การศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้าง
สระสวนน้ำขนาดใหญ่ ด้วยวิธีพินิจ

นายเรืองเดช ไทยเรือง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

การศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้าง
สระสวนน้ำขนาดใหญ่ ด้วยวิธีพินิจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
ประธานกรรมการ

____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

____

(ผศ. ดร.มงคล จิรวัชรเดช)
กรรมการ

____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เรื่องเดช ไทยเรือง : การศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ด้วยวิธีพินิจ (VISUAL INSPECTION OF CONCRETE CRACKS IN WATER PARK POOL)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

การก่อสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ ที่โครงการซีนิคอลเวิล์ดเขาใหญ่ พบว่าปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้าง หลังการก่อสร้างโครงสร้างหลักของสระน้ำผ่านไป และทดสอบเติมน้ำเพื่อตรวจสอบรอยรั่วซึม และปัญหาอื่นๆ เมื่อปล่อยน้ำออกได้เริ่มปรากฏรอยแตกร้าวที่พื้นสระ ซึ่งขยายใหญ่ขึ้น จำนวนมากขึ้น อย่างเห็นชัด จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุการแตกกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาวิธีแก้ปัญหาอย่างถูกต้อง เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า รอยแตกร้าวทั้งหมดสามารถแบ่งแยกออกเป็น 3 กลุ่ม ตามขนาดและการวางตัว เมื่อทำการเปรียบเทียบกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว พบว่า รอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 เกิดจากการหดตัวแบบพลาสติก กลุ่มที่ 2 มีการโก่งตัวจากแรงดัดสองแรงตัดกัน จึงเกิดรอยแตกร้าวตั้งฉากกับแรงตัดกัน และแรงบิดจากการยืดหดตัวสลับกัน ทำให้เกิดการแตกร้าวขนานกับขอบสระด้วย กลุ่มที่ 3 สาเหตุหลักเกิดจากการโก่งตัวของพื้นคอนกรีต ตามแนวยาวของสระ ทั้งนี้ทุกกลุ่มมีความร้อนเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้รอยแตกร้าวเกิดความคืบและขยายตัวมากขึ้นเหมือนกัน ควรป้องกันและลดอุณหภูมิระหว่างการก่อสร้างเพื่อลดผลกระทบต่างๆ รอยร้าวทั้งหมดที่เกิดขึ้นสามารถอุดด้วยวัสดุที่มีคุณภาพ เหมาะสม ให้เรียบร้อยก็ใช้งานได้ตามปกติ

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา ____________________
ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ______________

RUENGDECH THAIRUENG : VISUAL INSPECTION OF CONCRETE CRACKS IN WATER PARK POOL. ADVISOR : ASSOC. PROF. AVIRUT CHINKULKITNIWAT, Ph.D.

A large water park pool, Snical World Khao Yai, was found many concrete cracks after a completion of the its main structure construction. Water leakage test was then conducted by leveling water in the pool. However, cracks propagated further after the water leakage test. This study aims to investigate these cracks such this problem might be prevented in the similar projects which will be constructed in the near future. Results from this study will be served as a fundamental data such that remediation of a problem can be implemented appropriately. The investigation results reveals that the cracks can be classified to three groups according to their size and orientation. The first group were mainly caused by plastic shrinkage. The second group were caused by negative bending occurred in two perpendicular directions. In this group, stretching and shrinking cycle further deteriorated the structure resulting in the cracks parallel to the edges of the pool. The third group were mainly cause by negative bending stress along the longitudinal pool line. Heat is the source of all crack types since it results in an expansion of concrete during concrete setting. Therefore, it is vital to decrease the temperature during the concrete placing. Remediation can be conducted by crack filling using appropriate materials.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering Student's Signature________________

Academic Year 2016 Advisor's Signature ________________

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการในครั้งนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ และ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันทรงคุณค่าของท่านเพื่อให้คำปรึกษา ตลอดจนแนะนำวิธีการต่าง ๆ ด้วยความใส่ใจเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะให้การจัดโครงการในครั้งนี้สัมฤทธิ์ผล จนทำให้การจัดทำโครงการสำเร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ บุคลากร ของสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ในด้านการ เก็บข้อมูล เพื่อนำมาจัดทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ผู้บังคับบัญชา เพื่อนร่วมงาน ผู้ใต้บังคับบัญชา โดยเฉพาะโครงการสวนน้ำสวนสนุก ซีนิคอลเวิลด์ เจ้าของโครงการ และบริษัท เอส ซี บี เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ผู้รับจ้างทำการสำรวจ ที่ให้ความร่วมมือ และคอยช่วยเหลือในเรื่องที่เกี่ยวข้อง ในการจัดทำโครงการในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ เพื่อนๆนักศึกษาร่วมโครงการ โดยเฉพาะ CM. SUT. รุ่น13 ทุกคน คณะอาจารย์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ชี้แนะ ช่วยเหลือใกล้ชิดตลอดมาทุกเรื่อง รวมถึงครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ด้วยความรัก และความห่วงใย ช่วยเหลือสนับสนุน ทำให้ผู้จัดทำโครงการมีกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

เรืองเดช ไทยเรือง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ข
กิตติกรรมประกาศ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ฉ
สารบัญรูปภาพ ช

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
   1.2 วัตถุประสงค์ 2
   1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2
   1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
   2.1 บทนำ 3
   2.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าว 3
   2.3 สาเหตุการแตกร้าว 14
   2.4 ลักษณะของรอยแตกร้าว 16
   2.5 การตรวจสอบรอยแตกร้าว 20
   2.6 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด 24
3. วิธีดำเนินการศึกษา 27
   3.1 บทนำ 27
   3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 27
   3.3 ศึกษาสภาพปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 29
   3.4 วิธีดำเนินงาน 30
4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล 33
   4.1 บทนำ 33

4.2 ผลการสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) และการวัดรอยแตกร้าว 33

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 ผลการสำรวจความลึกของรอยแตกร้าวด้วยการเจาะ (Drilled Core) 45
4.4 ผลการสำรวจและศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำการก่อสร้าง 49
4.5 ผลการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีต จากข้อมูลทั้งหมด 55
5. สรุปและข้อเสนอแนะ 64
5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ 64
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน 66
5.3 ข้อเสนอแนะ 66
เอกสารอ้างอิง 67
ภาคผนวก 68
ประวัติผู้เขียน 77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังอิฐก่อ 21
2.2 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 22
4.1 รายละเอียดรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 33
4.2 รายละเอียดรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 เป็นการรวมรอยแตกร้าวตามขนาดความกว้าง 37
4.3 รายละเอียดรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 39
4.4 รายละเอียดรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 เป็นการรวมรอยแตกร้าวตามขนาดความกว้าง 40
4.5 รายละเอียดรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 42
4.6 รายละเอียดการเจาะสำรวจและวัดตามความลึกของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 45
4.7 รายละเอียดการเจาะสำรวจและวัดตามความลึกของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 46
4.8 รายละเอียดการเจาะสำรวจและวัดตามความลึกของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 48
4.9 อุณหภูมิ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา พ.ศ. 2557 50
4.10 สรุปปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 1 56
4.11 สรุปปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ก. 57
4.12 สรุปปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ข. 58
4.13 สรุปปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ค. 59
4.14 สรุปปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ง. 60
4.15 สรุปปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 จ. 62
4.16 สรุปปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 3 63
5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ 64
ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิย้อนหลังเดือนเมษายน 2559 กรมอุตุนิยมวิทยา 74

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 การเปลี่ยนแปลงของหน่วยการยืดหด t เป็นเวลาที่น้ำหนักเริ่มกระทำ 6
2.2 สูตรการคำนวณระยะแอ่นตัวมากที่สุดในคานรับน้ำหนักแบบต่างๆ 8
2.3 การคำนวณระยะแอ่นตัวสำหรับคานต่อเนื่อง 9
2.4 องค์อาคารรับแรงบิดเนื่องจากน้ำหนักเยื้องศูนย์ 9
2.5 คานรับแรงบิดจากพื้นที่อาคาร 10
2.6 หน่วยแรงหลักและการแตกร้าวจากการบิดอย่างเดียว 11
2.7 กำลังบิดของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กตันและกลวง (Solid & Hollow) 12
2.8 การแตกร้าวจากการหดตัวแบบพลาสติก 12
2.9 แท่งคอนกรีตอิสระ (a) 15
2.10 แท่งคอนกรีตที่ถูกยึดปลายทั้งสองข้าง (b) 15
2.11 แท่งคอนกรีตเกิดความคืบ (c) 15
2.12 แท่งคอนกรีตเกิดรอยร้าว (d) 15
2.13 กราฟแสดงหน่วยแรง ความคืบ และการหดตัวของคอนกรีต 16
2.14 ประเภทการแตกร้าวของคอนกรีต 17
2.15 รอยแตกร้าวที่เกิดจากแบบ 17
2.16 รอยแตกร้าวที่เกิดจากพื้นใต้คอนกรีตไม่แข็งแรง 18
2.17 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต 18
2.18 รอยแตกร้าวแบบแตกลายงา 19
2.19 รอยแตกร้าวจากการหดตัว 19
2.20 รอยแตกร้าวที่เกิดจากสนิมของเหล็กเสริม 20
2.21 เครื่องมือวัดรอยแตกร้าว 21
2.22 เครื่องมือวัดค่าสะท้อนของคอนกรีต 23
2.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนและกำลังอัดของคอนกรีต 23
2.24 กราฟแท่ง 24
2.25 กราฟเส้น 25
2.26 แผนผังก้างปลา 26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1 แผนภูมิการดำเนินงาน 27
3.2 เครื่องมือ และการวัดความกว้างรอยแตกร้าว 30
3.3 เครื่องมือ และการเจาะคอนกรีตชิ้นตัวอย่าง 31
3.4 ลักษณะรูที่เจาะ และชิ้นตัวอย่าง 32
3.5 โครงสร้างแผนผังแสดงเหตุและผล 32
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 36
4.2 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1 ลงในผังสระน้ำ 38
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 ทั้งหมด 40
4.4 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 ลงในผังสระน้ำ 41
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3 ทั้งหมด 43
4.6 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3 ลงในผังสระน้ำ 44
4.7 การเจาะสำรวจรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1 45
4.8 การเจาะสำรวจรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 46
4.9 การเจาะสำรวจรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3 47
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความลึกของรอยแตกร้าว 48
4.11 การปรับ และบดอัดดินก่อนการวางผังก่อสร้างทั้งหมด 49
4.12 การขุดดินพื้นที่ก่อสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งมีหินขนาดใหญ่เต็มพื้นที่ 50
4.13 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนสถานีลำตะคลอง 51
4.14 ฝนตกน้ำท่วมพื้นที่ก่อสร้างสระสวนน้ำทั้งหมด 52
4.15 จำลองแรงยก ความยาว ความแข็งแรงพื้นสระมีผลกระทบต่อการแตกร้าว 53
4.16 จำลองความร้อน แรงยก ความยาว ความแข็งแรงพื้นสระมีผลกระทบต่อการแตกร้าว 53
4.17 ลักษณะการเกิดแรงดัน และตำแหน่งที่จะเกิดรอยแตกร้าว 54
4.18 กราฟแสดงแรงดัดและตำแหน่งการเกิดรอยแตกร้าวจากแรงดัด แรงบิด 54
4.19 พื้นที่ด้านข้าง ระดับพื้นสระ ก่อนและหลังการทดลองกักน้ำ 55
4.20 การแจกแจงข้อมูลลงในแผนผังแสดงเหตุและผล ปัญหาการแตกร้าว 55
ก.1 รายการคำนวณพื้นสระสวนน้ำ 69
ก.2 รายการคำนวณ และการรับโหลด 70
ก.3 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวทั้ง 3 กลุ่ม ลงในผังสระน้ำ 71
ก.4 สระสวนน้ำก่อนทำการสำรวจรอยแตกร้าว 72
ก.5 เครื่องมือวัด และการวัดความกว้างของรอยแตกร้าว 72

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.6 แท่งคอนกรีตที่เจาะสำสวจ 73
ก.7 ลักษณะการเจาะสำรวจรอยแตกร้าว 73
ก.8 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเดือนเมษายน 74
ก.9 รอยแตกร้าวที่ทำการซ่อมแซม 75
ก.10 รอยแตกร้าวที่ทำการซ่อมแซม และการหาวัสดุกรองแสงเพื่อลดอุณหภูมิ 75
ก.11 สระสวนน้ำหลังแก้ไขปัญหาเสร็จเตรียมเปิดให้บริการ 76
ก.12 สระสวนน้ำเปิดให้บริการ 76

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมท่องเที่ยวได้กลายเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจโลก ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าอุตสาหกรรมท่องเที่ยวได้เจริญเติบโต จนเป็นสินค้าหลักในระบบการค้าระหว่างประเทศ สำหรับอุตสาหกรรมท่องเที่ยวของประเทศไทยในช่วงตลอดทศวรรษที่ผ่านมาถือว่าเป็นพลังขับเคลื่อนที่มีบทบาทชัดเจน สามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทย และชาวต่างชาติ นำเงินตราต่างประเทศเข้ามาสร้างเสริมเศรษฐกิจไทยให้แข็งแกร่ง เป็นส่วนกระตุ้นให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจ นำไปสู่การจ้างงาน สร้างอาชีพ การกระจายรายได้ และการลงทุนในธุรกิจที่ต่อเนื่องมากมาย เป็นการสร้างความมั่งคั่งให้กับประชาชนและประเทศชาติ ซึ่งจะนำไปสู่ความสำเร็จในการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนชาวไทย สวนน้ำสวนสนุกขนาดใหญ่ได้ถูกสร้างขึ้นใกล้มรดกโลก อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ตั้งอยู่ที่ ต.หมูสี อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เพื่อเป็นทางเลือก และความหลากหลายในการท่องเที่ยวในภูมิภาคนี้

การก่อสร้างสวนน้ำสวนสนุก ที่โครงการซีนิคอลเวิลด์เขาใหญ่ เริ่มขึ้นเมื่อ พ.ค. 2556 - พ.ค. 2559 ระหว่างการก่อสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ เมื่อการออกแบบเสร็จสมบูรณ์ ได้เริ่มทำการขุดดินตามขนาดของสระ จนได้ขนาดความลึก ความกว้าง และความยาวตามที่ต้องการ จึงทำการปรับพื้นเพื่อผิวเทคอนกรีตรองพื้น จากนั้นจึงผูกเหล็กเทคอนกรีตโครงสร้างพื้นสระทั้งหมด การออกแบบสระสวนน้ำขนาดใหญ่นี้ไม่มีเสาเข็ม หรือฐานราก เป็นการวางโครงสร้างบนพื้นที่แข็งแรง ซึ่งผู้ออกแบบได้สำรวจ และทดสอบตามหลักวิชาการมาหลายรอบ การก่อสร้างดำเนินไปตามแบบ และแผนที่กำหนด เมื่อโครงสร้างสระสวนน้ำเสร็จ จึงทำการเติมน้ำเข้าเต็มความจุใช้งานของสระ กักน้ำไว้ 3 สัปดาห์ เพื่อตรวจสอบรอยรั่ว และปัญหาอื่น ๆ จากนั้นจึงปล่อยน้ำออกเพื่อแก้ไขปัญหาที่ตรวจพบใหม่ และทำการก่อสร้างตามขั้นตอนต่อไป หลังจากปล่อยน้ำออก 2-3 สัปดาห์ ขณะเตรียมทำงานพื้นผิวสระน้ำ ได้พบรอยแตกร้าวที่โครงสร้างพื้น ผนังตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไปอีก 1 สัปดาห์ รอยแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น รอยแยกขยายกว้างขึ้น เป็นลักษณะยาวขวางจากขอบสระด้านซ้ายถึงด้านขวา หลายแนว ทุกฝ่ายวิตกกังวลว่าจะเป็นสัญญาณการวิบัติทางโครงสร้าง จึงต้องเร่งหาสาเหตุ และแนวทางแก้ไขปัญหาด่วน

การศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ ด้วยวิธีพินิจกรณีศึกษา โครงการสวนน้ำสวนสนุกซีนิคอลเวิลด์ เขาใหญ่ เป็นการศึกษาสาเหตุปัญหาจากข้อมูลการก่อสร้างถึงปัจจุบัน เพื่อหาสาเหตุปัญหาการแตกร้าวให้ครบถ้วนทุกมิติ ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานใน

การหาวิธีการแก้ไขปัญหา และป้องกันปัญหาในอนาคตอย่างถูกต้อง รวมถึงเป็นแนวทางการป้องกันปัญหาการก่อสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ลักษณะเดียวกันในอนาคตอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาสาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 สวนน้ำสวนสนุกซีนิคอลเวิลด์เขาใหญ่ เลขที่ 777 ม.5 ต.หมูสี อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

1.3.2 สระคลื่นเทียม (Wave Pool)

1.3.3 คอนกรีตโครงสร้างพื้น และผนังขอบสระ

1.3.4 ระยะเวลาดำเนินงาน ก.พ. 2558 – พ.ค. 2559

1.3.5 รวบรวมข้อมูล สรุป จัดทำรายงานโครงการ ธ.ค.2559 – ก.ค. 2560

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนแกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่

1.4.2 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาวิธีแก้ปัญหาอย่างถูกต้อง เหมาะสม และทันเวลา

1.4.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาแนวทางป้องกันปัญหาในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การจัดทำโครงงาน "การศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ด้วยวิธีพินิจ" กรณีศึกษาโครงการสวนน้ำสวนสนุกซีนิคอลเวิลด์ เขาใหญ่ ตำบลหมูสี อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้ารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับทฤษฎี แนวคิด และเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในกระบวนการศึกษา ในครั้งนี้ โดยจะกล่าวเฉพาะหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าว

2.1.2 สาเหตุการแตกร้าว

2.1.3 ลักษณะของรอยแตกร้าว

2.1.4 การตรวจสอบรอยแตกร้าว

2.1.5 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

2.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าว

ปัญหาต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้

2.2.1 วัตถุดิบและส่วนผสมของคอนกรีต ได้แก่ วัสดุมวลรวม ปูนซีเมนต์ น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีต

วัสดุมวลรวม ได้แก่ หิน ทราย แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ รูปร่างลักษณะของผิวและส่วนคละของวัสดุมวลรวม มีผลต่อการออกแบบส่วนผสม สัมประสิทธิ์การนำความร้อน Drying Shrinkage Stiffiness , Creep และความแข็งแรงของคอนกรีต เช่น หินและทรายที่มีดินเหนียวปนอยู่ด้วย ดินเหนียวจะหดตัวมากกว่าปูนซีเมนต์ จึงเป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว

ปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์มาก หรือปูนซีเมนที่มีซิลิก้าสูงหรือมีความละเอียดสูง เช่น ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 มีโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวได้มาก

น้ำ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผสมคอนกรีต เพราะถ้าใช้น้ำปริมาณมากเกินความจำเป็น ก็มีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกร้าวได้มาก และยังทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลงด้วย

น้ำยาผสมคอนกรีต น้ำยาบางชนิดอาจมีผลทำให้เกิดการแตกร้าวได้ เช่น น้ำยาเร่งการแข็งตัว แต่น้ำยาบางชนิดก็ช่วยลดการแตกร้าวได้ เช่น น้ำยาหน่วงการก่อตัว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2.2 การเทคอนกรีต (Placing) อัตราการเทและการทำงานมีผลต่อการแตกร้าวอย่างแน่นอน มักจะเป็นผลมาจากการเยิ้มของคอนกรีต (Bleeding) น้ำที่ไหลเยิ้มขึ้นมาบนคอนกรีตจะทำให้เกิดช่องว่างใต้หิน โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ลึกๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวภายในได้ นอกจากอัตราการเทคอนกรีต และระยะเวลาในการเทคอนกรีต แรงงาน เครื่องมือ และความต่อเนื่องในการเทคอนกรีต ล้วนมีผลต่อคุณภาพคอนกรีต และการแตกร้าวของคอนกรีตด้วย

2.2.3 สภาพการทำงาน นับเป็นปัจจัยภายนอกที่เข้ามาเกี่ยวข้องในขณะทำงาน

อุณหภูมิ (Temperature) ปกติอัตราการรับกำลังได้ของคอนกรีตจะแปรตามอุณหภูมิ อิทธิพลที่สำคัญของอุณหภูมิที่มีต่อคอนกรีต คือ เมื่อคอนกรีตเย็นตัวตัวลงจะหดตัว โดยเฉพาะงานคอนกรีตในอากาศร้อน และงานคอนกรีตปริมาณมากๆ (Mass Concrete) พื้นคอนกรีตที่หล่อขณะอากาศเย็น จะเกิดการแตกร้าวน้อยกว่าหล่อขณะอากาศร้อน ลักษณะเช่นนี้จะเกิดกับงานคอนกรีตสำหรับโครงสร้าง อื่นๆ ด้วย เพื่อหลีกเหลี่ยงปัญหานี้ การเทคอนกรีตปริมาณมากๆ จึงไม่ควรเทคอนกรีตในขณะอุณหภูมิสูง

การสัมผัสกับสภาพรอบข้าง (Exposure) ลักษณะอากาศที่คอนกรีตสัมผัสมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกร้าวของคอนกรีต อุณหภูมิและความชื้นที่แตกต่างกันมากในช่วงวัน เป็นผลทำให้เกิดการรั้งภายในของคอนกรีตอย่างมาก (Internal Restraint) เพราะการยืดหดตัวของผิวและส่วนที่อยู่ภายในไม่เท่ากัน ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

2.2.4 การบ่มคอนกรีต (Curing) ความชื้นในคอนกรีตเป็นสิ่งสำคัญมาก ไม่ว่าก่อนหรือหลังการบ่ม สำหรับงานพื้นถ้าคอนกรีตแห้งเร็วเกินไป อัตราการระเหยของน้ำที่ผิวคอนกรีตอาจจะเร็วกว่าอัตราการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้น ผิวหน้าของคอนกรีตจะหดตัว ทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้น การป้องกัน ทำให้แบบหล่อชุ่มน้ำ หลีกเหลี่ยงการเทคอนกรีตในขณะที่อุณหภูมิสูง บ่มคอนกรีตในทันทีที่ทำได้ พยามยามป้องกันลมและแสงแดดขณะเทคอนกรีต เพื่อไม่ให้น้ำระเหยเร็วเกินไป (วินิต, 2529 ; ชัชวาล, 2535 ; Concrete technology C-PAC, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์)

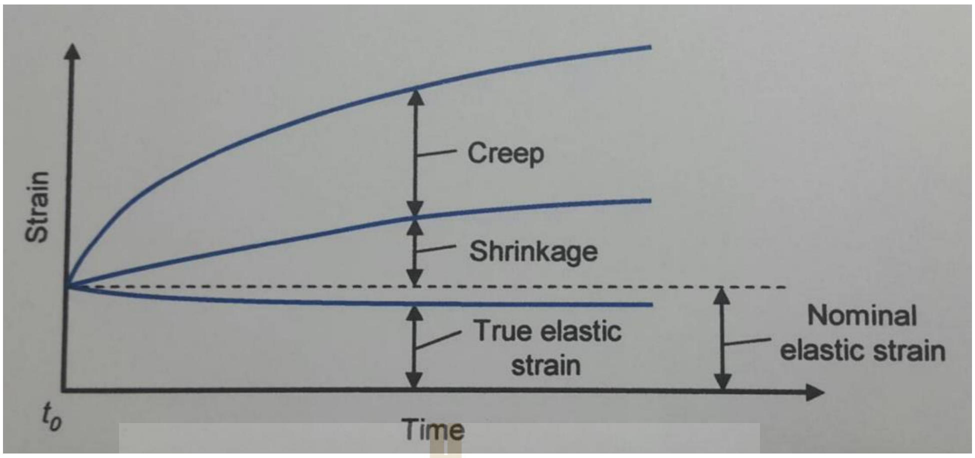
2.2.5 การยึดรั้งตัว (Restraint) คอนกรีตที่ถูกยึดรั้งไว้ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ ไม่ว่าจะเป็นการยึดรั้งจากฐานรากหรือโครงสร้างใกล้เคียง ทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นได้ การเกิดรอยแตกในแนวดิ่งที่ฐานกำแพงของอาคารถือเป็นเรื่องปกติ ถ้ารอยแตกนั้นไม่ขยายต่อถึงด้านบน ดังนั้นจึงมักพบว่า กำแพงหรือพื้นยาวที่ไม่มีการตัด Joint มักจะเกิดรอยแตกขึ้นเป็นช่วง ๆ ได้ ส่วนกำแพงที่หล่อติดเป็นชิ้นเดียวกันกับโครงสร้าง มีโอกาสที่จะแตกในแนวดิ่งและแนวราบ การยึดรั้งก็มักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทรุดไม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เท่ากันของโครงสร้าง โดยทั่วไปคอนกรีตที่ถูกยึดรั้งไม่ให้หดตัวสูงจะเกิดรอยแตกขึ้นมา แต่รอยแตกเหล่านี้จะมีลักษณะเป็นรอยแคบๆ การเสริมกำแพงหรือพื้นด้วยเหล็กปริมาณมากๆ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวลักษณะนี้ได้มากกว่าการเสริมเหล็กปริมาณน้อย หรือที่มักเรียกว่า เหล็กเสริมอุณหภูมิ (Temperature Reinforcement) แต่เมื่อรวมความกว้างของรอยแตกแล้วทั้ง 2 กรณีจะมีความกว้างเท่าๆกัน ทำนองเดียวกัน เหล็กที่รับแรงดึงสูง (High – Yield – point) ทำให้เกิดรอยแตกกระจายทั่วไปมากกว่าเหล็กก่อสร้างทั่วไป (Structural – Grade – Steel) รอยแตกแคบๆมักไม่ก่อให้เกิดปัญหาเพราะสังเกตได้ยาก และฝนมีโอกาสซึมผ่านค่อนข้างน้อย คอนกรีตที่เกิดการยึดรั้งภายในอาจเกิดขึ้นได้ ถ้าเป็นโครงสร้างเดียวกันแต่ใช้ส่วนผสมของคอนกรีตต่างกัน เช่น ใช้ปูนซีเมนต์ไม่เท่ากัน หรือมีสัดส่วนของหิน-ทรายต่างกัน (ชัชวาล, 2535)

2.2.6 ความคืบและการหดตัวของคอนกรีต (Creep and Shrinkage) ความคืบและการหดตัวเป็นการเปลี่ยนรูปร่างที่ขึ้นกับเวลา ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีตได้ จึงถือเป็นเรื่องสำคัญที่ผู้ออกแบบต้องพิจารณา ปกติแล้วคอนกรีตมีพฤติกรรมอิลาสติกภายใต้น้ำหนักกระทำระยะสั้นเท่านั้น และจะมีการเปลี่ยนรูปร่างเพิ่มเติมเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุอิลาสติก การโก่งแอ่นหลังจากได้รับน้ำหนักเป็นระยะเวลานานเป็นเรื่องยากที่จะคาดคะเน แต่การควบคุมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรองรับการใช้งานในช่วงอายุของโครงสร้าง

ความคืบ (Creep) เป็นคุณสมบัติของคอนกรีต (และวัสดุอื่น) ในการเปลี่ยน รูปร่างไปตามการเวลาภายใต้น้ำหนักคงค้างที่หน่วยแรงในช่วงอิลาสติก (เช่นต่ำกว่า 0.5 f) การเปลี่ยนรูปร่างแบบอิลาสติกนี้จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงในช่วงเวลาที่รับน้ำหนัก โดยขนาดทั้งหมดอาจเป็นหลายเท่าของการโก่งแอ่นอิลาสติกในช่วงเวลาสั้น บ่อยครั้งที่ความคืบเกิดขึ้นร่วมกับการหดตัวเนื่องจากทั้งคู่เกิดขึ้นพร้อมกัน และบ่อยครั้งที่ให้ผลสุดท้ายเหมือนกัน นั่นคือการเพิ่มขึ้นของการโก่งแอ่นตามเวลาดังจะสังเกตได้จากรูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ทั่วไประหว่างการเปลี่ยนรูปร่างกับเวลาความเครียดจริงลดลงเนื่องจากโมดูลัสยืดหยุ่น



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของหน่วยการยืดหด t เป็นเวลาที่น้ำหนักเริ่มกระทำ

ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดความคืบคือ

ก) ส่วนผสม เช่น องค์ประกอบและความละเอียดของผงซีเมนต์ สารผสมเพิ่ม ขนาด ขนาดคละและปริมาณแร่ธาตุของมวลรวม

ข) อัตราส่วน เช่น ปริมาณน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ค) อุณหภูมิและความชื้นในการบ่ม

ง) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างใช้งาน

จ) อายุที่รับน้ำหนัก

ฉ) ช่วงเวลาที่รับน้ำหนัก

ช) ขนาดของหน่วยแรง

ซ) อัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรของชิ้นส่วน

ฌ) การยุบตัว (Slump)

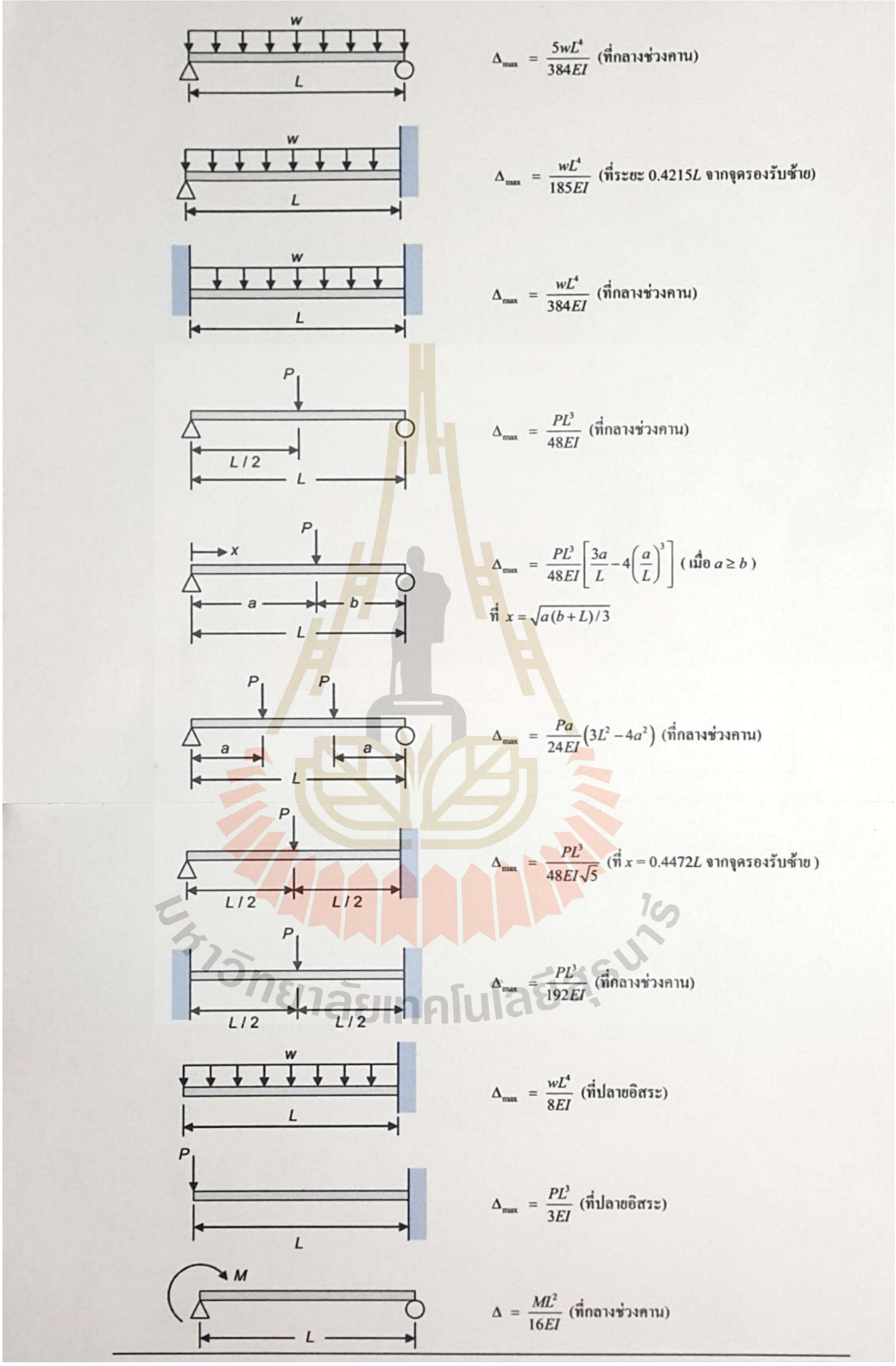
การหดตัว (Shrinkage) การหดตัวถูกนิยามกว้างๆว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ไม่เกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุก คอนกรีตที่บ่มอยู่ในน้ำตลอดเวลาอาจจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปจะคำนึงถึงการลดลงของปริมาตร พบว่าปัจจัยเดียวกันที่มีผลต่อการหดตัวและความคืบคือการสูญเสียความชื้น

การยืดหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้แผ่นคอนกรีตเกิดการหดตัวหรือขยายตัวโดยคอนกรีตจะมีสัมประสิทธิ์การยืดหดตัวอยู่ที่ 7.5 * 0.000001 / องศา C เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุแข็งเปราะดังนั้นจึงแตกร้าวได้ง่าย

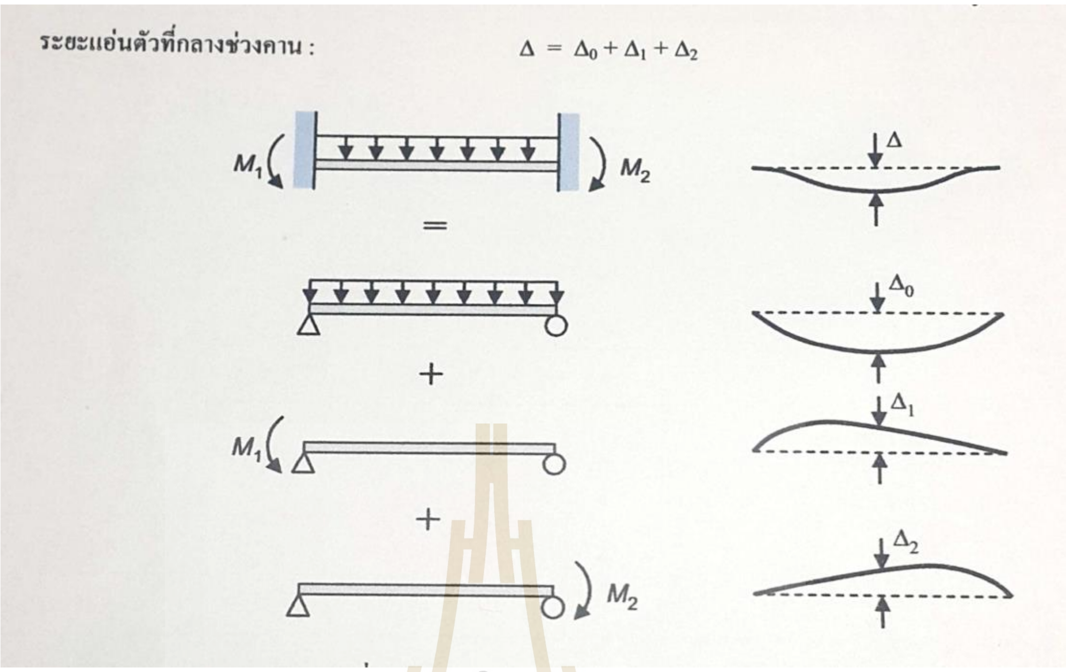
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การแอ่นตัวโดยทันที เมื่อคานคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกจะเกิดการแอ่นตัวขึ้น เรียกว่า การแอ่นตัวโดยทันที (Instantaneous Defecyion) ซึ่งจะเป็นฟังค์ชั่นของช่วงความยาวคาน จุดรองรับแบบหมุนได้ในคานช่วงเดียว ยึดรั้งบางส่วนในคานต่อเนื่อง หรือยึดรั้งเต็มที่ในคานยื่น ชนิดของน้ำหนักบรรทุก เช่นแบบกระทำเป็นจุด หรือแบบกระจาย และสติฟเนสการดัด *EI* ขององค์อาคาร สูตรที่ใช้ในการคำนวณระยะแอ่นตัวมากที่สุดดังรูปที่ 2.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



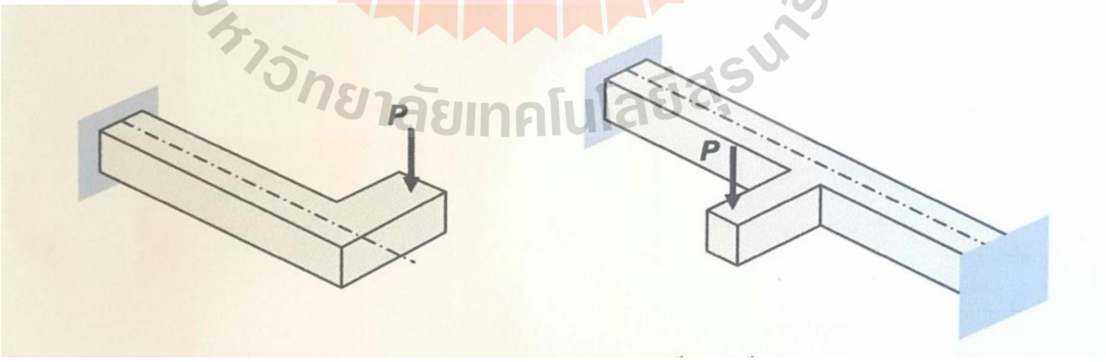
รูปที่ 2.2 สูตรการคำนวณระยะแอ่นมากที่สุดในคานรับน้ำหนักแบบต่างๆ



รูปที่ 2.3 การคำนวณระยะแอ่นตัวสำหรับคานต่อเนื่อง

จากรูปที่ 2.3 ถ้าคานรองรับน้ำหนักบรรทุกหลายชนิดก็จะคำนวณระยะแอ่นตัวจากน้ำหนักแต่ละชนิดแล้วนำมารวมกัน หรืออย่างเช่นในคานต่อเนื่องซึ่งคานแต่ละช่วงจะรับน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ที่ปลายคานทั้งสอง

การบิด โมเมนต์บิดเกิดขึ้นในองค์อาคารเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำเยื้องศูนย์ออกห่างจากแนวแกนองค์อาคารดังรูปที่ 2.4 คาน โค้ง , คานรับพื้นยื่นดังรูปที่ 2.5 (ข)

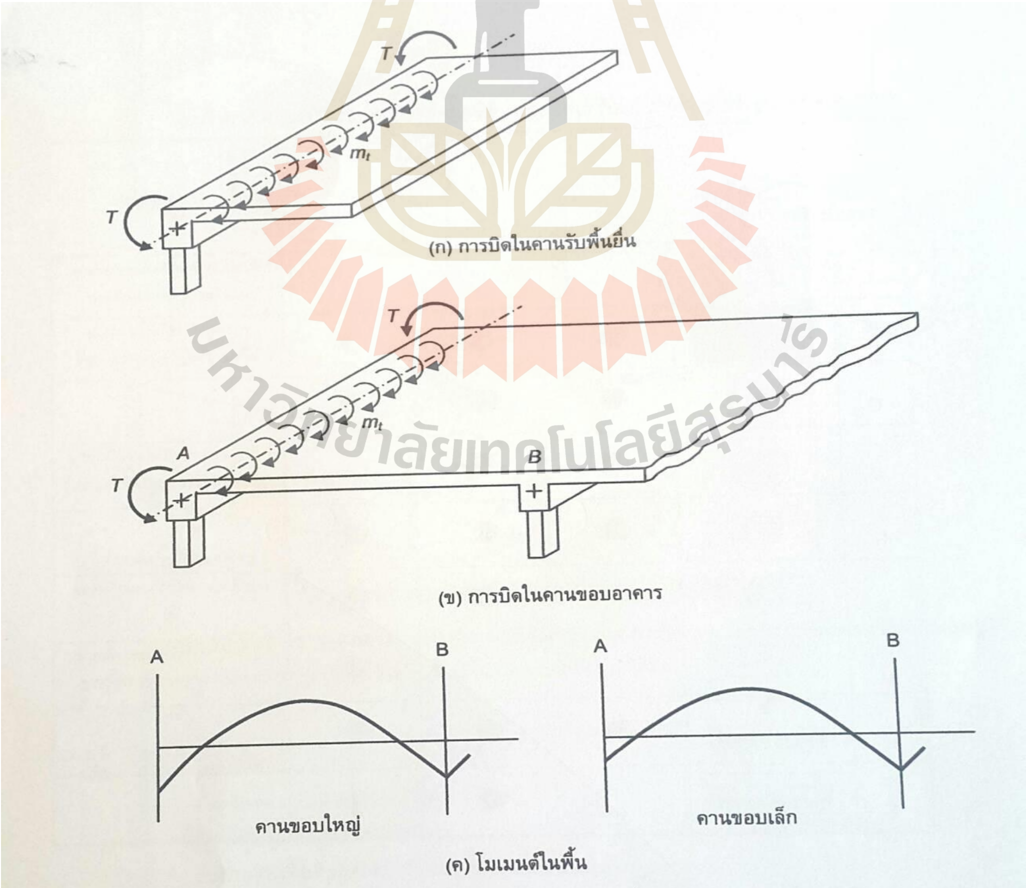


รูปที่ 2.4 องค์อาคารรับแรงบิดเนื่องจากน้ำหนักเยื้องศูนย์

การบิดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอาจแบ่งได้เป็น การบิดหลัก (Primary torsion) และการบิดรอง (Secondary torsion) การบิดหลักจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุก

ภายนอกต้องถูกรับโดยความต้านทานการบิดซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมดุลจึงเรียกอีกอย่างว่า การบิดสมดุล (Equilibrium torsion) ตัวอย่างเช่นคานในรูป 2.4 และพื้นยื่นในรูปที่ 2.5 (ก) ซึ่งน้ำหนักบรรทุกทำให้เกิดโมเมนต์บิดต่อความยาว m การกระทำบนความยาวคานรองรับ ซึ่งจะถูกต้านทานให้อยู่ในสมดุลโดยโมเมนต์บิด T ที่จุดรองรับปลายคาน

การรองบิดจะเกิดผลของความต่อเนื่องในโครงสร้าง ซึ่งในกรณีเช่นนี้แรงบิดไม่สามารถหาได้จากสมการสมดุลเพียงอย่างเดียวเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การบิดเทียบเท่า (Compatibility torsion) การละเลยความต่อเนื่องในการออกแบบมักทำให้เกิดการแตกร้าว แต่โดยทั่วไปจะไม่เกิดการวิบัติ ตัวอย่างของการบิดรองจะพบในคานขอบที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับพื้นคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ถ้าคานของมีความต้านทานการบิดและถูกเสริมเหล็กอย่างเหมาะสม และถ้าเสาสามารถต้านทานการบิด T โมเมนต์ในพื้นจะประมาณเท่ากับพื้นที่มีจุดรองรับภายนอกแบบยึดแน่นดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ค) อย่างไรก็ตามถ้าคานมีความต้านทานกราบิดน้อยและมีการเสริมเหล็กต้านการบิดไม่เพียงพอ ก็จะเกิดการแตกร้าวทำให้ความต้านทานยิ่งลดลง โมเมนต์ในพื้นก็จะเหมือนกับมีจุดรองรับแบบจุดหมุน

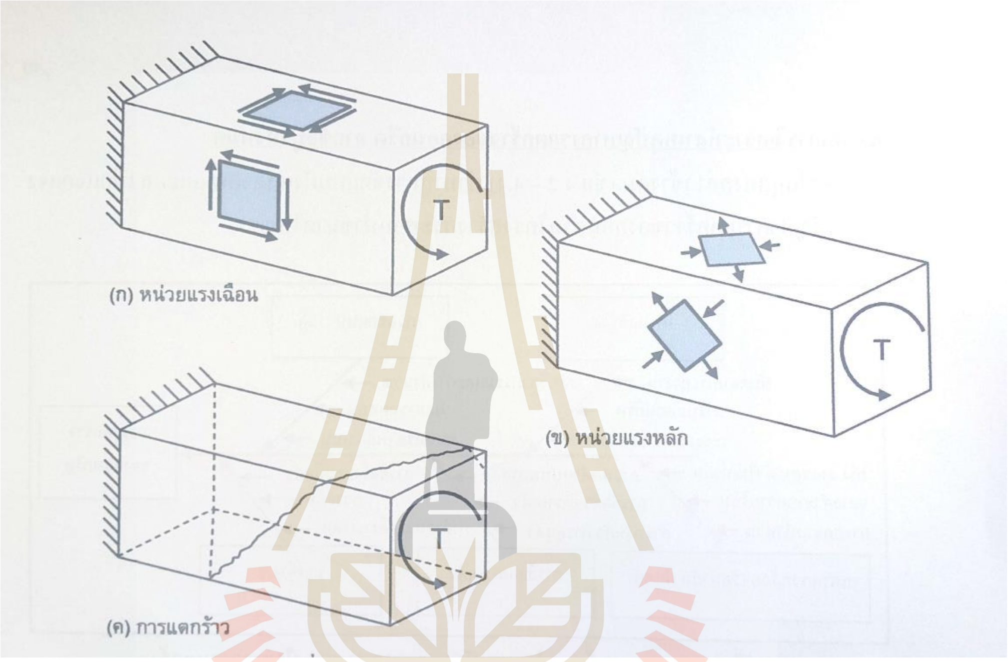


รูปที่ 2.5 คานรับโมเมนต์บิดจากพื้นที่อาคาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

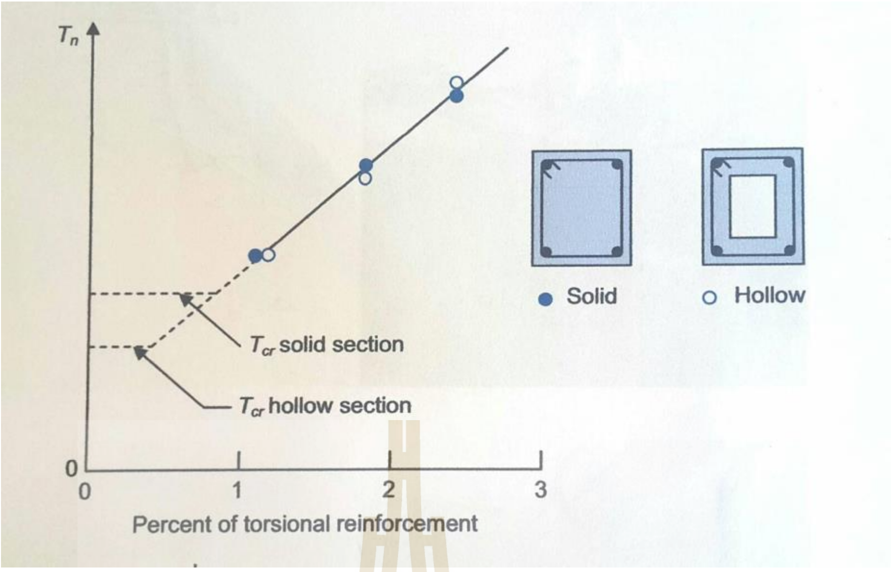
หน่วยแรงและการแตกร้าวจากการบิด เมื่อคานดังรูปที่ 2.6 รับโมเมนต์บิด T หน่วยแรงเฉือนที่ผิวด้านบนและด้านข้างคานจะเป็นดังรูปที่ 2.6 (ก) หน่วยแรงหลักจะเป็นดังรูปที่ 2.6 (ข) หน่วยแรงดึงหลักจะทำให้เกิดการแตกร้าวเป็นเกลียวโดยรอบองค์อาคารดังรูปที่ 2.6 (ค)

ในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรอยร้าวจะทำให้เกิดการวิบัติถ้าไม่มีเหล็กเสริมตัดผ่านรอยร้าวซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เหล็กตามแนวยาวที่มุมทั้งสี่และเหล็กปลอกปิด



รูปที่ 2.6 หน่วยแรงหลักและการแตกร้าวจากการบิดอย่างเดียว

กำลังโมเมนต์บิดแตกร้าว เมื่อคานคอนกรีตรับโมเมนต์บิดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการแตกร้าว เมื่อหน่วยแรงดึงหลักมากที่สุดถึงค่ากำลังดึงของคอนกรีตเราเรียกโมเมนต์บิดที่ทำให้คอนกรีตเริ่มเกิดการแตกร้าวนี้ว่า โมเมนต์บิดแตกร้าว (Cracking torque,T cr) การเสริมเหล็กจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่า T cr นี้เนื่องจากเหล็กเสริมจะเริ่มทำงานเมื่อคอนกรีตมีการแตกร้าวเสียก่อน



รูปที่ 2.7 กำลังบิดของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กตันและกลวง (Solid & Hollow)

หลังจากการแตกร้าวกำลังบิดของหน้าตัดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเหล็กเสริม ดังรูปที่ 2.7 จากผลของการทดสอบพบว่าค่ากำลังที่ได้ของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าใกล้เคียงกับหน้าตัดกลวงรูปกล่อง (Hollow box-beam) (มงคล, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์)

การแตกร้าวจากการหดตัวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage Cracking) การที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าวแบบนี้มีสาเหตุมาจากคอนกรีตหดตัวอย่างเฉียบพลันในช่วงที่ยังอยู่ในสภาพยังไม่แข็งตัว (Pre-hardened Stage) ซึ่งคอนกรีตในช่วงนี้แทบจะไม่มีความสามารถในการรับแรงเค้นที่เกิดจากแรงดึง (Tensile Stress) ซึ่งแรงเค้นเกิดขึ้นขณะที่คอนกรีตมีการหดตัวเมื่อแรงเค้นนี้เกิดมากเกินกว่าที่คอนกรีตสามารถรับได้ก็จะเกิดการแตกร้าว

รูปที่ 2.8 การแตกร้าวจากการหดตัวแบบพลาสติก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การป้องกันการแตกร้าว จากการหดตัวแบบ Plastic Shrinkage ในส่วนของผู้บริโภค สามารถทำได้หลายแนวทาง ดั้งนี้

ก) แนวทางแรกคือการวางแผนงานให้มีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างสูงสุด และใช้เครื่องมือเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอกับปริมาณและอัตราการเทของคอนกรีตที่สั่ง รวมถึงการจ้างแรงงานที่มีความชำนาญในจำนวนที่พอเพียง เพื่อให้การเทคอนกรีตเป็นไปอย่างรวดเร็วและคอนกรีตยังคงอยู่ในสภาพสด

ข) แนวทางที่สองคือการเอื้ออำนวยความสะดวกให้กับรถคอนกรีตผสมเสร็จที่จัดส่งคอนกรีต เพื่อให้รถใช้เวลาในการรับส่งน้อยที่สุด หากเป็นโครงการขนาดใหญ่ที่มีความต้องการคอนกรีตในปริมาณที่สูงและภายใน โครงการมีเนื้อที่ว่างพอ ควรพิจารณาอนุญาตให้บริษัทฯสามารถติดตั้งโรงงานผสมคอนกรีตภายในบริเวณ โครงการเป็นการชั่วคราว

ค) แนวทางที่สามคือการควบคุมการทำงานให้เป็นไปตาม มาตรฐานและข้อกำหนด เช่น อาจมีการใช้น้ำยาบ่มฉีดที่ผิวหน้าหากคอนกรีตอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่รุนแรงนัก แต่หากคอนกรีตอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ลมที่พัดด้วยความเร็วเกิน 8 กม./ชม. การใช้น้ำยาบ่มอาจเป็นมาตรการป้องกันที่ไม่พอเพียง ควรใช้แผ่นพลาสติกคลุมปิดผิวคอนกรีตทันทีหลังการปาดหน้า หากไม่สามารถหาแผ่นพลาสติกได้ อาจใช้กระสอบป่านชื้นคลุมแทน

ง) แนวทางที่สี่คือการวางแผนงานให้ลดความรุนแรงที่มีผลกระทบมาจากสิ่งแวดล้อมได้มากที่สุด ในกรณีของโครงการนี้ อาจมีการศึกษาพฤติกรรมของลมว่าพัดจากทิศใด ช่วงเวลาใดจะสงบที่สุดและอุณหภูมิอากาศที่ไม่สูงมาก และวางแผนการเทให้สอดคล้องกับช่วงเวลานั้น

จ) แนวทางที่ห้า ซึ่งอาจเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุด ในขณะเดียวกันอาจมีความเป็นไปได้น้อยที่สุด คือการเปิดโอกาสให้บริษัทฯ ออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมกับการใช้งานของโครงการ โดยมีข้อกำหนดแค่คุณสมบัติหรือความสามารถ (Performance-based Specification) ของคอนกรีต

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีต ที่กล่าวแล้วทั้งหมดนั้น มักจะไม่ได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่มักจะเกิดจากหลายๆปัจจัยพร้อมกัน (ปัณฑ์, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3 สาเหตุการแตกร้าว

สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1 Structural Crack

การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากการออกแบบไม่ถูก ต้อง เช่น การคำนวณออกแบบ หรือการให้รายละเอียดเสริมเหล็กไม่ถูกต้อง

การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากการใช้วัสดุก่อสร้างไม่มีคุณภาพ เช่น หินมีดินปนทรายสกปรก น้ำสกปรก หรือทำการผสมคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง รวมทั้งการใช้เหล็กเสริมที่เป็นสนิมมาก

การแตกร้าวของคอนกรีต เนื่องจากการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน เช่น การผสม การขนส่ง การเทลงแบบ การหล่อคอนกรีตไม่ดีพอ การถอดค้ำยันก่อนกำหนด ขาดการบ่มที่ดีพอ หรือแบบหล่อคอนกรีตโก่งงอ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์)

การแตกร้าวเนื่องจากฐานรากทรุดตัวไม่เท่ากัน การทรุดตัวของฐานรากไม่เท่ากัน มีสาเหตุมาจากเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกต่างกันมาก เสาเข็มบกพร่อง ฐานรากบางฐานเกิดการเยื้องศูนย์ หรือปลายเสาเข็มอยู่บนดินต่างชนิดกัน เมื่อฐานรากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันจะทำให้โครงสร้างบิดตัวแตกร้าว มักจะพบว่าอาคารที่มีปัญหาเช่นนี้ผนังจะแตกร้าวเป็นแนวเฉียง การเกิดรอยแตกร้าวประเภทนี้ควรทำการซ่อมแซมหลังจากฐานรากมีการทรุดตัวระยะหนึ่ง เพราะการทรุดตัวของฐานรากจะเกิดขึ้นอย่างมากในช่วงแรกและจะน้อยลงเรื่อย ๆ หลังจากเวลาผ่านไป หรือในบางกรณีอาจใช้วิธีแก้ไขให้หยุดการทรุดตัวเพื่อหยุดรอยแตกร้าว (ธเนศ, 2560)

2.3.2 Non Structural Crack การแตกร้าวประเภทนี้พอสรุปสาเหตุต่าง ๆ ได้ดังนี้

อุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น)

การทรุดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง

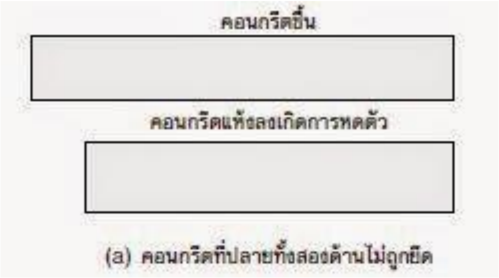
คอนกรีตถูกรั้งไว้ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้อิสระ

ความยืดหยุ่นของคอนกรีต (Elasticity)

ความคืบของคอนกรีต (Creep)

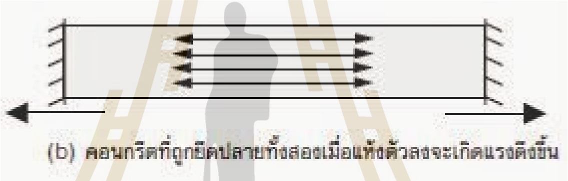
กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength)

การแตกร้าวของคอนกรีตประเภทนี้ มีขั้นตอนของการเกิดได้อย่างไรเป็นเรื่องที่ควรทราบ เพื่อจะได้หาวิธีป้องกันและแก้ไขได้อย่างถูกต้อง และเพื่อแสดงถึงขั้นตอนของการแตกร้าวอย่างชัดเจน เราจะใช้แบบจำลองของแท่งคอนกรีต (คอนกรีตผสมเสร็จ) มาเป็นตัวอย่างในการศึกษาตามลำดับขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.9 แท่งคอนกรีตอิสระ (a)

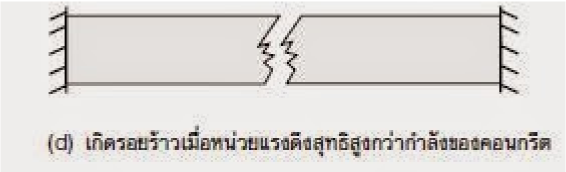
จากรูปที่ 2.9 แท่งคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวดี ยังมีความชื้นอยู่ และปลายทั้งสองด้านของแท่งคอนกรีตถูกปล่อยไว้อย่างอิสระไม่ยึดติดกับวัตถุอื่นใด เมื่อแท่งคอนกรีตแข็งตัวและแห้งก็จะเกิดการหดตัวอย่างอิสระ โดยไม่ถูกรั้งที่ปลายทั้งสองด้านจึงไม่มีหน่วยแรง (Stress) ใด ๆ ในเนื้อคอนกรีต จึงไม่เกิดการแตกร้าวขึ้น



รูปที่ 2.10 แท่งคอนกรีตที่ถูกยึดปลายทั้งสองข้าง (b)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.11 แท่งคอนกรีตเกิดความคืบ (c)

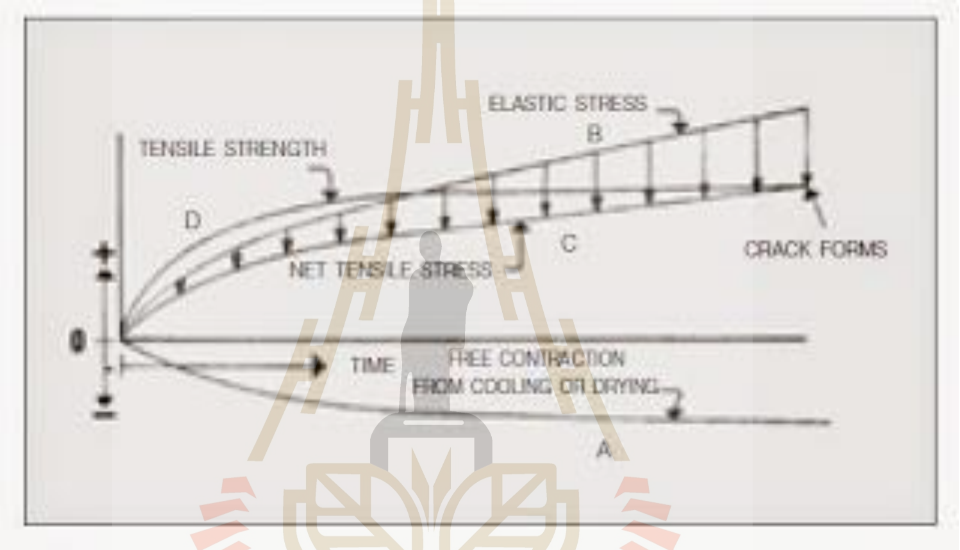


รูปที่ 2.12 แท่งคอนกรีตเกิดรอยร้าว (d)

จากรูปที่ 2.10 แท่งคอนกรีตถูกยึดปลายทั้งสองข้างไว้ คอนกรีตเริ่มแข็งตัวและเกิดการหดตัวอย่างอิสระ ในขณะที่ปลายทั้งสองข้างถูกยึดจะทำให้เกิดแรงดึง (Tensile Stress) ขึ้นใน

เนื้อคอนกรีต เมื่อเวลาผ่านไปคอนกรีตจะเกิดความคืบ (Creep) ขึ้น ดังรูปที่ 2.11 และทำให้หน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ที่เกิดขึ้นสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength) คอนกรีตจะเกิดการแตกร้าว และหน่วยแรงดึงในคอนกรีตจะหมดไป ดังรูปที่ 2.12 และทั้งสี่ขั้นตอนเป็นกระบวนการของการแตกร้าวในทุกชนิดคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นการแตกร้าวขนาดใหญ่หรือเล็ก

หน่วยแรงกับการแตกร้าว การแตกร้าวเป็นผลที่เกิดจากการกระทำของหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ซึ่งสามารถแสดงด้วยกราฟที่ชี้ให้เห็นถึงการกระทำของหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ดังนี้



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงหน่วยแรง ความคืบ และการหดตัวของคอนกรีต

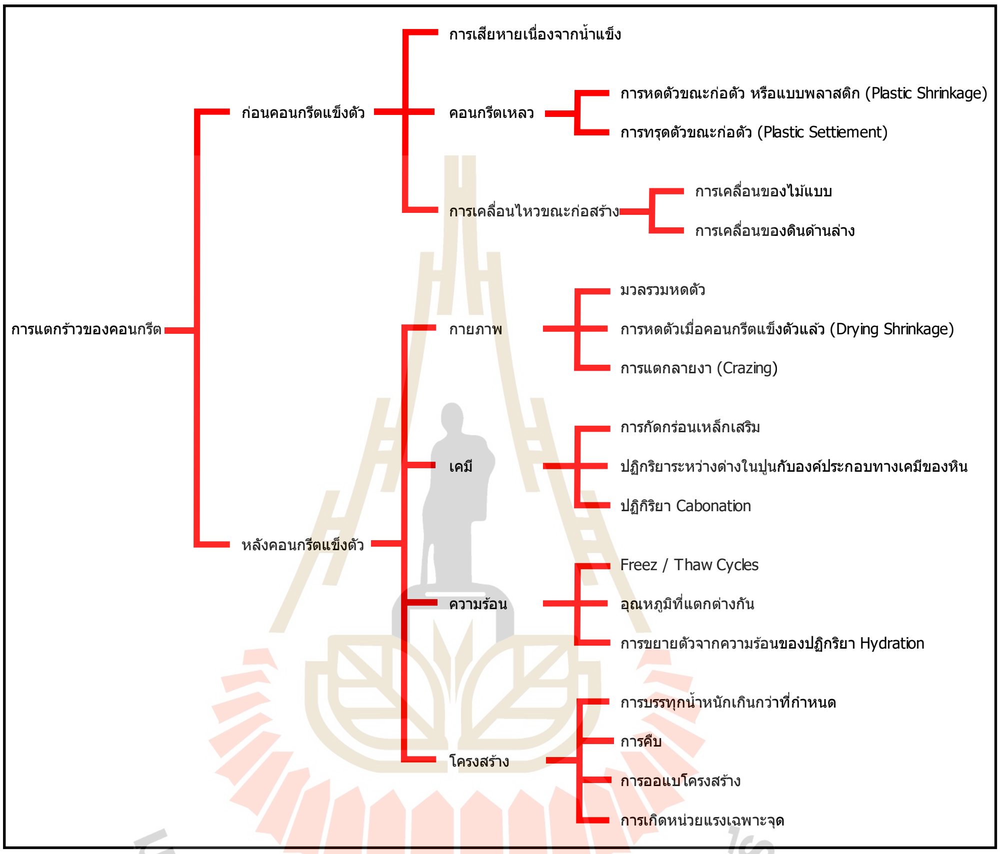
จากรูปที่ 2.13 แกนนอนเป็นแกนเวลา แกนตั้งเป็นแกนของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร หน่วยแรง (Stress) กำลัง (Strength) และความคืบ (Creep) เมื่อเวลาผ่านไปคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลงก็จะเกิดการหดตัว ดังเส้นโค้ง A แต่ปลายทั้งสองข้างของคอนกรีตถูกยึดไว้จะเกิดหน่วยแรงขึ้นในคอนกรีต ดังเส้นโค้ง B ขณะเดียวกันความคืบ (Creep) ในคอนกรีตก็จะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน ซึ่งจะทำให้แรงดึงในคอนกรีตลดลง ดังเส้นโค้ง C เป็นผลทำให้แรงดึงน้อยกว่าแรงรับ การแตกร้าวก็จะไม่เกิดขึ้น (มงคล, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์ ; มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์)

2.4 ลักษณะของรอยแตกร้าว

การแตกร้าวทั้งหมดทั้งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และไม่ได้กล่าวมาในที่นี้สามารถแบ่งตามเวลาที่เกิดได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.4.1 การแตกร้าวก่อนคอนกรีตแข็งตัว มีระยะเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง หลังจากเริ่มเทคอนกรีตจนถึงคอนกรีตแข็งตัว และทรงรูปอยู่ได้

2.4.2 การแตกร้าวหลังคอนกรีตแข็งตัว รอยแตกร้าวนี้อาจเกิดขึ้นได้ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.14

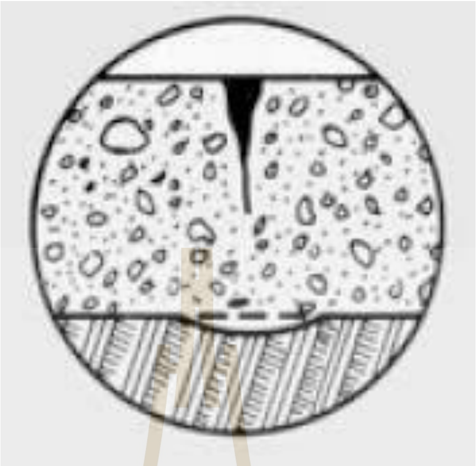


รูปที่ 2.14 ประเภทการแตกร้าวของคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.15 รอยแตกร้าวที่เกิดจากแบบ

รูปที่ 2.15 รอยแตกร้าวที่เกิดจากแบบโป่ง งอ หรือเคลื่อนที่เนื่องจากไม้ขยายตัวแบบไม่แข็งแรงพอ รอยร้าวเหล่านี้มีลักษณะที่ไม่แน่นอน



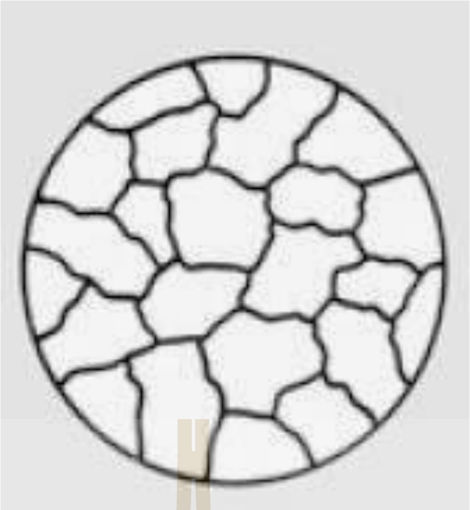
รูปที่ 2.16 รอยแตกร้าวที่เกิดจากพื้นใต้คอนกรีตไม่แข็งแรง

รูปที่ 2.16 รอยร้าวที่เกิดจากพื้นใต้คอนกรีตไม่แข็งแรง ยุบตัวลง ทำให้คอนกรีตเคลื่อนทรุดตัวลงขณะที่กำลังจะแข็งตัว รอยร้าวเหล่านี้มีลักษณะที่ไม่แน่นอน

รูปที่ 2.17 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต

รูปที่ 2.17 รอยร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อคอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็ก จะป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีการยุบตัวน้อย และทำพื้นด้านล่างให้แข็งแรง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.18 รอยแตกร้าวแบบแตกลายงา

รูปที่ 2.18 รอยแตกร้าวลายงาเกิดขึ้นได้เนื่องจากการบ่มที่ไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการใส่ซีเมนต์มากเกินไป หรือเกิดจากการพองตัวของทรายหรือซีเมนต์ที่เผาไม่สุก

รูปที่ 2.19 รอยแตกร้าวจากการหดตัว

รูปที่ 2.19 รอยแตกร้าวจากการหดตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว เนื่องจากคอนกรีตเสียน้ำไปอย่างรวดเร็ว จากการระเหยไปในอากาศหรือถูกพื้นดินที่ร้อนและแห้งด้านล่างดูดซับน้ำไป

รูปที่ 2.20 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากสนิมเหล็กเสริม

รูปที่ 2.20 รอยแตกร้าวที่เกิดจากสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตขยายตัว ป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมแน่นดี และให้คอนกรีตหุ้มเหล็กอย่างพอเพียง เพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปทำให้เหล็กเป็นสนิม (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์)

2.5 การตรวจสอบรอยแตกร้าว

2.5.1 การตรวจพินิจ (Visual Inspection)

การพินิจด้วยตาเป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของชิ้นส่วนโครงสร้าง ได้รวดเร็ววิธีหนึ่ง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพการก่อสร้าง ลักษณะการใช้งานของโครงสร้างและการเสื่อมสภาพของวัสดุ เช่น ในขณะก่อสร้างหากคอนกรีตเกิดการเยิ้ม หรือการแยกตัวของคอนกรีต คอนกรีตจะมีลักษณะแตกบริเวณผิวพื้นหลุดร่อนได้ง่าย หรือถ้าพบคอนกรีตเกิดโพรง (Honeycomb) ก็สามารถสรุปได้ว่าเกิดความผิดพลาดในเรื่องคุณภาพการก่อสร้าง หากพบการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตจนเห็นเนื้อเหล็กเสริมเป็นสนิม อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมจนเกิดสนิม มีปริมาตรเพิ่มขึ้นเกิดแรงภายในมากขึ้น และเกิดแรงดันต้านกับกำลังคอนกรีตจนหลุดร่อนออกมาได้ ดังนั้นการพินิจจึงจำเป็นสำหรับการตรวจสอบสภาพโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกวิธีการตรวจสอบโครงสร้างในลำดับถัดไป

2.5.2 การวัดรอยแตกร้าว

เป็นการใช้ไม้บรรทัด ตลับเมตร หรือเกจวัดรอยแตกร้าว ตามความกว้าง ความยาวของแต่ละเส้นรอยร้าว นำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงลำดับ เพื่อกำหนดรอยแตกร้าวเล็กน้อย ปานกลาง

และรุนแรง โดยนำไปเทียบกับตาราง ซึ่งเกจวัดความกว้างของรอยร้าว(Crack Width Gauge) ที่นิยมใช้มีสองชนิด (สืบศักดิ์ และชูเลิศ, 2550)

เกจวัดความกว้างของรอยร้าว ชนิดที่เป็นแผ่นพลาสติกที่มีเส้นขนาดความกว้างต่าง ๆ ใช้ทาบวัดความกว้างรอยร้าว แล้วเลือกขนาดเส้นที่มีขนาดใกล้เคียงกับรอยร้าวมากที่สุด

รูปที่ 2.21 เครื่องมือวัดรอยแตกร้าว

เกจวัดความกว้างของรอยร้าว ชนิดเป็นชุดแถบโลหะที่มีความหนาต่าง ๆ (Feeler Gauge) ใช้เสียบเข้าไปในรอยร้าวเพื่อวัดความกว้างของรอยร้าว โดยเริ่มจากขนาดเล็กไปสู่ขนาดหนาสุดที่เสียบเข้ารอยร้าวได้ แผ่นเกจที่หนาสุดที่เสียบได้ จะเป็นขนาดของรอยร้าวนั้น

ตารางที่ 2.1 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังอิฐก่อ

ที่มา : Burland et al, 1977

สภาความเสียหาย	**ลักษณะความเสียหาย**	**ความกว้างของรอยร้าว โดยประมาณ**
ไม่เสียหาย	รอยร้าวขนาดเส้นผม (Hairline Cracks)	< 0.1 มม.
น้อยมาก	รอยร้าวขนาดเล็ก สังเกตเห็นได้ยาก หากไม่ตรวจสอบอย่างดี รอยร้าวนี้ไม่จำเป็นต้องแก้ไข และสามารถปกปิดได้เมื่อมีการทาสี	< 1 มม.

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สภาความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย	ความกว้างของรอยร้าว โดยประมาณ
เล็กน้อย	มีรอยร้าวที่สามารถสังเกตเห็นได้ และอาจจำเป็นต้องตกแต่งโดยการยาปูน หน้าต่างและประตูอาจติดขัด	< 5 มม.
ปานกลาง	มีรอยร้าวที่จำเป็นต้องแก้ไข โดยกะเทาะรอยร้าวออกและยาปูนใหม่ บางครั้งอาจจะต้องรื้อผนังบางส่วนออกแล้วก่ออิฐใหม่ ประตูหน้าต่างติดขัด และอาจมีการแตกของท่อที่ติดหรือฝังในผนัง อากาศภายนอกพัดผ่านเข้าในอาคารผ่านรอยแตกร้าวได้	5 - 15 มม. หรือมีหลายรอยร้าวกว้างเกิน 3 มม.
ร้ายแรง	มีรอยร้าวขนาดใหญ่หลายรอยที่ต้องแก้ไขโดยการทุบผนังทิ้งบางส่วนแล้วสร้างใหม่ โดยเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือหน้าต่างบิดเบี้ยว สามารถสังเกตเห็นพื้นลาดเอียง ผนังเอียงไม่ได้ดิ่ง ท่อแตก และคานอาจสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนัก	15 - 20 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว
ร้ายแรงมาก	มีรอยแตกร้าวที่ต้องแก้ไขโดยด่วน โดยอาจต้องรื้อสร้างใหม่ทั้งหมดหรือบางส่วน เนื่องจากการสูญเสียความสามรถในการรับน้ำหนัก และผนังเอียงจนต้องค้ำยัน หน้าต่างแตกและโครงสร้างไม่มั่นคงปลอดภัย	> 25 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มา : ACI 224R-90

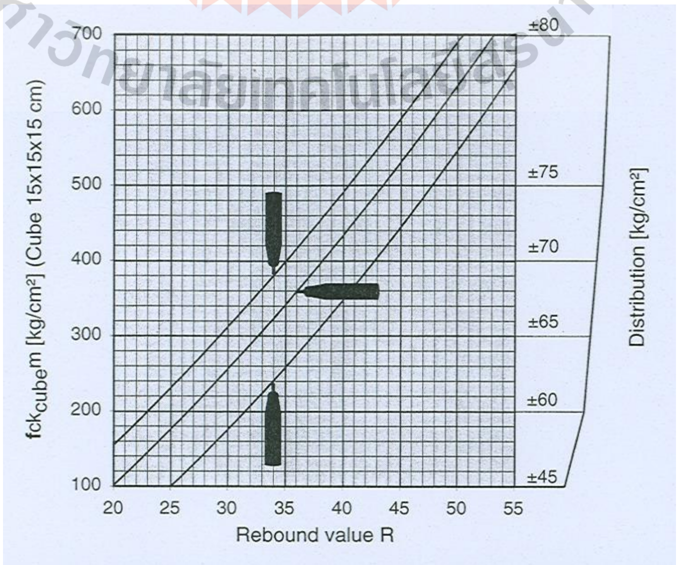
สภาวะที่คอนกรีตสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม	**ความกว้างของรอยแตกร้าวที่ยอมให้เกิดขึ้นได้**	
	(นิ้ว)	**(มม.)**
อากาศแห้ง มีการหุ้มป้องกัน	0.0016	0.41
อากาศชื้น ในดิน	0.012	0.30
สัมผัสกับสารเคมีสำหรับละลายน้ำแข็ง	0.007	0.18
น้ำทะเล ละอองน้ำทะเล เปียกสลับแห้ง	0.006	0.15
โครงสร้างเก็บกักน้ำ	0.004	0.10

2.5.3 การวัดค่ากำลังอัดของคอนกรีต ด้วยการวัดค่าสะท้อนของคอนกรีต (Rebound Number of Hardened Concrete)

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สามารถทดสอบด้วยวิธีที่ไม่ทำลายโดยใช้เครื่องมือ Schmidt Hammer Type N ตามมาตรฐาน ASTM C805 โดยนำค่าสะท้อนของลูกเหล็กภายในอุปกรณ์มาเทียบกับค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต ทั้งนี้อุปกรณ์ Rebound Hammer ได้ทำการสอบเทียบกับแท่งอุปกรณ์สอบเทียบมาตรฐาน (Standard Calibrator) ก่อนการทดสอบทุกครั้ง และ/หรือต่อจำนวนการทดสอบ 1000 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.22 เครื่องมือวัดค่าสะท้อนของคอนกรีต

การทดสอบและประเมินผล วิธีการทดสอบจะทำการวัดค่าสะท้อนจำนวน 16 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 10 ค่าเท่านั้น โดยไม่นำค่าสูงสุดและต่ำสุดอย่างละ 3 ค่ามาใช้หาค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนกลับและค่ากำลังอัดของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนและกำลังอัดของคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5.4 การเจาะเก็บชิ้นส่วนและการเตรียมชิ้นส่วนเพื่อการทดสอบกำลังแรงอัดของคอนกรีต ในห้องปฏิบัติการ

ผลทดสอบที่ได้จากการตรวจสอบเบื้องต้น การทดสอบกำลังแรงอัดของคอนกรีตด้วยการเจาะเก็บ (Drilled Core) ชิ้นส่วนเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการจึงจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลที่ได้จากภาคสนาม อย่างไรก็ตามผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างที่เจาะเก็บ อาจมีความแตกต่างจากผลทดสอบกำลังอัดของชิ้นตัวรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่จัดเก็บขณะทำการก่อสร้าง จากข้อมูลที่ระบุในมาตรฐาน ASTM C42 ระบุว่ากำลังอัดของชิ้นตัวอย่างที่เจาะเก็บจะมีค่าประมาณร้อยละ 85 ของกำลังอัดที่ได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างมาตรฐานรูปทรงกระบอก แต่ก็มิเป็นไปตามตัวเลขดัชนีดังกล่าวเสมอไปทั้งนี้ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น กำลังของคอนกรีต ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นขณะที่เทคอนกรีต การพัฒนากำลังของคอนกรีตนั้น ๆ และการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่รุนแรงเป็นต้น (อภินันท์, ม.ป.ป. ; เอส ซี บี เอ็นจิเนียริ่ง บจก.)

2.6 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงาน ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุแห่งปัญหา ที่แท้จริงเพื่อการแก้ไขได้ถูกต้องตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่อง

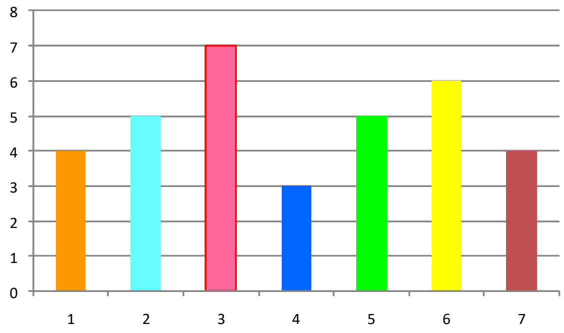
2.6.1 กราฟ (Graph)

คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้ เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูลและวิเคราะห์ผลของข้อมูลดังกล่าว เพื่อทำให้ง่ายและรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจ โดยมีการแบ่งประเภทของกราฟออกเป็นประเภทดังนี้

กราฟแท่ง ลักษณะกราฟแท่ง

ก) ใช้เมื่อมีข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ข้อมูล โดยการเปรียบเทียบที่พื้นที่ของกราฟ

ข) ไม่เหมาะสมที่จะใช้ดูแนวโน้มในระยะยาว แต่เหมาะสำหรับข้อมูลแต่ละช่วงเวลา



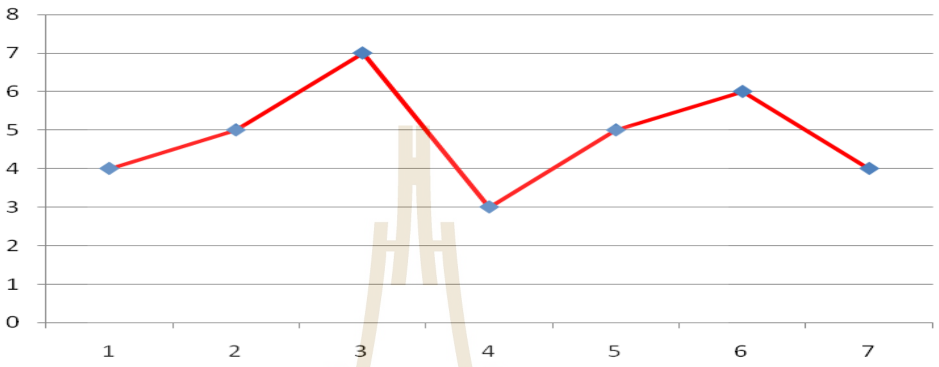
รูปที่ 2.24 กราฟแท่ง

กราฟเส้น

ลักษณะกราฟเส้น

ก) ใช้สำหรับดูแนวโน้ม การพยากรณ์ในอนาคต หรือทำนายผลจากข้อมูลในอดีตได้

ข) ใช้ในการควบคุมแผนงานให้ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้



รูปที่ 2.25 กราฟเส้น

2.6.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) คือ แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของปัญหา (ผล) กับปัจจัยต่าง ๆ (สาเหตุ) ที่เกี่ยวข้อง

เมื่อไรจึงจะใช้แผนผังสาเหตุและผล

ก) เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา

ข) เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจกับกระบวนการอื่น หรือของแผนกอื่น

ค) เมื่อต้องการให้ระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกคนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

การสร้างผังก้างปลา

ก) กำหนดปัญหาหรืออาการที่จะต้องหาสาเหตุอย่างชัดเจน

ข) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ

ค) ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย

ง) หาสาเหตุหลักของปัญหา

จ) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ

ฉ) ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

การแก้ปัญหาจากผังก้างปลา

ก) ตัดสาเหตุที่ไม่จำเป็นออก

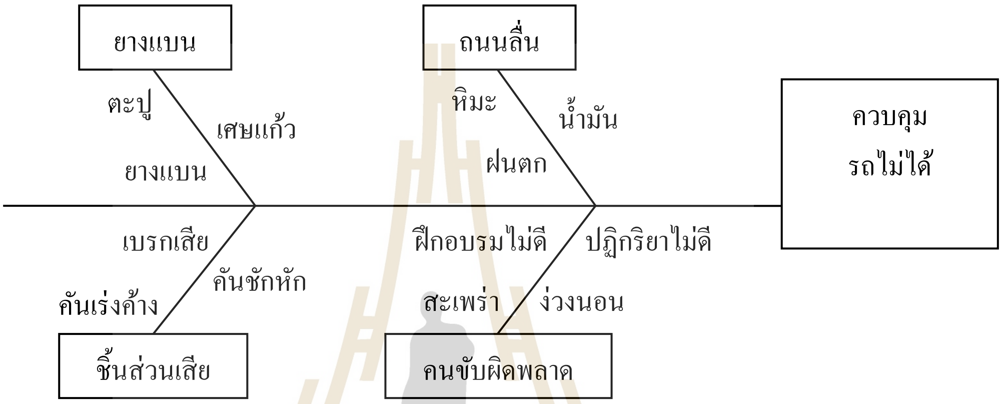
ข) ลำดับความเร่งด่วนและความสำคัญของปัญหา

ค) ถ้ายืนยันสาเหตุนั้นไม่ได้ ต้องกลับไปเก็บข้อมูลอีกครั้ง

ง) คิดหาวิธีแก้ไข

จ) กำหนดวิธีการแก้ไข กำหนดผู้รับผิดชอบ เวลาเริ่มต้น ระยะเวลาเสร็จ

ฉ) ต้องมีการติดตามผลการแก้ไขในรูปแบบที่เป็นตัวเลขสามารถวัดได้



รูปที่ 2.26 แผนผังก้างปลา

การอ่านผังก้างปลา

1) หิมะตก ทำให้ ถนนลื่น ถนนลื่น ทำให้ ควบคุมรถไม่ได้

2) ควบคุมรถไม่ได้ เนื่องจาก ถนนลื่น ถนนลื่น เนื่องจาก หิมะตก (เครื่องมือ 7 ชนิด, ม.ป.ป. : ระบบออนไลน์)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

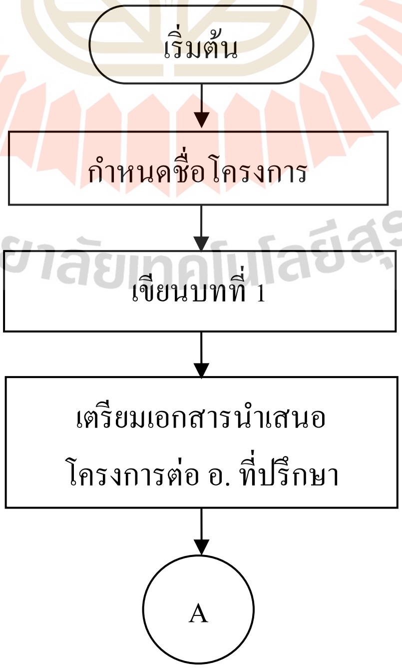
3.1 บทนำ

การจัดทำโครงการครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาสาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีต โครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ โดยการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาจากข้อมูลการก่อสร้าง โครงสร้าง สระ และสถานที่ก่อสร้างจริง

ดังนั้นการจัดทำโครงการเพื่อหาสาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ ในครั้งนี้ จะนำไปสู่การหาแนวทางการแก้ปัญหาอย่างถูกต้อง ทันเวลา และแนวทางป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับโครงการลักษณะเดียวกันนี้ในอนาคต เพื่อลดต้นทุน ระยะเวลา และความเสี่ยงในการดำเนินการก่อสร้างโครงการในลักษณะเดียวกัน

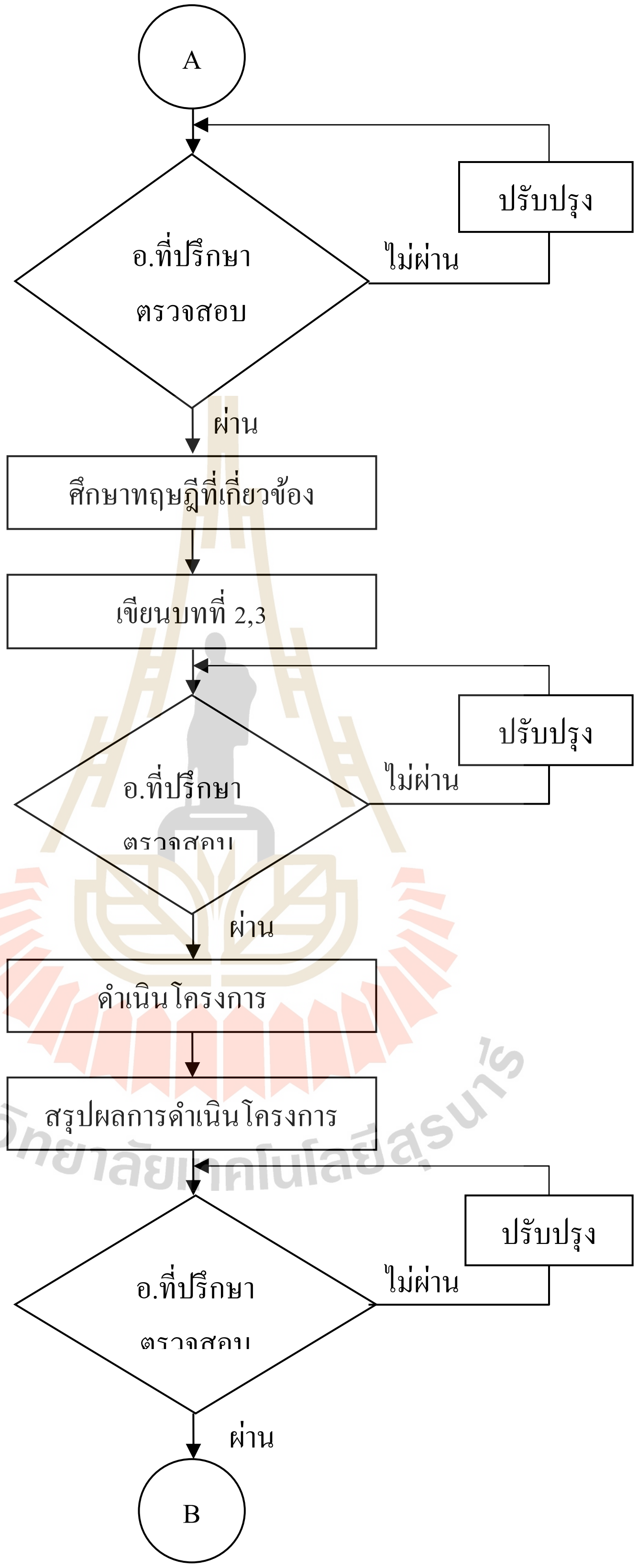
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในขั้นตอนการดำเนินการในการจัดทำโครงการ เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปในแนวทางเดียวกันจึงต้องมีการวางแผนภูมิการดำเนินงาน เพื่อที่จะได้ดูเป็นขั้นตอนอย่างง่ายว่าโครงการจะดำเนินงานในส่วนใดก่อน หลัง โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 3.1

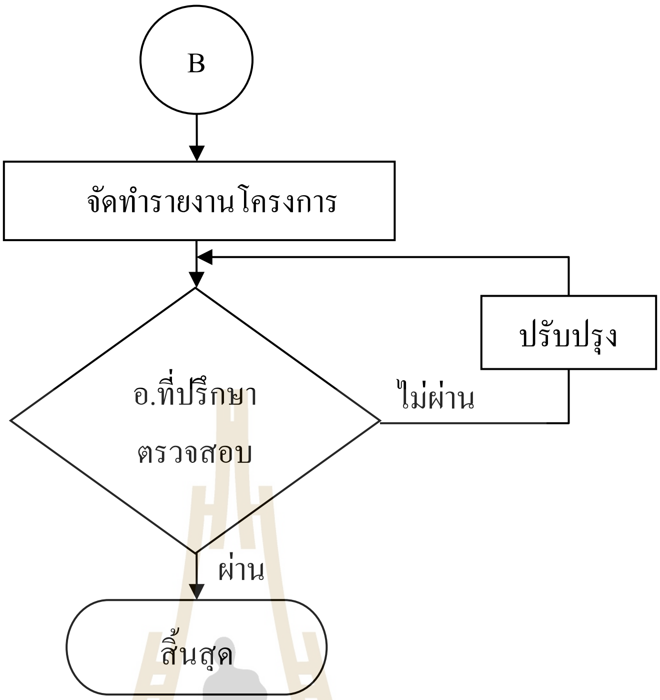


รูปที่ 3.1 แผนภูมิการดำเนินงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการดำเนินงาน (ต่อ)



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการดำเนินงาน (ต่อ)

3.3 ศึกษาสภาพปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการศึกษาข้อมูลในการจัดทำโครงงานถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำโครงงานและเป็นช่วงแรก ในการดำเนินงานจัดทำโครงการนี้ ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จากแหล่งข้อมูลต่างๆ ตลอดจนบุคคลากรที่เชี่ยวชาญภายในบริษัท เพื่อนำข้อมูลมาดำเนินโครงการ ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ประกอบด้วยเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.3.1 สาเหตุของการแตกร้าว

3.3.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าว

3.3.3 ลักษณะของรอยแตกร้าว

3.3.4 การตรวจสอบรอยแตกร้าว

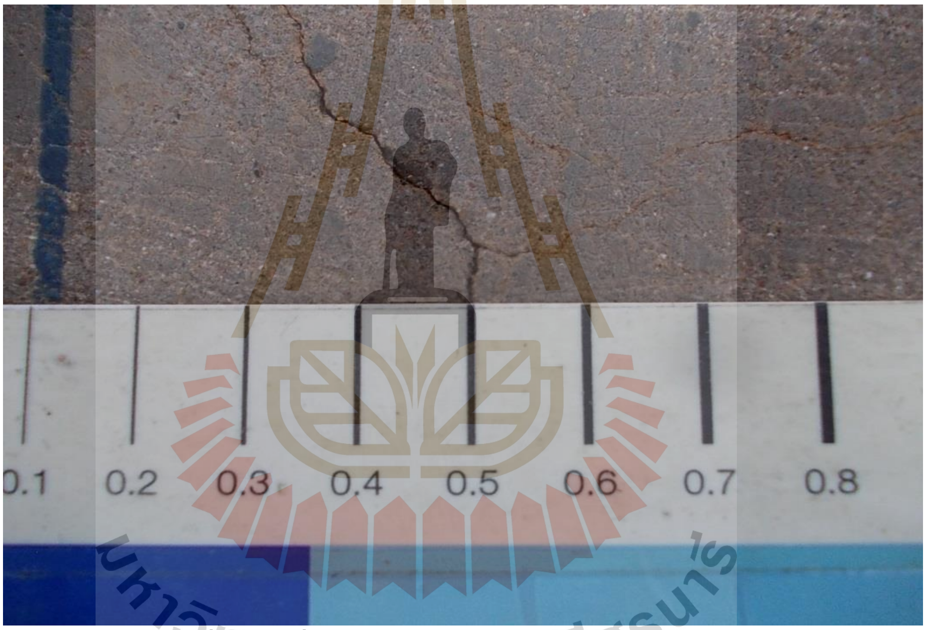
3.3.5 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 วิธีดำเนินงาน

3.4.1 สำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) เป็นการลงพื้นที่สำรวจรอยแตกร้าวด้วยสายตา ทำการบันทึกรายละเอียด และถ่ายภาพ เช่น ตำแหน่ง ขนาดความกว้าง ความลึก ความยาว ความนาแน่น (ปริมาณต่อจุด) ความต่อเนื่องของรอยแตกร้าว และอื่น ๆ

3.4.2 การวัดความกว้าง ความยาวของรอยแตกร้าว เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวโดยการวัดความกว้าง ความลึก และความยาวของรอยแตกร้าว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถระบุระดับความรุนแรง แบ่งกลุ่ม และอ้างอิงได้ชัดเจนมากขึ้นกว่าการตรวจแบบพินิจ โดยใช้เกจวัดความกว้าง ตลับเมตรวัดความยาว



รูปที่ 3.2 เครื่องมือ และการวัดความกว้างรอยแตกร้าว

3.4.3 การวัดค่าแรงอัดของคอนกรีต โดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (N0n Destructive Test) เป็นการกำลังแรงอัดของคอนกรีต ด้วยการวัดค่าสะท้อนกลับของคอนกรีต ได้ปฏิบัติตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C805-97 ว่าด้วยเรื่อง “Rebound Number of Concrete”

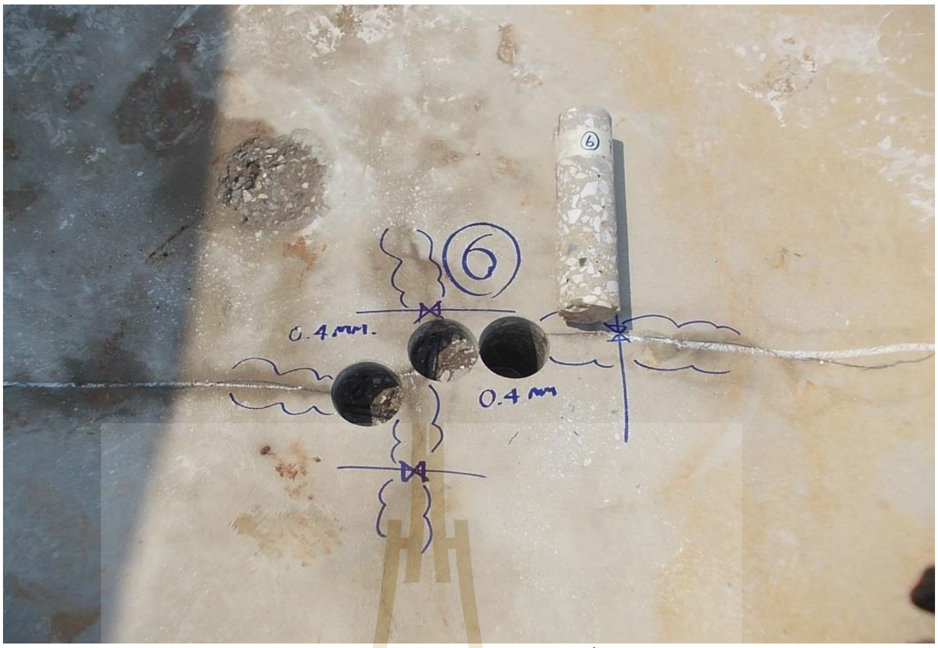
3.4.4 เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีต สำรวจรอยร้าว เป็นการเจาะ (Drilled Core) สำรวจความลึกรอยแตกร้าว และเหล็กเสริมเป็นจุด ๆ กระจายตามพื้นที่ และความหนาแน่นของรอยร้าว เพื่อตรวจสอบความลึกของรอยร้าว และทดสอบทางวิศวกรรมต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ ชิ้นตัวอย่างที่จะต้องเจาะตามรอยร้าวนั้น ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่า

ตรงตำแหน่งเหล็กเสริม หรือไม่ โดยใช้เครื่องสแกนหาเหล็ก แล้วเจาะทะลุความหนาของคอนกรีตในตำแหน่งที่ไม่มีเหล็ก และเจาะถึงเหล็กในตำแหน่งที่ตรงเหล็ก (ไม่ให้เหล็กเสียหาย) จดบันทึกรายละเอียด เช่น วันที่เจาะ ตำแหน่ง และอื่น ๆ

3.4.5 สำรวจและศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำงาน เป็นการศึกษา สืบค้นข้อมูล จากบันทึกการทำงาน การตรวจสอบการทำงานแต่ละขั้นตอน ปัญหาและการแก้ไข รายงานการประชุม ภาพถ่าย และอื่น ๆ เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำการก่อสร้างโครงสร้างสระน้ำขนาดใหญ่ให้ตรงตามความเป็นจริง

รูปที่ 3.3 เครื่องมือ และการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

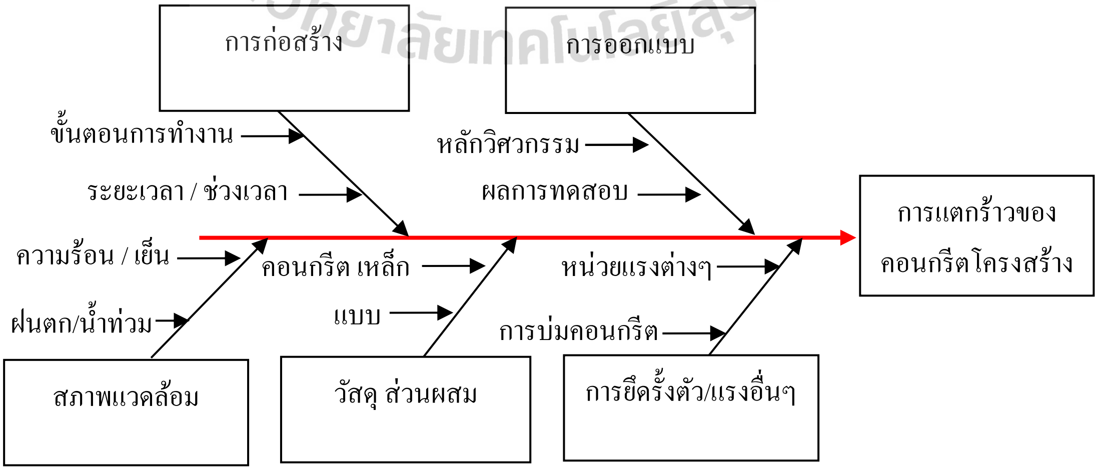


รูปที่ 3.4 ลักษณะรูที่เจาะ และชิ้นตัวอย่าง

3.4.6 วิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลที่ได้มา การวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาการแตกร้าว คือการนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการก่อสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ สภาพแวดล้อมขณะก่อสร้าง มาวิเคราะห์สาเหตุที่มาของปัญหาอย่างละเอียด

3.4.6.1 สรุปข้อมูลที่ได้จาก ข้อ 3.4

3.4.6.2 วิเคราะห์สาเหตุปัญหาจากข้อมูลทั้งหมดโดยใช้แผนภูมิก้างปลา



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของแผนผังแสดงเหตุและผล

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

ขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนต่างๆ ของการศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระน้ำขนาดใหญ่ ด้วยวิธีพินิจ ที่กล่าวถึงในบทที่ 3 ที่ผ่านมา ได้ทำการวิจัยตามจุดประสงค์ที่ทางผู้จัดทำโครงการได้ตั้งไว้ ซึ่งผลจากการวิจัยแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

4.1.1 ผลการสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) และการวัดรอยแตกร้าว

4.1.2 ผลการผลการสำรวจความลึกของรอยแตกร้าว ด้วยการเจาะ (Drilled Core)

4.1.3 ผลการสำรวจและศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำการก่อสร้าง

4.1.4 ผลการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลทั้งหมด

4.2 ผลการสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) และการวัดรอยแตกร้าว

การสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ และการวัดรอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้นสระ สามารถแบ่งแยกตามลักษณะของรอยแตกร้าวที่ตรวจพบออกเป็น 3 กลุ่ม เพื่อความสะดวกในการเทียบกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวาง แนวยาว และทแยงมุม โดยมีความยาวแต่ละด้านไม่เกิน 5 เมตร

กลุ่มที่ 2 คือ รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวาง แนวยาว และทแยงมุม โดยมีความยาวแต่ละด้านไม่เกิน 10 เมตร

กลุ่มที่ 3 คือ รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นเส้นอิสระยาว ตามแนวขวางของสระ ซึ่งอาจจะวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีลักษณะเส้นทอดยาวตามแนวขวาง และมีความยาวแต่ละด้านมากกว่า 10 เมตร

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1

ลำดับ	ตำแหน่ง	รอยแตกร้าวที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาว (ม.)	
1	พื้น	1	0.3	6	
		2	0.3	7	
		3	0.2	3	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่ง	รอยแตกร้าวที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาว (ม.)	
1	พื้น	4	0.2	2	
		5	0.2	6	
		6	0.3	2	
		7	0.2	3	
		8	0.2	3	
		9	0.3	7	
		10	0.2-0.3	2	
		11	0.2	2	
		12	0.3	3	
		13	0.2	1	
		14	0.2-0.3	2	
		15	0.2	2	
		16	0.1	2	
		17	0.3	2	
		18	0.2	2	
		19	0.3	4	
		20	0.2	3	
		21	0.1	4	
		22	0.2	2	
		23	0.2	2	
		24	0.2	3	
		25	0.2	3	
		26	0.1	3	
		27	0.2	6	
		28	0.2	2	
		29	0.2	3	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่ง	รอยแตกร้าวที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาว (ม.)	
1	พื้น	30	0.2	4	
		31	0.2	5	
		32	0.2	5	
		33	0.2-0.3	6	***
		34	0.3	3	
		35	0.3	12	
		36	0.2	2	
		37	0.1	3	
		38	0.2	6	
		39	0.3	4	
		40	0.2-0.3	11	***
		41	0.2	8	
		42	0.2	3	
		43	0.2	4	
		44	0.2-0.3	3	
		45	0.2	10	***
		46	0.2	4	
		47	0.2	5	
		48	0.3	4	
		49	0.2	3	
		50	0.2	7	
		51	0.2	2	
		52	0.2	9	
		53	0.2	4	
		54	0.2	4	
		55	0.2-0.3	9	

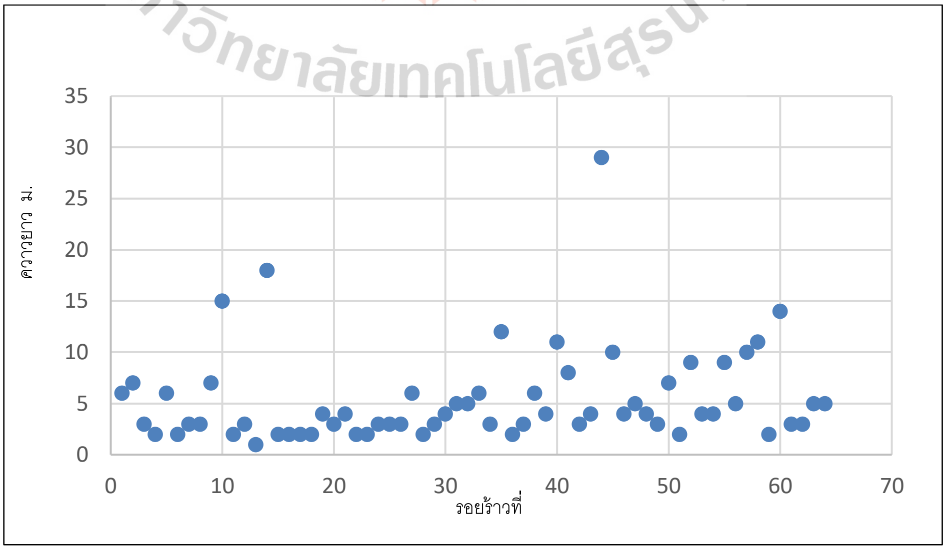
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่ง	รอย แตกร้าวที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาว (ม.)	
1	พื้น	56	0.2	5	
		57	0.1-0.2	10	***
		58	0.1-0.3	11	***
		59	0.1	2	
		60	0.1-0.3	14	***
		61	0.2	3	
		62	0.1	3	
		63	0.1	5	
		64	0.1	5	

ตารางที่ 4.1 เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ด้วยสายตา วัดความยาวด้วยตลับเมตร และวัดความกว้างด้วยรอยแตกร้าวด้วยเพลสวัดความกว้าง ทั้งหมด 64 รอย รอยที่สั้นที่สุดคือ กว้าง 0.1 มม. ยาว 2 ม. รอยที่ยาวที่สุด กว้าง 0.1-0.3 มม. ยาว 14 ม.

รอยแตกร้าวที่ระบุความกว้างเป็นสองค่า เช่น 0.1- 0.2 มม. (***) คือ รอยแตกร้าวที่มีความกว้างของรอยแตกร้าวตั้งแต่ 0.1 มม. ถึง 0.2 มม. ความกว้างต่ำสุด 0.1 มม. และมีส่วนที่กว้างสุดสุด 0.2 มม. (ขนาดตามที่ระบุในช่องความกว้าง)



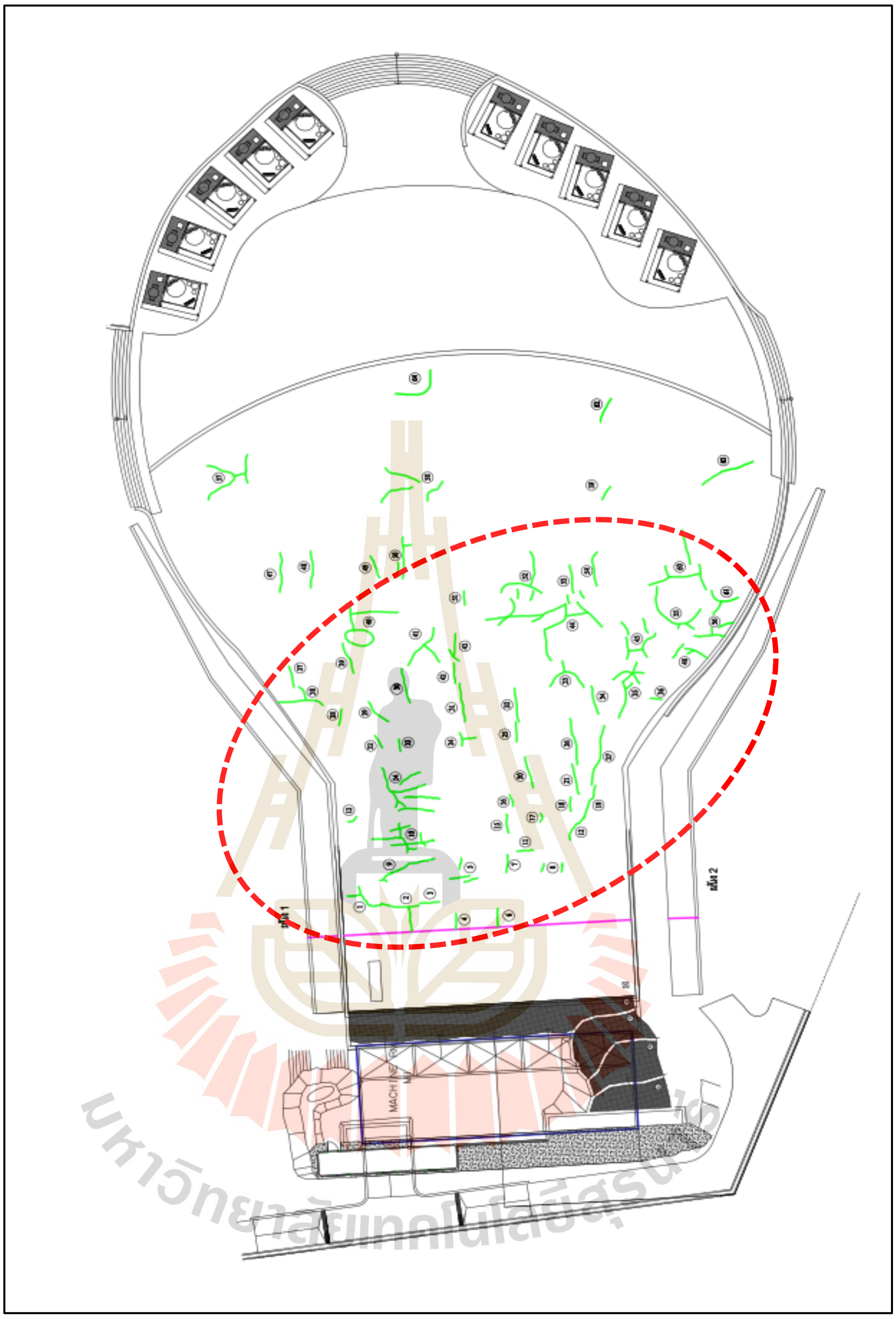
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1 ทั้งหมด

รูปที่ 4.1 แสดงความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด พบว่า กลุ่มที่ 1 มีรอยแตกร้าวยาวไม่เกิน 5 ม. จำนวน 68.75% ยาวมากกว่า 5 ม. แต่ไม่เกิน 10 ม. จำนวน 21.86% และมีรอยแตกร้าวที่ยาวเกิน 10 ม. ไม่ถึง 5 % ของรอยร้าวทั้งหมดในกลุ่มนี้ ตารางที่ 4.2 สรุปรอยแตกร้าวในกลุ่มที่ 1 โดยแยกตามตวามกว้างตั้งแต่ 0.1 มม. ถึง 0.3 มม. (ความกว้าง 0.1-0.2 มม. หมายถึง รอยแตกร้าวที่มีความกว้างต่ำสุด 0.1 มม. และสูงสุด 0.2 มม.) พบว่า ในกลุ่มนี้ รอยแตกร้าวที่มีความกว้าง 0.2 มม. เป็นรอยแตกร้าวที่มีความยาวรวมมากที่สุด เท่ากับ 141 ม. จากรอยแตกร้าวที่มีความยาว 0.2 มม.ทั้งหมด 36 แนว

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1 เป็นการรวมรอยแตกร้าวตามขนาดความกว้าง

ลำดับ	ตำแหน่ง	ขนาดที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาวรวม (ม.)	
1	พื้น	1	0.1	27	8 แนว
		2	0.1-0.2	10	1 แนว
		3	0.2	141	36 แนว
		4	0.1-0.3	25	2 แนว
		5	0.2-0.3	33	6 แนว
		6	0.3	54	11 แนว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.2 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ลงในผังสระน้ำ

รูปที่ 4.2 แสดงภาพร่างรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด จากรูปที่ 4.2 พบว่า รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวาง แนวยาว และทแยงมุม ขนาดเล็กกระจายทั่วไป และหนาแน่นช่วงกลางถึงช่วงท้ายสระ (ในวงรีสีแดง) ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำเริ่มลึกและลึกสุด ในขณะที่ช่วงปลายสระด้านน้ำตื้น รอยแตกร้าวมีน้อยกระจายตัวห่าง ๆ ลักษณะรอยแตกร้าวดังกล่าวตรงตามทฤษฎีและงานวิจัย คือ การหดตัวแบบพลาสติก

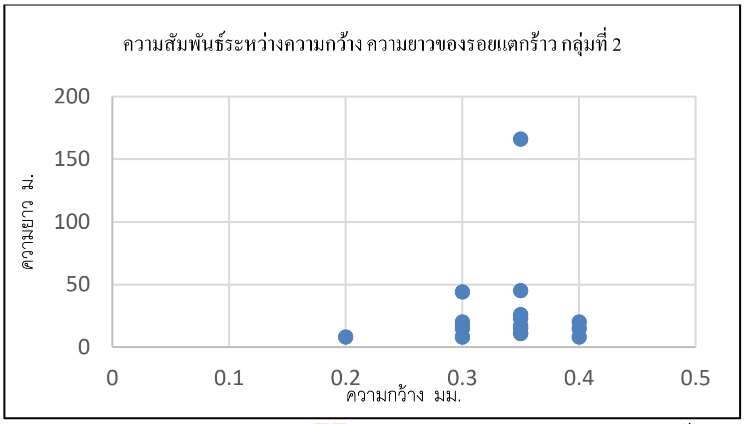
ตารางที่ 4.3 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2

ลำดับ	ตำแหน่ง	รอย แตกร้าวที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาว (ม.)	
1	พื้น	1	0.4	20	
		2	0.4	8	
		3	0.2-0.4	45	***
		4	0.3-0.4	26	***
		5	0.3-0.4	23	***
		6	0.3	44	
		7	0.2-0.5	166	รวมกลุ่ม 28 เส้นแยก
		8	0.3	8	
		9	0.2	8	
		10	0.2-0.5	11	***
		11	0.2-0.5	15	***
		12	0.4	15	
		13	0.3	20	
		14	0.2-0.5	11	***
		15	0.3	8	
		16	0.2-0.5	17	***
		17	0.3	15	
		18	0.3	18	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.3 เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ด้วยสายตา วัดความยาวด้วยตลับเมตร และวัดความกว้างด้วยรอยแตกร้าวด้วยเพลสวัดความกว้าง ทั้งหมด 18 รอย รอยที่สั้นที่สุดคือ กว้าง 0.2 มม. ยาว 8 ม. รอยที่ยาวที่สุด กว้าง 0.2-0.5 มม. ยาว 166 ม. (มี 28 เส้นแยก)

รอยแตกร้าวที่ระบุความกว้างเป็นสองค่า เช่น 0.2- 0.4 มม. (***) คือ รอยแตกร้าวที่มีความกว้างของรอยแตกร้าวไม่เท่ากันปลายด้านหนึ่งหรือสองด้านกว้าง 0.2 มม. ในขณะที่ตรงกลางหรืออีกด้านกว้าง 0.4 มม. (ขนาดตามที่ระบุในช่องความกว้าง)

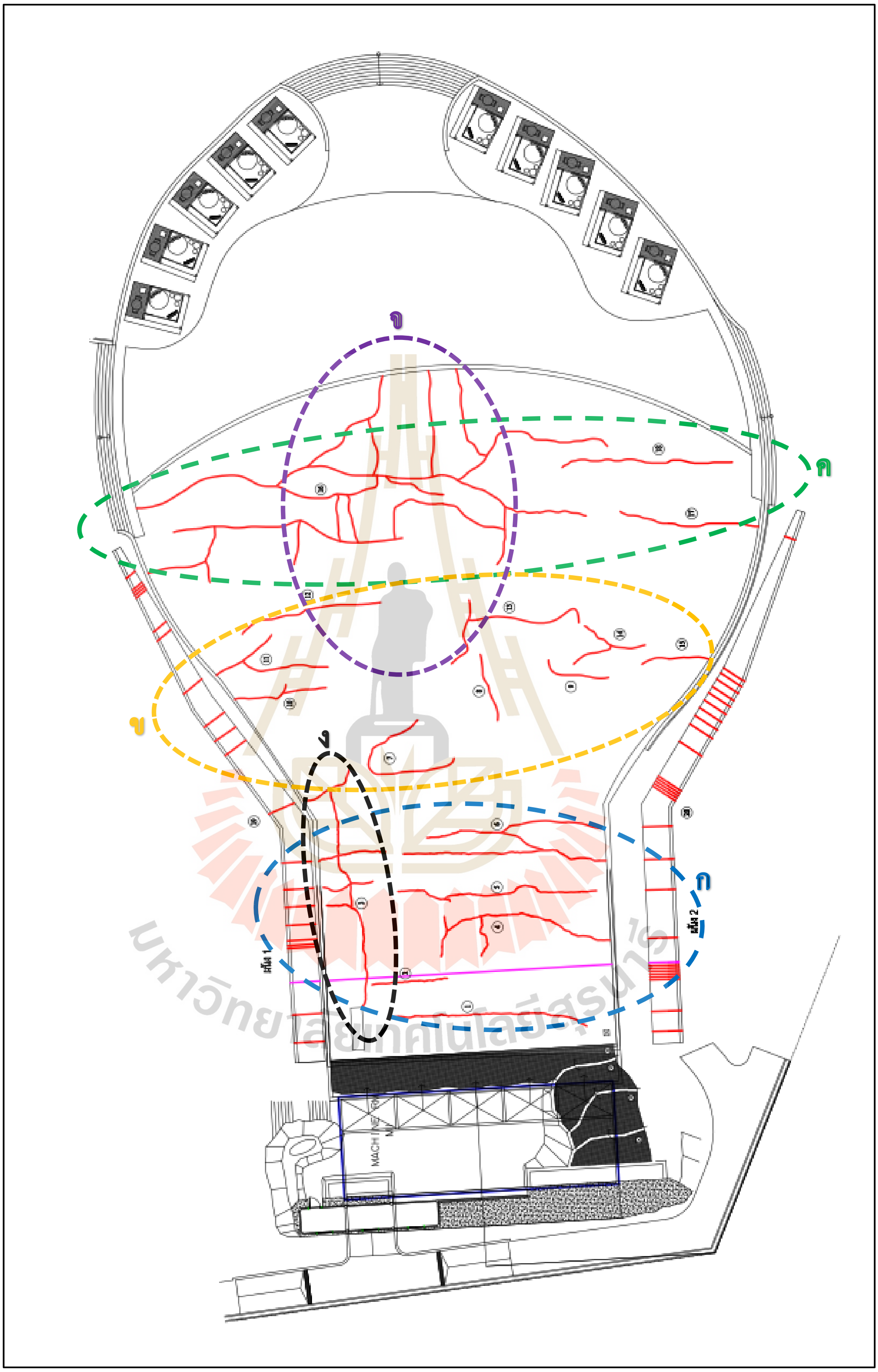


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 ทั้งหมด

รูปที่ 4.3 แสดงความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด พบว่า กลุ่มที่ 2 มีรอยแตกร้าวยาวไม่เกิน 20 ม. จำนวน 72.22% ยาวมากกว่า 20 ม. แต่ไม่เกิน 40 ม. จำนวน 11.11% และมีรอยแตกร้าวที่ยาวเกิน 40 ม. ไม่ถึง 5 % ของรอยร้าวทั้งหมดในกลุ่มนี้ ตารางที่ 4.4 สรุปรอยแตกร้าวในกลุ่มที่ 2 โดยแยกตามตวามกว้างตั้งแต่ 0.2 มม. ถึง 0.5 มม. (ความกว้าง 0.2-0.4 มม. หมายถึง รอยแตกร้าวที่มีความกว้างต่ำสุด 0.2 มม. และสูงสุด 0.4 มม.) พบว่า ในกลุ่มนี้ รอยแตกร้าวที่มีความกว้าง 0.2-0.5 มม. เป็นรอยแตกร้าวที่มีความยาวรวมมากที่สุด เท่ากับ 220 ม. จากรอยร้าวที่มีความยาว 0.2-0.5 มม.ทั้งหมด 5 แนว

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 เป็นการรวมรอยแตกร้าวตามขนาดความกว้าง

ลำดับ	ตำแหน่ง	ขนาดที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาวรวม (ม.)	
1	พื้น	1	0.2	8	1 แนว
		2	0.2-0.4	45	1 แนว
		3	0.2-0.5	220	5 แนว
		4	0.3	113	6 แนว
		5	0.3-0.4	49	2 แนว
		6	0.4	43	3 แนว



รูปที่ 4.4 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ลงในผังสระน้ำ

รูปที่ 4.4 แสดงภาพร่างรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด จากรูปที่ 4.4 พบว่า รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวาง แนวยาว และทแยงมุม โดยมีความยาวแต่ละด้านไม่เกิน 10 เมตร กระจายอยู่สามช่วงของสระ

กลุ่มย่อย ก. วงรีสีน้ำเงินเป็นลักษณะสามแฉกและเส้นอิสระวางในแนวขวาง อยู่ช่วงท้ายสระหรือส่วนที่น้ำลึกสุด โดยมีรอยแตกร้าวในวงรีสีดำวางตามแนวยาวตามผนังสระ และห่างจากผนังฝั่งซ้าย 2-4 เมตร

กลุ่มย่อย ข. วงรีสีเหลืองเป็นลักษณะสามแฉกและเส้นอิสระวางอยู่ช่วงกลางสระ กระจายตัวห่าง ๆ และมีความหนาแน่นน้อยที่สุดของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2

กลุ่มย่อย ค. ในวงรีสีเขียวเป็นลักษณะสามแฉกต่อเนื่องกันหลายชุด วางตามแนวขวาง โดยรอยแตกร้าวในวงรีสีม่วงมีเส้นที่สาม ยาวออกไปตั้งฉากกับเส้นอื่น ๆ วางตามแนวยาวของสระอยู่ช่วงกลางระหว่างขอบสระด้านซ้ายและขวา ใกล้กับร่องตัดระบายน้ำกลับขนานกันอยู่สามเส้น และเส้นอิสระวางในแนวขวาง อยู่ช่วงปลายสระบริเวณน้ำตื้น มีความหนาแน่นกว่ากลุ่มย่อย ข. แต่น้อยกว่ากกลุ่มย่อย ก.

กลุ่มย่อย ง. ในวงรีสีดำเป็นเส้นยาว ตามแนวยาวขอบสระด้านซ้ายตัดผ่านเส้นแนวขวางของสระ 4 เส้น

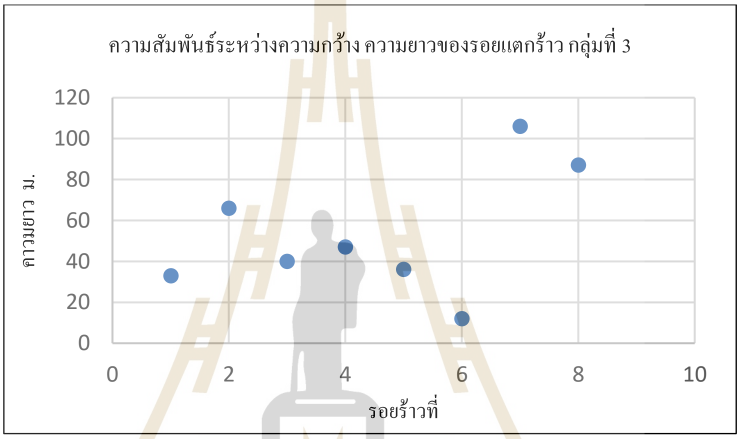
กลุ่มย่อย จ. ในวงรีสีม่วงรอยแตกร้าวเป็นเส้นตามแนวยาว เกาะกลุ่มอยู่ช่วงกลางสระด้านน้ำตื้นใกล้กับร่องระบายน้ำกลับ

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3

ลำดับ	ตำแหน่ง	รอยแตกร้าวที่	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
			กว้าง (มม.)	ยาว (ม.)	
1	พื้น	1	0.3	33	
		2	0.3-0.5	66	***
		3	0.3-0.5	40	***
		4	0.4	47	
		5	0.3-0.5	36	***
		6	0.3	12	
		7	0.3	106	รวมกลุ่ม 5 เส้นแยก
		8	0.3	87	รวมกลุ่ม 3 เส้นแยก

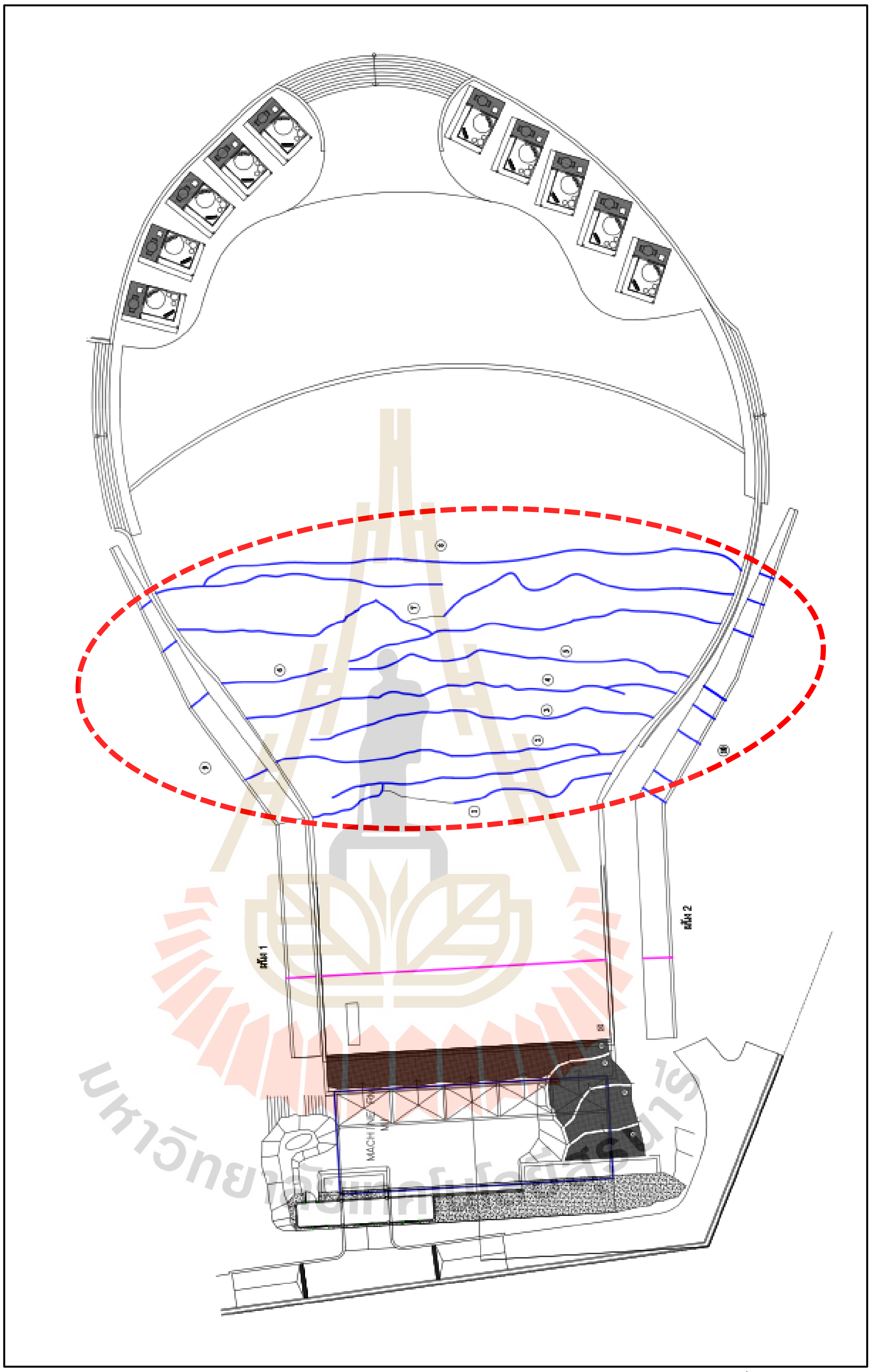
ตารางที่ 4.5 เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 ด้วยสายตา วัดความยาวด้วยตลับเมตร และวัดความกว้างด้วยรอยแตกร้าวด้วยเพลสวัดความกว้าง ทั้งหมด 8 รอย รอยที่เล็กและสั้นที่สุด กว้าง 0.3 มม. ยาว 12 ม. รอยที่กว้างและยาวที่สุด กว้าง 0.3-0.5 มม. ยาว 66 ม. และรอยที่ยาวที่สุด กว้าง 0.3 มม. ยาว 106 ม. (แบบเกาะกลุ่ม)

รอยแตกร้าวที่ระบุความกว้างเป็นสองค่า เช่น 0.3- 0.5 มม. (***) คือ รอยแตกร้าวที่มีความกว้างของรอยแตกร้าวไม่เท่ากันปลายด้านหนึ่งหรือสองด้านกว้าง 0.3 มม. ในขณะที่ตรงกลางหรืออีกด้านกว้าง 0.5 มม. (ขนาดตามที่ระบุในช่องความกว้าง)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3 ทั้งหมด

รูปที่ 4.5 แสดงความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 ทั้งหมด พบว่า กลุ่มที่ 3 มีรอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 30 ม. แต่ไม่เกิน 50 ม. จำนวน 50% รอยแตกร้าวที่มีความยาวมากกว่า 80 ม. แต่ไม่เกิน 120 ม. จำนวน 25% รอยแตกร้าวที่มียาวไม่เกิน 20 ม. จำนวน12.5% และรอยแตกร้าวที่มีความยาวรวมมากกว่า 60 ม. แต่ไม่เกิน 80 ม. จำนวน 12.5%

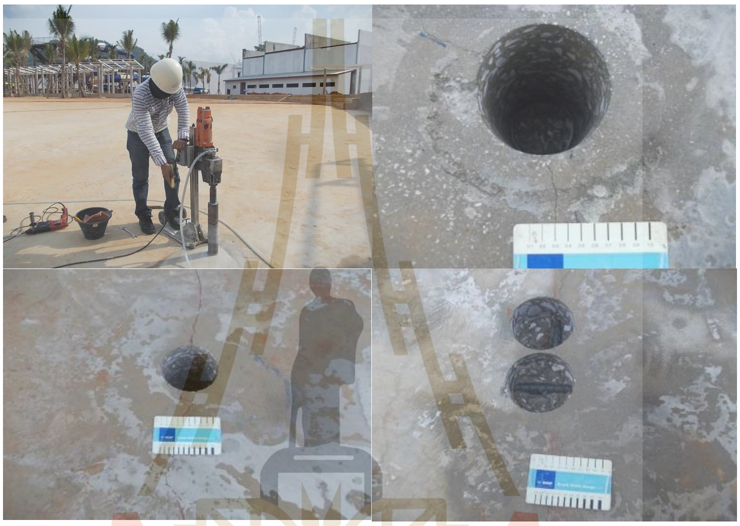


รูปที่ 4.6 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 ลงในผังสระน้ำ

รูปที่ 4.6 พบว่า รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นเส้นอิสระยาว ตามแนวขวางของสระ จากขอบสระด้านซ้ายไปด้านขวา ซึ่งมีบางเส้นวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีลักษณะเส้นวางทอดยาวตามแนวขวาง และมีความยาวแต่ละด้านมากกว่า 10 เมตร เกาะกลุ่มกระจายอยู่ช่วงกลางของสระ โดยที่บริเวณปลายและท้ายสระจะไม่มีรอยแตกร้าวกลุ่มนี้อยู่เลย ตามวงรีสีแดง

4.3 ผลการสำรวจความลึกของรอยแตกร้าว ด้วยการเจาะ (Drilled Core)

การเจาะ (Drilled Core) หรือการเจาะแก่นเก็บชิ้นตัวอย่างคอนกรีต เพื่อสำรวจความลึกของรอยแตกร้าว ได้ทำการเจาะสำรวจกลุ่มที่ 1 2 3 ตามข้อ 4.2 และทำการสแกนหาแนวเหล็กเสริมตรงตำแหน่งที่จะทำการเจาะ เพื่อให้มั่นใจว่ามีเหล็กเสริมหรือไม่ ซึ่งจะทำการเจาะตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมถึงระดับเหนือเหล็กเสริม และตำแหน่งที่ไม่มีเหล็กเสริมจะเจาะทะลุคอนกรีต ในกลุ่มเดียวกันจะเจาะทั้งสองอย่าง โดยไม่ให้ตัดเหล็กเสริม เพราะอาจจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงได้



รูปที่ 4.7 การเจาะสำรวจรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1

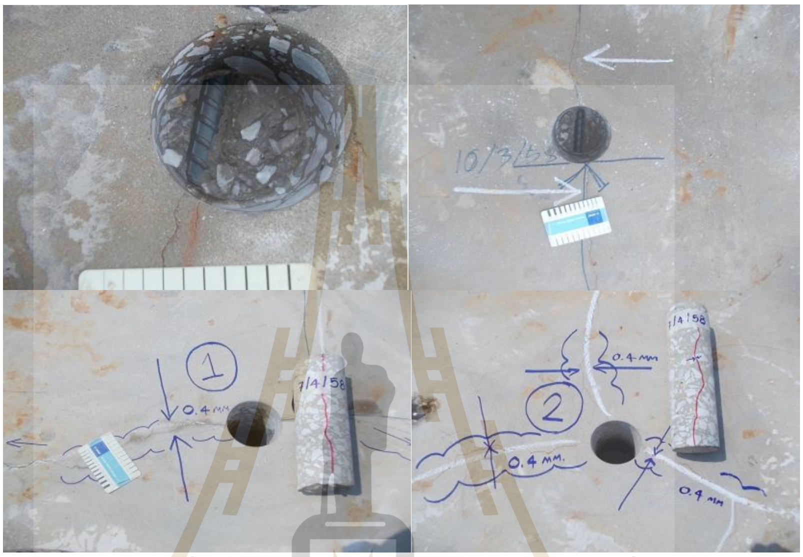
รูปที่ 4.7 การเจาะสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ซึ่งเจาะในตำแหน่งที่ตรงกับเหล็กเสริม และไม่ตรงเหล็กเสริม โดยใช้เครื่องมือสแกนหาเหล็กเพื่อระบุตำแหน่ง

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดการเจาะสำรวจ และวัดความลึกของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1

ลำดับ	ตำแหน่ง	ขนาดที่	การวัดรอยร้าว		
			กว้างเฉลี่ย (มม.)	ยาวเฉลี่ย (ม.)	ลึก (ซม.)
1	พื้น	1	0.1	3.4	4
		2	0.15	10	4.2
		3	0.2	4	7.7
		4	0.25	12	9
		5	0.28	14.6	8.4
		6	0.3	5	7.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 แสดงความลึกของรอยแตกร้าวในกลุ่มที่ 1 โดยทำการวัดความลึกของรอยแตกร้าวแยกตามความกว้างของรอยแตกร้าว พบว่า รอยร้าวขนาดเล็กที่อยู่เหนือแนวเหล็กเสริม มีความลึกของรอยแตกร้าวถึงระดับด้านบนเหล็กเสริมเท่านั้น คือ 4 ซม. รอยแตกร้าวที่มีขนาดกว้างและยาวมากกว่า ไม่อยู่ในแนวเหล็กเสริมรอยร้าวจะมีความลึกมาก 4.2-9 ซม. และมีลักษณะเป็นเส้นอิสระตรงในแนวดิ่ง เรียวแหลมลงไปตามความหนาของพื้น



รูปที่ 4.8 การเจาะสำรวจรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2

รูปที่ 4.8 แสดงการเจาะสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ซึ่งเจาะในตำแหน่งที่ตรงกับเหล็กเสริมและไม่ตรงเหล็กเสริม โดยใช้เครื่องมือสแกนหาเหล็กเพื่อระบุตำแหน่ง

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดการเจาะสำรวจ และวัดความลึกของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2

ลำดับ	ตำแหน่ง	ขนาดที่	การวัดรอยร้าว			หมายเหตุ
			กว้างเฉลี่ย (มม.)	ยาวเฉลี่ย (ม.)	ลึก (ซม.)	
1	พื้น	1	0.2	8	4	1 แนว
		2	0.35	45	16	1 แนว
		3	0.4	44	11	8 แนว
		4	0.3	19	12	6 แนว
		5	0.38	24.5	13.5	2 แนว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 แสดงความลึกของรอยแตกร้าวในกลุ่มที่ 2 แยกตามความกว้างของรอยแตกร้าว พบว่า

รอยแตกร้าวขนาดเล็กที่อยู่เหนือแนวเหล็กเสริม มีความลึกของรอยแตกร้าวถึงระดับด้านบนเหล็กเสริมเท่านั้น คือ 4-5 ซม.

รอยแตกร้าวที่มีขนาดมากว่าและยาว ไม่อยู่ในแนวเหล็กเสริมรอยร้าวจะมีความลึกมาก 11-16 ซม. และมีลักษณะเป็นเส้นอิสระตรงในแนวดิ่ง เรียวแหลมลงไปตามความหนาของพื้น การนำข้อมูลจากตารางที่ 4.3 และ 4.4 เพื่อมาวัดหาความลึกของรอยร้าว จากการเจาะสำรวจลักษณะเดียวกับกลุ่มที่ 1

รูปที่ 4.9 การเจาะสำรวจรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3

รูปที่ 4.9 แสดงการเจาะสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 ซึ่งเจาะในตำแหน่งที่ตรงกับเหล็กเสริมและไม่ตรงเหล็กเสริม โดยใช้เครื่องมือสแกนหาเหล็กเพื่อระบุตำแหน่ง

รอยแตกร้าวที่อยู่เหนือแนวเหล็กเสริม มีความลึกของรอยแตกร้าวเลยระดับเหล็กเสริมลงไปเท่ากับตำแหน่งที่ไม่ตรงหล็กเสริม คือ 20 - 26 ซม.

รอยแตกร้าวที่ไม่อยู่ในแนวเหล็กเสริม มีความลึกมาก 20 - 26 ซม. (ความหนาพื้น 26 ซม.) ซึ่งรอยแตกร้าวทั้งหมดมีความกว้างและยาวมาก

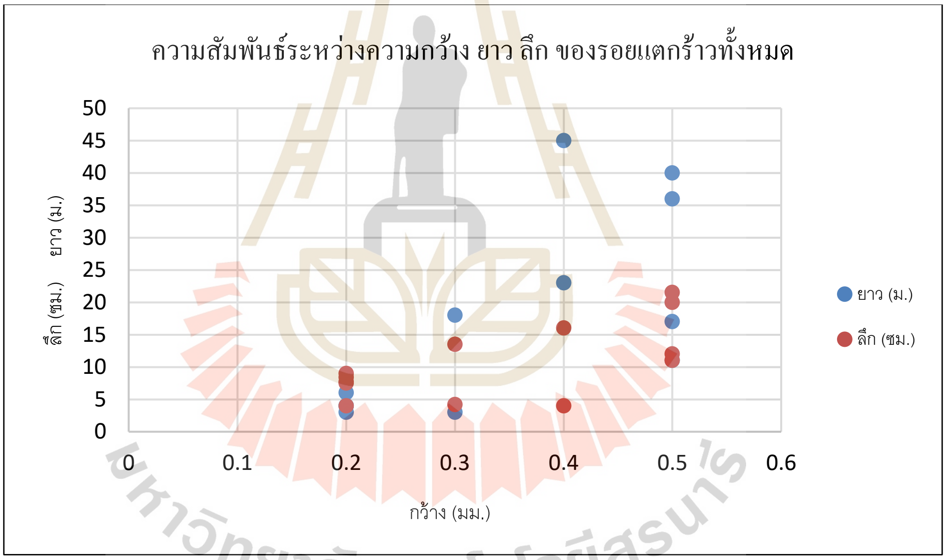
รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นเส้นอิสระตรงในแนวดิ่ง เรียวแหลมลงไปตามความหนาของพื้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4. 8 รายละเอียดการเจาะสำรวจ และวัดความลึกของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3

ลำดับ	ตำแหน่ง	ขนาดที่	การวัดรอยร้าว			หมายเหตุ
			กว้างเฉลี่ย (มม.)	ยาวเฉลี่ย (ม.)	ลึก (ซม.)	
1	พื้น	1	0.3	58	21.5	4 แนว
		2	0.42	28	20	3 แนว
		3	0.4	47	26	1 แนว

ตารางที่ 4.8 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 4.5 เพื่อมาวัดหาความลึกของรอยร้าวจากการเจาะสำรวจ ลักษณะเดียวกับกลุ่มที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง ความยาว และความลึกของรอยแตกร้าว

กราฟแดสงความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความกว้าง และความลึกของรอยแตกร้าว จากรูปที่ 4.10 พบว่าความยาวของรอยแตกร้าว มีความสัมพันธ์แบบอิสระ ไม่เป็นอัตราส่วน ทั้งความกว้าง ความยาว และความลึกของรอยแตกร้าว โดยเป็นลักษณะแนวโน้มและโอกาสที่จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะคล้อยตามกัน เช่น ถ้าความกว้างน้อย ความลึกและความยาวก็จะน้อยตามไปด้วย และถ้าความกว้างมาก ความลึกและความยาวก็จะมากด้วยเช่นกัน แต่จะไม่เป็นไปตามมาตราส่วน ซึ่งบางรอยแตกร้าวที่มีความกว้างและความลึกเท่ากันแต่ตวามยาวอาจแตกต่างกันมากก็

ได้ และพบว่ารอยแตกร้าวที่มีความกว้างและลึกต่ำนั้น จะมีความยาวต่ำที่สุดได้น้อยกว่ารอยแตกร้าวที่มีความกว้าง และความลึกมากกว่า ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง ความยาว และความลึกของรอยแตกร้าว จึงมีแนวโน้มที่จะสูงต่ำสอดคล้องกันอย่างอิสระ สั้นได้ ยาวได้ แต่จะสั้นได้เท่าที่สอดคล้องและสัมพันธ์กับความกว้างและความลึกเท่านั้น

4.4 ผลการสำรวจและศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำการก่อสร้าง

เป็นการรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมการทำการก่อสร้าง จากรายงานการทำงานของผู้รับเหมา บริษัทที่ปรึกษา ผู้ควบคุมงาน รายงานการประชุม รายงานปัญหาอุปสรรค และจากภาพถ่ายต่าง ๆ ดังนี้

4.4.1 การเตรียมพื้นที่ก่อนทำการก่อสร้างสระ

หลังจากเคลียร์พื้นที่ให้โล่งเตียนแล้ว มีการถมดินให้เสมอ และบดอัดดินเต็มพื้นที่ให้ได้ค่าตามที่กำหนด ซึ่งพื้นที่ก่อสร้างสวนน้ำ และคอนโดมิเนียม 8 ชั้น บดอัด และค่าความแน่นเท่ากัน ดังรูปที่ 4.11 หลังจากเก็บตัวอย่างดินตรวจสอบความแน่นผ่านทั้งแปลง จึงเริ่มทำการขุดดินตามรูปสระ ทั้งความกว้าง ยาว ลึก ซึ่งใต้พื้นที่สระน้ำทั้งหมด เมื่อขุดลงไปประมาณ 1 เมตร จะเจอหินเต็มพื้นที่ต้องใช้วิธีระเบิดหินลงไปทีละน้อยเพื่อให้ได้ความลึกตามต้องการ (เครื่องจักรไม่สามารถขุดลงไปได้ มีหินจำนวนมาก เนื่องจากอยู่ติดกับภูเขา) ดังรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.11 การปรับ และบดอัดดินก่อนการวางผังตำแหน่งก่อสร้างทั้งหมด

รูปที่ 4.12 การขุดดินพื้นที่ก่อสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งมีหินขนาดใหญ่เต็มพื้นที่

4.4.2 การเทคอนกรีต การบ่มคอนกรีต

การเทคอนกรีต โครงสร้างสระน้ำ (คอนกรีตเสริมเหล็ก) ได้ทำการเทเป็นผืนเดียวแบบไม่มีรอยต่อ เหล็กเสริมสองชั้น คอนกรีตพื้นสระหนา 26 ซม. ความกว้างน้อยที่สุด 24 ม. และกว้างมากที่สุด 55 ม. ความยาว 61 ม. รูปใบโพธิ์ใหญ่ต่อจากสี่เหลี่ยมเล็ก โดยออกแบบให้พื้นคอนกรีตสระน้ำรับน้ำหนัก 2,000 kg. / sq.m.

การบ่มคอนกรีต ได้ทำการบ่มตามหลักวิศวกรรม แต่อาจจะขาดความสม่ำเสมอของคนงาน เช่น การใช้กระสอบชุ่มน้ำคลุมผิวคอนกรีต ซึ่งวิธีนี้บางช่วงอาจจะมีการปล่อยให้แห้งนานคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป

4.4.3 สภาพแวดล้อมขณะทำงาน

สภาพอากาศ (ความร้อนจากอากาศ) ในระหว่างการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตของสระน้ำ เดือนมีนาคม 2557 – มิถุนายน 2557 สภาพอากาศที่บริเวณเขาใหญ่ อำเภอปากช่องร้อนมากโดยเฉพาะช่วงเวลา 11.00 – 16.00 น. อุณหภูมิที่วัดหน้างาน ประมาณ 38-40 องศาเซลเซียส กลางคืน ช่วงเวลา 01.00 – 06.00 น. อุณหภูมิจะค่อนข้างเย็น 18-26 องศาเซลเซียส คอนกรีตเกิดการยืด หดตัวดังนี้

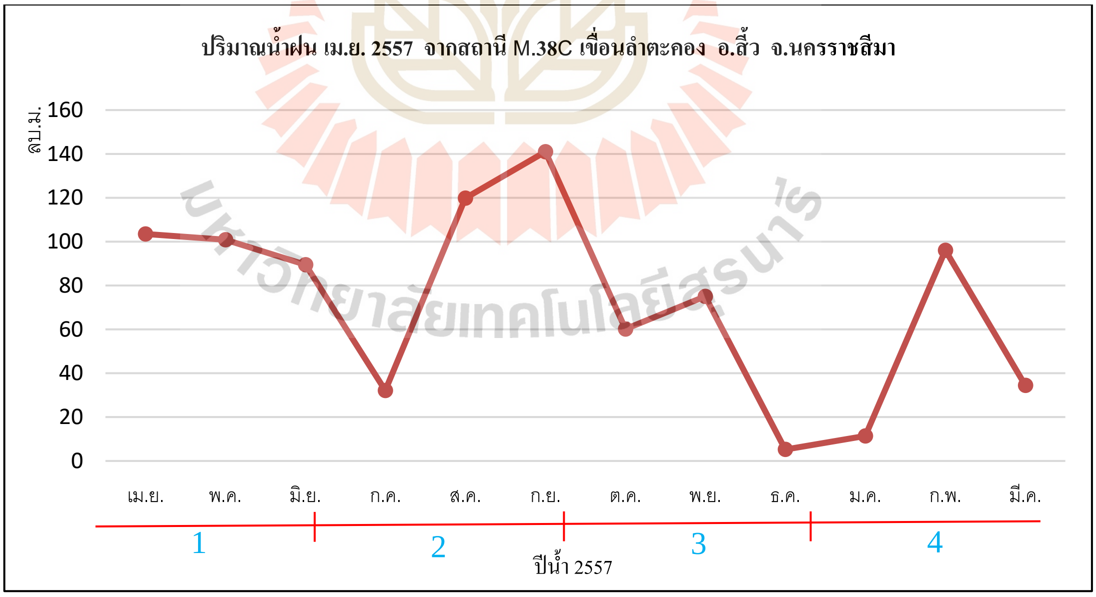
กลางวันอากาศร้อนจัด พื้นคอนกรีตด้านบนได้รับความร้อนเกิดการขยายตัวในขณะที่พื้นคอนกรีตด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้เกิดการยืดตัวไม่เท่ากันทำให้พื้นโก่งและแตกร้าวตั้วฉากกับแนวแรงดัด ส่วนมาจะเป็นช่วงกลางแผ่นพื้นที่โก่ง

กลางคืนอากาศเย็น จะเกิดการหดตัว ซึ่งการยืดตัว หดตัวสลับกัน (กลางวันและกลางคืน) จะเกิดการแตกร้าวใกล้กับจุดยึดรั้ง เช่น ขอบสระ จากแรงดึง แรงบิด

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา พ.ศ. 2557 ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

สถานี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
อุตุนิยมวิทยา	เฉลี่ย	เฉลี่ยสูงสุด	เฉลี่ยต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ชัยภูมิ	27.8	33.3	23.0	39.7	10.2
นครราชสีมา	27.9	33.7	23.5	39.6	11.2
โชคชัย	27.6	33.8	22.9	39.2	10.6
สุรินทร์	27.5	33.1	23.0	39.2	11.7
บุรีรัมย์	27.1	33.5	21.8	40.3	9.0
ลพบุรี	28.5	34.2	24.5	38.4	12.9
ปราจีนบุรี	28.7	34.6	24.6	39.7	14.0

ตารางที่ 4.9 รายงานสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ของพื้นที่ใกล้เคียง พบว่าอุณหภมิในช่วงกลางวันร้อน ถึงร้อนมาก ส่วนกลางคืนอากาศเย็น ในพื้นที่จังหวัดและจังหวัดใกล้เคียงรอบๆ พื้นที่ก่อสร้าง แต่อุณหภูมิสถานที่จริงอาจจะแตกต่างจากสถานีตรวจวัดบ้างตามระยะห่างและสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะพื้นที่เขาใหญ่ซึ่งมีป่าไม้อุดมสมบูรณ์ กลางคืนอุณหภูมิจะเย็นกว่าพื้นที่อื่น



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนที่สถานีลำตะคลอง

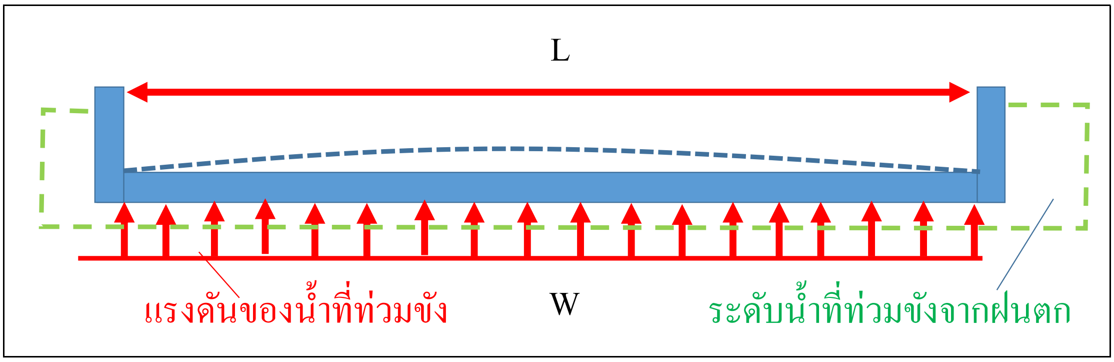
รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณน้ำฝนจากสถานีลำตะคลอง ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับสถานที่ก่อสร้างที่สุด แต่ปริมาณจริงที่สถานที่ก่อสร้างกับสถานีตรวจวัดอาจจะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

และเส้นสีแดงใต้กราฟ คือ ช่วงเวลาการก่อสร้างสระสวนน้ำ 1.เทคอนกรีตโครงสร้างพื้นและผนัง 2.บ่มคอนกรีต 3.กักน้ำ เพื่อตรวจสอบการรั่วซึมและปัญหาอื่นๆของโครงสร้างสระน้ำ ปล่อยน้ำออก ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มพบปัญหาการแตกร้าว 4.แก้ปัญหาการรั่วซึมและปัญหาอื่นๆกรณีตรวจพบ (จากแผนเดิม) และศึกษาปัญหาใหม่ (การแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระน้ำ) อย่างเร่งด่วนเป็นกรณีพิเศษ และพบว่าช่วงที่เกิดแตกร้าวเป็นช่วงระหว่างฤดูฝน ซึ่งในสถาพหน้างานจริงนั้น มีการท่วมขังของน้ำฝน ขณะที่อยู่ระหว่างก่อสร้างและติดตั้งงานระบบท่อที่ผนังสองข้าง โดยที่ด้านนอกมีการขุดดินออกรอบสระเพื่อให้สะดวกในการทำงาน จึงกลายเป็นบ่อกักเก็บน้ำรอบสระที่กำลังก่อสร้าง ระดับน้ำสูงถึงขอบบ่อด้านบน และท่วมขังข้ามวันจนกว่าจะมีการสูบน้ำออก

รูปที่ 4.14 ฝนตกน้ำทวมพื้นที่ก่อสร้างสระสวนน้ำทั้งหมด

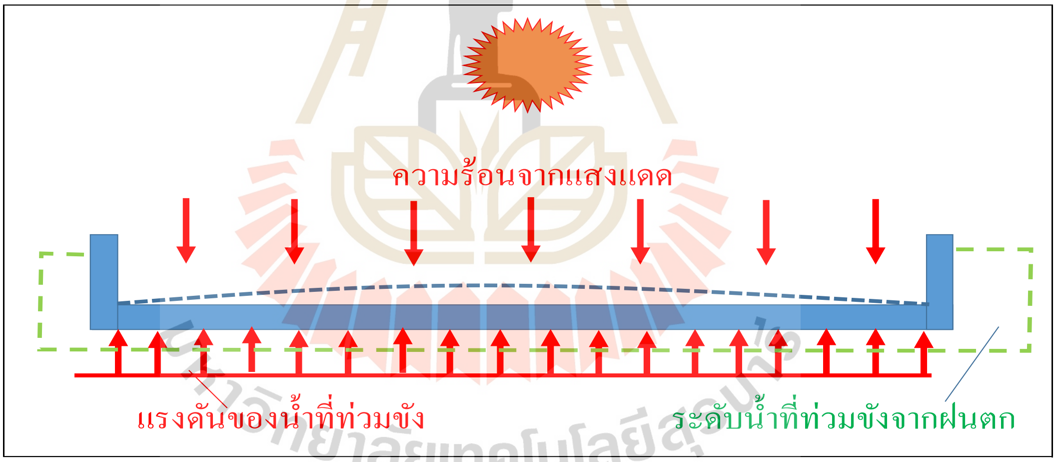
รูปที่ 4.14 ภาพน้ำท่วมพื้นที่ก่อสร้างสระสวนน้ำ ทำให้เกิดน้ำซึมลอดพื้นและเกิดแรงยกได้ โดยเกิดเหตุการณ์ฝนตก น้ำท่วม ในระหว่างการก่อสร้างโครงสร้างสระน้ำหลายครั้ง ทั้งก่อนและหลังการเติมน้ำเพื่อตรวจสอบรอยรั่วซึมของโครงสร้างสระน้ำ

จากการสอบเอกสารการออกแบบพื้นพบว่า ผู้ออกแบบได้ออกแบบพื้นเพื่อรับน้ำหนัก LL = 2000 kg/sq.m. เป็นไปตามหลักวิศวกรรม และเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งจากหลักฐานได้ปรากฏว่ามีน้ำท่วมขังรอบโครงสร้างสระน้ำ จึงทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อโครงสร้างพื้นสระในลักษณะตรงข้าม คือยกพื้นสระขึ้น อาจจะทำให้เกิดการโก่งตัว เนื่องจากแรงที่กกระทำนอกเหนือจากน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 จำลองแรงยก ความยาว ความแข็งแรงพื้นสระมีผลกระทบต่อการแตกร้าว

เนื่องจากพื้นด้านบนกระทบกับความร้อนจากแสงแดด ในขณะที่พื้นด้านล่างสัมผัสกับพื้นดิน หินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า รวมถึงน้ำและความชื้นจากน้ำที่รั่วซึม และน้ำที่ท่วมขังซึมเข้าไป ทำให้คอนกรีตขยายตัวไม่เท่ากัน เกิดการแอ่นตัว โก่งตัวขึ้น และแตกร้าวจากด้านบน ตั้งฉากกับแนวแรงบิด แรงดัดที่เกิดขึ้น



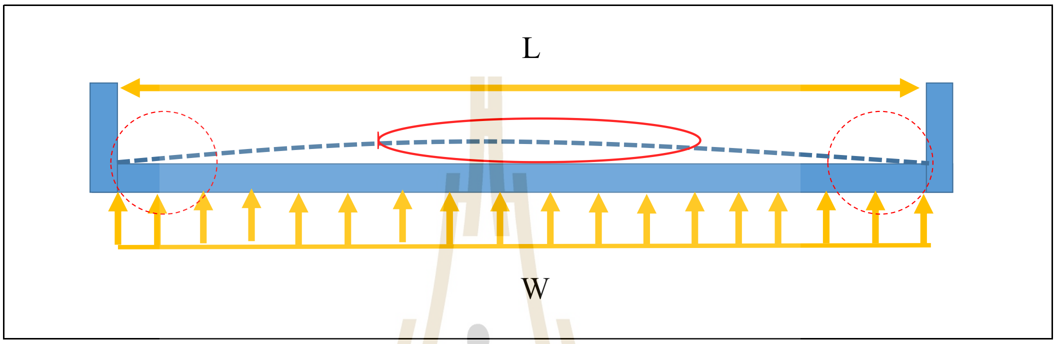
รูปที่ 4.16 จำลองความร้อน แรงยก ความยาว ความแข็งแรงพื้นสระมีผลกระทบต่อกการแตกร้าว

รูปที่ 4.16 พบว่า เมื่อคอนกรีตได้รับความร้อน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้แผ่นคอนกรีตเกิดการหดตัว หรือขยายตัวโดยคอนกรีตจะมีการยืดหดตัวอยู่ที่ 7.5 x 0.000001 / องศา C เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุแข็งเปราะดังนั้นจึงแตกร้าวจากการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งจะเกิดการยืดหดตัวดังนี้

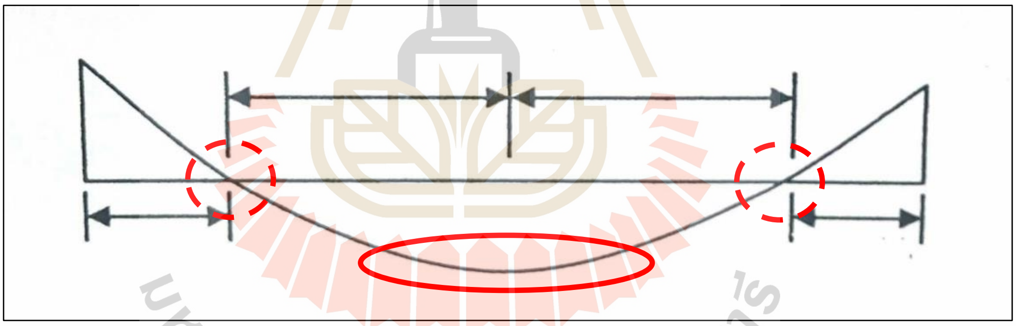
กลางวันอากาศร้อนจัด พื้นคอนกรีตด้านบนได้รับความร้อนเกิดการขยายตัวในขณะที่พื้นคอนกรีตด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้เกิดการยืดตัวไม่เท่ากันทำให้พื้นโก่งและแตกร้าวตั้วฉากกับ

แนวแรงดัด ส่วนมาจะเป็นช่วงกลางแผ่นพื้นที่โก่ง และการเกิดแรงโก่งดัดนั้นในกรณีที่พื้นมีความกว้างมาก ก็สามารถเกิดแรงดัดในลักษณะตั้งฉากกับแรงโก่งดัดที่เกิดขึ้นครั้งแรกได้ ซึ่งทำให้เกิดรอยแตกร้าวในลักษณะตั้งฉากกับรอยแตกร้าวที่เกิดจากแรงโก่งดัดแรกได้

กลางคืนอากาศเย็น จะเกิดการหดตัว ซึ่งการยืดตัว หดตัวสลับกัน (กลางวัน กลางคืน) จะเกิดการแตกร้าวใกล้กับจุดยึดรั้ง เช่น ขอบสระ จากแรงดึง แรงบิด



รูปที่ 4.17 ลักษณะการเกิดแรงดัด และตำแหน่งที่จะเกิดรอยแตกร้าว



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงแรงดัด และตำแหน่งการเกิดรอยแตกร้าวจากแรงดัด แรงบิด

รูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18 กราฟแรงดัดที่กระทำต่อพื้นคอนกรีต ที่ทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากันและจะทำเกิดการแตกร้าวของพื้นคอนกรีตที่บริเวณช่วงกลางของแผ่นพื้น (วงรีสีเส้นทึบแดง) โดยแนวแตกร้าวจะตั้งฉากกับแนวแรงดัด เมื่อกลางวันอากาศร้อนจัด พื้นคอนกรีตด้านบนได้รับความร้อนเกิดการขยายตัวในขณะที่พื้นคอนกรีตด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้เกิดการยืดตัวไม่เท่ากันทำให้พื้นโก่งและแตกร้าวตั้วฉากกับแนวแรงดัด ส่วนมาจะเป็นช่วงกลางแผ่นพื้นที่โก่ง เช่น รอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 (ก) (ค) และกลุ่มที่ 3 และ การเกิดแรงโก่งดัดนั้นในกรณีที่พื้นมีความกว้างมาก ก็สามารถเกิดแรงดัดในลักษณะตั้งฉากกับแรงโก่งดัดที่เกิดขึ้นครั้งแรกได้ ซึ่งทำให้เกิดรอยแตกร้าวในลักษณะตั้งฉากกับรอยแตกร้าวที่เกิดจากแรงโก่งดัดแรกได้ เช่น รอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 (จ)

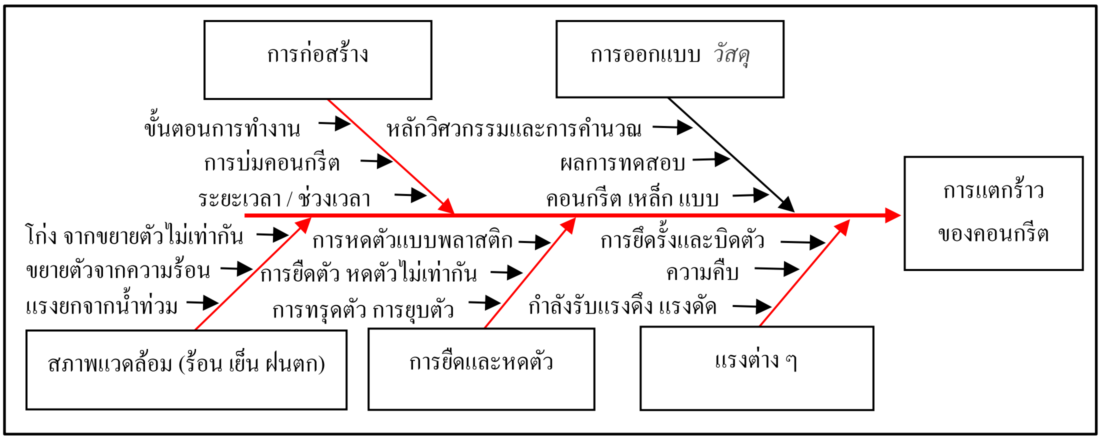
การยืดหดตัวไม่เท่ากัน และการยืดหดตัวสลับกันในเวลากลางวันกับกลางคืนจะเกิดแรงบิด แรงดัดที่บริเวณใกล้จุดยึดรั้ง (วงกลมเส้นประสีแดงทั้งสองข้าว) ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตั้งฉากกับแนวแรงบิดแรงดัด เมื่อกลางคืนอากาศเย็น จะเกิดการหดตัว ซึ่งการยืดตัว หดตัวสลับกัน (กลางวัน กลางคืน) จะเกิดการแตกร้าวใกล้กับจุดยึดรั้ง เช่น ขอบสระ จากแรงดึง แรงบิด เช่น รอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 (ง)

รูปที่ 4.19 พื้นที่ด้านข้าง ระดับพื้นสระก่อนและหลังการทดลองกักน้ำ

รูปที่ 4.19 พบว่า ขณะที่เริ่มกักน้ำเพื่อตรวจสอบการรั่วซึมของโครงสร้างสระน้ำนั้นมีน้ำซึมออกมาบริเวณข้างขอบสระด้านนอกที่ขุดดินไว้ แสดงว่ามีรอยรั่วซึมจากการก่อสร้าง ทำให้พื้นใต้สระมีน้ำขังและเปียกชื้น ซึ่งในการปฏิบัติงานได้มีการหยุดเติมน้ำและเอาน้ำออกเพื่อแก้ไขจุดรั่วซึมนั้นให้เสร็จก่อน จึงทำการเติมน้ำใหม่เพื่อทดสอบการรั่วซึมตามขั้นตอนต่อไป

4.5 ผลการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีต จากข้อมูลทั้งหมด

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น (ข้อ 4.2 – 4.4) นำมาสู่การจัดแผนผังแสดงเหตุและผล เพื่อแจกแจงสาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่



รูปที่ 4.20 การแจกแจงข้อมูลลงในแผนผังแสดงเหตุและผล ปัญหาการแตกร้าว

รูปที่ 4.20 พบว่าปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตมาจากห้ากลุ่มปัจจัยเสี่ยง อาจจะเกิดขึ้นพร้อมกัน หรือต่างเวลา ทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน หรือบางปัจจัยเสี่ยงอาจจะไม่เกิดขึ้นเลยก็ได้ เนื่องจากมีการตรวจสอบป้องกันได้ทันเวลา จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ลูกศรสีแดงคือปัจจัยเสี่ยงที่เป็นสาเหตุของการแตกร้าวครั้งนี้ จากข้อมูลดังกล่าว กำหนดให้

A = การออกแบบ

B = การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต

C = การหดตัวแบบพลาสติก

D = การทรุด หรือยุบตัวของคอนกรีต

E = การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง

F = การยืดรั้งและการบิดตัว

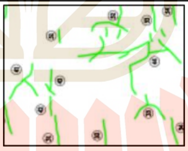
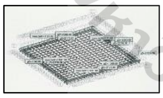
G = ความคืบของคอนกรีต

H = การยืดหดตัว จากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น)

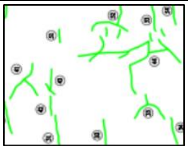
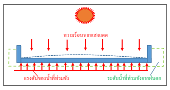
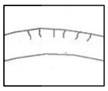
I = กำลังแรงดึง แรงดัดของคอนกรีต การแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาว

และกำหนดให้ ความรุนแรงและผลกระทบ ระดับที่ 1 = ○ ระดับ 2 = 🟡 ระดับ 3 = 🔴 เมื่อนำข้อมูลรอยแตกร้าวทั้งหมด เปรียบเทียบกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.10 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 1

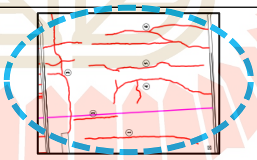
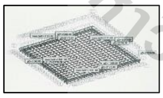
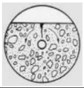
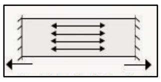
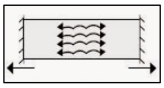
กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		1	 หมายเหตุ
A			การออกแบบผ่านการตรวจสอบและรับรองหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นองค์การมีมาตรฐานและได้การยอมรับ
B		🟡	การก่อสร้าง โดยเฉพาะการบ่มคอนกรีต ซึ่งใช้แรงงานคน อาจเกิดผิดพลาดได้ ทำให้พื้นคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป
C		🔴	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D		○	รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อตอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็ก
E		○	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง
F			

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

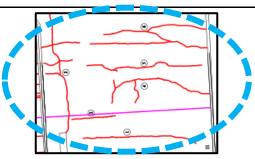
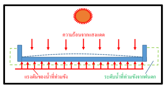
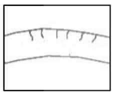
สาเหตุ / ปัจจัย \ กลุ่มที่		1	 หมายเหตุ
G			
H		🔴	อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการขยายตัว ด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างสัมผัสอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนการขยายตัวไม่เท่ากัน
I			

ตารางที่ 4.10 พบว่า กลุ่มที่ 1 สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต เป็นปัจจัยตั้งต้น (C) การหดตัวแบบพลาสติก (D) การทรุด หรือยุบตัวของคอนกรีต (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง (H) การยืดหดตัว จากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ซึ่งอุณหภูมิ คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าว และการแตกร้าวขยายตัวทั้งความกว้าว ความยาว และความลึก

ตารางที่ 4.11 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ก.

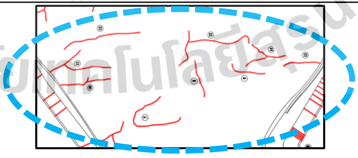
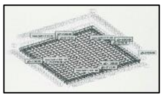
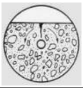
สาเหตุ / ปัจจัย \ กลุ่มที่		2 ก	 หมายเหตุ
A			การออกแบบผ่านการตรวจสอบและรับรองหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นองค์การมีมาตรฐานและได้การยอมรับ
B		🟡	การก่อสร้าง โดยเฉพาะการบ่มคอนกรีต ซึ่งใช้แรงงานคน อาจเกิดผิดพลาดได้ ทำให้พื้นคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป
C		○	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D			
E		🟡	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง
F		🔴	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน เมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

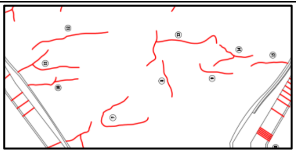
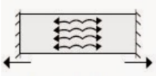
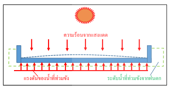
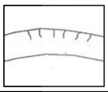
กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		2 ก	 หมายเหตุ
G		🟡	ความคืบทำให้รอยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาว และลึกมาขึ้น
H		🔴	อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการขยายตัว ด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างสัมผัสอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนการขยายตัวไม่เท่ากัน
I		🔴	เกิดจากแรงดัดตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวขวางของสระ ตั้งฉากกับแรงดัด

ตารางที่ 4.11 พบว่า กลุ่มที่ 2 ก. สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต เป็นปัจจัยตั้งต้น (C) การหดตัวแบบพลาสติก (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้านเมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว (G) ความคืบทำให้รอยร้าวกว้าง ยาว และลึกมาขึ้น (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ไม่เท่ากันทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากันของพื้น (I) แรงดัดของคอนกรีตตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดการการแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาว จึงเกิดการแตกร้าวตั้งฉากกับแนวแรงดัด ซึ่งอุณหภูมิ คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าว และการแตกร้าวขยายตัวทั้งความกว้าง ความยาว และความลึก

ตารางที่ 4.12 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ข.

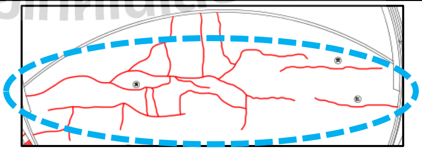
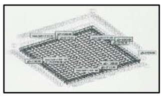
กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		2 ข	 หมายเหตุ
A			การออกแบบผ่านการตรวจสอบและรับรองหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นองค์การมีมาตรฐานและได้การยอมรับ
B		○	การก่อสร้าง โดยเฉพาะการบ่มคอนกรีต ซึ่งใช้แรงงานคน อาจเกิดผิดพลาดได้ ทำให้พื้นคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป
C		🔴	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D		○	รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อตอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็ก

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

สาเหตุ / ปัจจัย \ กลุ่มที่		2 ข	 หมายเหตุ
E		🟡	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง
F		○	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน เมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว
G		🟡	ความคืบทำให้รอยร้าวเกิดการขยายตัว ยาว กว้าง และลึกมาขึ้น
H		🔴	อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการขยายตัว ด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างสัมผัสอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนการขยายตัวไม่เท่ากัน
I			

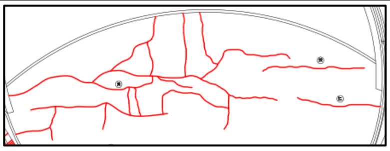
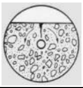
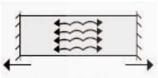
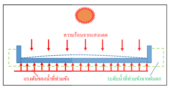
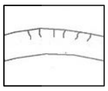
ตารางที่ 4.12 พบว่า กลุ่มที่ 2 ข. สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต เป็นปัจจัยตั้งต้น (C) การหดตัวแบบพลาสติก (D) การทรุด หรือยุบตัวของคอนกรีต (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว เมื่อพื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน แรงบิดทำให้เกิดการแตกร้าว (H) การยืดหดตัว จากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ซึ่งอุณหภูมิ คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าว และการแตกร้าวขยายตัวทั้งความกว้าว ความยาว และความลึก

ตารางที่ 4.13 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ค.

สาเหตุ / ปัจจัย \ กลุ่มที่		2 ค	 หมายเหตุ
A			การออกแบบผ่านการตรวจสอบและรับรองหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นองค์การมีมาตรฐานและได้การยอมรับ
B		○	การก่อสร้าง โดยเฉพาะการบ่มคอนกรีต ซึ่งใช้แรงงานคน อาจเกิดผิดพลาดได้ ทำให้พื้นคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป
C		○	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว

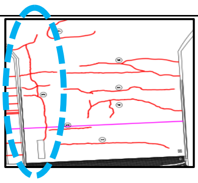
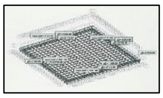
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

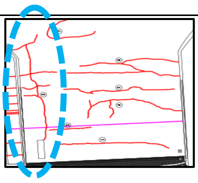
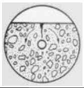
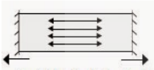
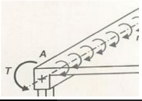
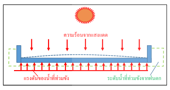
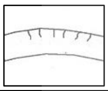
กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		2 ค	 หมายเหตุ
D			
E		●	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง
F		●	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน เมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว
G		●	ความคืบทำให้รอยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาว และลึกมาขึ้น
H		●	อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการขยายตัว ด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างสัมผัสอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนการขยายตัวไม่เท่ากัน
I		●	เกิดจากแรงดัดตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวขวางของสระ ตั้งฉากกับแรงดัด

ตารางที่ 4.13 พบว่า กลุ่มที่ 2 ค. สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต เป็นปัจจัยตั้งต้น (C) การหดตัวแบบพลาสติก (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้านเมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว (G) ความคืบทำให้รอยร้าวกว้าง ยาว และลึกมาขึ้น (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ไม่เท่ากันทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากันของพื้น (I) แรงดัดของคอนกรีตตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดการการแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาวจึงเกิดการแตกร้าวตั้งฉากกับแนวแรงดัด ซึ่งอุณหภูมิ คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าว และการแตกร้าวขยายตัวทั้งความกว้าว ความยาว และความลึก

ตารางที่ 4.14 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 ง.

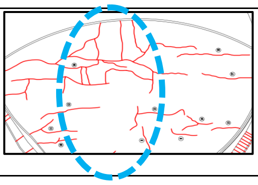
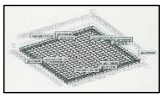
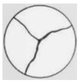
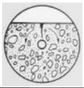
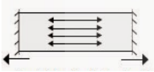
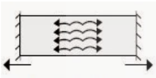
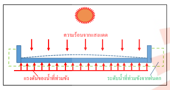
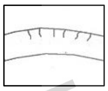
กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		2 ง (แนวตั้ง)	 หมายเหตุ
A			การออกแบบผ่านการตรวจสอบและรับรองหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นองค์การมีมาตรฐานและได้การยอมรับ

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

สาเหตุ / ปัจจัย \ กลุ่มที่		2 ง (แนวตั้ง)	 หมายเหตุ
B		○	การก่อสร้าง โดยเฉพาะการบ่มคอนกรีต ซึ่งใช้แรงงานคน อาจเกิดผิดพลาดได้ ทำให้พื้นคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป
C		○	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D			
E		🟡	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง
F		🔴	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน เมื่อเกิดแรงบิดจากการยึดหดตัวสลับกันจึงเกิดการแตกร้าวใกล้ๆจุดยึดรั้ง
G		🟡	ความคืบทำให้รอยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาว และลึกมาขึ้น
H		🔴	อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการขยายตัว การยืด และหดตัวสลับกัน ทำให้เกิดรอยแตกร้าวใกล้ๆและขนานกับขอบสระ
I			

ตารางที่ 4.14 พบว่า กลุ่มที่ 2 ง. สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต เป็นปัจจัยตั้งต้น (C) การหดตัวแบบพลาสติก (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว เมื่อพื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน แรงบิดทำให้เกิดการแตกร้าว (H) การยืดหดตัว จากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น)ไม่เท่ากันทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากันของพื้น ซึ่งอุณหภูมิ คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าว และการแตกร้าวขยายตัวทั้งความกว้าง ความยาว และความลึก

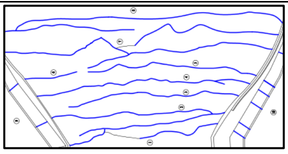
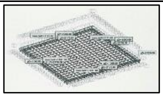
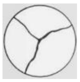
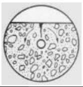
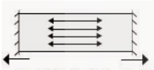
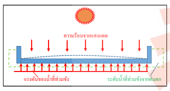
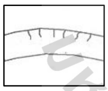
ตารางที่ 4.15 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 จ.

กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		2 จ (แนวตั้ง)	 หมายเหตุ
A			การออกแบบผ่านการตรวจสอบและรับรองหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นองค์การมีมาตรฐานและได้การยอมรับ
B		○	การก่อสร้าง โดยเฉพาะการบ่มคอนกรีต ซึ่งใช้แรงงานคน อาจเกิดผิดพลาดได้ ทำให้พื้นคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป
C		○	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D			
E		○	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง
F		🟡	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน เมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว
G		🟡	ความคืบทำให้รอยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาว และลึกมาขึ้น
H		🔴	อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการขยายตัว ด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างสัมผัสอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนการขยายตัวไม่เท่ากัน
I		🔴	เกิดจากแรงดัดตามแนวขวางของสระ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวของสระ ตั้งฉากกับแรงดัด

ตารางที่ 4.15 พบว่า กลุ่มที่ 2 จ. สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต เป็นปัจจัยตั้งต้น (C) การหดตัวแบบพลาสติก (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้านเมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว (G) ความคืบทำให้รอยร้าวกว้าง ยาว และลึกมาขึ้น (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น)ไม่เท่ากันทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากันของพื้น (I) แรงดัดของคอนกรีตตามแนวขวางของสระ ทำให้เกิดการการแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะขวาง จึงเกิดการแตกร้าวตามแนวยาว ตั้งฉากกับแนวแรงดัด ซึ่งอุณหภูมิ คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าว และการแตกร้าวขยายตัวทั้งความกว้าง ความยาว และความลึก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.16 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 3

สาเหตุ / ปัจจัย \ กลุ่มที่		3	 หมายเหตุ
A			การออกแบบผ่านการตรวจสอบและรับรองหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นองค์การมีมาตรฐานและได้การยอมรับ
B		○	การก่อสร้าง โดยเฉพาะการบ่มคอนกรีต ซึ่งใช้แรงงานคน อาจเกิดผิดพลาดได้ ทำให้พื้นคอนกรีตสูญเสียน้ำเร็วเกินไป
C		○	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D			
E		●	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง
F		●	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้าน เมื่อเกิดแรงดึง แรงบิดต่างๆ จึงเกิดการแตกร้าว
G		●	ความคืบทำให้รอยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาว และลึกมาขึ้น
H		●	อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการขยายตัว ด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างสัมผัสอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนการขยายตัวไม่เท่ากัน
I		●	เกิดจากแรงดัดตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวขวางของสระ ตั้งฉากกับแรงดัด

ตารางที่ 4.16 พบว่า กลุ่มที่ 3 สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) การก่อสร้างและการบ่มคอนกรีต เป็นปัจจัยตั้งต้น (C) การหดตัวแบบพลาสติก (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง และเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตขอบสระทั้งสองด้านเมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว (G) ความคืบทำให้รอยร้าวกว้าง ยาว และลึกมาขึ้น (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ไม่เท่ากันทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากันของพื้น (I) แรงดัดของคอนกรีตตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดการการแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาวจึงเกิดการแตกร้าวตามแนวขวาง ตั้งฉากกับแนวแรงดัด ซึ่งอุณหภูมิ คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าว และการแตกร้าวขยายตัวทั้งความกว้าว ความยาว และความลึก

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่

สาเหตุปัญหาการแตกร้าวทั้งสามกลุ่มดังกล่าวพบว่า กระบวนการก่อสร้างเป็นปัจจัยตั้งต้นที่ก่อให้เกิดการแตกร้าว การหดตัวแบบพลาสติก การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง แรงต่าง ๆ และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่ตามมา ซึ่งอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) คือปัจจัยสำคัญที่ทำให้รอยแตกร้าวขยายมากขึ้นทั้งความกว้าง ความยาว และความลึก ผลการศึกษาพบว่า รอยแตกร้าวที่ปรากฏสามารถแบ่งแยกออกเป็น 3 กลุ่ม ตั้งแต่ขั้นตอนการสำรวจด้วยวิธีพินิจ และการวัดรอยแตกร้าว เมื่อเจาะสำรวจและวัดความลึกของรอยแตกร้าว แล้วทำการวิเคราะห์สาเหตุการแตกร้าวจากความสัมพันธ์ของความกว้าง ความยาว และความลึก ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่

กลุ่มที่ / สาเหตุ	1	2 ก.	2 ข.	2 ค.	2 ง.	2 จ.	3
A = การออกแบบ							
B = การก่อสร้าง	🟡	🟡	⚪	⚪	⚪	⚪	⚪
C = หดตัวแบบพลาสติก	🔴	⚪	🔴	⚪	⚪	⚪	⚪
D = การทรุด ยุบตัว	⚪		⚪				
E = หดตัวเมื่อแห้ง	⚪	🟡	🟡	🟡	🟡	⚪	🟡
F = การยึดรั้ง บิดตัว		🔴	⚪	🟡	🔴	🟡	🟡
G = ความคืบ		🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡
H = การยืดหดตัว t	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴
I = แรงดึง แรงดัด		🔴		🔴		🔴	🔴

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางสรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ โดยกำหนดให้ วงกลม พื้นสีขาวขอบสีดำ คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าว ระดับที่ 1 (เล็กน้อยถึงปานกลาง) สีเหลือง คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าว ระดับที่ 2 (ปานกลางถึงรุนแรง) สีแดง คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าว ระดับที่ 3 (รุนแรงถึงรุนแรงมาก) ดังตารางที่ 5.1 และจากผลกาศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่ ด้วยวิธีพินิจ ดังที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นสามแฉกขนาดเล็ก มีความกว้าง ความลึก และความยาวเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอีกสองกลุ่ม มีจำนวนมากกระจายเต็มพื้นที่ ซึ่งสาเหตุการแตกร้าวมาจากการหดตัวแบบพลาสติก การยืดหดตัว โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก

กลุ่มที่ 2 รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นสามแฉกขนาดใหญ่ขึ้นมาก มีความกว้าง ความลึก และความยาวมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 1 มีจำนวนมากกระจายเต็มพื้นที่ และสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 5 กลุ่มย่อย ตามรูปที่ 4.5 ดังนี้

กลุ่มย่อย ก. มีลักษณะสามแฉกและเส้นอิสระวางในแนวขวาง อยู่ช่วงท้ายสระหรือส่วนที่น้ำลึกสุด พบว่าสาเหตุการแตกร้าวมาจากการหดตัวแบบพลาสติก การยืดหดตัว การโก่งดัดตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวขวางสระ โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก

กลุ่มย่อย ข. มีลักษณะสามแฉกและเส้นอิสระวางอยู่ช่วงกลางสระ กระจายตัวห่าง ๆ มีความหนาแน่นน้อยที่สุดในจำนวนกลุ่มย่อย ก. ข. ค. พบว่าสาเหตุการแตกร้าวมาจากการหดตัวแบบพลาสติก การยืดหดตัว โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก

กลุ่มย่อย ค. มีลักษณะเป็นเส้นยาววางตามแนวขวาง และมีเส้นแยกเป็นสามแฉกต่อเนื่องกับกลุ่มย่อย จ. พบว่าสาเหตุการแตกร้าวมาจากการหดตัวแบบพลาสติก การยืดหดตัว การโก่งดัดตามแนวยาวของสระ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวขวางสระ โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก

กลุ่มย่อย จ. มีเส้นที่แยกออกมาเป็นสามแฉกยาวออกไปตั้งฉากกับเส้นอื่น ๆ วางตามแนวยาวของสระ อยู่ช่วงกลางระหว่างขอบสระด้านซ้ายและขวา ใกล้กับร่องตัดระบายน้ำกลับ พบว่าสาเหตุการแตกร้าวมาจากการหดตัวแบบพลาสติก การยืดหดตัว การโก่งดัดตามแนวขวางของสระ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวของสระ โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก

กลุ่มย่อย ง. มีรอยแตกร้าววางตามแนวยาวตามผนังสระ และห่างจากผนังฝั่งซ้าย 2-4 เมตร พบว่าสาเหตุปัญหาการแตกร้าวมาจาก แรงบิด แรงดัด ที่เกิดจากการยืดหดตัวสลับกัน จึงเกิดการแตกร้าวใกล้ตำแหน่งยึดรั้ง โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก

กลุ่มที่ 3 รอยแตกร้าวมีขนาดกว้าง เป็นเส้นยาว และลึกมาก (บางจุดทะลุพื้น) ลักษณะเส้นตามแนวขวาง ยาวจากขอบสระด้านซ้ายไปด้านขวาและเกาะกลุ่มอยู่ช่วงกลางของสระ เมื่อทำการเปรียบเทียบรอยแตกร้าวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วพบว่า สาเหตุการแตกกร้าวมาจากการหดตัวแบบพลาสติก และกลุ่มนี้รอยแตกร้าวขยายตัวมากขึ้นจากการโก่งตัวของแผ่นพื้น ซึ่งเกิดจากการขยายตัวไม่เท่ากัน แรงดึง แรงบิด แรงยก ทำให้รอยร้าวขยายกว้าง ยาวมาก และลึกมาก เกาะกลุ่มตามลักษณะการโก่งตัวบริเวณช่วงกลาง ๆ ของสระสวนน้ำ โดยความร้อนเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้รอยร้าวขยายตัวมากขึ้นเช่นกัน

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

5.2.1 การได้มาของข้อมูลหลักฐานต่าง ๆ มีข้อจำกัด เนื่องจากเป็นการสืบค้นหลักฐานจากบันทึกการทำงานย้อนหลังเท่านั้น

5.2.2 การพิสูจน์และการตรวจสอบรอยแตกร้าวเพิ่มเติมใหม่ทำได้ยากขึ้น เนื่องจากสระสวนน้ำเปิดให้บริการลูกค้าแล้ว

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อคิดเห็นและเสนอแนะ เพื่อป้องกัน และลดปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสระสวนน้ำขนาดใหญ่

1 การเทคอนกรีตโครงสร้างขนาดใหญ่ทั้งผืนโดยไม่มีรอยต่อ ควรดำเนินการอย่างต่อเนื่องจนเสร็จ และเป็นไปตามมาตรฐานตามหลักวิศวกรรม

2 การเทคอนกรีตควรหลีกเหลี่ยงขณะที่อุณหภูมิร้อนจัด และฝนตก

3 ควรศึกษาและนำเทคนิคการลดอุณหภูมิในคอนกรีตที่เหมาะสมกับโครงการมาใช้

4 หลังจากเทคอนกรีตแล้วควรบ่มคอนกรีตตามหลักวิศวกรรมอย่างเคร่งคัด

5 ควรติดตั้งวัสดุกรองแสง เพื่อลดอุณหภูมิตั้งแต่เริ่มเทคอนกรีตจนกว่างานจะเสร็จสมบูรณ์ (ทดลองใช้งาน)

6 ควรทำคันกันน้ำ เพื่อบังคับน้ำไม่ให้ไหลเข้าในพื้นที่ก่อสร้างสระ (ฝนตกน้ำท่วม)

7 ตรวจสอบ ควบคุม บันทึก การทำงานทุกขั้นตอนอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา

8 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นทั้งหมดสามารถอุดด้วยวัสดุที่มีคุณภาพในการยึดเกาะและป้องกันน้ำซึมผ่าน เสร็จแล้วสามารถใช้งานได้ตามปกติ

9 ต้องตรวจเช็ครอยแตกร้าวที่ทำการซ่อมเสร็จแล้วเป็นระยะๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : www.youth.ftpi.or.th. [วันที่ 10 เมษายน 2560]

ชัชวาล เศรษฐบุตร. (2535). **คอนกรีตเทคโนโลยี.** ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร.

ธเนศ วีระศิริ. (2560). **การแก้ไขอาคารทรุด การยก และการย้ายอาคาร.** ประชุมวิชาการ. ณ โรแมนติค รีสอร์ท & สปา เขาใหญ่. นครราชสีมา : ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปัณฑ์ ปานถาวร. (ม.ป.ป.). **เทถนนแล้วทำไมแตกร้าว.** กรุงเทพมหานคร : วารสารคอนกรีต

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ภาควิชาวิศวกรรโยธา. (ม.ป.ป.). **การแตกร้าวของคอนกรีต.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.phigroup.co.uk/tags/concrete-panel/concrete-panel. [วันที่ 15 เมษายน 2560]

วินิต ช่อวิเชียร. (2529). **คอนกรีตเทคโนโลยี.** ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร.

สืบศักดิ์ พรมบุญ ชูเลิศ จิตเจือจุน. (2550). **การตรวจสอบเบื้องต้นต่อความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีต.** ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ. ครั้งที่ 12. โรงแรมอมรินทร์ลากูน. พิษณุโลก.

เอส ซี บี เอ็นจิเนียริ่ง บริษัทจำกัด. (2559). **การสำรวจสระสวนน้ำกรีนเนอรี่.** กรุงเทพมหานคร

อภินันท์ บัณฑิตนุกูล. **การตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตโครงสร้างโดยวิธีการเจาะแก่น.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http//cpacacademy.com/index.php?tpid=0053.

ACI 224R-90 : **Control of Cracking in Concrete Structures**, American Concrete Institute.

Burland, J.B., Broms, B.B., and DeMello, V.F.B. (1977). **Behavior of Foundation and Structures : State of The Art Report.,** Proc. Of The 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, 459-546.

Cr. Concrete Technology C-PAC. ม.ป.ป. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://xn--12cfn5csu9and2eb2ali6g9d.blogspot.com/2014/11/blog-post_14.html [วันที่ 15 เมษายน 2560]

Mongkol Jirawacharadet. **Reinforced Concrete Design.** ม.ป.ป. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : www.sut.ac.th. [วันที่ 10 เมษายน 2560]

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

E.I.T. STANDARD 1008-38 (STRENG DESIGN METHOD : SDM)

METERAIL PROPERTIES AND SLAB GEOMETRY :

- Concrete strength	, fc' (Cube)	=	240	ksc.	(β_1 = 0.85)	
- Steel reinforce strength	, fy	=	2,400	ksc.	(for round bar)	
		=	4,000	ksc.	(for deform bar)	
- Flexural strength		=	441	psi		
- Modulus of subgrade reaction	, K	=	200	pound/cm.^{3}		
- The allowble extreme fiber stress , S		=	220	psi		
- The modulus of elasticity	, E	=	3327160.70	psi.		

DESIGN DATA BASE :

Live load	, LL	=	2000	kg./m.^{2} (=	409.63	pounds /ft.^{2})	
Truck	, W	=	35000	kg. (=	77161	pound = 15 kip/Axail)	
Maximum operate per day		=	0				
Design index		=	0				

DESIGN THE THICKNESS OF SLAB :

From design chart h = 10 in

Check slab thickness LL' = $257.876S\sqrt{\frac{Kh}{E}}$

= 1393.11 pounds /ft.^{2} > LL ____________ *OK*

Use slab Thickness h = **10** in (= **25.00** cm.)

DESIGN THE REINFORCMENT :

As = Ams + Att >= (Ast = 0.0025bh)

Maximum moment (from computer analysis) Mmax = 1639 kg.-m./m. (Mxx + [Mxy])

Maximum tention (from computer analysis) Tmax = 2176 kg./m. (T)

Ru = $M_u/(\phi bd^2)$ = 4.55 ksc.

ρ = $\frac{0.85f_c'}{f_y}(1-\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85fc'}})$ = 0.0012

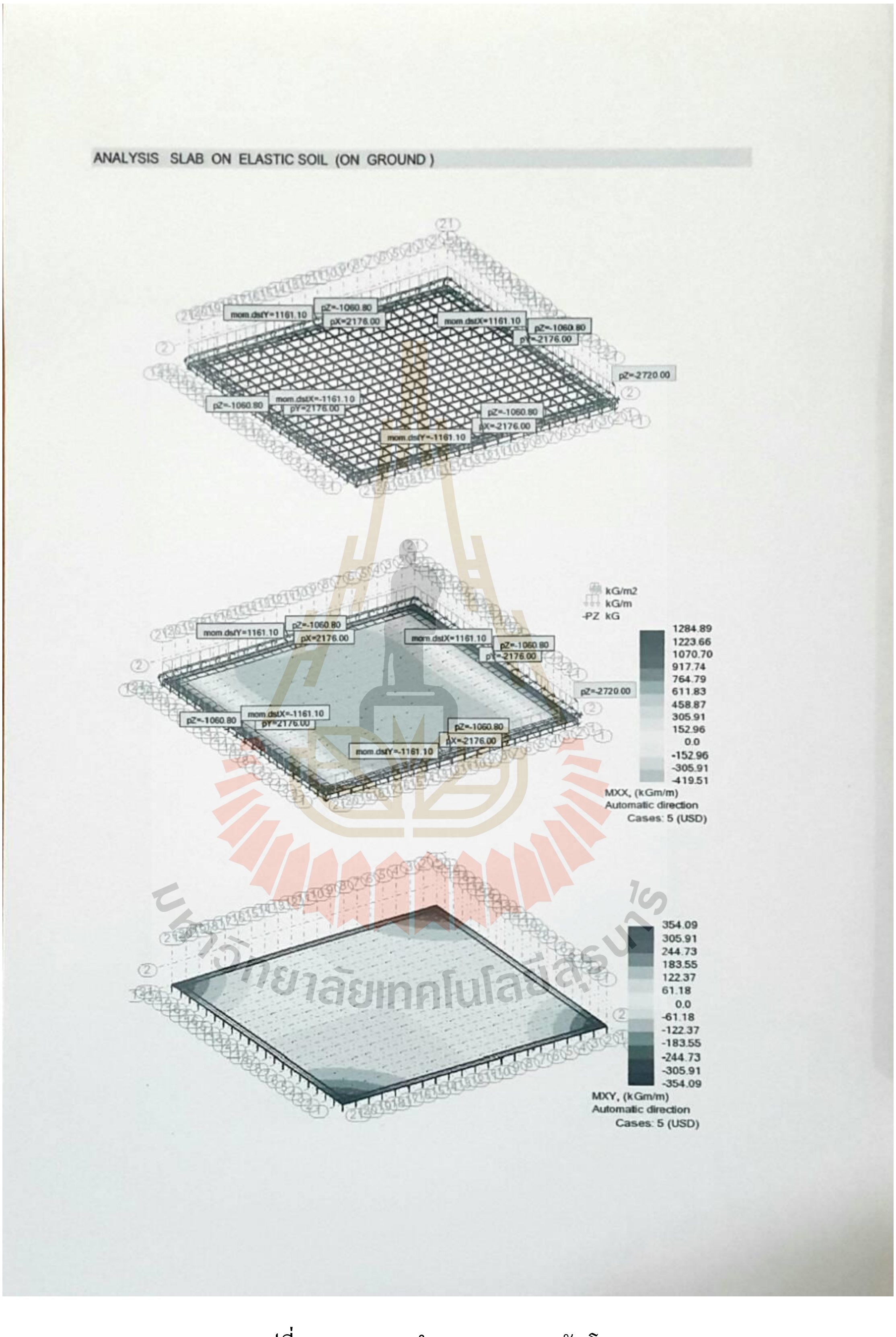
Ams	=	0.0012 x 100 x 20.0 x 1.33	=	3.06	sq.cm. /m.	]	3.666	sq.cm. /m.
Att	=	T/ (0.9fy) = 2176.00 (/ 0.9x4000)	=	0.604	sq.cm. /m.			
Ast	=	0.0018 bh	=	4.5	sq.cm. /m.			

USE DB 12 mm. @ 0.20 m. # (Two Layers / T&B) ; As = 5.65 sq.cm. /m.

END DESIGN SLAB ON GROUND

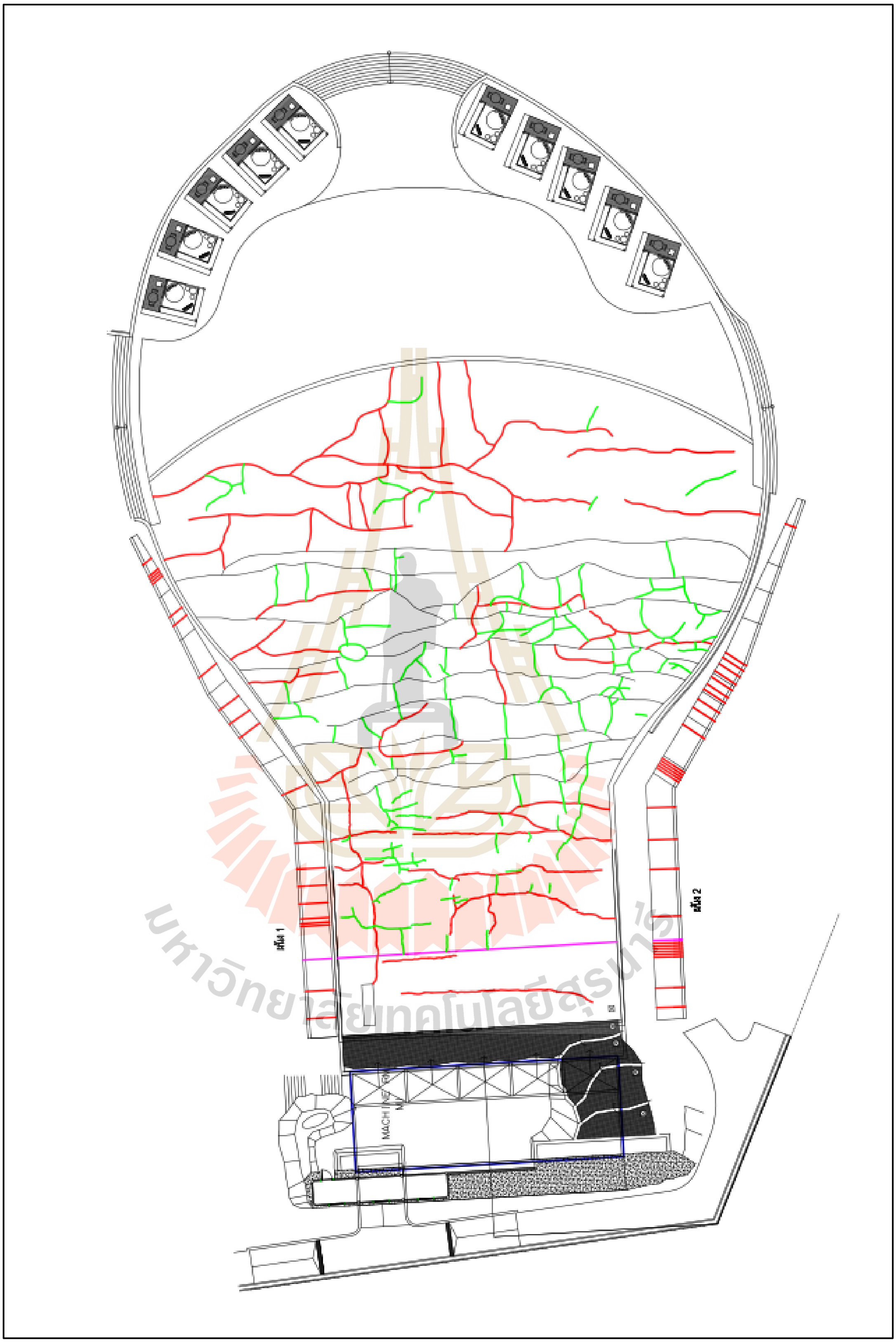
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.1 รายการคำนวณพื้นสระสวนน้ำ



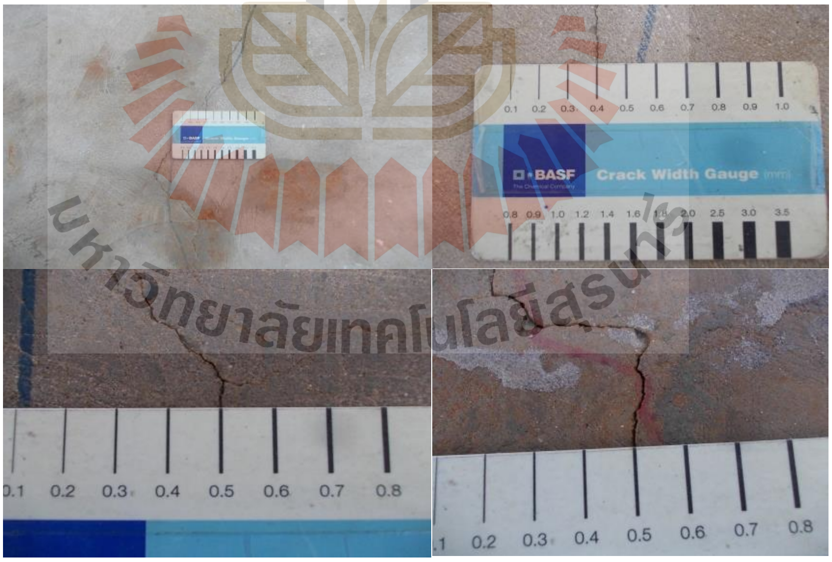
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.2 รายการคำนวณ และการรับโหลด



รูปที่ ก.3 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวทั้ง 3 กลุ่ม ลงในผังสระน้ำ

รูปที่ ก.4 สระสวนน้ำก่อนทำการสำรวจรอยแตกร้าว



รูปที่ ก.5 เครื่องมือวัด และการวัดความกว้างของรอยแตกร้าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.6 แท่งคอนกรีตที่เจาะสำสวจ

รูปที่ ก.7 ลักษณะการเจาะสำรวจรอยแตกร้าว

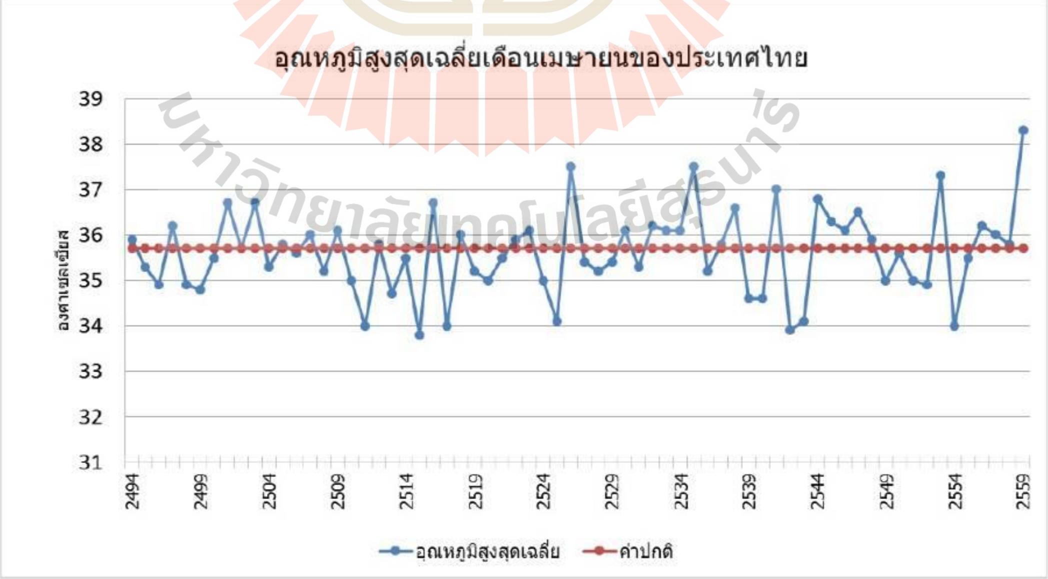
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิย้อนหลังเดือนเมษายน 2559 กรมอุตุนิยมวิทยา

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดในรอบหลายทศวรรษ พบว่า อุณหภูมิสูงที่สุดในเดือนเมษายน 2559
ในภาคเหนือซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงที่สุดของประเทศไทย ทำลายสถิติเดิมในรอบ 66 ปี
(ตั้งแต่มีการบันทึกข้อมูลในปี พ.ศ.2494) และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของเดือนเมษายน 2559
38.3 องศาเซลเซียส ยังสูงที่สุดเท่าที่มีการบันทึกมาเช่นกัน

สถิติอุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยเดือนเมษายน 2559 เปรียบเทียบกับสถิติในรอบทศวรรษ

ภาค	พ.ศ.2559	รอบ 10 ปี [1]		รอบ 20 ปี [2]		รอบ 30 ปี [3]		รอบ 40 ปี [4]		รอบ 50 ปี [5]		รอบ 60 ปี [6]		รอบ 66 ปี
		° ซ	พ.ศ.	° ซ	พ.ศ.	° ซ	พ.ศ.	° ซ	พ.ศ.	° ซ	พ.ศ.	° ซ	พ.ศ.	(พ.ศ.2494-2559)
เหนือ	44.6	44.0	2550	44.0	2550	44.0	2550	44.0	2550	44.0	2550	44.5	2503	44.6
ตะวันออกเฉียงเหนือ	42.7	43.0	2550	43.3	2548	43.5	2535	43.5	2535	43.5	2535	43.9	2503	43.9
กลาง	43.3	43.0	2553	43.0	2553/2541	43.5	2535	43.5	2535/2526	43.5	2535/2526	43.5	2535/2526/2501	43.5
ตะวันออก	41.4	41.4	2558	42.2	2541	42.9	2533	42.9	2533	42.9	2533	42.9	2533	42.9
ใต้ฝั่งตะวันออก	40.6	41.8	2558	41.8	2558	41.8	2558	41.8	2558	41.2	2541	41.2	2541	41.8
ใต้ฝั่งตะวันตก	40.0	38.6	2558	40.3	2541	40.3	2541/2535	40.3	2541/2535	40.3	2541/2535	40.3	2541/2535	40.3

หมายเหตุ : [1] พ.ศ.2549 - 2558 [2] พ.ศ.2539 - 2558 [3] พ.ศ.2529 - 2558
[4] พ.ศ.2519 - 2558 [5] พ.ศ.2509 - 2558 [6] พ.ศ.2499 - 2558



ที่มากรมอุตุนิยมวิทยา http://www.tmd.go.th/
ปีนี้ พวกเรา เป็นหน้าประวัติศาสตร์ไปแล้วนะครับ ถ้ามีใครพูดว่าปีไหน ร้อนยังไงเราก็ตอบได้เต็มใจ ว่าไม่เท่าปี 59 แน่นอน

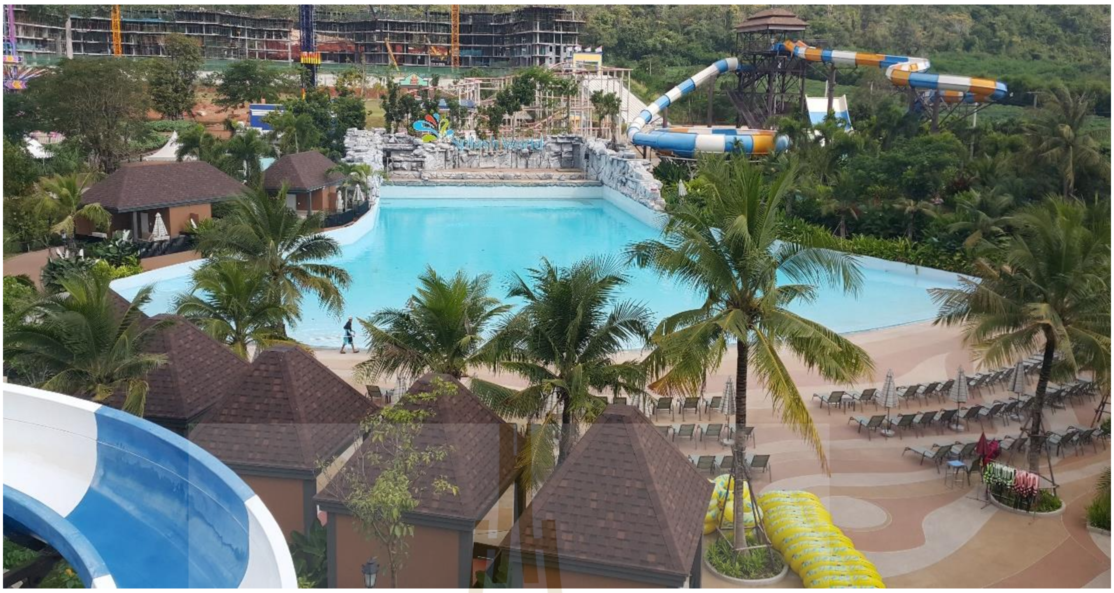
รูปที่ ก.8 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเดือนเมษายน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.9 รอยแตกร้าวที่ทำการซ่อมแซม

รูปที่ ก.10 รอยแตกร้าวที่ทำการซ่อมแซม และการหาวัสดุกรองแสงเพื่อลดอุณหภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.11 สระสวนน้ำหลังแก้ไขปัญหาเสร็จเตรียมเปิดให้บริการ

รูปที่ ก.12 สระสวนน้ำเปิดให้บริการ

ประวัติผู้เขียน

นายเรืองเดช ไทยเรือง เกิดเมื่อวันอังคารที่ 20 ตุลาคม 2507 ที่อยู่ตามทะเบียนบ้าน 84 ม.4 ต.โคกกระชาย อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา 30250 ที่อยู่ปัจจุบัน 26/2 ม.5 ถ.ธนะรัชต์ ต.หมูสี อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา 30130 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (มศ.3) จาก โรงเรียนแก้งคร้อวิทยา อ.แก้งคร้อ จ.ชัยภูมิ จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง จากโรงเรียนธุรกิจอาชีวะ จ.ขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2527 จบการศึกษาระดับประกาศณียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคนิคมวกเหล็ก จ.สระบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2552 และจบการศึกษาระดับปริญญาตรีครุศาสตร์บัณฑิต (ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต) สาขาการจัดการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี เมื่อปี พ.ศ. 2557 เริ่มทำงานบริษัทเอกชน (ตั้งแต่ 2524 -2548) ฝ่ายช่าง และฝ่ายซ่อมบำรุงมาโดยตลอด ทั้งงานโรงแรม ห้างสรรพสินค้า ตลาดกลางค้าส่งขนาดใหญ่ บริษัทรับเหมาก่อสร้าง และเปิดกิจการส่วนตัว ล่าสุดปี 2548 ย้ายมาทำงานที่โรงแรมเดอะกรีนเนอรี่ รีสอร์ท เขาใหญ่ เริ่มจากตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม จนถึงปัจจุบัน ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม และผู้จัดการฝ่ายโครงการ (ก่อสร้าง) และโครงการพิเศษ ซึ่งปัจจุบันได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี