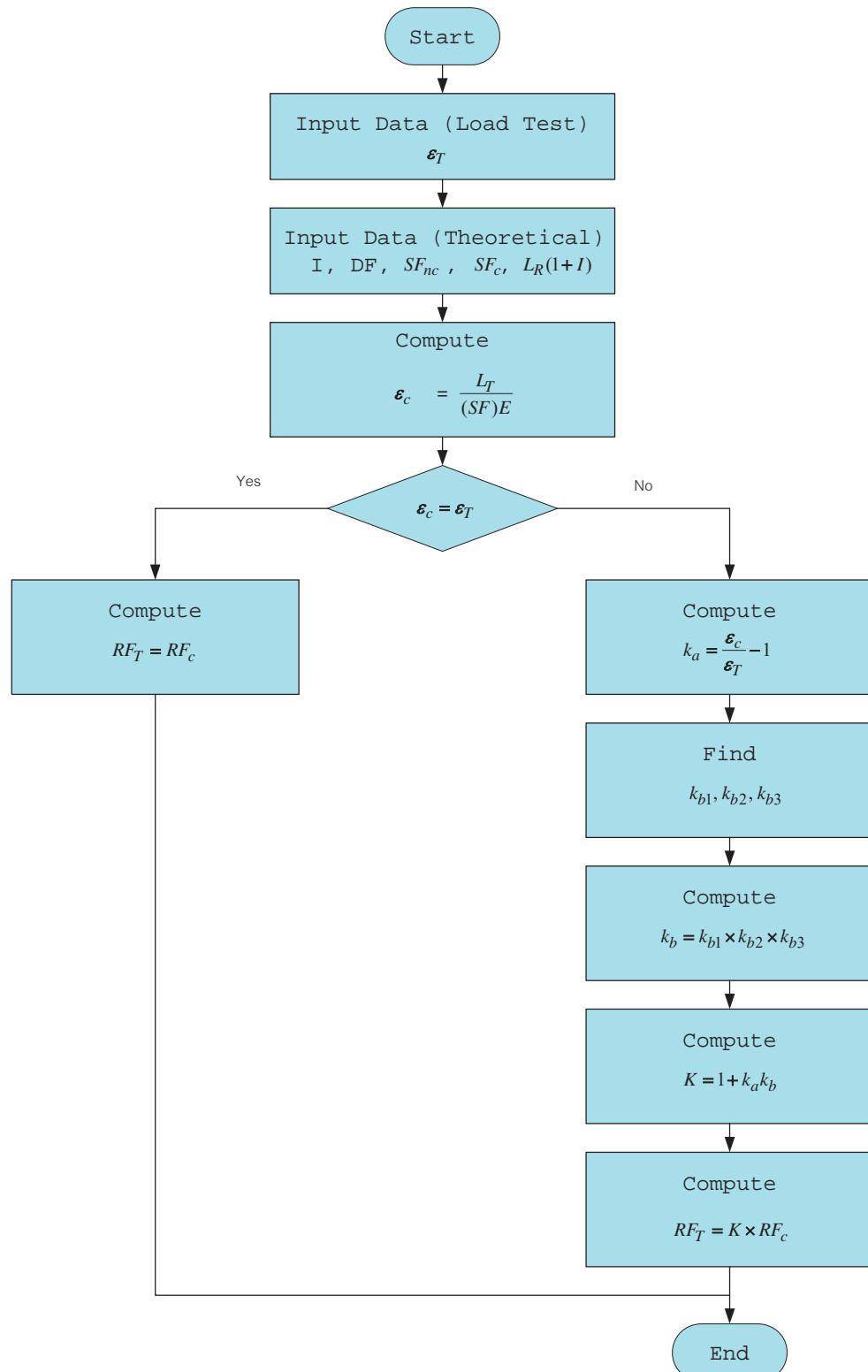


รูปที่ 14-1 แสดงหน้าตัดของสะพาน

สภาพโดยทั่วไปของสะพาน:

บริเวณการจราจรโดยเฉลี่ยของรถบรรทุกในแต่ละวัน ADT > 1000 โดยอยู่ในการควบคุมน้ำหนักได้

มีการบำรุงรักษาดีและไม่ปรากฏความเสื่อมสภาพ
ทางลาดขึ้นสะพานและพื้นผิวการจราจรมีสภาพดี
มีการตรวจสอบสภาพทั่วไป



รูปที่ 14-2 ขั้นตอนการปรับแก้ Rating Factor



การวิเคราะห์และประเมินสะพานโดยใช้วิธีการ 3 วิธี ที่มีอยู่ในมาตรฐาน AASHTO C/E แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธี Load Factor ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 14-4 และ 14-5

ตารางที่ 14-4 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

HS 26 Truck		
	RF_c	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	1.41	-
Operating	1.84	-

ตารางที่ 14-5 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor

HS 26 Truck		
	RF_c	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	2.89	-
Operating	3.76	-

การวิเคราะห์ค่า Rating ตามมาตรฐานของ โดยปกติจะสมมติเป็น Simple-Supported Beam และใช้การวิเคราะห์แบบสถิติในการหาค่าโมเมนต์มากที่สุด ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับการหาค่าของ Stress จากค่าของโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ต้องพิจารณาค่า Section Modulus ที่เหมาะสมด้วย

- Non-composite section modulus to bottom of steel at maximum moment section

$$SF_{nc} = 0.075 \text{ } m^3$$

- Composite section modulus to bottom of steel at maximum moment section

$$SF_c = 0.0977 \text{ } m^3$$

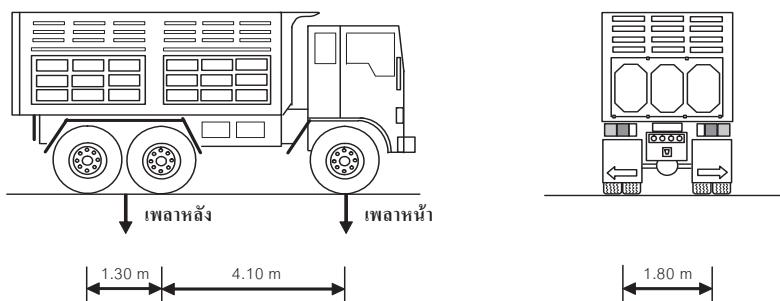
- Maximum live load moment plus impact due to rating vehicle

$$L_R(1+I) = 93 \text{ ตัน-เมตร (stringer moment including AASHTO design distribution)}$$

- Maximum dead load moment = 63 ตัน-เมตร

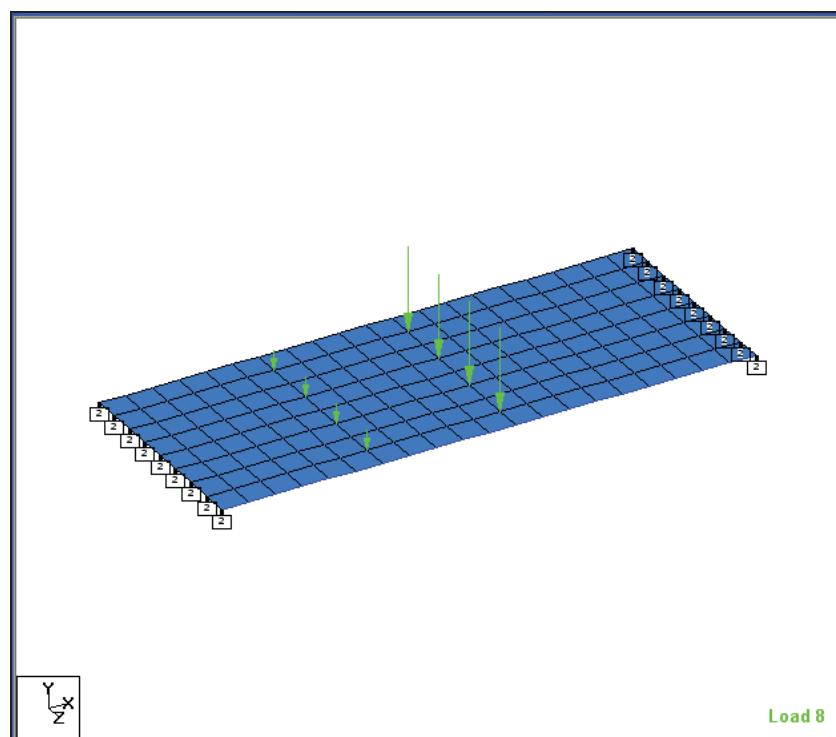
- AASHTO Factor I=0.26; DF=1.33

การทดสอบแบบ Diagnostic เมามะที่จะใช้ในการทดสอบโครงสร้างเชิงประดิษฐ์ เพื่อทำให้ทราบพฤติกรรมตามความเป็นจริง สำหรับการติดตั้ง Strain Gages จะติดในใกล้บริเวณที่เกิดความไม่แน่นอนมากที่สุด ส่วนวิธีการทดสอบจะใช้รถบรรทุก ดังแสดงในรูปที่ 14-3 ไปจอดที่บริเวณต่างๆ โดยมีการปรับเปลี่ยนทั้งตามแนวยาวและแนวขวางของสะพาน เพื่อที่จะหาค่า Maximum Strain



รูปที่ 14-3 รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

จากการทดสอบโดยใช้ HS 26 Truck พบร้าค่า Maximum Strain มีค่าเท่ากับ $150 \mu\epsilon$ เกิดในแนวกึ่งกลางสะพาน เมื่อมีการวางรถบรรทุกตามตำแหน่งดังรูปที่ 14-4



รูปที่ 14-4 แสดงตำแหน่งรถที่ทำให้เกิด Maximum Strain

การวิเคราะห์หาโนเมนต์และแรงเรืองเลื่อนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม SAP2000 สรุปได้ในตารางที่ 14-6



ตารางที่ 14-6 แสดงค่าไมเมนต์สูงสุด

ค่าไมเมนต์สูงสุด (ตัน-เมตร)			
HS21 Truck		HS26 Truck	
L_T	$L_R(1+I)$	L_T	$L_R(1+I)$
44	74	55	93

พิจารณาในส่วนของ HS26 Truck

จากสมการจะสามารถคำนวณหาค่า Maximum Strain บริเวณส่วนล่างของ Box โดยนำค่า Maximum Moment หารด้วย Composite Section Modulus

$$\varepsilon_c = \frac{L_T}{(SF_c)E} = \frac{55}{0.0977 \times 2.53 \times 10^6} = 223 \mu\epsilon$$

ถ้ามีการเคลื่อนที่ระหว่าง Steel Stringer และ Concrete Deck ค่า Strain ที่คำนวณได้จาก Non-Composite Section Modulus ควรจะมีค่ามากกว่าที่วัดได้จากการทดสอบ

$$\left(\frac{55}{0.075 \times 2.53 \times 10^6} \right) = 290 \mu\epsilon$$

ค่า Strain ที่ส่วนล่างของ Box ในตำแหน่งที่มีค่าไมเมนต์มากที่สุดมีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon_T = 150 \mu\epsilon$$

เมื่อทราบค่า Strain ที่ได้จากการตรวจวัด สามารถหา Apparent Section Modulus (SF_A)

$$SF_A = \frac{55}{(150 \times 10^{-6})(2.53 \times 10^6)} = 0.145 m^3$$

Composite Section Modulus ตาม AASHTO มีค่าเท่ากับ $0.0977 m^3$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับ Apparent Section Modulus เนื่องจากเป็นค่าที่หาได้จากการทดสอบ

จากความแตกต่างของ Strain ที่วัดได้กับค่า Strain ที่ได้จากการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างสามารถรับกำลังได้สูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่า RF_T ต้องมีการปรับแก้ค่า RF_c โดยใช้ค่า K

ในการปรับแก้ค่า K แบบອอกเป็น 2 ส่วน คือ ดังสมการ

$$K = 1 + k_a k_b$$

ส่วนแรกคือการหาค่า k_a

$$k_a = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_T} - 1$$

$$k_a = \frac{290}{150} - 1 = 0.93$$

ส่วนที่สองคือการหาค่า k_b

$$k_b = k_{b1} \times k_{b2} \times k_{b3}$$

k_{b1} ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ $\frac{T}{W}$ ดังแสดงในตารางที่ 14-1

$$\frac{T}{W} = \frac{L_T}{L_R(1+I)} = \frac{55}{93} = 0.59$$

ค่า $\frac{T}{W}$ มีค่ามากกว่า 0.4 แต่มีค่าน้อยกว่า 0.7 และพุทธิกรรมของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ $1.33W$

เมื่อนับรวมระหว่างการทดสอบ จะหาค่า $k_{b1} = 0.8$

k_{b2} หาได้จากตารางที่ 5-2 ขึ้นอยู่กับลักษณะของการตรวจสอบ

จะได้ค่า $k_{b2} = 0.8$

k_{b3} หาได้จากตารางที่ 14-3 ขึ้นอยู่กับความล้าและ Redundant System

จะได้ค่า $k_{b3} = 0.8$

จากสมการจะได้

Microsoft Office Excel 2003.lnk

$$K = 1 + (0.93)(0.51) = 1.47$$

จาก

$$RF_T = RF_c \times K$$

สรุปค่า Rating หลังทำการทดสอบ Load Test ดังแสดงในตารางที่ 14-7 และ 14-8



ตารางที่ 14-7 แสดงค่า Moment Rating Factor

HS 26 Truck		
	RF_T	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	2.07	-
Operating	2.70	-

ตารางที่ 14-8 แสดงค่า Shear Rating Factor

HS 26 Truck		
	RF_T	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	4.25	-
Operating	5.53	-



ภาคผนวก ก

ประมวลคำศัพท์

Abrasion	การขัดสี
Aerial Obstruction Lighting	ระบบไฟส่องสำรวจสิ่งกีดขวางในอากาศ
Aggregates	มวลรวม
Approach Barrier	ราวกันตกก่อนเข้าสู่สะพาน
Approach Embankment	ขอบคันทางที่เป็นส่วนก่อนเข้าสู่สะพาน
Approach Roadways	ถนนช่วงก่อนพื้นสะพาน
Approach Slab	แผ่นพื้นบริเวณช่วงก่อนเข้าสู่สะพาน
Asphalt	ยางมะตอย
Beams and Girders	คานขนาดต่างๆ ทั้งขนาดเล็กและใหญ่
Bracing	ตัวยึดต้านการเคลื่อนที่ด้านข้าง ตัวยัน แกงแงง
Bridge Barrier	แผงคอนกรีตกันรถบนสะพาน
Bridge Deck	ส่วนพื้นของสะพาน
Bridge Railing	ราวกันตกด้านข้างสะพาน
Bucket Truck	รถกระเช้าห้องเดียว
Buckling	การโก่งเดาะ
Cap Beam	คานหุ้มหัวเสา
Catenaries and Suspender Cables	สายเคเบิล
Cellular Seal	รอยต่อแบบปิดและมีพวง
Chain-Drag	วิธีการสำรวจแบบลากโซ่
Channel Embankment	ดินขบของลำน้ำ
Channel Embankment Protection	การป้องกันการกัดกร่อนพังทลายของคันขบของลำน้ำ
Channel Streambed	ห้องพื้นของลำน้ำ
Cleanout Plugs	ช่องทำความสะอาด
Clogged Drains	ջրระบายน้ำที่อุดตัน
Collision Damage	ความเสียหายจากการชน



Component	ส่วนประกอบ
Compression Seal	การซ่อมแซมรอยแตกบริเวณผิวทางซึ่งรับแรงอัด โดยการใช้วัสดุประสาน
Connection Slippage	การเลื่อนของรอยต่อ-รอยต่อแยกออกจากกัน
Consolidation	การดยน้ำ การที่คอกอนกรีตแข็งขึ้นเนื่องจากการดยน้ำ
Construction Joints	รอยต่อที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง เช่นรอยต่อที่เกิดจาก การเทคโนโลยีที่ไม่พร้อมกัน
Contamination	การเจือปน
Corrosion–Rusting	การเกิดสนิม
Counter Fort	กำแพงกันดินแบบครีบ
Curb Line	เส้นขอบถนน
Curing	การบ่มคอกอนกรีต
Curtain Wall	ผนังกระจก
Damping Ratio	อัตราส่วนความหน่วง
Debris	ชิ้นส่วนที่แตกออก
Deck Drains and Inlets	ช่องรับน้ำและระบายน้ำจากพื้นสะพาน
Deck Geometry	รูปร่าง (ขนาด) พื้นสะพาน
Deck Joint	รอยต่อของแผ่นพื้นสะพาน
Deficiencies	การชำรุดเสียหาย
Deformation	เกิดการเปลี่ยนรูปร่าง
Delamination	การหลุดออกเป็นแผ่นๆ
Diaphragms	โครงสร้างที่สามารถถ่ายแรงได้ทั้งสองทิศทาง
Dirt	ลิงกลปราก
Disturbance	การรบกวน
Downspout Pipes	ท่อระบายน้ำสู่ภายนอก
Drainage	ช่องระบายน้ำ
Drainage Trough	ร่องรับน้ำทิ้งตัว
Duct	ท่อ
Earth Retaining	การกันดินด้านข้าง
End Treatments	การตอบแต่งส่วนปลาย
Erosion of Back Fill	การกัดเซาะของดินกม
Exposed Bars	เหล็กเสริมที่露出ออกมาก
Fasteners	ตัวยึด



Fathometer	เครื่องมือหยิ่งความลึก
Fenders	ตัวกันกระแทก
Fill	งานดูม ดินดูม
Finger Plate	แผ่นเหล็กขนาดเล็ก
Finger Plate Joints	รอยต่อแบบใช้แผ่นเหล็ก
Flexural-Shear Crack	รอยแตกจากผลของแรงเฉือนและแรงดัด
Floor Beams and Stringers	คานพื้นและคานช่วย
Formed Joints	รอยต่อแบบหล่อ
Friction Piles	เสาเข็มที่อาศัยแรงเสียดทานในการรับน้ำหนัก
Frost Action	การเกิดปฏิกิริยาเป็นน้ำแข็ง
Full Depth Failure	การวินาศีติดต่อความลึกของหน้าตัด
Grates	ฝาตะแกรง
Greasing	การเกิดคราบมันเยี้ยม
Ground-Penetrating Radar	การใช้เรดาร์ในการจับคลื่นได้ดิน
Gusset Plate	แผ่นเหล็กประกับ โดยทั่วไปสำหรับโครงข้อหมุน (Truss)
Heave	การปูด
Highway Lighting	ระบบไฟแสงสว่างของทางหลวง
Hydraulic Opening	เครื่องเปิดระบบไฮดรอลิก
Impact Damages	ความเสียหายจากการกระแทก
Impact-Echo	อุปกรณ์วัดความสมบูรณ์ของโครงสร้างโดยใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียง
Impact Attenuator	การติดตั้งตัวลดแรงกระแทก
Improved Workability	ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตที่ดีขึ้น
Increased Durability	ความคงทนที่เพิ่มขึ้น
Integrity	สภาพความสมบูรณ์
Lateral Clearance	ระยะห่างด้านข้าง
Lateral Displacement	ระยะเสียรูปของโครงสร้างในด้านข้าง
Leakage	รอยรั่ว
Manlift	รถยกคน
Masonry Plate	แผ่นอิฐมูญ
Median Barriers	ราวกันช่องกลาง
Modular Elastomeric Seal	รอยต่อแบบปิดโดยหน่วยประกอบยึดหยุ่น



Moisture Content	ปริมาณความชื้น
Narrow Underpass	ทางลอดแคบ
Navigation	ระบบนำทาง
Navigation Lighting	ระบบไฟส่องนำทาง
Navigational Lighten Aids	ไฟและเครื่องช่วยการนำทาง
Non-Composite Deck	แผ่นพื้นที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับคานเพื่อช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักให้กับคาน
Open Joints	รอยต่อแบบเปิด
Outlet Drains	ต่อระบายน้ำออกจาพื้นสะพาน
Outlet Pipes	ท่อระบายน้ำออก
Pavement	ถนนคอนกรีตชั้นภายน
Pedestrian Railing	ราวกันบนสะพาน
Piles	เสาเข็ม
Plain Cement Concrete	คอนกรีตที่มีซีเมนต์ล้วนๆ
Plain Concrete	คอนกรีตล้วนๆ
Plank Seal	การเชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่นพื้น
Platform	แท่นร่อง
Poured Joint Seal	รอยต่อแบบปิดโดยการเท
Precast	คอนกรีตหล่อสำเร็จ
Prefabricated Elastomeric Seal	รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นรับความยืดหยุ่นสำเร็จ
Probing	การสำรวจ ตรวจสอบ
Rating Factor	ดัชนีชี้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน
Rebound and Penetration	วิธีการเจาะและสะท้อนกลับ
Reduced Cracking	การลดลดลงของการแตกร้าว
Reinforcing Steel Strength	กำลังรับน้ำหนักของเหล็กเสริม
Relief Joint	รอยต่อผ่อนแรง
Replacement Asphalt Strip	ແບบยางแอกส์ฟล์ททดแทน
Rigging	คุปกรณ์สำหรับโยงยึด
Rotational Movement	การเคลื่อนตัวโดยการหมุน
Roughness	ความขรุขระ
Run Off	น้ำไหลที่พื้นผิว
Safety Features	ความปลอดภัย
Saturation of Backfill	ความอิ่มตัวของดิน宕



Scaffolds	นั่งร้าน
Scour	การกัดเซาะ
Seepage	การไหลซึมของน้ำ
Settlement	การทรุดตัว
Shear Connector	หมุดเสริมกันแรงเฉือน
Shear Key	สลักวับแรงเฉือน
Sheet Seal	แผ่นผนึกแบบบาง
Shielding	การหุ้ม
Shovel	พลัว
Sign Lighting	ระบบไฟสัญญาณ
Skewbacks or Arches	คานโถง
Skewed Bridges	สะพานที่แนวต้อม่อ หรือแนวคานรับพื้นทำมุกับทิศทาง
Sliding Plate Joint	รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นเหล็กเลื่อน
Slotted Steel Anchorage	เหล็กตัวยึดที่เป็นช่อง
Snoopers	รถกวะเข้าพิเศษ
Speed Traffic Marker	ป้ายบอกความเร็ว
Splitting	การแยกตัว—แยกออกจากกันเป็นชิ้นๆ
Steel Reinforced Neoprene	แผ่นยางเทียม
Stone Masonry	งานก่ออิฐหิน
Strain Gages	อุปกรณ์วัดการขยายตัว
Strand	ลวดเหล็กกลมตีเกลี้ยง
Stringers	คานซ้อย
Strip Seal	แผ่นผนึกแบบแถบ
Structural Evaluation	การประเมินการคุณค่าของโครงสร้าง
Sub-Base Material	ชั้นรองพื้นทาง
Sub-Grade	ชั้นรองพื้นสะพาน
Substructure	โครงสร้างส่วนล่างของสะพาน
Superstructure	โครงสร้างส่วนบนของสะพาน
Tachometer	เครื่องมือวัดความเร็ว
Tie Bar	เหล็กรัด เหล็กยึด
Tilting	การเอียง



Traffic Control Lighting	ຮະບບປ່າໄຟຄວບຄຸມກາຮຈາຈາກ
Transitions	ຈຸດຄ່າຍເຫ
Unevenness	ຄວາມໄຟເລືອບ
Vertical Clearance	ລະຍະທ່າງໃນແນວດິງ
Waders	ຮອງເທົ່າງໆທູ່າງ
Water Depth Scales	ມາຕຣາວດຄວາມລືກຂອງນ້ຳ
Waterproof Membrane	ແຜ່ນກັນເໜີ້າ
Wearing Surface	ພິວດັນນ້ຳນັບນສຸດ ຫັນພິວທາງ
Web-Shear Crack	ກາຮແຕກກໍາການເນື່ອງຈາກພລຂອງແຮງເນື້ອນ
Weep Holes	ຫ່ຳອ່ານະບາຍນ້ຳ
Weight Limit	ຂຶ້ດຈຳກັດຂອງນ້ຳໜັກຮຽຖຸກ