การศึกษารอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีต ภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก ด้วยวิธีพินิจ

นางสาวเยาวลักษณ์ ส่วนเสน่ห์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

การศึกษารอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีต ภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก ด้วยวิธีพินิจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(รศ. ดร.ขวัญกมล ดอนขวา)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.มงคล จิรวัชรเดช)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
กรรมการ

_____

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เยาวลักษณ์ ส่วนเสน่ห์ : การศึกษารอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีต ภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก ด้วยวิธีพินิจ (VISUAL INSPECTION OF CONCRETE CRACKS IN MRT RATCHADAPISEK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวัชรเดช

สถานีรัชดาภิเษก เป็นหนึ่งในสถานีของรถไฟฟ้าใต้ดิน และเป็นหนึ่งในสถานีของเส้นทางรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล พื้นที่สถานี กว้าง 23 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 19 เมตร จากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง (Station with Central Platform) การก่อสร้างได้มีการออกแบบตามหลักวิศวกรรม การควบคุมงานก่อสร้าง และการตรวจรับงานเป็นไปตามรูปแบบที่กำหนดตามหลักวิชาการที่ได้มาตรฐาน เริ่มเปิดใช้บริการ เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2547 หลังการใช้งานเป็นระยะเวลา 14 ปี ปัจจุบันสถานีรัชดาภิเษกได้รับความเสียหายจากการแตกร้าวของฝ้าเพดานคอนกรีต มีความเสียหายหลายจุด จากผลการศึกษานั้นพบว่า รอยร้าวเกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ โดยเกิดสนิมในเหล็กเสริม มีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตเป็นบริเวณกว้างและเป็นหย่อมๆ มีลักษณะเป็นลายงามีทิศทางของรอยแตกไม่แน่นอน บางส่วนกะเทาะหลุดล่อนออกจนเห็นเหล็กสนิม เช่น รอยร้าวของคอนกรีตที่บริเวณท้องพื้นตามแนวของเหล็กเสริม เกิดการกะเทาะหลุดล่อนของคอนกรีตที่เสาจนเห็นเหล็กเสริม รอยร้าวทั้งหมดที่เกิดขึ้นสามารถอุดประสานด้วยวัสดุที่มีคุณภาพเหมาะสม การแก้ไขนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับพื้นที่อื่น ที่เกิดปัญหาลักษณะเดียวกันได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา <u>การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค</u> ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

YUAWALAK SUANSANE : VISUAL INSPECTION OF CONCRETE CRACKS IN MRT RATCHADAPISEK. ADVISORS : ASST. PROF. MONGKOL JIRAWATCHADEJ, Ph.D.

Ratchadapisak Station is one of subway station or MRT which run on Ratchamonkol line. The width of the station is 23 meters, the length is 226 meters, and the depth is 19 meters. Station with central platform is type of this station. Its design was based on engineering. For control and inspection also was based on standard. After establishment about 14 years ago since 3 July 2004, the station was wracked by concrete cracking at ceiling. There are many damage points that are found by cracking. The results revealed that cracking was happened from dilapidated materials, that include rusted metal. There are many fractures that are found on surface, and the quality of fractures are sesame breaking. Some part of surface was broken by cracking such as floor cracking. It was crack on direction of metal. All of fractures can be fixed by using welding material. This improvement is primary process for any problems of cracking.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Construction and Infrastructure Management Student's Signature_____
Academic Year 2017 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานในครั้งนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวัชรเดช ที่ได้เสียสละเวลาอันทรงคุณค่าของท่านเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางต่างๆ ให้ความใส่ใจทุกรายละเอียด ถ่ายทอดความรู้และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้การจัดทำโครงงานในครั้งนี้สัมฤทธิ์ผล ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ผู้ศึกษาจะนำความรู้ และประสบการณ์ที่มีค่า ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการทำงานของผู้ศึกษาต่อไป

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ เพื่อนๆนักศึกษา CM-SUT รุ่น 15 ทุกคน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือในทุกเรื่อง รวมถึงครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ห่วงใย และคอยสนับสนุนทุกอย่างตลอดการศึกษา ทำให้ผู้จัดทำโครงการมีกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

เยาวลักษณ์ ส่วนเสน่ห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 2

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 การตรวจสอบด้านความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร 3

2.1.1 หลักการทางวิศวกรรมที่ดี 3

2.1.2 อัตราส่วนความปลอดภัย 4

2.1.3 อายุใช้งานของอาคาร 5

2.1.4 ขั้นตอนการออกแบบอาคาร 5

2.1.5 ขั้นขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร 6

2.1.6 ขั้นตอนการใช้อาคาร 6

2.1.7 การตรวจสภาพและบำรุงรักษาอาคาร 6

2.1.8 น้ำหนักบรรทุก 6

2.1.9 พฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 7

2.1.10 พฤติกรรมโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ 8

2.1.11 การบรรทุกน้ำหนักเกิน 8

2.1.12 การออกแบบน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าความต้องการ 8

2.1.13 การดัดแปลงหรือการต่อเติมอาคาร 9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1.14 การก่อสร้างที่ผิดแบบหรือคุณภาพต่ำ 9
2.1.15 การสูญเสียเสถียรภาพของโครงสร้าง 10
2.1.16 การวิบัติของโครงสร้างเนื่องจากเพลิงไหม้ 10
2.1.17 การกัดกร่อนและการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง 11
2.2 การหดตัวของคอนกรีต 13
2.2.1 การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น 13
2.2.2 การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogenous Shrinkage) 13
2.2.3 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) 14
2.2.4 การแตกร้าวเนื่องจากคาร์บอเนชั่น (Carbonation Shrinkage) 15
2.3 การแตกร้าวในคอนกรีต 16
2.3.1 การแตกร้าวจากความบกพร่องของโครงสร้าง (Structural Crack) 16
2.3.2 การแตกร้าวที่ไม่ได้เกิดจากโครงสร้าง (Non Structural Crack) 17
2.4 ชนิดของรอยร้าว 24
2.4.1 รอยร้าวที่เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ 24
2.4.2 กรอยร้าวที่เกิดจากโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำลัง 24
2.4.3 รอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานราก 24
2.5 ลักษณะของรอยร้าว 24
2.5.1 รอยร้าวที่ผนังอิฐก่อ 24
2.5.2 รอยร้าวที่คานคอนกรีต 29
2.5.3 รอยร้าวที่เสา 33
2.5.4 รอยร้าวที่พื้น 38
2.6 การตรวจสอบความกว้างของรอยร้าว 43
2.7 การตรวจสอบรอยแตกร้าว 48
2.8 การสำรวจและรูปแบบที่ใช้ 49
2.9 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต 51
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 53
3 วิธีดำเนินการศึกษา 57
3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย 57
3.1.1 การสำรวจรอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ (visual inspection) 57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.2 การวัดความกว้าง ความยาวของรอยแตกร้าว 58
3.1.3 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลที่ได้มา 60
3.1.4 แนวทางการแก้ไขรอยร้าวที่เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ 60
3.2 ขอบเขตของงานวิจัย 60
4 ผลการสำรวจ 61
4.1 ผลสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) และการวัดรอยแตกร้าว 62
4.2 การวัดความกว้าง ความยาวของรอยแตกร้าว 64
4.3 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลที่ได้มา 75
4.4 แนวทางการแก้ไขรอยร้าวที่เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ 75
4.5 การเลือกใช้วัสดุสำหรับซ่อมแซมรอยแตกร้าว 77
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 84
5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของเพดานคอนกรีตภายใน รถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก 84
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน 85
5.3 ข้อเสนอแนะ 85
เอกสารอ้างอิง 86
ภาคผนวก 88
ประวัติผู้เขียน 95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังก่ออิฐ 45

2.2 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 46

4.1 รายละเอียดกลุ่มที่ 1 รอยร้าวใต้ท้องพื้น 55

4.2 ความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 58

4.3 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 69

4.4 รายละเอียดกลุ่มที่ 2 รอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม 70

4.5 ความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด 73

4.6 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด 74

4.7 วัสดุสำหรับงานเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ 77

4.8 เปรียบเทียบวัสดุสำหรับงานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต 80

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 การหดตัวแบบออโตจีนัสเนื่องจากเกิดหน่วยแรงดึงมากกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต เมื่อมีการยึดรั้งคอนกรีต 14

2.2 การเกิด Drying Shrinkage Crack ของคอนกรีตโครงสร้างพื้น 15

2.3 รูปภาพขยายการแตกร้าวผ่านโครงสร้าง C-S-H และ $CaOH_2$ ในซีเมนต์เพสต์ 15

2.4 การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ทำให้คอนกรีตเกิดสนิม 16

2.5 การแตกร้าวเนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีต 17

2.6 การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ 18

2.7 การแตกร้าวของผนังกำแพงเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส 18

2.8 การแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีต 19

2.9 การแตกร้าวคอนกรีตเนื่องจากด่างและมวลรวม 19

2.10 การแตกร้าวแบบ Plastic Shrinkage Crack 20

2.11 การแตกร้าวเนื่องจากการตกผลึกของเกลือ 21

2.12 การแตกร้าวเนื่องจากการยึดรั้งภายนอก 22

2.13 ชนิดของการแตกร้าวชนิด Non Structural Crack 23

2.14 รอยแตกร้าวเล็ก ประเภทแตกลายงา 25

2.15 รอยร้าวที่ขอบวงกบประตูหรือหน้าต่าง 26

2.16 รอยร้าวทแยงมุม 27

2.17 รอยร้าวแนวดิ่ง 27

2.18 รอยร้าวบริเวณรอยต่อผนังกับเสา 28

2.19 รอยร้าวในแนวราบ 28

2.20 รอยร้าวเนื่องจากการทรุดตัวต่างระดับของเสาหรือฐานราก โดยเสาด้านขวามือทรุดตัวมากกว่า 30

2.21 รอยร้าวเนื่องจากแรงดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเกิน 30

2.22 รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเกิน 31

2.23 รอยร้าวเนื่องจากแรงบิด 32

2.24 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเป็นสนิม 32

2.25 รอยปริแตกจะเริ่มเกิดเป็นคู่ๆ ที่ขอบคนละด้านของเสา 34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.26 การวิบัติของเสากลมและเสาสี่เหลี่ยมจะเกิดขึ้นทันที
หลังจากคอนกรีตหุ้ม เหล็กเสริมกะเทาะออก 34
2.27 รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนหรือแรงในแนวราบ 35
2.28 รอยร้าวเนื่องจากแรงดัด 36
2.29 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเสริมยืนในเสาเป็นสนิม 36
2.30 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเส้นเสริมยืนและเหล็กปลอกในเสาเป็นสนิม 37
2.31 รอยร้าวเนื่องจากหัวเสาไม่สะอาด 37
2.32 พื้นที่ด้านกว้างเท่ากับด้านยาวและมีเหล็กเสริมเท่ากันทั้งสองทิศทาง
รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจะเกิดเป็นรูปกากบาทในแนวทแยงมุม 39
2.33 พื้นที่มีด้านกว้างด้านยาวไม่เท่ากัน รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจเกิดบริเวณ
กึ่งกลางเป็นเส้นขนานกับแนวคานด้านยาว 39
2.34 รอยร้าวหรือรอยสนิมเหล็กที่ใต้ท้องพื้นเป็นตาราง 39
2.35 รอยร้าวที่บริเวณกึ่งกลางใต้ท้องพื้น เป็นแนวขวางกับแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป 40
2.36 รอยร้าวที่บริเวณใต้ท้องพื้นไร้คานเป็นแนวขนานกับด้านสั้นของแผ่นพื้น 40
2.37 รอยร้าวทแยงมุมที่ผิวบน ของพื้น เนื่องจากการทรุดตัวของเสาหรือฐานราก 41
2.38 รอยร้าวผิวบนบริเวณเหนือคานหรือบริเวณแผ่นปลายแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป 42
2.39 รอยร้าวผิวบนตามแนวขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูป 42
2.40 รอยร้าวผิวบนพื้นไร้คานบริเวณเสา 43
2.41 รอยร้าวบนพื้นไร้คานบริเวณแนวระหว่างเสาในทิศทางด้านสั้น 43
2.42 มาตรวัดการขยายตัวของรอยร้าวสำหรับวัดการขยายตัวของรอยร้าวบนผนัง 47
2.43 มาตรวัดการขยายตัวของรอยร้าวสำหรับวัดการขยายตัวของรอยร้าวที่มุมผนัง 48
2.44 หมุดวัดการขยายตัวของรอยร้าว 48
2.45 การวัดการขยายตัวของรอยร้าวโดยใช้หมุด 3 ตัว 48
2.46 ตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้สำรวจสภาพการแตกร้าวของผนัง 50
3.1 แปลนแสดงพื้นที่ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก 57
3.2 แปลนแสดงพื้นที่เพดานคอนกรีต ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษกโดยระบุ
ตำแหน่ง Grid line พื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย 58
3.3 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เครื่องมือวัดความกว้างรอยแตกร้าว 58
3.4 ตลับเมตร เครื่องมือวัดความยาวรอยแตกร้าว 58
3.5 แบบฟอร์มในการสำรวจสภาพการแตกร้าวของผนังคอนกรีต 59

4.1 แปลนแสดงพื้นที่ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก 61
4.2 แปลนแสดงพื้นที่เพดานคอนกรีต ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก
โดยระบุตำแหน่ง Grid line พื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย 20 เมตร 61
4.3 รอยร้าวหรือรอยสนิมเหล็กที่ใต้ท้องพื้นเป็นตาราง 62
4.4 การสำรวจพบรอยร้าวรอยร้าวใต้ท้องพื้น 63
4.5 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเป็นสนิม 64
4.6 การสำรวจพบรอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม 64
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 67
4.8 กราฟแสดงความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 68
4.9 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 70
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 ทั้งหมด 72
4.11 กราฟแสดงความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด 73
4.12 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด 74
ก.1 บริเวณพื้นที่รอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีต 89
ก.2 ความปลอดภัยในการดำเนินงาน 90
ก.3 ลักษณะรอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีต 91
ก.4 การดำเนินงานซ่อมแซมรอยแตกร้าว 91
ก.5 รอยแตกร้าวบริเวณกว้าง ทำการสกัดคอนกรีตจนถึงเนื้อคอนกรีตที่
แข็งแรงอาจต้องสกัดคอนกรีตจนถึงแนวเหล็กเสริมคอนกรีต 92
ก.6 การซ่อมแซมรอยแตกร้าวด้วย Sikadur® -32TH
(former Sikadur® -732RT) และ Sikadur®-41 CF Normal 93
ก.7 ภาพหลังการดำเนินงานซ่อมแซมรอยแตกร้าวเสร็จ
และใช้วัสดุ Aluminium Compositeกรุเพดานคอนกรีต 94

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันจังหวัดกรุงเทพมหานครฯ ประสบปัญหาของการจราจรติดขัด ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบอย่างมากมาย เช่น การสูญเสียเวลาในการเดินทาง ทำให้ประชาชนมีเวลาทำงานเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในชาติลดน้อยลง และต้องมาเผชิญกับปัญหาการสูญเสียเวลาในการเดินทางทำให้เวลาที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆต้องมาสูญเสียไปโดยใช่เหตุ นอกจากนี้ยังสูญเสียพลังงานจากการเดินทางด้วยยานพาหนะส่วนตัวที่ถือได้ว่าเป็นการบั่นทอนทางเศรษฐกิจของชาติทั้งทางตรงและทางอ้อม ในทางตรงพลังงานที่สูญเสียไป ส่วนใหญ่คือน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ถูกเผาผลาญไปอย่างไร้ประโยชน์ ซึ่งนอกจากจะไม่ทำให้เกิดผลทางเศรษฐศาสตร์แล้วยังทำให้ประเทศชาติต้องสูญเงินตราเพื่อจัดหาน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซมาใช้เกินความจำเป็น ในทางอ้อม การเผาผลาญพลังงานจนเกิดมลภาวะทางอากาศส่งผลต่อสุขภาพของประชาชน ท้ายที่สุดประชาชนและรัฐบาลต้องสูญเสียเงินตราเพื่อการรักษาสุขภาพให้ดี และเป็นวงจรที่ไม่มีวันสิ้นสุด

การเดินทางของประชาชนในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เป็นไปด้วยความยากลำบาก โดยเฉพาะเมื่อเกิดปัญหาการจราจรติดขัด การเคลื่อนตัวของยานพาหนะบนท้องถนน มีอัตราการเคลื่อนที่ที่ต่ำลงไปเรื่อยๆ ประกอบกับธรรมชาติของมนุษย์มักดิ้นรน เพื่อแสวงหาความสุข ความสะดวกสบาย จึงได้มีการริเริ่มสร้างสรรค์นวัตกรรมอย่างไม่มีวันสิ้นสุด จนกระทั่งได้คิดสร้างระบบการขนส่งด้วยระบบรางมากกว่า 100 ปี และได้พัฒนาเป็นระบบรถไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนตัวได้บนรางทั้งลอยฟ้าและใต้ดิน ซึ่งสถานี รัชดาภิเษก เป็นหนึ่งในสถานีของรถไฟฟ้าใต้ดิน และเป็นหนึ่งในสถานีของเส้นทางรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ที่ถนนรัชดาภิเษก-ห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร สถานีใต้ดิน กว้าง 23 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 19 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง (Station with Central Platform) บริเวณโดยรอบสถานีรัชดาภิเษกเป็นย่านที่พักอาศัยหนาแน่นใจกลางเมือง ซึ่งมีประชาชนเข้าใช้บริการเป็นจำนวนมาก

ปัจจุบันสถานีรัชดาภิเษกได้รับความเสียหายจากการแตกร้าวของฝ้าเพดานคอนกรีตซึ่งมีความเสียหายหลายจุด และเป็นจุดเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้สัญจร บริเวณที่เสียหายเป็นชั้น Retail ซึ่งอยู่บนสุดรองลงมาจากผิวดินประมาณ 8.5 เมตร เนื่องจากพื้นที่หน้างานคือใต้ผิวดิน ทางรถไฟฟ้ามหานคร เกรงว่าจะเกิดอันตรายแก่ผู้สัญจรไปมาและผู้เข้าใช้บริการของรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีรัชดาภิเษก จึงได้ประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขปัญหานี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาหาสาเหตุของความเสียหายฝ้าเพดานคอนกรีตภายใน MRT

รัชดาภิเษก พร้อมทั้งหาแนวทางการแก้ไขตามหลักวิศวกรรมที่เหมาะสม ผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปแก้ไขปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตในส่วนอื่นๆ ของรถไฟฟ้าทั้งลอยฟ้าและใต้ดิน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน ด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานมากกว่าวัสดุมาตรฐานทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อการศึกษาลักษณะและสาเหตุรอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีตเสริมเหล็กภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก

1.2.2 เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาตามหลักวิศวกรรมที่เหมาะสม ในแนวทางที่เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้จะศึกษาสภาพปัญหาภายใน รถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก สาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเพดานคอนกรีตภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก ส่วนที่แตกร้าวของเพดานคอนกรีต คือชั้นรองลงมาจากผิวถนน มีระยะห่างระหว่างผิวถนนถึงเพดานคอนกรีตชั้น Retail ประมาณ 8.5 เมตร มีพื้นที่ความเสียหายของรอยร้าวที่แตกร้าวและเกิดการหลุดลงมาของคอนกรีตชั้นRetail ประมาณ 20 เมตร

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหารอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีตในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก

1.4.2 ทราบถึงแนวทางแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมด้วยความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงสามารถนำไปปรับใช้กับงานอื่นๆที่มีลักษณะคล้ายกัน ในแนวทางที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อโครงสร้างของอาคารมีขนาดเล็กเกินไปหรือมีการใช้งานผิดประเภท การเสื่อมสภาพของอาคาร การรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าที่ออกแบบไว้หรือฐานรากเกิดการทรุดตัว จะมีสัญญาณเตือนภัยอย่างหนึ่งเกิดขึ้น สิ่งนั้นคือ “รอยร้าว”

รอยร้าวเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น เมื่อใดก็ตามที่พบเห็นรอยร้าวเกิดขึ้นในอาคารควรวิเคราะห์หาสาเหตุให้แน่ชัดว่าเกิดขึ้นจากอะไรเพื่อจะทำการแก้ไขได้อย่างถูกต้องและควรแก้ไขเสียแต่เนิ่นๆ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติพังทลายในภายหลัง

การวิเคราะห์หาสาเหตุการแตกร้าวนั้น จำเป็นต้องรู้จักรูปแบบและลักษณะของการแตกร้าวชนิดต่างๆที่มักจะเกิดขึ้นในอาคาร ทั้งนี้รอยร้าวไม่ได้เกิดจากการทรุดตัวของฐานรากแต่เพียงอย่างเดียว รอยร้าวบางแห่งเกิดขึ้นเพราะโครงสร้างมีขนาดเล็กเกินไปไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ ตัวอย่าง เช่น อาคารบางหลังพบว่ามีรอยแตกร้าวที่ท้องพื้นและท้องคานแทบทุกตัว เจ้าของอาคารมีความเข้าใจว่าฐานรากทรุดตัวจึงมีความคิดว่าจะแก้ไขด้วยการเสริมฐานราก แต่เมื่อสำรวจการทรุดตัวแล้วกลับไม่พบว่าฐานรากมีการทรุดตัวแต่อย่างใด การเสริมฐานรากจึงต้องระงับไป และเปลี่ยนเป็นการเสริมกำลังโครงสร้างแทน จะเห็นได้ว่าถ้าวิเคราะห์สาเหตุของรอยร้าวผิดพลาดอาจทำให้แก้ไขไม่ถูกวิธี ทำให้เสียค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์หรืออาจจะต้องกลับมาแก้ไขซ้ำอีกครั้ง รูปแบบและลักษณะของรอยร้าวจึงนับเป็นเรื่องที่ควรทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกเพื่อวิเคราะห์สาเหตุได้อย่างถูกต้องก่อนที่จะดำเนินการแก้ไขต่อไป

ปริทัศน์วรรณกรรม

2.1 การตรวจสอบด้านความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร

ความมั่นคงแข็งแรงของอาคารมีปัจจัยหลากหลาย ซึ่งอาจจะเป็นผลสืบเนื่องตั้งแต่การวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ฝีมือการก่อสร้าง การใช้งาน และการบำรุงรักษา ปัจจัยเหล่านี้จะต้องถูกนำมาพิจารณาเพื่อประเมินสรุปว่า โครงสร้างมีความแข็งแรงเพียงใด หรือควรได้รับการแก้ไขจากวิศวกรโครงสร้างหรือไม่ ปัจจัยหลักที่อาจมีผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารที่ควรพิจารณา มีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

2.1.1 หลักการทางวิศวกรรมที่ดี

หลักการทางวิศวกรรมมีแนวคิดว่า ผลงานทางวิศวกรรมที่ดีต้องมีความประหยัด (economic) และคำนึงถึงการใช้งานได้ (serviceability) โดยสะดวกสบายและปลอดภัย (safety)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตลอดอายุการใช้งาน (service life) นอกจากนี้ผลงานทางวิศวกรรมยังต้องให้ความมั่นใจ(assurance) ทั้งผู้ผลิต(วิศวกรและผู้สร้าง) และผู้ใช้งาน (User) ว่ามีความปลอดภัยอย่างแท้จริง แนวคิดข้างต้นมีสองสิ่งที่ดูเหมือนจะขัดแย้งกันในตัวเอง กล่าวคือ ความประหยัดและความปลอดภัย ถ้าจะให้ปลอดภัยที่สุดไม่มีโอกาสมีความเสี่ยงเลย ค่าก่อสร้างก็ต้องสูงมาก หรือในทางกลับกันถ้าต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายต้องเพิ่มความเป็นไปได้ในการวิบัตินั่นก็คือ ลดความปลอดภัยลงบ้าง ดังนั้นจึงต้องมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมาเป็นตัวถ่วงดุลระหว่างความประหยัดและความปลอดภัย

2.1.2 อัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety)

อัตราส่วนความปลอดภัย คือ ค่าอัตราส่วนของกำลัง หรือความสามารถของโครงสร้าง หารด้วยน้ำหนัก หรือแรงที่จะเกิดขึ้นจริง สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักรกล และผลิตผลทางวิศวกรรม ล้วนต้องมีอัตราส่วนความปลอดภัยแฝงอยู่ทั้งสิ้น เหตุที่ต้องมีอัตราส่วนความปลอดภัยเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานและความคงทนของโครงสร้างนั้นๆ พื้นฐานที่มาของอัตราส่วนความปลอดภัยมีข้อพิจารณาดังนี้

2.1.2.1 วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (materials)

อาคารและสิ่งก่อสร้างทั้งหลายเป็นวัสดุหรือแร่ธาตุจากธรรมชาติทั้งสิ้น วัสดุก่อสร้างบางชนิดมีขบวนการผลิตที่ซับซ้อนหลายขั้นตอน เช่น เหล็กเส้น ปูนซีเมนต์ ฯลฯ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติค่อนข้างแน่นอน มีความแปรปรวนต่ำแต่วัสดุก่อสร้างบางชนิดเกือบจะเป็นการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้โดยตรง เช่น หิน ทราย ทำให้วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติไม่แน่นอน มีความแปรปรวนสูง

2.1.2.2 แรงงาน (labour) หรือการผลิต (production)

ในงานก่อสร้างส่วนใหญ่ใช้เครื่องจักรที่ค่อนข้างหยาบ เช่น เครื่องผสมปูน ไม้บรรทัดระดับน้ำ สายวัด ลูกดิ่ง ฯลฯ และใช้แรงงานค่อนข้างมาก อีกทั้งทำงานอยู่ในที่กลางแจ้งที่ควบคุมสภาวะอากาศไม่ได้ รวมถึงการเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าในการทำงาน ทำให้ผลงานทางวิศวกรรมโยธามีความแปรปรวนค่อนข้างสูง

2.1.2.3 การใช้งาน (usage)

ผู้ใช้อาคารจำนวนมากไม่ทราบว่าอาคารที่ตนเองอยู่ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักประเภทใดและมากน้อยเพียงใด ส่วนมากอาคารมักถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกจร (live load) ชนิดแผ่กระจายตลอดพื้นที่ (uniform load) และอยู่คงที่ (constant) แต่ในทางปฏิบัติน้ำหนักทุกจรมักมีลักษณะเป็นจุด (point load) เช่น ตู้เอกสาร โต๊ะทำงาน น้ำหนักคน(จำนวนมากๆ) เครื่องจักรแท่นผลิต ฯลฯ น้ำหนักเหล่านี้มักมีการเคลื่อนไหวย้ายที่อยู่ตลอดอายุการใช้งานของ

อาคาร ซึ่งลักษณะของน้ำหนักกระทำเป็นจุดๆและเคลื่อนไหว จะมีผลต่อโครงสร้างมากกว่าน้ำหนักแผ่กระจายที่ออกแบบไว้

2.1.2.4 ปัจจัยทางอ้อม

ผลกระทบของการวิบัติในองค์อาคารชิ้นใดชิ้นหนึ่งจะกระทบกระเทือนให้องค์อาคารอื่นวิบัติตามหรือไม่ เช่น เสาวิบัติจะทำให้คานและพื้นวิบัติตามไปด้วยนอกจากนี้ยังคำนึงถึงผลกระทบของการวิบัตินั้นๆ ว่าจะทำให้ผู้ใช้อาคารวิตกกังวลมากน้อยเพียงใด เพื่อให้อาคารมีความปลอดภัยและคงทนต่ออายุการใช้งาน (ประมาณ 50 ปี) ในหลักวิศวกรรม ได้ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์วิบัติอันเนื่องจากความแปรปรวนหลายอย่างที่กล่าวข้างต้น อัตราส่วนความปลอดภัยต่างๆกัน ได้ข้อสรุปเป็นอัตราส่วนความปลอดภัยที่ปรากฏในมาตรฐานทางวิศวกรรม (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.1.3 อายุใช้งานของอาคาร

อาคารเป็นสิ่งปลูกสร้างถาวรที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่ชัดเจนตามอายุการใช้งานของอาคารที่จำกัด แม้ว่าสิ่งปลูกสร้างโบราณสถานหลายแห่งสามารถคงทนถาวรอยู่ได้เป็นพันปี แต่ปกติอาคารที่ก่อสร้างในปัจจุบัน โดยเฉลี่ยแล้ววิศวกรมักจะถือว่าอาคารมีอายุใช้งานประมาณ 50 ปี อายุการใช้งานของอาคารมักถูกกำหนดด้วยคุณค่าทางเศรษฐกิจของอาคาร เมื่อหมดคุณค่าทางเศรษฐกิจแล้ว แม้.โครงสร้างอาคารยังคงมีความคงทนก็มักจะถูกรื้อถอนเพื่อให้สามารถใช้ที่ดินเพื่อประโยชน์อย่างอื่น

2.1.4 ขั้นตอนการออกแบบอาคาร

ขั้นตอนการออกแบบอาคาร ผู้มีบทบาทประกอบด้วย เจ้าของอาคาร และกลุ่มผู้ออกแบบ ความรับผิดชอบของเจ้าของอาคาร หรือที่ปรึกษาตัวแทน คือ ต้องกำหนดการใช้งานของอาคารอย่างชัดเจน เพื่อให้สถาปนิกได้พิจารณาออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน และวิศวกรระบบจะได้พิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆให้เหมาะสม เพื่ออำนวยความสะดวกและความปลอดภัย จากการใช้งานส่วนวิศวกรโครงสร้างจะพิจารณาภาระการรับน้ำหนักสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นจากการใช้งานดังกล่าว รวมทั้งน้ำหนักอุปกรณ์ต่างๆ ภายในอาคาร เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบส่วนต่างๆ ของโครงสร้างอาคารให้สามารถรับน้ำหนักดังกล่าวได้ รวมทั้งน้ำหนักที่เกิดจากแรงธรรมชาติ เช่น แรงลม และแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยต้องมีมาตรฐานความปลอดภัยตามหลักวิชาชีพและตามหลักกฎหมาย โดยผู้ออกแบบจะต้องทำหน้าที่พัฒนาแบบเพื่อยื่นขออนุญาตต่อเจ้าหน้าที่ท้องถิ่นในการก่อสร้างตามแบบด้วย

ขั้นตอนนี้ การสื่อสารระหว่างเจ้าของอาคารและกลุ่มผู้ออกแบบ มีความสำคัญยิ่ง เพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างกัน อันอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิด ซึ่งจะส่งผลถึงปัญหาการก่อสร้างที่จะต้องปรับเปลี่ยนแก้ไขแบบก่อสร้างที่หน่วยงาน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะส่งผลถึงความปลอดภัยของขั้นตอนการใช้งานอาคารในภายหลัง

2.1.5 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

ผู้มีบทบาทมากที่สุดคือ กลุ่มผู้รับเหมา และกลุ่มเจ้าของอาคาร ซึ่งในทางปฏิบัติต้องมีที่ปรึกษาเพื่อควบคุมให้แก่กลุ่มผู้รับเหมาก่อสร้างอาคาร และติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ตามแบบที่กลุ่มผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ ขั้นตอนนี้โดยหลักวิชาชีพ กลุ่มผู้ออกแบบจะต้องเข้าร่วมประชุมเพื่อสังเกตการณ์ว่าการก่อสร้างทำตามแบบที่ออกแบบไว้ได้จริง เมื่อการก่อสร้างอาคารสมบูรณ์แล้วถ้าเป็นอาคารควบคุมการใช้ที่ต้องมีใบอนุญาตการใช้งานจะต้องยื่นขออนุญาตต่อเจ้าพนักงานท้องถิ่นเพื่อให้มาตรวจสอบว่าการก่อสร้าง เป็นไปตามแบบที่ได้รับอนุญาตก่อนการก่อสร้าง

2.1.6 ขั้นตอนการใช้อาคาร (usage)

เจ้าของอาคารมีหน้าที่ต้องควบคุมให้การใช้งานเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ในการออกแบบ มักมีการปล่อยปละละเลยได้ง่ายที่สุด ด้วยเหตุผลอันเป็นประโยชน์แก่เจ้าของอาคารเอง การใช้งานผิดไปจากที่เคยกำหนดต่อผู้ออกแบบอาจทำให้โครงสร้างอาคารต้องรับภาวะน้ำหนักเกินกว่าที่ออกแบบกำหนด อาคารอาจจะไม่พังทลายทันทีเพราะวิศวกรโครงสร้างได้เผื่อส่วนความปลอดภัยตามหลักวิชาชีพไว้ แต่อาจทำให้อาคารเกิดการล้าตัว ทำให้ทรุดโทรมอย่างรวดเร็ว

2.1.7 การตรวจสภาพและบำรุงรักษาอาคาร (inspection and maintenance)

เป็นความจริงที่ว่าอาคารส่วนใหญ่มีความคงทนมาก แต่หากมีข้อพกพร่องหรือการแตกร้าวของตัวอาคาร อันเนื่องจากการก่อสร้างหรือการใช้งาน การซ่อมบำรุงเล็กๆน้อยๆ จะช่วยยืดอายุอาคารและทำให้อาคารปลอดภัย หรือมีอัตราส่วนความปลอดภัยคงเดิมตลอดอายุการใช้งาน

สำหรับอาคารที่ไม่มีประวัติการแตกร้าวหรือทรุดเอียง ควรตรวจสอบโครงสร้างทั้งอาคารด้วยสายตา และเครื่องมือช่วยพื้นฐาน เช่น ลูกดิ่ง ไม้บรรทัดระดับน้ำ สายยางระดับน้ำ ปีละครั้งว่ามีการทรุดตัว เอียงตัว การแตกร้าว หรือมีคอนกรีตกะเทาะหรือไม่ เช่น จากการชนของเครื่องจักรอาจเป็นเหตุให้ความชื้นและอากาศเข้าไปทำให้เกิดสนิมในเหล็ก หรืออาจมีน้ำรั่วซึม ทำให้โครงสร้าง พื้น คาน และเสา ส่วนที่ไม่ได้ออกแบบไว้ให้เปียกน้ำได้ การบำรุงรักษาจะสามารถช่วยยืดอายุอาคารให้ยืนยาวตามที่ออกแบบไว้

2.1.8 น้ำหนักบรรทุก (loading)

น้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่ใช้ในการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบจะกำหนดโดยอาศัยความต้องการเบื้องต้นของเจ้าของอาคารเป็นหลัก พิจารณาถึงน้ำหนักบรรทุก ดังต่อไปนี้

2.1.8.1 ค่าที่กฎหมายควบคุมอาคารกำหนด (เป็นค่าต่ำสุดที่ควรใช้เพื่อความปลอดภัยพื้นฐาน แต่คนส่วนมากกลับยึดถือเป็นข้อกำหนดตายตัว ไม่มีการตรวจสอบว่าน้ำหนักบรรทุกจริงเป็นอย่างไร)

2.1.8.2 ค่าที่ประมวลมาจากน้ำหนักจริง การใช้งานจริง และน้ำหนักอุปกรณ์เครื่องจักรจริง

2.1.8.3 ลักษณะของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำจริง

(1) น้ำหนักกระทำเป็นจุด (point load)

(2) แรงกระทำไม่สม่ำเสมอ แรงกระทำเป็นครั้งคราว เช่น แรงลม แรงจากแผ่นดินไหว

(3) ตำแหน่งแรงกระทำไม่แน่นอน หรือ น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่

(4) น้ำหนักคงค้างอยู่ถาวร เช่น เครื่องจักรที่หนักมากติดตั้งอยู่กับที่

(5) แรงกระทำเป็นวงจร เช่น แรงเหวี่ยงจากเครื่องจักรที่ทำงานเป็นรอบๆ

(6) แรงสั่นสะเทือน เช่น แรงสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยจากเครื่องจักรที่ทำงานแต่ความถี่สูง และมีอยู่ตลอดเวลา

2.1.8.4 แรงจากปัจจัยภายนอก

(1) แรงดันดิน

(2) แรงฉุดลงต่อเสาเข็ม เนื่องจากการทรุดตัวของดินในระยะยาว

(3) แรงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

(4) แรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

2.1.9 พฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปจะมีลักษณะที่เป็นโครงแข็งแรงยึดติดกันแน่น และมีการแอ่นตัวเสียรูปน้อย เพราะคอนกรีตถูกหล่อยึดเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด (ยกเว้นโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปบางประเภท) ดังนั้น ผู้ใช้อาคารจึงมักไม่รู้สึกว่าอาคารสั่นสะเทือนหรือโยกตัวเคลื่อนไหว

กรณีที่โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักบรรทุกเต็มตามที่ออกแบบไว้ในการใช้งานปกติ อาจจะเริ่มมีรอยร้าวขนาดความกว้าง 0.2-0.3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดรอยร้าวที่ไม่มีผลเสียหายต่อโครงสร้างในระยะยาว แต่ถ้ารับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าที่ออกแบบไว้ ขนาดของรอยร้าวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเคลื่อนย้ายน้ำหนักที่เกินออกไป รอยร้าวนี้จะมีการหดตัวลงเล็กน้อย แต่ยังคงมีรอยร้าวเล็กๆให้เห็น โครงสร้างอาคารยังคงมีความปลอดภัยในการใช้งานตามปกติ แต่ก็ควรมีการซ่อมบำรุงโดยใช้วัสดุปิดรอยร้าว ไม่ให้ความชื้นและอากาศเข้าไปจำทำให้

เกิดสนิมที่เหล็กเสริม แต่ถ้ามีการเพื่อน้ำหนักบรรทุกมากกว่าค่าที่ออกแบบไว้ ต่อเนื่องเรื่อยๆ รอยร้าวจะขยายขนาดขึ้นเรื่อยๆ พื้นคานจะมีการแอ่นตัวอย่างมาก เป็นการเตือนภัยให้หยุดการบรรทุกเกิน เมื่อโครงสร้างมีการแอ่นตัวมากๆ จะเกิดการวิบัติพังทลายลงมาอย่างรวดเร็ว

2.1.10 พฤติกรรมโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

โครงสร้างเหล็กรูปพรรณโดยทั่วไป จะมีลักษณะที่มีความเหนียวสูง แต่มีความสั่นสะเทือนได้ง่าย การแอ่นตัว การเสียรูปให้เห็นได้ง่ายกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกเกินค่าที่ออกแบบไว้ จะมีการแตกร้าว หรือสัญญาณใดๆ บ่งบอก เพราะโครงสร้างเหล็กมีความเหนียวมาก หากลดน้ำหนักบรรทุกเกินออกมา โครงสร้างก็จะคืนกลับสู่สภาพเดิมโดยไม่มีความเสียหายใดๆ เพราะเหล็กยังอยู่ในช่วงอิลาสติก หากเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเกินไปเรื่อยๆ โครงสร้างจะมีการแอ่นตัวหรือเสียรูปอย่างมาก แต่จะไม่เกิดการวิบัติพังทลายอย่างฉับพลัน การพังทลายของโครงสร้างเหล็ก มักจะเกิดในลักษณะที่โครงสร้างบิดเบี้ยว เสียรูปเกินกว่าจะใช้งานต่อไปได้ มากกว่าที่จะเกิดการวิบัติในลักษณะชิ้นส่วนหลุดขาดจากกันเหมือนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.1.11 **การบรรทุกน้ำหนักเกิน (over loading)**

การบรรทุกน้ำหนักเกินเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาก มีสาเหตุ ดังนี้

(1) เจ้าของอาคารมักคิดว่าอาคารมีความแข็งแรงมาก และวิศวกรออกแบบเผื่อไว้มาก

(2) เจ้าของอาคารบางรายไม่มีข้อมูล หรือไม่ทราบเลยว่าอาคารของตนออกแบบไว้ให้รับน้ำหนักบรรทุกได้เท่าไร

(3) เจ้าของอาคารไม่ทราบว่าน้ำหนักสินค้า เครื่องจักร ที่ติดตั้งบนอาคารมีน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือนเท่าไร

(4) เจ้าของอาคารรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ไม่ทราบถึงอันตรายและความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น

2.1.12 การออกแบบน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าความต้องการ (under-design)

ปัญหาการออกแบบน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าความต้องการ อาจเกิดจากวิศวกรออกแบบมองข้ามปัญหาบางอย่าง หรือได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วน

(1) ไม่ได้รับข้อมูลน้ำหนักจร น้ำหนักเครื่องจักร หรือกิจกรรมธุรกิจที่เกิดขึ้นจริง

(2) ยึดถือตัวเลขน้ำหนักบรรทุกจรที่ พ .บ.ร.ความคุมอาคารกำหนดไว้ โดยคิดว่าเป็นกรณีสูงสุด แต่ความเป็นจริงแล้วกฎหมายกำหนดชัดเจนว่า เป็นค่าต่ำสุดที่

ต้องออกแบบเพื่อความปลอดภัยแก่ประชาชนทั่วไป กรณีทราบน้ำหนักบรรทุกจริง ก็ควรใช้ค่าที่มากกว่า

(3) ไม่ได้คำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่ม ของวัสดุตกแต่งทางสถาปัตย์ เช่น ปูนทรายปรับระดับ หินแกรนิต หินอ่อน ฝ้าเพดาน ฯลฯ

(4) ไม่ได้คำนึงผลของแรงสั่นสะเทือนจากเครื่องจักร เครื่องปรับอากาศ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน หรือเกิดการวิบัติเนื่องจากการส่งของวัสดุ

(5) ไม่ได้รับข้อมูลสถานที่ก่อสร้างจริง ว่ามีแรงดันดินในแนวราบอันเนื่องจากการสร้างบนที่ลาดชัน หรือการถมดินสูงในที่ดินเหนียวอ่อน หรือมีบ่อดินอยู่บริเวณใกล้เคียง หรืออยู่ใกล้แม่น้ำ ที่อาจมีการลดของระดับน้ำอย่างฉับพลัน

(6) ไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงฉุดลงในเสาเข็ม อันเนื่องจากการทรุดตัวในระยะยาวของดิน

(7) ไม่ได้คำนึงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดแรงภายในโครงสร้าง เช่น หลังคา ดาดฟ้าคอนกรีต

2.1.13 การดัดแปลงหรือการต่อเติมอาคาร (modification)

การดัดแปลงอาคาร การต่อเติมอาคาร และการใช้งานผิดประเภท เป็นปัญหาใหญ่มากในประเทศไทย อันเนื่องจากความอ่อนแอในการบังคับใช้กฎหมาย กล่าวคือ เมื่อได้รับใบอนุญาตก่อสร้างอาคารแล้ว ไม่มีการตรวจสอบภายหลังว่าใช้อาคารเหมือนที่ขออนุญาตไว้หรือไม่ ประกอบกับนิสัยการรักถิ่นที่อยู่เดิมโดยไม่โยกย้ายที่อยู่ ทำให้มีการดัดแปลงและต่อเติมอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นเจ้าของอาคารส่วนใหญ่มีความรู้สึกว่าอาคารสิ่งก่อสร้างเป็นสิ่งคงทนมาก และเห็นแก่ประโยชน์ที่จะได้รับจึงมักต่อเติมอาคารโดยไม่สอบถามผู้ออกแบบ ทำให้โครงสร้างอาคารได้รับภาวะรับน้ำหนักเกิดกว่าที่ออกแบบไว้ แม้อาคารอาจไม่พังทลายทันที แต่อาจเกิดการล้าตัวทำให้เกิดการทรุดตัว หรือทรุดโทรมอย่างรวดเร็วจนอาจวิบัติก่อนอายุขัยของอาคาร

2.1.14 การก่อสร้างที่ผิดแบบหรือคุณภาพต่ำ

งานก่อสร้างที่ไม่มีวิศวกรควบคุมงาน ผู้ออกแบบไม่ได้มาตรวจแบบ ทำให้คุณภาพการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน บางครั้งผู้ก่อสร้างพยายามปกปิดข้อบกพร่อง หรือความผิดพลาดจากการก่อสร้างโดยไม่แจ้งให้วิศวกรหรือผู้ออกแบบรับทราบถึงปัญหา กรณีความพกพร่องนั้นอาจไม่ปรากฏให้เห็นในทันที เนื่องจากมีอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่บ้าง เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจึงจะปรากฏความเสียหายนั้นให้เห็น หรืออาคารอาจมีอายุการใช้งานสั้นกว่าที่ควรจะเป็น

2.1.15 การสูญเสียเสถียรภาพของโครงสร้าง (unstability of structure)

เสถียรภาพของโครงสร้างเป็นพื้นฐานสำคัญที่วิศวกรต้องคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้างของอาคาร นอกจากอาคารจะต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งแล้ว โครงสร้างอาคารต้องต้านแรงในแนวราบได้ด้วย เช่น แรงลม แรงจากแผ่นดินไหว แรงในแนวราบอันเนื่องจากการใช้งาน แรงในแนวราบอันเนื่องจากโครงสร้างไม่ได้อยู่ในแนวดิ่งอย่างสมบูรณ์ ฯลฯ วิศวกรจึงต้องออกแบบให้โครงสร้างอาคารสามารถต้านแรงในแนวราบที่อาจจะเกิดขึ้น

การสูญเสียเสถียรภาพของโครงสร้างอาจเกิดจากสาเหตุต่างๆดังนี้

(1) การดัดแปลงอาคาร เช่น การตัดคานค้ำยันที่เอาเสาออกทำให้เสาสูงชะลูดเกินไป การต่อเติมเพิ่มคาน ซึ่งอาจจะเพิ่มแรงดันด้านข้าง หรือเพิ่มโมเมนต์ดัดแก่เสา

(2) การทรุดตัวของฐานรากและเสาเข็ม สามารถทำให้โครงสร้างทั้งอาคารเสียเสถียรภาพล้มลงได้

(3) การออกแบบผิดพลาด ไม่มีโครงสร้างรับแรงในแนวราบอันเกิดจากแรงลมหรือแรงดันดิน

(4) การไหลเคลื่อนตัวของดิน (slide) หรือชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีการถมดินสูง 2-3 เมตร อาจจะเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ดันให้เสาเข็มและฐานรากเคลื่อนตัวจนอาคารสูญเสียเสถียรภาพได้

(5) เสาเข็มซึ่งไม่มีเหล็กเดือย (powel) ยึดติดกับฐานราก หากเสาคอนกรีต เยื้องศูนย์กับเสาเข็ม อาคารก็มีโอกาสที่จะวิบัติได้ในระยะยาว

2.1.16 การวิบัติของโครงสร้างเนื่องจากเพลิงไหม้ (fire)

เพลิงไหม้เป็นสาเหตุให้อาคารเกิดการวิบัติจำนวนมากในประเทศไทย อันสืบเนื่องจากระบบป้องกัน และต่อสู้อัคคีภัยทั้งในตัวอาคาร และหน่วยงานดับเพลิงยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ ทำให้ต้นเพลิงที่เกิดขึ้นลุกลามใหญ่โต จนทำให้มีผู้เสียชีวิตเป็นร้อยศพ หรืออาคารพังทลายทั้งหลัง ทั้งๆที่ต้นเพลิง อาจเกิดจากบุหรี่มวนเดียว หรือ กระป๋องทินเนอร์ใบเดียว หรือเตาแก๊สอันเดียว และเกิดต่อหน้าผู้คนจำนวนมากในเวลากลางวัน

เพลิงไหม้จะเกิดขึ้นได้ด้วยปัจจัยพื้นฐาน 3 ประการ คือ แหล่งความร้อน เชื้อไฟ และออกซิเจน ขบวนการเกิดไฟไหม้ จะเริ่มต้นจากต้นเพลิงเล็กๆ ซึ่งต้องใช้เวลาในการไหม้ขยายตัว (growth period) ระยะเวลาการเกิดไฟไหม้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งสามดังกล่าว ซึ่งอาจจะใช้ เวลา 10-20 นาทียกเว้นเชื้อไฟประเภทแก๊สหรือน้ำมันเชื้อเพลิงไหม้จะเกิดขึ้นภายในไม่กี่วินาที ระยะนี้อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มจาก อุณหภูมิห้องจนเกิดการติดไฟลุกลาม(burning period)

อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิขึ้นกับชนิดของไฟ) จนกระทั่งหมดเชื้อไฟ จะเป็นระยะไฟมอด (decay period) อุณหภูมิจะค่อยลดต่ำลงอย่างช้าๆ

ความทนไฟของวัสดุก่อสร้างจะแตกต่างกันตามคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ ทั้งในแง่ฟิสิกส์ และเคมี รวมทั้งความสามารถในการนำหรือถ่ายความร้อนด้วย

2.1.16.1 เหล็กซึ่งใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง มักผ่านขบวนการทางความร้อน (heat treatment) เพื่อให้มีความแข็งแรงตามความต้องการ เช่น เหล็กข้ออ้อย เกรด SD-30,SD-40,SD-50 เหล็กรูปพรรณประเภท high strength เหล็กลวดอัดแรงกำลังสูง(pc.wire/pc strand) เหล็กเหล่านี้จะมีกำลังลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 425 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ค่า elastic modulus จะเริ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ความร้อนจากกองเพลิงซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส จึงทำให้อาคารเหล็กพังลงมาได้อย่างรวดเร็ว ภายในเวลาประมาณ 30 นาที ดังที่เคยปรากฏในกรณีเพลิงไหม้โรงงานทำตุ๊กตา ผลการทดสอบพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส โครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะเริ่มสูญเสียกำลังและสติฟเนส (stiffness ความแข็งแกร่ง) เนื่องจาก modulus of elastic ลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียสกำลังความแข็งแรงโดยรวม (strength) ของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะลดลงถึงร้อยละ 30 มาตรฐานการออกแบบทางวิศวกรรมของ วสท. จึงกำหนดให้มีวัสดุหุ้มเหล็กที่เพียงพอเพื่อเพิ่มระยะเวลาความต้านทานไฟไหม้

2.1.16.2 คอนกรีต แม้ว่าคอนกรีตจะมีความต้านทานไฟได้ค่อนข้างดี รวมกับคุณสมบัติที่เป็นฉนวนค่อนข้างดี ทำให้คอนกรีตต้านทานต่อไฟไหม้ได้ค่อนข้างดี อุณหภูมิที่สูงกว่า 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานจะเริ่มมีผลทำให้ปูนซีเมนต์เสื่อมกำลังยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นปูนซีเมนต์จะเสื่อมกำลังอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้คอนกรีตจะได้รับความร้อนที่ระดับ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะ

2.1.17 การกัดกร่อนและการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง (corrosion and deterelation)

วัสดุก่อสร้างแม้ว่าจะมีอายุการใช้งานค่อนข้างยืนยาว แต่ความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ อุณหภูมิและปัจจัยภายนอกที่มากระทบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังนี้

(1) คุณภาพการก่อสร้างคอนกรีต เช่น

- คอนกรีตมีรูโพรงมากน้อยเพียงใด
- ขนาดของฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอหรือต่อเนื่องเป็นกลุ่ม
- ความหนาหุ้มคอนกรีตมากน้อยเพียงพอหรือไม่

(2) การป้องกันการกัดกร่อนหรือเสื่อมสภาพ เช่น

- การทาสีป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็ก
- การทาสีของผิวคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของคอนกรีตได้

a. การป้องกันมิให้ปัจจัยภายนอกกระทำต่อวัสดุก่อสร้างโดยตรง อาทิเช่น

- การป้องกันมิให้มีน้ำไหลรั่วซึมจากชั้นหลังคา หรือป้องกันมิให้น้ำขังบนพื้นคอนกรีตดาดฟ้า
- การป้องกันมิให้น้ำเค็ม หรือน้ำร้อน หรือกรด-ด่าง จากขบวนการอุตสาหกรรมไหลรั่วมาสัมผัสโครงสร้างคอนกรีต

การตรวจสอบบำรุงรักษาเล็กๆน้อยๆ เช่น ซ่อมแซมรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต หรือการทาสี ทุกระยะ 3-5 ปี หรือการขจัดน้ำขังบนพื้นคอนกรีต การสามารถยืดอายุโครงสร้างให้ยืนยาวไม่ต่ำกว่า 50 ปีได้

2.1.17.1 การเสื่อมสภาพเนื่องจากน้ำ

น้ำ (ความชื้น) และออกซิเจนเป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดสนิมในโครงสร้างเหล็กได้เป็นการยากที่จะขจัดตัวการต้นเหตุเหล่านี้ ดังนั้นโครงสร้างเหล็กจำเป็นต้องมีการป้องกันสนิม และมีการบำรุงรักษาตรวจสอบทุกปี แม้ว่าน้ำจืดจะมีปฏิกิริยาน้อยมากกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่สำหรับโครงสร้างที่สัมผัสน้ำตลอดเวลา จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้ดีตั้งแต่ก่อสร้าง กล่าวคือต้องมีการกระจายของฟองอากาศที่สม่ำเสมอ ฟองอากาศต้องไม่กระจุกตัวหรือต่อเนื่อง ห้ามมีรูโพรงในเนื้อคอนกรีต อีกทั้งความหนาหุ้มของคอนกรีตต้องมีเพียงพอ

2.1.17.2 การเสื่อมสภาพเนื่องจากน้ำเค็มหรือน้ำกร่อย

ในบริเวณที่มีน้ำกร่อย ต้องให้ความสำคัญอย่างมากสำหรับป้องกัน การกัดกร่อน สำหรับเหล็กโครงสร้าง แม้โครงสร้างจะไม่ได้แช่ในน้ำเค็มโดยตรงแต่ไอน้ำเค็มก็เป็นอันตรายต่อโครงสร้างเหล็ก ควรป้องกันสนิมด้วยวิธีชุบสังกะสี(galvanization) หรือ cathode protection ที่มีประสิทธิภาพเชื่อถือได้และได้รับการพิสูจน์แล้ว สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับน้ำเค็มหรือน้ำกร่อย ต้องใช้ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ห้า และมีความหนาหุ้มที่

เพียงพอ สำหรับบริเวณที่มีน้ำเค็มเปียกและแห้งสลับกัน ยิ่งต้องมีวิธีป้องกันที่เข้มงวดยิ่งขึ้น อีกทั้งความหนาหุ้มของคอนกรีตต้องมีเพียงพอ

2.1.17.3 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยา carbonation

ขบวนการเกิด carbonation บนผิวคอนกรีตคอนข้างจะช้า แต่สำหรับโครงสร้างที่สำคัญและต้องการอายุยืนยาว ควรมีการป้องกันการทาสีบนผิวคอนกรีต และการป้องกันมิให้น้ำไหลผ่านหรือการเปียกชื้นจะช่วยลดการเกิด carbonation ได้

2.1.17.4 การเสื่อมสภาพเนื่องจากกรด หรือสารเคมี

สารเคมี กรด ด่าง และแม้แต่ไอน้ำ ความร้อน จากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ล้วนแล้วแต่เป็นอันตราย ทำให้โครงสร้างคอนกรีตและเหล็กสั้นลงได้ควรหลีกเลี่ยงมิให้สัมผัสกับโครงสร้าง กรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรหาวัสดุป้องกันหรือวิธีการป้องกันและต้องมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงโครงสร้างอย่างสม่ำเสมอ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.2 การหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ และมีหลายประเภทที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ กัน อาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุที่แตกต่างกัน โดยสามารถสรุปได้เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

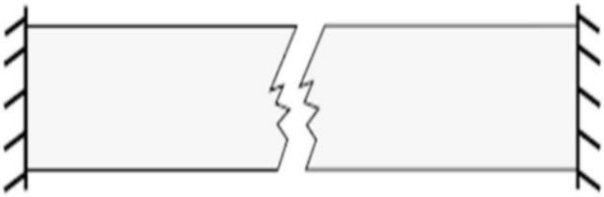
2.2.1 การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดในช่วงก่อนการก่อตัว เป็นการหดตัวที่มักไม่ ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และมักไม่ค่อยมีผลต่อปริมาตรโดยรวมของคอนกรีต เนื่องจากจะเกิดมากในช่วงเวลาเริ่มแรกก่อนเวลาก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีต การหดตัวอีก 3 แบบ เป็นการหดตัวชนิดที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยรวมของคอนกรีตซึ่งจะนำไปสู่การ แตกร้าวได้ ถ้ามีการยึดรั้งและจำเป็นต้องคำนึงถึงในการออกแบบคอนกรีตให้คงทน โดยเฉพาะอย่าง ยิ่งการหดตัวแบบแห้ง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าวอย่างมากในปัจจุบัน

2.2.2 การหดตัวแบบออโตจีนัส (autogenousv shrinkage)

การหดตัวของคอนกรีตแบบออโตจีนัส เป็นการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ที่เกิด หลังจากการก่อตัวขั้นสุดท้ายของคอนกรีต รวมกับที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นในช่องว่างของ คอนกรีต ซึ่งการหดตัวแบบออโตจีนัสนี้ เป็นการหดตัวที่ไม่มีน้ำเข้าไปทดแทนในส่วนที่นำไปใช้ใน ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และทำให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นในคอนกรีต เมื่อหน่วยแรงดึงนี้มีค่ามากกว่ากำลัง รับแรงดึงของคอนกรีต จะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว ดังภาพที่ 2.1 กล่าวโดย

สรุปการหดตัว แบบออโตจีนัส เป็นการหดตัวที่ไม่มีการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อม แต่เป็นการ สูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตเอง (ธเนศ, 2560)

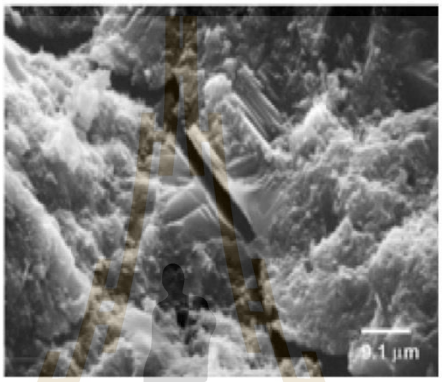


รูปที่ 2.1 การหดตัวแบบออโตจีนัสเนื่องจากเกิดหน่วยแรงดึงมากกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต เมื่อมีการยึดรั้งคอนกรีต (ที่มา : หนังสือ concrete technology CPAC)

2.2.3 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นของ คอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียความชื้นและเกิดการหดตัว โดยที่การ หดตัวที่เกิดขึ้นนั้นบางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นขึ้นมาใหม่การ หดตัวแบบแห้งเกิดขึ้นในคอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศ มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นในช่องว่าง ของคอนกรีตมาก เนื่องจากการสูญเสียน้ำอิสระ (free water) ไปสู่อากาศได้ด้วยการระเหยทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในช่องว่างของคอนกรีต ประกอบกับปริมาตรของคอนกรีตลดลงหรือหดตัวลงจากการ สูญเสียน้ำ ถ้าการหดตัวนี้เกิดการยึดรั้ง ไม่ว่าด้วยโครงสร้างที่อยู่รอบข้าง หรือด้วยเนื้อคอนกรีต ภายในที่ไม่มีการสูญเสียความชื้น รอยแตกร้าวก็อาจเกิดขึ้นได้ถ้าการยึดรั้งนี้ก่อให้เกิดหน่วยแรงยึดรั้ง ที่มีค่าสูงกว่ากำลังดึงของคอนกรีตในขณะนั้น การแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งเป็นการ แตกร้าวที่เกิดหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว และการตกแต่งผิวใหม่ไม่สามารถลบรอยแตกร้าวนี้ได้ ดังภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง และ ภาพที่ 2.3 แสดงภาพ ขยายของรอยแตกเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตผ่าน C-S-H (ชัชวาล, 2535)

รูปที่ 2.2 การเกิด Drying Shrinkage Crack ของคอนกรีตโครงสร้างพื้น (ที่มา : ดร. สนธยา ทองอรุณศรี งานวิจัยเรื่อง การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว ของคอนกรีต ปี 2551)



รูปที่ 2.3 รูปภาพขยายการแตกร้าวผ่านโครงสร้าง C-S-H และ CaOH2 ในซีเมนต์เพสต์ (ที่มา :หนังสือ Concrete Technology CPAC)

2.2.4 การแตกร้าวเนื่องจากคาร์บอเนชั่น (carbonation shrinkage)

การหดตัวของคอนกรีตแบบคาร์บอเนชั่น สาเหตุเกิดเนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaO) ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O \quad \text{.....(2.1)}$$

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการทำปฏิกิริยา คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 50-60) และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยที่ค่า W/C มีค่ามากอัตราการเกิดปฏิกิริยามากตามไปด้วยและสุดท้ายคือความพรุนของซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีตกล่าวคือ อถ้าคอนกรีตมีความพรุนมาก จะเพิ่มพื้นที่ทำปฏิกิริยามากขึ้น ผลของคาร์บอเนชั่นหลักๆ จากการบ่มในอากาศคือ การลดความ เป็นด่างในช่องว่าง (pore polution) ลงซึ่งจะมีผลต่อระยะหุ้มคอนกรีตและการป้องกันการกัดกร่อน ของเหล็กเสริม ปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้กระทำกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่

เปลี่ยนแปลงไป เช่น ไฮเดรตซิลิกา ,อลูมินา และ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ เพิ่มเติมจากคลเซียมคาร์บอเนต จากปฏิกิริยา คาร์บอเนชั่นนี้ จะก่อให้เกิดการลดลงของปริมาณซีเมนต์เพสต์และเกิดการหดตัวขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศประมาณร้อย 0.04 พอเพียง สำหรับการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ ในระยะยาวและทำให้เกิดการแตกร้าว โดยมีความชื้นเป็น ตัวแปรสนับสนุนปฏิกิริยานี้

รูปที่ 2.4 การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ทำให้คอนกรีตเกิดสนิม
(ที่มา: Principles & Practice, 2001)

การหดตัวแบบนี้จะเกิดขึ้นในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ผลเสียของการหดตัวของคอนกรีตแบบ คาร์บอเนชั่นคือ ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง เพิ่มค่าการแอ่นตัวของโครงสร้าง ทำให้เกิดการแตกร้าวการป้องกันทำได้โดย เลือกใช้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นมาก ลดอัตราส่วนน้ำต่อ ปูนซีเมนต์ให้ต่ำลงและทำการบ่มที่ดีการหดตัว ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ โดยที่ความชื้นสูงมากและต่ำมากจะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นได้ยาก ในกรณีที่ความชื่นสัมพัทธ์ต่ำถึงแม้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถซึมเข้าได้แต่ในโพลงของซีเมนต์มีน้ำไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดกรด คาร์บอนิคและปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น ดังภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างที่เหล็กเป็นสนิมหลังจากที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าวจากคาร์บอเนชั่น (ธเนศ, 2560)

2.3 การแตกร้าวในคอนกรีต

สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีต แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1 การแตกร้าวจากความบกพร่องของโครงสร้าง (structural crack)

มาจากสาเหตุหลัก 3 ประการ

(1) การแตกร้าว เนื่องจากการออกแบบไม่ถูกต้อง เช่น การคำนวณการออกแบบหรือการให้รายละเอียดการเสริมเหล็กไม่ถูกต้อง

(2) การแตกร้าว เนื่องจากการใช้วัสดุก่อสร้างไม่มีคุณภาพ เช่น ใช้หินผุ หินมีดิน ปน ทรายสกปรก น้ำสกปรก หรือทำการผสมคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนถูกต้อง รวมทั้งการใช้เหล็กเสริมที่ เป็นสนิมมาก

(3) การแตกร้าว เนื่องจากการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน เช่น การผสม การขนส่ง การเทลงแบบ การหล่อคอนกรีตไม่ดีพอ เป็นต้น

2.3.2 การแตกร้าวที่ไม่ได้เกิดจากโครงสร้าง (non structural crack)

การแตกร้าวชนิดนี้ เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุดังนี้

(1) การแตกร้าวเนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีต (freezing and thawing cracking) ในประเทศที่อากาศเย็นจัดจนกระทั่งน้ำในคอนกรีตเกิดการแข็งตัวได้ จะเกิดการ แตกร้าวและเสื่อมสภาพของคอนกรีต เนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวสลับกันไปของน้ำใน คอนกรีตได้ บริเวณที่มักจะเกิดปฏิกิริยานี้ มักจะเป็นบริเวณที่สัมผัสกับอากาศภายนอกซึ่งเป็นบริเวณ ที่เกิดการแข็งตัวและการหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีตได้บ่อยและง่าย โดยไม่ถูกหิมะและน้ำแข็งปก คลุมอยู่ตลอดเวลา หรือไม่อยู่ใต้ดิน ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 การแตกร้าวเนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีต

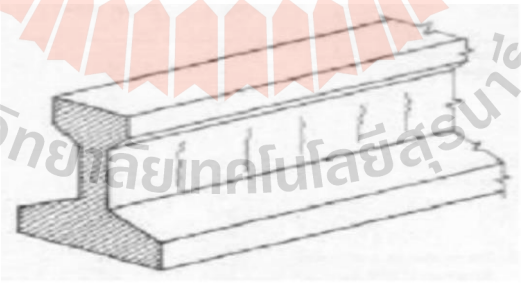
(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

(2) การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ(temperature cracking) การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตเป็นปัญหาสำคัญของงาน คอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีการเทคอนกรีตปริมาณมากๆในยะระเวลาจำกัด ที่มักเรียกว่า คอนกรีตหลา การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมินั้น สามารถเกิดได้ทั้งในช่วงที่อุณหภูมิภายในคอนกรีต กำลังเพิ่มขึ้นหรือกำลังลดลง ยกเว้นในกรณียึดรั้งโดยภายนอก จากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ และเกิดเนื่องจากหน่วยแรงที่

เกิดขึ้นจากการแตกต่างของอุณหภูมิในคอนกรีต การแตกร้าวชนิดนี้ มักจะอยู่ในช่วงอายุต้น ในช่วงไม่เกิน 2 สัปดาห์ ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ
(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

(3) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส (autogenous shrinkage crack) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสจะเกิดบริเวณที่น้ำบ่มคอนกรีตไม่ สามารถเข้าถึงได้เต็มที่และเป็นบริเวณที่ยึดรั้งด้วยสิ่งที่โมดูลัสความยืดหยุ่นสูงกว่า เช่น การถูกยึดรั้ง ด้วยเหล็กเสริม ถูกยึดรั้งในคอนกรีตที่เทไว้แล้ว หรือแม้แต่การถูกยึดรั้งโดยเนื้อคอนกรีตบริเวณผิวที่ ได้รับการบ่มอย่างเพียงพอ การหดตัวแบบออโตจีนัส จะเกิดขึ้นในช่วงแรกๆ และจะค่อยๆ มีอัตรา ต่ำลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปยาวนาน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การแตกร้าวของผนังกำแพงเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส
(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

(4) การแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีต (settlement crack) การแตกร้าวชนิดนี้เกิดขึ้นจากการที่คอนกรีตมีการทรุดตัวที่แตกต่างกันในเนื้อ ของคอนกรีตเองหลังจากที่เทคอนกรีต และคอนกรีตอยู่ในสภาวะพลาสติกอยู่ อันมีสาเหตุ

หลาย ประการ เช่น มีสิ่งกีดขวางการทรุดตัวของคอนกรีตความหนาของโครงสร้างคอนกรีตในทิศทางการทรุดตัว (แนวดิ่ง) แตกต่างกัน ทำให้ทรุดตัวไม่เท่ากันเนื่องจาก มีการเยิ้มมากเกินไป มีฟองอากาศมาก เกินไป ดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 การแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีต
(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

(5) การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากด่างและมวลรวม (alkali – aggregate crack) การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจาก ด่างและมวลรวม จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง ด่างกับซิลิกาในมวลรวมจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำอยู่ด้วย ดังนั้นในกรณีที่คอนกรีตแห้งแล้วจะไม่เกิดปฏิกิริยานี้ การเกิดปฏิกิริยานี้จะเกิดอย่างช้าๆ ความเสียหายเนื่องจากปฏิกิริยานี้จะพบในโครงสร้าง ซึ่งมักจะ เป็นโครงสร้างที่เปียกชื้นอยู่เป็นประจำ เช่น ถนน สะพาน เขื่อน ถังเก็บน้ำ ดังรูปที่ 2.9

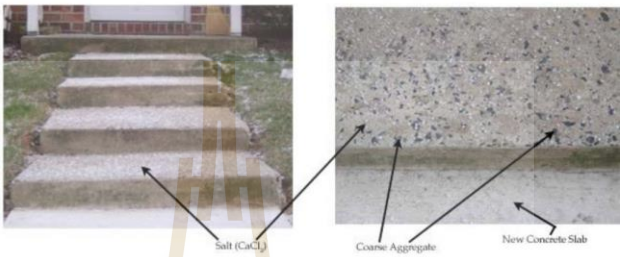
รูปที่ 2.9 การแตกร้าวคอนกรีตเนื่องจากด่างและมวลรวม
(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(6) การแตกร้าวแบบพลาสติก (plastic shrinkage crack) การแตกร้าวแบบพลาสติกรอยแตกร้าวชนิดนี้เกิดจากการที่คอนกรีตสูญเสีย ความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยการระเหยของน้ำบริเวณผิวของคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศในช่วง หลังจากการเทคอนกรีตเสร็จแล้ว จนถึงช่วงของคอนกรีตเกิดการก่อตัว เรียกคอนกรีตในช่วงนี้ คอนกรีตในช่วงพลาสติก บริเวณที่มักจะเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบพลาสติก ผิวบนของ โครงสร้างคอนกรีตที่มีผิวสัมผัสกับอากาศมาก เช่น บริเวณผิวถนน ผิวของพื้นอาคารคอนกรีต ดังรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 การแตกร้าวแบบ Plastic Shrinkage Crack
(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

(7) การแตกร้าวเนื่องจากการตกผลึกของเกลือ (salt crystallization cracking) การแตกร้าวเนื่องจากกาตกผลึกของเกลือเกิดจากการสะสมของเกลือซึมเข้าไปในตัวคอนกรีต จากน้ำทะเลหรือน้ำใต้ดิน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องก็มี เกลือสามารถซึมเข้าไปคอนกรีตได้ง่ายก็ จะมีความเสี่ยงได้มาก จากการที่คอนกรีตถูกทำให้เปียกอยู่ซ้ำๆ โดยคลื่นน้ำทะเล เมื่อมีการแห้งของ คอนกรีตอีกครั้ง ความเข้มข้นก็จะสูงขึ้น ทำให้ผลึกเกลือสามารถที่จะโตขึ้นเรื่อยๆจน ทำให้คอนกรีต เกิดการแตกร้าวได้ ดังรูปที่ 2.11

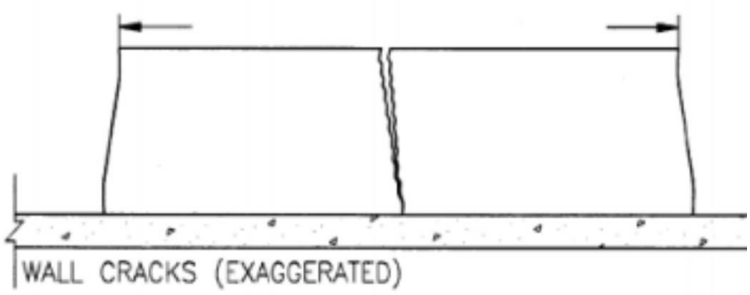


(ก) Salt ($CaCl_2$) (ข) Coase Aggregale

รูปที่ 2.11 การแตกร้าวเนื่องจากการตกผลึกของเกลือ

(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

(8) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง (drying shrinkage crack) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้งเกิดจากที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะอากาศที่ มีความชื้นต่ำ ทำให้คอนกรีตที่ผิวสัมผัสกับอากาศสูญเสียน้ำและเกิดการหดตัว โดยที่การหดตัวที่ เกิดขึ้นนั้นบางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นก็ตาม บางครั้งถ้าผนัง บางรอยแตกร้าวมักไปถึงผิวฝั่งตรงข้ามได้ ในกรณีที่เป็นผิวถนนมักจะเป็นรอยแตกตามยาวและตา ม ขวาง รอยแตกมุมของช่องเปิดหน้าต่างหรือประตูก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่ง ที่เกิดจากการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง ดังรูปที่ 2.12



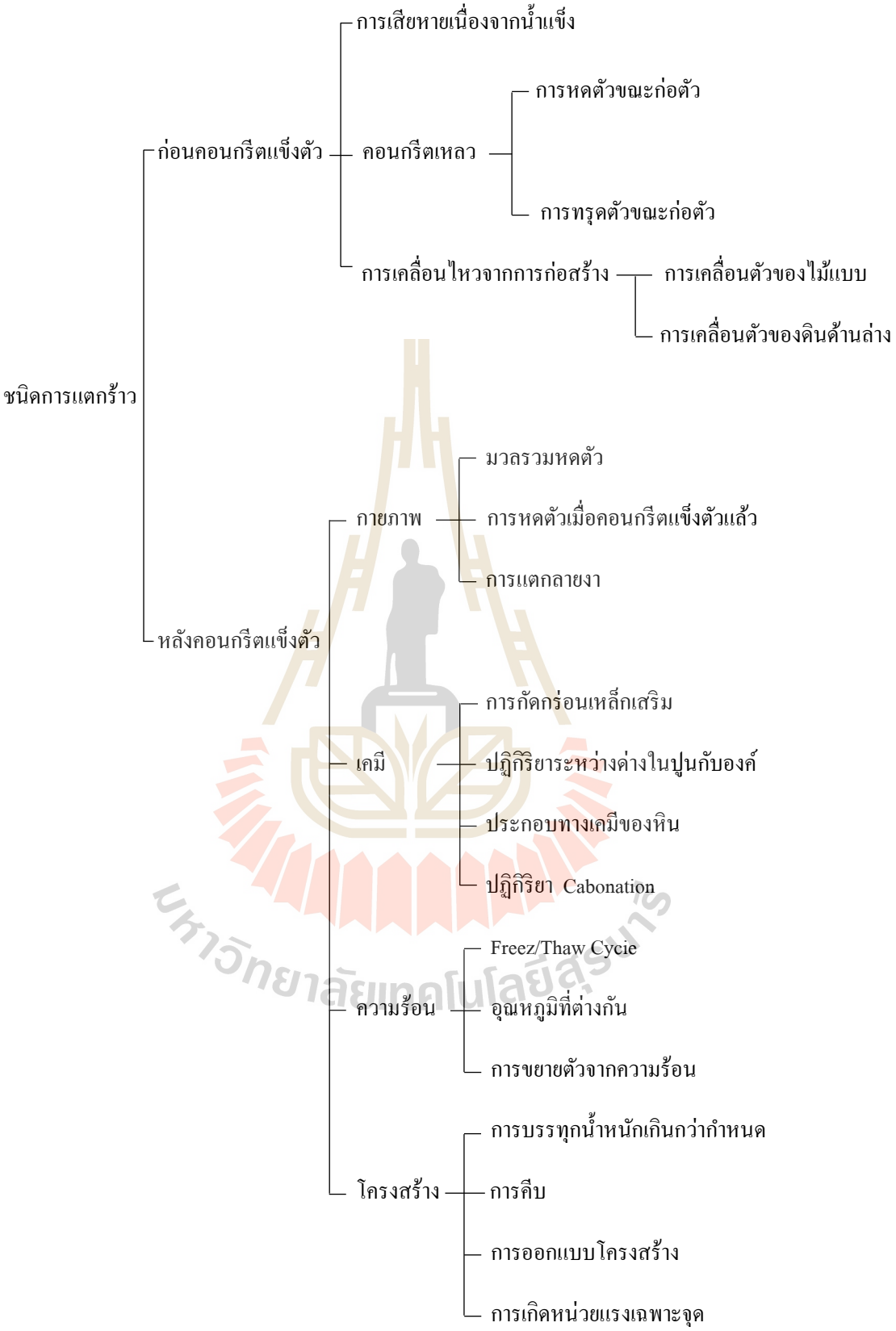
(ก) ภาพกลไกลการยึดรั้งแบบภายนอก

(ข) ภาพการแตกร้าวแบบยึดรั้งภาพนอกที่เกิดขึ้นจริง

รูปที่ 2.12 การแตกร้าวเนื่องจากการยึดรั้งภายนอก

(ที่มา : Cr. Concrete Technology C-PAC)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่2.13 ชนิดของการแตกร้าวชนิด Non Structural Crack (ธเนศ ,2560)

2.4 ชนิดของรอยร้าว

รอยร้าวของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พอจะจำแนกตามสาเหตุได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.4.1 รอยร้าวที่เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ

รอยร้าวเช่นนี้มักจะเกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตเป็นบริเวณกว้างและเป็นหย่อมๆ มีลักษณะเป็นลายงามีทิศทางของรอยแตกไม่แน่นอน บางส่วนกะเทาะหลุดล่อนออกจนเห็นเหล็กสนิม เช่น รอยร้าวของคอนกรีตที่บริเวณท้องพื้นตามแนวของเหล็กเสริม การกะเทาะหลุดล่อนของคอนกรีตที่เสาจนเห็นเหล็กเสริม หรือรอยแตกร้าวที่เกิดจากการยืดหดตัวของคอนกรีต เป็นต้น

2.4.2 รอยร้าวที่เกิดจากโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำลัง

อาจเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างมีขนาดเล็กเกินไป หรือมีการใช้งานผิดประเภทจนน้ำหนักบรรทุกใช้งานเกินกว่าน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ รอยร้าวจากสาเหตุนี้จะเกิดขึ้นควบคู่กับการแอ่นตัวหรือบิดตัวของโครงสร้าง ตำแหน่งของรอยร้าวจะอยู่บริเวณด้านล่างช่วงกลางของโครงสร้าง เช่น บริเวณท้องพื้นหรือบริเวณท้องคาน ดังนั้นเมื่อสำรวจพบการแตกร้าวประเภทนี้ควรให้ความสนใจสภาพการแอ่นตัวของโครงสร้างประกอบด้วย

2.4.3 รอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานราก

เมื่อฐานรากในอาคารเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันเป็นปริมาณมากๆ โครงสร้างของอาคารจะเกิดการขยับตัวดึงรั้งกัน เนื่องจากฐานรากเป็นส่วนที่เชื่อมโยงกับเสาของอาคารโดยตรง ดังนั้นเมื่อฐานรากขยับตัวเสาจึงเป็นโครงสร้างหลักอันดับแรกที่จะถูกดึงให้เคลื่อนตัวตามไปด้วย การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันระหว่างฐานรากทำให้เสาเคลื่อนตัวต่างกัน ส่วนที่เชื่อมโยงระหว่างเสาในอาคาร เช่น ผนัง คาน และพื้น จะบิดตัวเกิดแรงภายใน(internal force) ดึงรั้งกันจนแตกร้าว รอยร้าวเช่นนี้จะเกิดบริเวณที่เป็นจุดส่งถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนของโครงสร้าง นั่นก็คือบริเวณรอยต่อของโครงสร้าง เช่น รอยต่อระหว่างคานกับเสา รอยต่อระหว่างพื้นกับคาน เป็นต้น (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5 ลักษณะของรอยร้าว

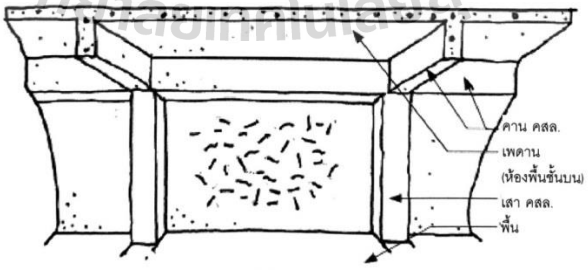
2.5.1 รอยร้าวที่ผนังอิฐก่อ

ผนังอิฐก่อหรือผนังอิฐบล็อก เป็นวัสดุที่มิใช่โครงสร้างและมิได้เสริมแรงด้วยวัสดุรับแรงดึงใดๆประกอบกับผนังอิฐก่อนั่งบนพื้นหรือคาน ทำให้ผนังอิฐก่อเป็นตัวชี้วัดการทรุดตัวหรือการแอ่นตัวของพื้น หรือคานที่มีความไวที่สุดในอาคาร

ชนิดของรอยร้าวที่เห็นส่วนมากจะสามารถบอกได้ว่าเกิดจากสาเหตุใด และมีความสำคัญต่อความแข็งแรงปลอดภัยของอาคารอย่างไร ดังนั้นจึงขอแบ่งประเภทรอยร้าวตามลักษณะและสาเหตุของการเกิดดังนี้

2.5.1.1 รอยร้าวเล็กประเภทแตกลายงา

คุณภาพการก่ออิฐฉาบปูนของช่างยุคหลังๆมานี้ แย่ลงเรื่อยๆ จนกลายเป็นสิ่งที่ต้องยอมรับด้วยความจนใจว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนจะมีรอยร้าวเล็กๆแบบรอยร้าวแตกลายงาเป็นเรื่องปกติธรรมดาทั้งๆ ที่ความเป็นจริงแล้ว ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ดีมีคุณภาพก็ไม่ควรมีรอยแตกร้าวดังกล่าว สมัยก่อน ช่างก่ออิฐฉาบปูนจะเริ่มไต่เต้าจากการเป็นลูกมือหัดผสมปูนทรายและหมักปูขาวและเฝ้าดูการทำงานของช่างรุ่นพี่ จนเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุจึงค่อยๆ เลื่อนเป็นช่างก่ออิฐและช่างฉาบปูนตามลำดับ แต่เมื่อถึงยุคเฟื่องฟูทางเศรษฐกิจ การขาดแคลนแรงงานทำให้ขาดความต่อเนื่องของการถ่ายทอดฝีมือ ช่างก่ออิฐ ช่างฉาบปูน ปัจจุบันมักมีประสบการณ์น้อย ฝากความหวังไว้กับน้ำยาเคมีผสมปูนฉาบและปูนฉาบผสมเสร็จ ปัญหารอยร้าวที่พบมากที่สุดคงจะหนีไม่พ้นรอยร้าวที่ผนังอิฐก่อประเภทแตกลายงากล่าวได้ว่ามีในอาคารแทบทุกหลัง จะมากหรือน้อยนั้นแตกต่างกันตามคุณภาพของการก่อสร้าง รอยร้าวเล็กๆ สั้นๆ ที่เกิดขึ้นสะเปะสะปะ ถือว่าเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพการก่อสร้างเท่านั้น แต่มิได้บ่งชี้ว่าโครงสร้างอาคารจะแข็งแรงหรือไม่หรือจะเกิดอันตราย หรือไม่ รอยร้าวเล็กๆ มักมีขนาดความกว้างของรอยร้าวที่เล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ความยาวรอยร้าวไม่เกินครึ่งเมตร รอยร้าวประเภทแตกลายงาเหล่านี้ อาจเกิดจากส่วนผสมปูนฉาบไม่ดี หรือการบ่มผิวหลังฉาบปูนไม่ดี หรือผนังสัมผัสกับแสงแดด หรือความร้อน ในเวลากลางวัน และอากาศเย็นตอนกลางคืนซ้ำๆกันเป็นเวลานานจึงเกิดหด ขยายตัวไม่ทันหรือไม่สม่ำเสมอ จึงเกิดรอยแตกร้าวกระจายไปทั่ว(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)



รูปที่ 2.14 รอยแตกร้าวเล็ก ประเภทแตกลายงา
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

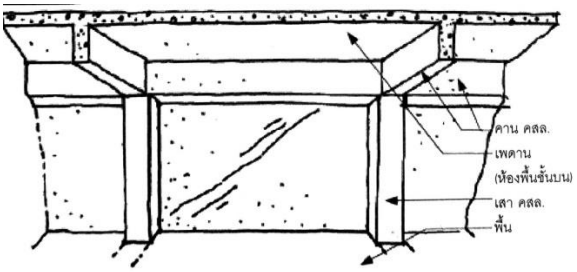
2.5.1.2 รอยร้าวที่ขอบวงกบประตูหรือหน้าต่าง

รอยร้าวประเภทนี้มักเกิดจากบริเวณมุมของวงกบประตูหรือหน้าต่างเป็นเส้นเฉียงๆออกไปประมาณ 45 องศา ขนาดความกว้างของรอยร้าวอาจมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร ถึงหลายมิลลิเมตร ความยาวของรอยร้าวอาจมีขนาดถึงครึ่งเมตร รอยร้าวประเภทนี้เกิดจากวัสดุที่ใช้ทำวงกบประตูหรือหน้าต่าง ส่วนมากจะเป็นไม้ซึ่งเกิดการยืดขยายหดตัวได้ตามอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ การยืดตัวบ่อยๆ จึงทำให้เกิดรอยร้าวทแยงมุมออกจากรอยต่อที่มุมไปในทิศทางเฉียงๆกับขอบวงกบ ความจริงโดยหลักทางช่างที่ดีต้องมีเอ็นคอนกรีตเสริมเหล็กเล็กๆ ฝังซ่อนในผนังอิฐก่ออยู่โดยรอบ ล้อมวงกบไว้เพื่อรับแรงจากการยืดตัวของวงกบเพื่อป้องกันปัญหานี้ แต่คุณภาพการก่อสร้างที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่เราพบกันอยู่เป็นส่วนใหญ่ ทำให้พบปัญหานี้บ่อยมากจนเกือบเป็นเรื่องที่จำใจต้องยอมรับว่าเป็นเรื่องปกติ รอยร้าวที่ขอบวงกบจึงบ่งชี้ถึงคุณภาพการก่อสร้าง แต่ไม่ได้บ่งชี้ว่าอาคารจะเกิดปัญหา

รูปที่ 2.15 รอยร้าวที่ขอบวงกบประตูหรือหน้าต่าง
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.1.3 รอยร้าวทแยงมุม

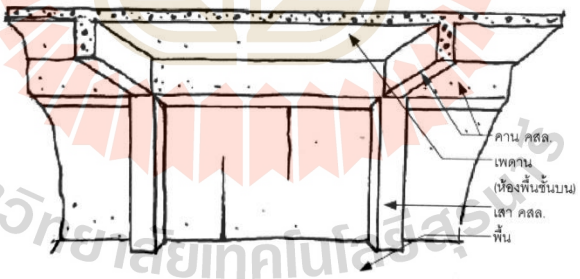
รอยร้าวที่เกิดในผนังเป็นแนวเอียงทแยงมุมประมาณ 45 องศา พาดยาวจากเพดานจนจรดพื้นหรือจรดเสา เป็นรอยร้าวที่บ่งชี้ว่าอาคารอาจมีการทรุดตัวได้ รอยร้าวประเภทนี้หากมีขนาดความกว้างมากกว่า 1 มิลลิเมตร และมีความยาวต่อเนื่องไม่ขาดตอนยาวจากเพดานถึงพื้นหรือเสา อาจเกิดจากฐานรากหรือเสาที่อยู่ใกล้ๆ บริเวณนั้นมีการทรุดตัว ควรตรวจสอบระดับพื้นอาคารว่ามีความเอียงสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ หากเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ควรตรวจวัดขนาดและความยาวของรอยร้าวอย่างสม่ำเสมอทุกเดือนเพื่อดูแนวโน้ม หากรอยร้าวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่าโครงสร้างมีปัญหาการทรุดตัวไม่หยุด อาจเกิดอันตรายได้



รูปที่ 2.16 รอยร้าวทแยงมุม (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.1.4 รอยร้าวแนวดิ่ง

รอยร้าวที่เกิดในผนังเป็นแนวดิ่งจากเพดานยาวลงมา หรือจากพื้นสูงขึ้นไปไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความสูงของผนัง รอยร้าวประเภทนี้มักมีลักษณะขนาดความกว้างแปรเปลี่ยนตามความยาว กล่าวคือเป็นรูปตัววีคว่ำหรือวีหงาย ส่วนใหญ่เกิดจาก การแอ่นตัวของพื้นหรือคานที่รองรับผนังนั้น ควรสอบทานระดับพื้นและคาน ว่ามีการแอ่นตัวที่บริเวณกึ่งกลางคานหรือพื้นอาคารสอดคล้องกันหรือไม่ ถ้าใช่ควรเคลื่อนย้ายสิ่งของที่มีน้ำหนักมากออกจากบริเวณดังกล่าว รอยร้าวประเภทนี้แสดงว่าโครงสร้างคานหรือพื้นไม่สามารถต้านทานน้ำหนักบรรทุกได้เพียงพอ รอยร้าวประเภทนี้จะปรากฏบริเวณช่วงกลางผนัง หากรอยร้าวเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างผนังกับเสามักเป็นรอยร้าวจากสาเหตุอื่น ดูเรื่องรอยร้าวบริเวณรอยต่อผนังกับเสา

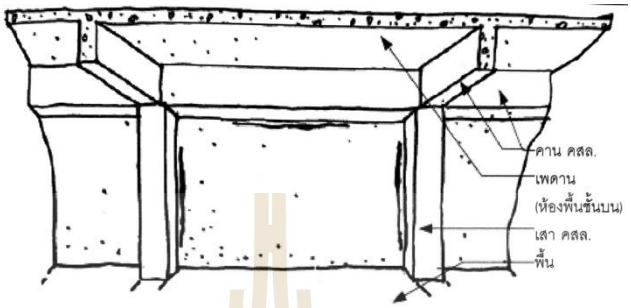


รูปที่ 2.17 รอยร้าวแนวดิ่ง
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.1.5 รอยร้าวบริเวณรอยต่อผนังกับเสา

ในบางกรณีอาจพบรอยร้าวในแนวดิ่งที่บริเวณรอยต่อระหว่างผนังกับเสาหรือในแนวราบที่ผนังกับคาน รอยร้าวนี้ส่วนใหญ่เกิดจากคุณภาพการก่อสร้างที่ไม่ดี โดยหลักทางช่างที่ดีต้องมีเหล็กหนวดกุ้งเป็นเหล็กเสริมขนาด 6 มิลลิเมตร ฝังในเสายื่นโผล่ออกมาเป็นระยะๆ เพื่อยึดผนังอิฐให้เกาะกับเสา รอยร้าวอาจเกิดจากไม่มีการเสียบเหล็กหนวดกุ้งไว้ หรือเสียบฝังในเสา

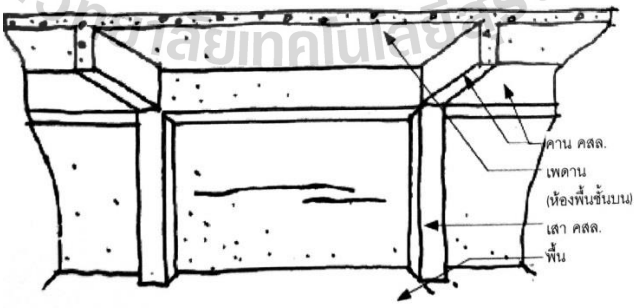
แต่ไม่แน่นหนาพอ หรือมีการดัดเหล็กหนวดกุ้งให้งอ ทำให้เหล็กหนวดกุ้งไม่สามารถยึดรั้งผนังไว้แน่นหนาพอ ทำให้เกิดรอยร้าวในบริเวณรอยต่อระหว่างผนังกับเสาได้ รอยร้าวนี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างของอาคาร



รูปที่ 2.18 รอยร้าวบริเวณรอยต่อผนังกับเสา
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.1.6 รอยร้าวในแนวราบ

ในบางกรณีอาจพบรอยร้าวในแนวราบเป็นแนวยาวที่ความสูงประมาณกึ่งกลางความสูงของผนัง รอยร้าวเช่นนี้มักไม่ได้บ่งชี้ว่าโครงสร้างมีปัญหา หากแต่อาจเกิดจากการก่อสร้างผนังไม่ดี โดยมีโพรงที่บริเวณเอ็น(คอนกรีตเสริมเหล็ก) ทับหลังในผนัง หรือไม่มีเหล็กหนวดกุ้งเสียบยึดผนังเข้ากับเสาหรือพื้นทำให้ผนังเกิดการสั่นสะเทือนหรือผนังเกิดการขยับตัวจนเกิดรอยร้าวดังกล่าว ยกเว้นกรณีที่พบรอยร้าวนี้ร่วมกับรอยร้าวประเภทอื่น เช่น รอยร้าวแนวดิ่งอาจเกิดจากการแอ่นตัวของพื้น หรือ คานที่รองรับผนังนั้น



รูปที่ 2.19 รอยร้าวในแนวราบ
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.2 รอยร้าวที่คานคอนกรีต

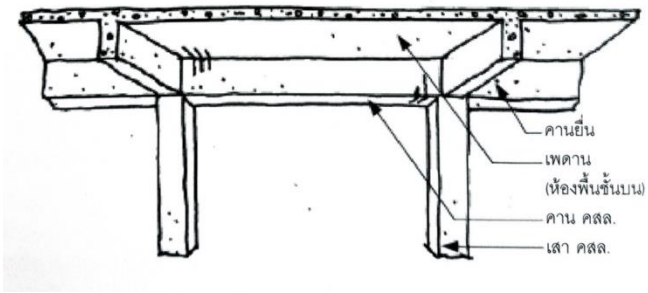
นอกจากรอยร้าวที่ผนังซึ่งเป็นสัญญาณบอกเหตุเบื้องต้นว่าอาคารอาจมีอาการไม่มั่นคงแข็งแรงแล้วรอยร้าวที่จะเกิดในคานคอนกรีตเป็นสัญญาณบอกเหตุตัวจริง ว่าโครงสร้างของอาคารเริ่มมีปัญหาน่าวิตก จนกระทั่งต้องเรียกหาวิศวกรโยธามาดูแลแก้ไขหรือไม่ ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจเสียก่อนว่ารอยร้าวในคอนกรีตโครงสร้างที่จะกล่าวถึงต่อไป หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตจริงๆ ไม่ใช่รอยร้าวที่ผิวปูนฉาบ เพราะปกติที่ผิวหน้าของคานและเสาจะมีปูนทรายฉาบพอกอยู่ ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ประมาณครึ่งเซนติเมตร ถึง 2 หรือ 3 เซนติเมตร ปูนทรายฉาบนั้นมีเพื่อกลบแต่งผิวคอนกรีตให้เนียนเรียบสวย ฉะนั้นปูนทรายจึงมีความแข็งแรงไม่มากนัก และอาจเกิดการแตกร้าวหรือหลุดร่อนออกจากเนื้อคอนกรีตได้ หลังจากการใช้งานหรือโดนความร้อนสลับกับความเย็นหลายๆปี ฉะนั้นถ้าพบรอยร้าวในคานและเสา ต้องให้สกัดชั้นปูนทราย เพื่อลอกออกมาให้เห็นเนื้อคอนกรีตจริงๆ เสียก่อนแล้วจึงดูอีกครั้งว่า รอยร้าวนั้นมีอยู่ในเนื้อคอนกรีตจริงหรือไม่ นอกจากนี้ขนาดความกว้างของรอยร้าวที่จะพิจารณาว่าเป็นรอยร้าวจะต้องมีขนาดรอยแยกกว้างกว่า 0.4 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับแรงเต็มที่ตามที่ออกแบบไว้ตามมาตรฐานจะเกิดรอยร้าวได้ประมาณ 0.3 มิลลิเมตร รอยร้าวในคานที่ปรากฏให้เห็นจะมีรูปร่างต่างๆกัน เราสามารถแบ่งตามสาเหตุ หลักของการแตกร้าวได้เป็นสงกลุ่มใหญ่ๆคือ รอยร้าวเนื่องจากคานไม่สามารถรับแรงได้ และอีกประเภทเป็นรอยร้าวเนื่องจากคุณภาพการก่อสร้างไม่ดี หรือเกิดการกัดกร่อน

2.5.2.1 รอยร้าวในคานเนื่องจากคานไม่สามารถรับแรงได้

รอยร้าวนี้อาจเกิดเนื่องจากมีน้ำหนักบรรทุก หรือมีแรงเกิดขึ้นมากกว่าความสามารถในการรับแรงของคาน การแตกร้าวของคานประเภทนี้อาจทำให้เกิดการวิบัติพังทลายของโครงสร้างได้ ซึ่งจำแนกตามสาเหตุ ดังนี้

(1) รอยร้าวเนื่องจากการทรุดตัวต่างระดับของเสาหรือฐานราก

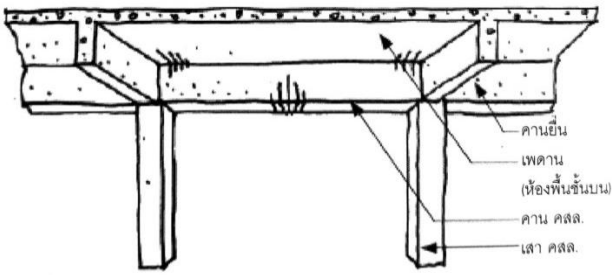
หากเสาหรือฐานรากของอาคารมีการทรุดตัวเท่าๆกัน ในลักษณะค่อยๆจมลงไปในแนวดิ่งคานอาจจะไม่เกิดรอยร้าวให้เห็น แต่ถ้าหากฐานรากหรือเสามีการทรุดตัวไม่เท่ากัน กล่าวคือ จมไปทางด้านใดด้านหนึ่งมากกว่าจะทำให้เกิดแรงดันในคานมากกว่าที่วิศวกรออกแบบไว้ คานจึงเกิดรอยร้าวได้ รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะรอยร้าวในแนวดิ่ง หรืออาจเฉียงทำมุมเอียงเล็กน้อย (ทำมุมกับแนวดิ่งไม่เกิน 45 องศา) ในบริเวณทานยึดกับเสา



รูปที่ 2.20 รอยร้าวเนื่องจากการทรุดตัวต่างระดับของเสาหรือฐานราก โดยเสาด้านขวามือทรุดตัวมากกว่า (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2) รอยร้าวเนื่องจากแรงดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเกิน

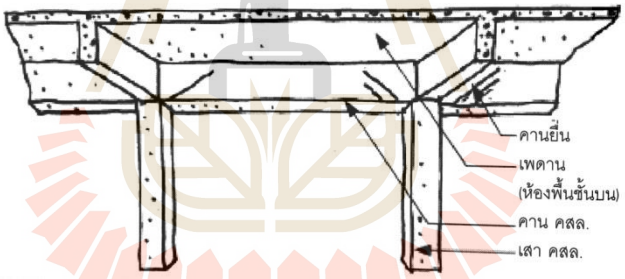
กรณีที่คานต้องรับน้ำหนักบรรทุกเกินกว่าความสามารถที่รับได้ คานอาจจะเกิดการแอ่นตัวอย่างมาก จนทำให้เกิดรอยร้าวที่บริเวณกึ่งกลางคาน รอยร้าวประเภทนี้จะเริ่มจากการเกิดรอยร้าวบริเวณผิวด้านล่างของคานแล้วค่อยๆ ขยายวิ่งสูงขึ้นไปไม่เกินครึ่งหนึ่งของความลึกของคาน ขณะเดียวกันบริเวณซึ่งคานติดกับเสาก็จะเกิดรอยร้าวที่ผิวด้านบนของคานหรือพื้นแล้วค่อยๆ ขยายตัววิ่งลงมาในแนวดิ่ง และในทำนองเดียวกันรอยร้าวมักจะยาวลงมาไม่เกินครึ่งหนึ่งของความลึกของคาน รอยร้าวบริเวณกึ่งกลางคานมักจะสังเกตเห็นได้ง่ายกว่ารอยร้าวบริเวณด้านบนของคานที่ติดกับเสา เพราะผิวคานด้านล่างมักอยู่ในตำแหน่งที่มองเห็นง่าย ขณะที่ผิวด้านบนของคานหรือพื้นอาจจะมีวัสดุปูผิว เช่น กระเบื้องยาง ปาร์เก้ หรือพรมปูทับอยู่ทำให้มองไม่เห็นรอยร้าว สำหรับกรณีที่คานเป็นคานยื่น(คานซึ่งไม่มีเสารองรับที่ปลาย อาทิเช่น คานยื่นของระเบียง) คานยื่นที่รับน้ำหนักบรรทุกเกิน จะเกิดการแอ่นตัวอย่างมากจนเกิดรอยร้าวในแนวดิ่งบริเวณใกล้รอยต่อระหว่างคานกับเสา รอยร้าวจะเริ่มจากผิวบนของคานแล้วขยายไล่ลงมาไม่เกินครึ่งหนึ่งของความลึกของคาน



รูปที่ 2.21 รอยร้าวเนื่องจากแรงดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเกิน (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(3) รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเกิน

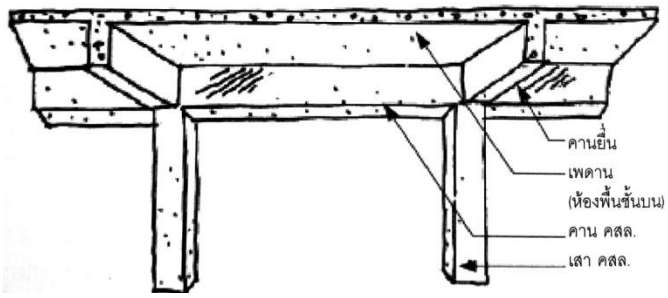
กรณีที่คานรับน้ำหนักบรรทุกเกินนอกจากจะเกิดรอยร้าวเนื่องจากแรงดันดังหัวข้อข้างต้นแล้ว อาจเกิดรอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนก็ได้ แรงเฉือนนั้นแตกต่างจากแรงดัดโดยที่แรงดัดอาจเปรียบเทียบได้กับลักษณะการหักตะเกียบโดยใช้มือทั้งสองข้างของเรา ก่อนตะเกียบจะหักเราจะเห็นได้ชัดเจนว่าตะเกียบเกิดการแอ่นโค้งตัวอย่างมาก ส่วนแรงเฉือนเปรียบเทียบคล้ายกับการใช้มีดหั่นหัวไช้เท้าให้ขาดจากกัน หรืออาจเปรียบเทียบตัวอย่างให้เห็นชัดๆ ว่า ถ้าเราแบ่งขนมปังกรอบ (cracker) หรือคุกกี้ ให้เป็นสองส่วน เราจะสามารถแบ่งได้โดยวิธีที่หนึ่งใช้มือดัดแผ่นขนมปังให้โค้งจนกระทั่งขนมปังหักครึ่ง หรือวิธีที่สองใช้มือดันขนานกันเพื่อให้ขนมปังขาดจากกันโดยไม่เกิดการดัดโค้งเลยก็ได้จะเห็นได้ว่าวิธีที่สองเป็นการหักโดยแรงเฉือนจะยากกว่าวิธีแรก ซึ่งเป็นการหักโดยแรงดัด ฉะนั้นการแตกร้าวของคานเนื่องจากแรงเฉือน จึงเกิดขึ้นได้ยากกว่ารอยร้าวเนื่องจากแรงดัดและไม่เกิดขึ้นบ่อยนัก รอยร้าวที่เกิดขึ้นจากแรงเฉือนมักเกิดบริเวณใกล้รอยต่อคานกับเสาและรอยร้าวจะทำมุมประมาณ 45 องศากับแนวดิ่งและยาวตลอดความลึกของคานตั้งแต่ด้านบนของคานจรดผิว



รูปที่ 2.22 รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเกิน
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(4) รอยร้าวเนื่องจากแรงบิด

รอยร้าวชนิดนี้ไม่ค่อยเกิดขึ้นให้พบเห็น หากเกิดจะทำให้เกิดรอยร้าวเอียงๆทำมุม 45 องศา กับแนวดิ่งคล้ายๆ กับรอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือน แต่จะมีข้อแตกต่างที่รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนส่วนมากจะมีเพียง 1 รอย แต่รอยร้าวจากแรงบิดจะทำให้เกิดรอยร้าวเส้นเล็กๆ จำนวนมากวิ่งขนานกันไป และอาจเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางคานก็ได้ แล้วแต่ว่าจะมีแรงบิดมากในบริเวณใด



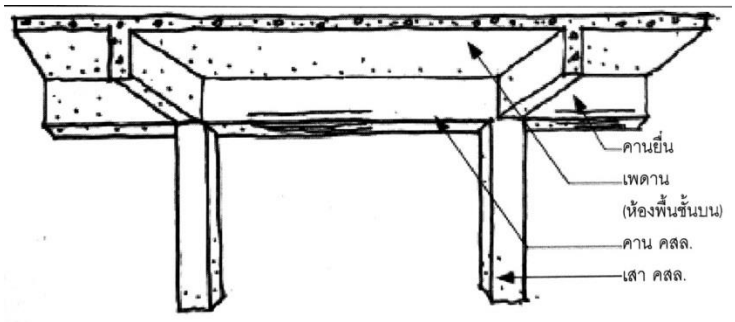
รูปที่ 2.23 รอยร้าวเนื่องจากแรงบิด
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.2.2 รอยร้าวในคานเนื่องจากคุณภาพการก่อสร้างหรือการกัดกร่อน

คุณภาพการก่อสร้างที่ไม่ดีอาจจะทำให้อายุโครงสร้างสั้นลง และเกิดรอยร้าวได้ หลากหลายประเภท แต่โครงสร้างมักจะไม่พังทลายหรือวิบัติในเวลาอันรวดเร็ว อาจใช้เวลาหลายปีกว่าจะเกิดความเสียหายอย่างแท้จริง รอยร้าวประเภทนี้มักพบในอาคารซึ่งควบคุมการก่อสร้างไม่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารในบริเวณแถบชายฝั่งทะเลจะพบมากขึ้น อันเนื่องจากน้ำเค็มจากทะเลจะทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น และเหล็กก็เป็นสนิมเร็วขึ้นเช่นกัน

(1) รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม

กรณีที่เหล็กเสริมในคานมีคอนกรีตหุ้มไว้หนาไม่เพียงพอหรือคอนกรีตเป็นรูโพรงเหล็กเสริมในคานจะค่อยๆเกิดสนิม อันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศโยมีความชื้นเป็นตัวเร่ง สนิมเหล็กจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดันให้คอนกรีตแตกร้าวได้ รอยร้าวที่มักพบจะเป็นรอยร้าวในแนวราบยาวไปตามคาน ตามตำแหน่งของเหล็กเสริม รอยร้าวที่พบเห็นก่อนมักเป็นรอยร้าวบริเวณใต้คาน หรือขอบด้านล่างของคานหากปล่อยทิ้งไว้เหล็กที่เป็นสนิมจะบวม และดันให้คอนกรีต ส่วนใต้รอยร้าวนี้หลุดออกมาได้



รูปที่ 2.24 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเป็นสนิม
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2) รอยร้าวเนื่องจากคอนกรีตคุณภาพต่ำ

คอนกรีตที่มีคุณภาพต่ำมีกำลังอัดหรือความแข็งแรงต่ำ อาจทำให้เกิดรอยร้าวในคานได้หลากหลาย แต่ที่พบมากจะเป็นประเภทคอนกรีตแตกร้าว หรือหลุดร่อนจากคานเป็นก้อนๆ จุดๆ ไม่แน่นอนแล้วแต่ว่าบริเวณใดจะมีคุณภาพต่ำกว่า การตรวจสอบรอยร้าวที่รอยร้าวที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยสายตาหากพบว่าคานมีรอยร้าวที่มีลักษณะดังอธิบายข้างต้น ควรใช้ดินสอทำเครื่องหมายและเขียนวันที่กำกับไว้ที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของรอยร้าว และตรวจเช็คทุกสัปดาห์ว่ารอยร้าว มีความยาวเพิ่มขึ้นหรือไม่ ถ้ามีก็ทำเครื่องหมายพร้อมกับเขียนวันที่กำกับทุกครั้ง หากพบว่ารอยร้าวมีขนาดและจำนวนเพิ่มขึ้นในอัตราก้าวหน้า (มากขึ้นหรือยาวกว่าสัปดาห์ก่อน) โดยไม่มีอาการว่ารอยร้าวจะหยุด ควรหาวิศวกรโยธาเพื่อให้ตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงการตรวจสอบโดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือพิเศษโดยเฉพาะจะรู้ถึงสาเหตุและทำให้สามารถแก้ปัญหาที่ต้นเหตุได้

2.5.3 รอยร้าวที่เสา

เสาเป็นโครงสร้างส่วนที่สำคัญมากของอาคาร เพราะเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของอาคาร เพื่อถ่ายลงสู่ฐานรากหรือพื้นดิน ถ้าเสาอาคารรับน้ำหนักเกินขีดความสามารถจะเกิดการพังทลายอย่างรวดเร็ว โดยมีสัญญาณเตือนภัยน้อยมาก กล่าวอีกนัยหนึ่งเสาจะเกิดรอยร้าวให้เห็นแล้วก็พังทลายในเวลารวดเร็ว จนอาจจะเตรียมตัวหนีไม่ทัน ฉะนั้นถ้าพบรอยร้าวในเสาก็ไม่ควรนิ่งนอนใจควรย้ายออกจากอาคารนั้น และหาวิศวกรผู้เชี่ยวชาญมาดูแล โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอาคารหลังนั้นมีการก่อสร้างต่อเติมเพิ่มจำนวนชั้นให้สันนิษฐานไว้ก่อนว่าอาจจะเกิดการวิบัติเสาได้

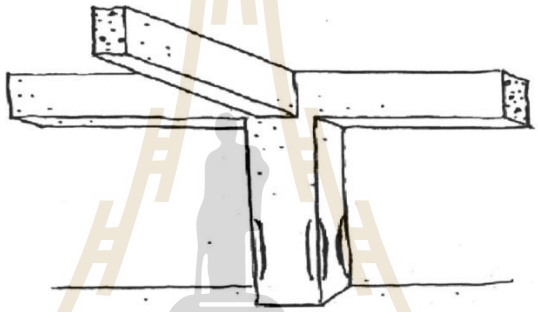
ด้วยสาเหตุเป็นโครงสร้างที่สำคัญและมีสัญญาณเตือนภัยน้อยก่อนการวิบัติ ในทางวิศวกรรมจึงออกแบบให้เสามีส่วนเผื่อความปลอดภัย (factor of safety) ค่อนข้างสูง กรณีทั่วไปจึงไม่ค่อยเห็นรอยร้าวที่เสา เพราะเมื่อเกิดรอยร้าวที่เสาแล้วมักจะเกิดการวิบัติโดยฉับพลัน คนทั่วไปคิดว่าอาคารห้องแถว 2-4 ชั้น อาคารที่ไม่สูงสามารถต่อเติมเพิ่มชั้นได้ โดยไม่อันตรายหรือมีอันตรายน้อยกว่าการต่อเติมเพิ่มชั้นในตึกสูงๆ เช่น ตึก 10 ชั้น 20 ชั้น แต่ความเป็นจริงแล้วการต่อเติมเพิ่มชั้นในห้องแถวเตี้ยๆ ขนาด 2-3 ชั้น จะอันตรายมากกว่า ยกตัวอย่าง เช่น ห้องแถว 2 ชั้น ต่อเติมเป็น 3 ชั้น เท่ากับเป็นการบังคับให้เสาต้องรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 50 ในขณะที่การต่อเติมเพิ่ง 1 ชั้น ในตึก 10 ชั้น จะเพิ่มน้ำหนักในเสาเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น

รอยร้าวในเสาที่อาจพบเห็นได้ก่อนการวิบัติทั้งหลายของเสา สามารถจำแนกตามสาเหตุหลักๆ ได้ดังนี้ อนึ่งเสาที่เกิดจากสาเหตุเดียว หรือหลายๆ สาเหตุรวมกันได้

2.5.3.1 รอยร้าวเนื่องจากการรับน้ำหนักไม่ไหว

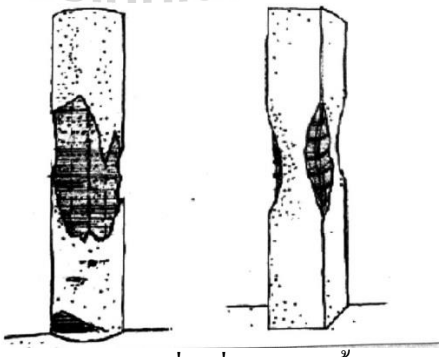
เสาคอนกรีตซึ่งรับน้ำหนักไม่ไหวก่อนการวิบัติพังทลายจะเกิดรอยปริแตกเป็นเส้นในแนวดิ่ง โดยที่รอยปริแตกมีคุณลักษณะเฉพาะตัว คือรอยปริแตกจะเกิดเป็นคู่ๆอยู่ที่ขอบคนละด้านของเสา อยู่ห่างจากมุมเสาเป็นระยะประมาณ 3-5 เซนติเมตร รอยปริแตกจะไม่เกิดเป็นเส้นโดดๆ ที่แนวกลางเสา

(1) ความยาวของรอยปริแตกจะไม่ยาวตลอดความสูงของเสา รอยปริแตกจะยาวประมาณหนึ่งฟุต ถึงหนึ่งเมตร และมักจะเริ่มเกิดที่บริเวณซึ่งคุณภาพคอนกรีตต่ำกว่าที่อื่น ๆ เช่น บริเวณซึ่งคอนกรีตมีโพรงอยู่ก่อนแล้ว หรือบริเวณซึ่งมีรอยแตกเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม



รูปที่ 2.25 รอยปริแตกจะเริ่มเกิดเป็นคู่ๆ ที่ขอบคนละด้านของเสา (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2) รอยปริแตกจะคล้ายๆ กับผิวของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมไว้จะปริแตกร่อนออก สังเกตได้ว่า รอยแตกร้าวต้องลึกเข้าไปในคอนกรีต ถ้าปริแตกเฉพาะปูนฉาบก็ไม่ใช่การปริแตกของเสา

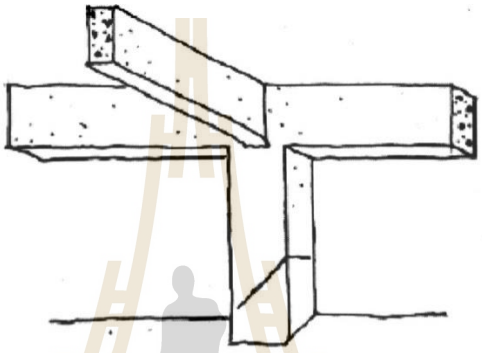


รูปที่ 2.26 การวิบัติของเสากลมและเสาสี่เหลี่ยมจะเกิดขึ้นทันที หลังจากคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมกะเทาะออก (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5.3.2 รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือน

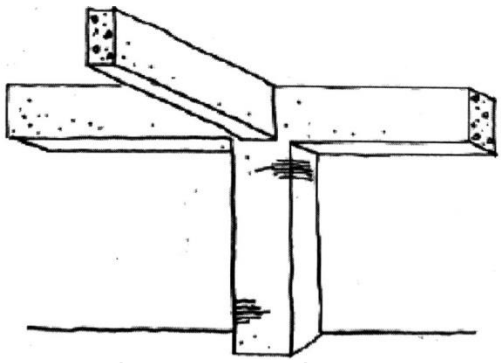
โดยปกติเสาจะถูกออกแบบให้รับน้ำหนักในแนวดิ่ง และโมเมนต์ดัดแต่ไม่ได้ออกแบบให้รับแรงเฉือน ตามแนวราบกรณีที่อาคารมีการทรุดเอียง อาจจะมีแรงในแนวราบหรือแรงเฉือนดันให้เสาเกิดรอยร้าวได้ เนื่องจากแรงในแนวราบหรือแรงเฉือนจะเกิดเป็นเส้นเอียงๆ ประมาณ 45 องศา ตัดผ่านเสา หากมีผนังอิฐติดอยู่กับเสานี้จะสังเกตว่าอาจมีรอยร้าวเอียงทแยงมุมเกิดที่ผนังอิฐด้วย รอยร้าวประเภทนี้เกิดขึ้นไม่บ่อยนัก



รูปที่ 2.27 รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนหรือแรงในแนวราบ
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.3.3 รอยร้าวเนื่องจากแรงดัด

กรณีมีคานยื่นออกมาจากเสามาก อาจทำให้เกิดแรงดัดเกิดขึ้นในเสาจนเกินขีดจำกัดของเสา หรือกรณีที่อาคารมีการทรุดเอียง นอกจากจะเกิดแรงเฉือนดังหัวข้อก่อนแล้วอาจจะเกิดแรงดัดทำให้เสาเกิดรอยร้าวได้ รอยร้าวเนื่องจากแรงดัดมักจะเป็นรอยร้าวในแนวราบเป็นเส้นขวางกับแกนเสาและรอยร้าวจะไม่ยาว ประมาณครึ่งหนึ่งของเสาและมีความกว้างมากที่ขอบและแคบลงเรื่อยๆตามแนวนอนเป็นรูปตัววี และรอยร้าวมักจะเกิดที่โคนเสาหรือหัวเสาบริเวณใกล้กับคาน และถ้ามีรอยร้าวอยู่ทั้งที่โคนเสาและหัวเสาในทิศทางตรงกันข้าม ดังรูป ทำให้มั่นใจได้ว่ารอยร้าวนี้เกิดเนื่องจากแรงดัด

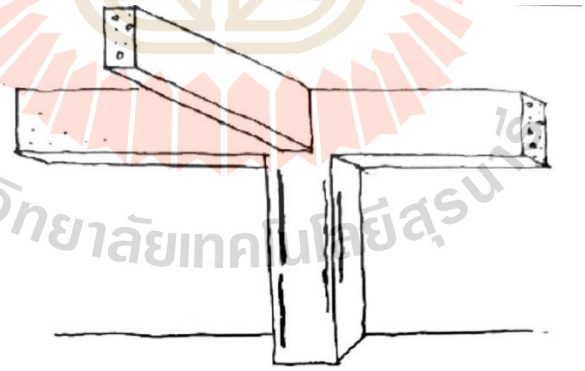


รูปที่ 2.28 รอยร้าวเนื่องจากแรงดัด

(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

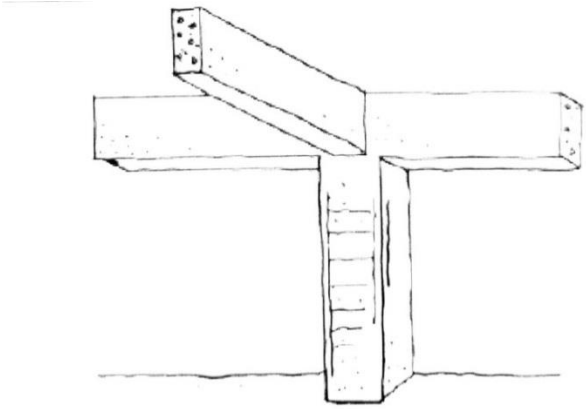
2.5.3.4 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเป็นสนิม

หากเหล็กเสริมยืนในเสาเกิดเป็นสนิม อาจมีสาเหตุเบื้องต้นจากคอนกรีตเสามีเนื้อพรุนเป็นโพรง หรือความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กน้อยเกินไป หรือเสามีความเปียกชื้นตลอดเวลา เช่น เสาแช่ในน้ำทะเล น้ำกร่อย เป็นต้น รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะเกิดในแนวดิ่งตามแนวของเหล็กเสริมยืนที่เป็นสนิมนั้นๆ อันเนื่องจากสนิมทำให้เนื้อเหล็กบวมดันเนื้อคอนกรีตแตกออก รอยแตกประเภทนี้จะคล้ายกับรอยร้าว เนื่องจากเสารับน้ำหนักไม่ไหว แต่มีข้อสังเกตความแตกต่างดังนี้



รูปที่ 2.29 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเสริมยืนในเสาเป็นสนิม

(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

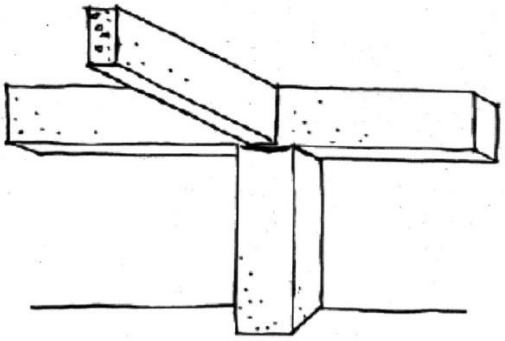


รูปที่ 2.30 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเส้นเสริมยืนและเหล็กปลอกในเสาเป็นสนิม
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

จะเห็นว่าเหล็กเสริมยืนเป็นสนิม หรือมีร่องรอยสนิมไหลออกมาจากรอยแตกร้าว รอบปริแตกอาจจะยาวตลอดความสูงก็ได้ หรือเกิดเฉพาะที่ก็ได้ และไม่จำเป็นต้องเกิดเป็นเส้นคู่ๆเสมอไป กรณีที่เหล็กเสริมยืนเป็นสนิม มักจะทำให้เหล็กปลอกเป็นสนิมด้วย เหล็กปลอกที่เป็นสนิมจะดันให้คอนกรีตหุ้มกะเทาะหลุดออก หรือเป็นรอยร้าวในแนวราบ รอยร้าวประเภทนี้บ่งชี้ว่าอาคารต้องได้รับการซ่อมแซมโดยเร็ว

2.5.3.5 รอยร้าวเนื่องจากหัวเสาไม่สะอาด

อาคารขนาดเล็กจำนวนมากมีรอยร้าวหรือรอยปริแตกในแนวราบที่บริเวณรอยต่อระหว่างหัวเสากับคาน สาเหตุเนื่องจากคุณภาพการก่อสร้างไม่ดี กล่าวคือเมื่อเทคอนกรีตเสาแล้ว มีน้ำปูนจำนวนมากลอยตัวขึ้นไปอยู่บนผิวบริเวณหัวเสาทำให้คอนกรีตบริเวณหัวเสามีความแข็งแรงน้อย เมื่อมีการเทคอนกรีตคานทับบนหัวเสาโดยไม่มีการทำความสะอาดหรือไม่มีการขูด หรือสกัดเอาชั้นน้ำปูนหรือคอนกรีตไม่ดีนี้ออก ทำให้เกิดรอยแตกร้าวบริเวณหัวเสาที่ต่อเนื่องกับคานได้ ถ้าชั้นคอนกรีตเนื้อไม่ดี มีความหนามากอาจทำให้อาคารทรุดตัวลงได้



รูปที่ 2.31 รอยร้าวเนื่องจากหัวเสาไม่สะอาด
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5.4 รอยร้าวที่พื้น

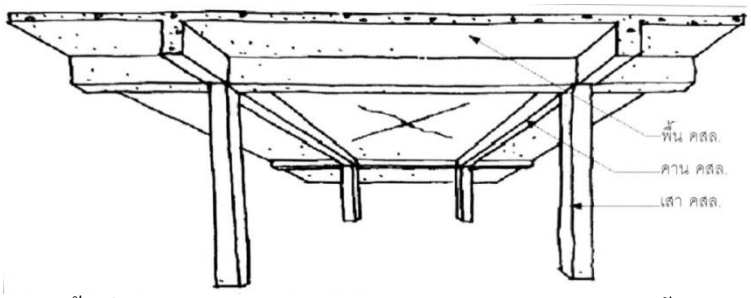
รอยร้าวที่พื้นมักจะพบเห็นได้ง่ายและทำให้เจ้าของอาคารกังวลมากกว่าอาคารของตนเองจะทรุดพังทลายหรือไม่ โดยความเป็นจริงรอยร้าวจำนวนมากเป็นเพียงรอยร้าวที่ผิววัสดุปูพื้นหรือวัสดุตกแต่งพื้น เฉพาะพื้นที่เป็นลักษณะโครงสร้างเท่านั้น กล่าวคือ เป็นพื้นซึ่งมีคานรองรับไม่รวมถึงพื้นซึ่งวางบนดิน เช่น พื้นที่จอดรถหรือพื้นชั้นล่างของอาคารขนาดเล็ก โดยส่วนมากจะเป็นพื้นวางบนดินไม่มีโครงสร้างคานหรือเสาเข็มรองรับอยู่ ซึ่งการเกิดรอยร้าวในพื้นวางบนดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติอยู่แล้ว ชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่นิยมใช้ในอาคาร มีดังนี้

2.5.4.1 รอยร้าวที่ใต้ท้องพื้น

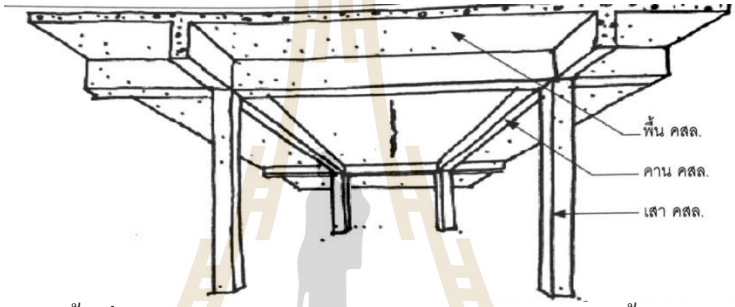
รอยร้าวที่เกิดใต้ท้องพื้นมักเป็นรอยร้าวที่บ่งบอกถึงความไม่มั่นคงแข็งแรงของพื้นซึ่งรอยร้าวจะแตกต่างกันตามชนิดของพื้น รอยร้าวประเภทนี้สังเกตได้ง่ายเพราะอยู่ใต้ท้องพื้นซึ่งเป็นจุดที่เห็นได้ง่าย ยกเว้นกรณีที่มีฝ้าเพดานปิดไว้ รอยร้าวสำคัญที่บ่งบอกเป็นสัญญาณว่าพื้นเริ่มรับน้ำหนักไม่ไหว หรือมีอันตรายเกิดขึ้นได้ มีดังนี้

(1) รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตที่มีคานรองรับชนิดหล่อในที่

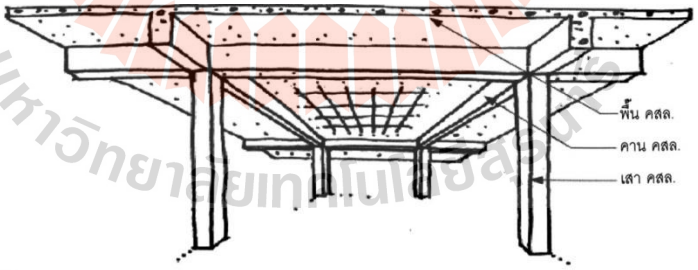
หากพื้นคอนกรีตที่มีคานรองรับชนิดหล่อในที่รับน้ำหนักมากจนเกิดขีดความสามารถ ก่อนจะเกิดการวิบัติจะมีรอยร้าวเตือนภัยที่บริเวณใต้ท้องพื้นเป็นรอยแตกเป็นทางยาวบริเวณตอนกลางของพื้น ถ้าพื้นเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกล่าวคือ ด้านกว้างกับด้านยาวเท่าๆ กัน ท้องพื้นจะมีรอยร้าวเป็นรูปกากบาทในแนวทแยงมุม หรืออาจมีรอยร้าว ที่ตอนกลางพื้นขนานกับคานด้านใดด้านหนึ่ง แต่ถ้าพื้นมีความกว้างไม่เท่ากับความยาว จะเกิดรอยร้าวบริเวณกึ่งกลางคานแผ่นพื้นขนานกับแนวคานด้านยาว รอยร้าวซึ่งมักพบในพื้นที่หลังคาดาดฟ้า ซึ่งมีการก่อสร้างที่ไม่ดี คือรอยร้าวใต้ท้องพื้น หรืออาจมีร่องรอยเป็นตารางตามแนวเหล็กเสริมในพื้น สาเหตุอาจเกิดจากการเทคอนกรีตไม่ดี หรือมีน้ำขังบนดาดฟ้าทำให้น้ำซึมทะลุผ่านแผ่นพื้นจนถึงชั้นเหล็กเสริม ทำให้เหล็กเสริมถูกน้ำหนักคอนกรีตกดลงมาอยู่ใกล้ผิวไม้แบบเกินไป ทำให้คอนกรีตมีความหน้าหุ้มเหล็กเสริมไม่เพียงพอ เมื่อเวลาผ่านไป ออกซิเจนและความชื้นซึมผ่านผิวคอนกรีตจนทำให้เหล็กเป็นสนิม ถ้าไม่มีการแก้ไขเหล็กจะเป็นสนิม ขยายตัว บวมตัว ดันคอนกรีตที่หุ้มเหล็กไว้หลุดร่อง จนเห็นเหล็กเป็นตะแกรง พื้นจะมีความสามารถรับน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วจนเกินการวิบัติได้



รูปที่ 2.32 พื้นที่ด้านกว้างเท่ากับด้านยาวและมีเหล็กเสริมเท่ากันทั้งสองทิศทาง รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจะเกิดเป็นรูปกากบาทในแนวทแยงมุม
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)



รูปที่ 2.33 พื้นที่มีด้านกว้างด้านยาวไม่เท่ากัน รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจเกิดบริเวณกึ่งกลางเป็นเส้นขนานกับแนวคานด้านยาว
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

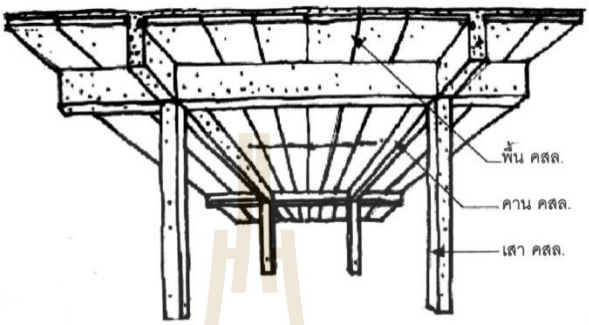


รูปที่ 2.34 รอยร้าวหรือรอยสนิมเหล็กที่ใต้ท้องพื้นเป็นตาราง
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2) รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปท้องเรียบ และชนิดกลวง

กรณีที่พื้นชนิดรับน้ำหนักเกินขีดความสามารถ จะเกิดรอยร้าวที่บริเวณกึ่งกลางใต้ท้องพื้นเป็นแนวขวางกับแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป กรณีที่แผ่นพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบยาวกว่า 3.50 เมตร ผู้ผลิตมักจะกำหนดให้มีการค้ำยันที่ท้องพื้นขณะเทคอนกรีตทับหน้า แต่ผู้รับเหมาจำนวนมาก

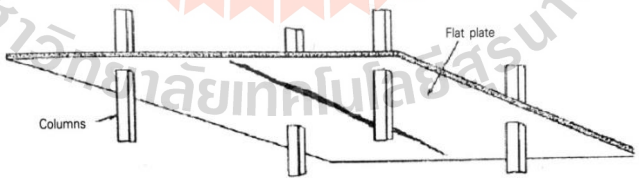
ไม่ปฏิบัติตาม ทำให้อาจเกิดรอยร้าวประเภทนี้ได้ตั้งแต่ขณะก่อสร้าง นอกจากนี้ยังเป็นผลเสียทำให้พื้นมีความสามารถรับน้ำหนักได้น้อยลง จึงเกิดรอยร้าวชนิดนี้ได้ง่ายเมื่อใช้งาน แม้ว่าจะไม่ได้มีการกองเก็บของไว้มากจนเกินขีดความสารถที่ออกแบบไว้ กรณีแผ่นพื้นชนิดกลวง หากเกิดรอยร้าวใต้ท้องพื้นในลักษณะบริเวณกึ่งกลางช่วงและตั้งฉากกับแผ่นพื้นเช่นนี้จะบ่งชี้ว่าพื้นใกล้จะเกิดการวิบัติได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.35 รอยร้าวที่บริเวณกึ่งกลางใต้ท้องพื้น เป็นแนวขวางกับแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(3) รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตไร้คาน

พื้นคอนกรีตไร้คานเมื่อบรรทุกน้ำหนักเกิน หรือเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกไม่ไหวจะเกิดรอยร้าวที่ผิวบนก่อน ต่อมาจึงเกิดรอยร้าวที่ผิวล่าง ดังนั้นกรณีที่พบเห็นรอยร้าวที่ใต้ท้องพื้นชนิดนี้มีขนาดเกินกว่า 0.5 มิลลิเมตร จึงควรปรึกษาวิศวกรโยธาเพื่อหาสาเหตุ และการแก้ไข รอยร้าวใต้ท้องพื้นมักเกิดเป็นเส้นยาวบริเวณกึ่งกลางช่วงพื้นโดยขนานกับด้านสั้นของแผ่นพื้น



รูปที่ 2.36 รอยร้าวที่บริเวณใต้ท้องพื้นไร้คานเป็นแนวขนานกับด้านสั้นของแผ่นพื้น
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(4) รอยร้าวในพื้นชนิดคานรูปตัวทีคว่ำและคอนกรีตบล็อก

พื้นชนิดนี้มักมีปูนฉาบปิดไว้ทำให้จำแนกรอยร้าวอันเนื่องจากการรับน้ำหนักเกินได้ยาก เพราะมักจะเกิดรอยร้าวอันเนื่องจากการฉาบปูนไม่ดี ปูนหลุดร่อน หรือมีรอยร้าวเป็นเส้นตามแนวรอยต่อระหว่างคานรูปตัวทีคว่ำกับคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นรอยร้าวที่ไม่เกี่ยวข้องกับ

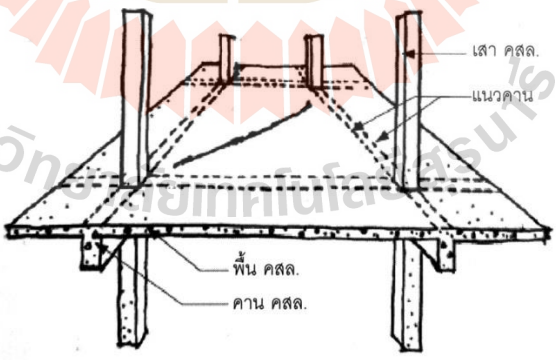
ความแข็งแรงของพื้น หากมีรอยร้าวบริเวณกึ่งกลางพื้นเป็นเส้นขวางกับแนวคานรูปตัวทีคว่ำ ก็ควรสกัดปูนฉาบเพื่อดูว่ามีรอยร้าวที่คานรูปตัวทีคว่ำหรือไม่ ถ้ามีรอยร้าวที่ใต้ท้องคานตัวทีคว่ำแสดงว่าพื้นเริ่มจะส่งสัญญาณเตือนภัยว่ารับน้ำหนักไม่ไหว อนึ่งขั้นตอนการค้ำยันขณะก่อสร้างมีความสำคัญมากต่อความแข็งแรงของพื้นชนิดนี้ ถ้าค้ำยันไม่ถูกต้องหรือไม่ครบตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ อาจจะทำให้พื้นทีความสามารถรับน้ำหนักได้น้อยลงจึงเกิดรอยร้าวได้ง่าย หรืออาจเกิดทันทีขณะก่อสร้าง

2.5.4.2 รอยร้าวที่ผิวบนของพื้น

โดยหลักวิศวกรรมแล้ว เมื่อพื้นรับน้ำหนักไม่ไหวจะเกิดรอยร้าวที่ผิวบนก่อนการเกิดที่ใต้ท้องพื้น แต่เนื่องจากพื้นด้านบนมักมีวัสดุตกแต่งปิดทับ อาทิเช่น กระเบื้องพรม กระเบื้องยาง หินแกรนิต ทำให้มักไม่ใคร่เห็นรอยแตกร้าวเหล่านั้น ประกอบกับผิวด้านบนมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากมายที่อาจทำให้เกิดรอยแตกร้าวได้ ดังนั้นเมื่อพบรอยร้าวที่ผิวบนพื้นควรตรวจสอบให้แน่ใจก่อนตัดสินว่าพื้นมีปัญหาความมั่นคงแข็งแรงหรือไม่ รอยแตกร้าวที่อาจพบบนผิวของพื้นที่สำคัญพอสังเขป ดังนี้

(1) รอยร้าวทแยงมุมที่ผิวบนในพื้นคอนกรีตมีคานรองรับชนิดหล่อในที่

กรณีที่เสาหรือฐานรากมีการทรุดตัวอย่างมาก อาจทำให้พื้นคอนกรีตหล่อในที่มีการแตกร้าวในแนวทแยงมุม จะเห็นได้ในเฉพาะพื้นที่มีวัสดุปูผิวชนิดแข็ง เช่น ผิวปูนขัดมัน ผิวขัดหิน หรือผิวกระเบื้อง เซรามิค เป็นต้น



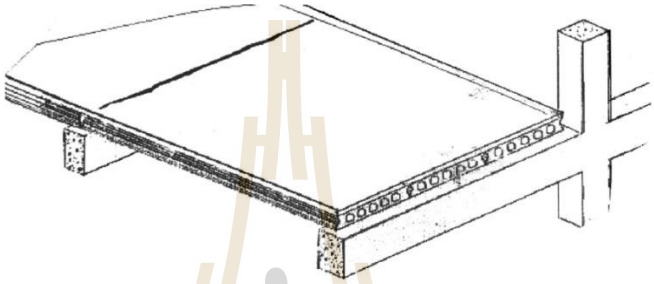
รูปที่ 2.37 รอยร้าวทแยงมุมที่ผิวบน ของพื้น เนื่องจากการทรุดตัวของเสาหรือฐานราก (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2) รอยร้าวที่ผิวบนในพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป

พื้นชนิดคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปมักมีปัญหาเกิดรอยร้าวหลัก ดังนี้

(2.1) รอยร้าวบริเวณเหนือคาน

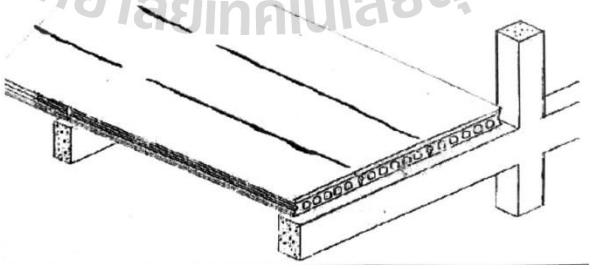
จะเกิดเป็นรอยร้าวเส้นยาวเหนือตำแหน่งคานหรือตำแหน่งปลายพื้นสำเร็จรูป เนื่องจากแผ่นพื้นประเภทนี้ได้รับการออกแบบเป็นพื้นช่วงเดียว (simple span) ไม่ได้เป็นช่วงต่อเนื่อง (continuos span) จึงไม่มี เหล็กเสริมที่ผิวบนพื้นเพื่อรับโมเมนต์ลบที่เกิดขึ้น รอยร้าวชนิดนี้จึงพบได้เกือบทุกอาคาร หากวิศวกรผู้ออกแบบตระหนักถึงปัญหานี้ล่วงหน้าอาจมีการเสริมเหล็กเพิ่มบริเวณเหนือคาน ซึ่งจะช่วยลดขนาดความกว้างของรอยร้าวได้ แต่ยังคงสามารถสังเกตเห็นรอยร้าวเส้นเล็กๆได้



รูปที่ 2.38 รอยร้าวผิวบนบริเวณเหนือคานหรือบริเวณแผ่นปลายแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2.2) รอยร้าวบริเวณขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูป

ในกรณีที่แผ่นพื้นรับน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุดที่สูงมาก หรือกรณีแผ่นพื้นมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมาก อาจพบปัญหาเกิดรอยร้าวที่ผิวพื้นตามแนวขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูปทั้งนี้เนื่องจากแผ่นพื้นที่อยู่ติดกันมีการแอ่นตัว หรือขยับตัวมากจนกระทั่งคอนกรีตทับหน้าและเหล็กเสริมตะแกรงไม่สามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้จึงเกิดรอยร้าว



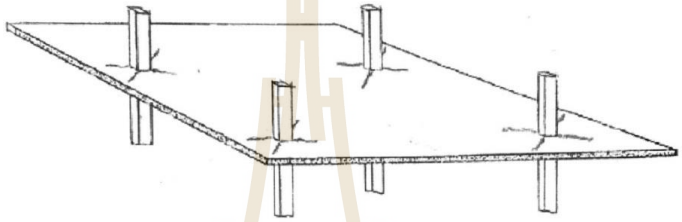
รูปที่ 2.39 รอยร้าวผิวบนตามแนวขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูป
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2.3) รอยร้าวที่ผิวบนในพื้นคอนกรีตไร้คาน

เมื่อพื้นคอนกรีตไร้คาน (ทั้งชนิดคอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรง) รับน้ำหนักไม่ไหวก็จะเกิดรอยร้าวที่ผิวบนพื้น รอยร้าวอาจจำแนกได้หลายลักษณะดังนี้

(2.4) รอยร้าวผิวบนบริเวณโดยรอบเสา

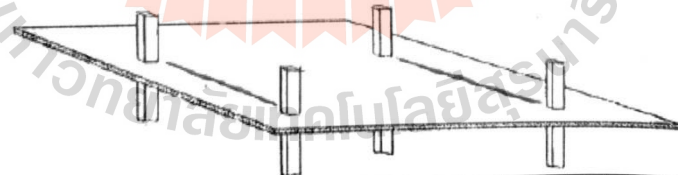
มักจะเกิดขึ้นในกรณีที่พื้นมีความกว้างและด้านยาว เท่า ๆ กัน หรือกรณีที่พื้นรับแรงเฉือนไม่ไหว



รูปที่ 2.40 รอยร้าวผิวบนพื้นไร้คานบริเวณเสา
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

(2.5) รอยร้าวผิวบนเป็นเส้นยาวตามแนวระหว่างเสา

มักเกิดขึ้นในกรณีที่พื้นมีด้านกว้างและด้านยาวต่างกันมาก รอยร้าวจะเกิดขึ้นในทิศทางที่โมเมนต์ลบที่เกิดขึ้นจริงมีค่ามากกว่ากำลังความแข็งแรงที่เหล็กเสริมมีอยู่ในทิศทางนั้น กรณีทั่วๆไปมักจะเกิดรอยร้าวยาวพาดระหว่างเสาในทิศทางด้านสั้น



รูปที่ 2.41 รอยร้าวบนพื้นไร้คานบริเวณแนวระหว่างเสาในทิศทางด้านสั้น
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.6 การตรวจสอบความกว้างของรอยร้าว

2.6.1 การตรวจวัดความกว้างของรอยร้าว ความกว้างของรอยร้าว จะวัดโดยเกจวัดความกว้างของรอยร้าว (crack width gauge) ซึ่งมีชนิดที่เป็นแผ่นพลาสติกใสที่มีเส้นขนาดความกว้าง ต่างๆ ใช้ทาบวัดความกว้างและที่ชนิดเป็นชุดแถบโลหะที่มีความหนาต่างๆ (feeler gauge) ใช้เสียบเข้าไปในรอยร้าวเพื่อวัดความกว้างของรอยร้าว

2.6.2 การวัดความกว้างของรอยร้าวด้วยเกจชนิดพลาสติกจะทำโดยการเอาแผ่นเกจทาบกับรอยร้าวแล้วเลือกขนาดเส้นที่มีขนาดใกล้เคียงกับรอยร้าวมากที่สุด

2.6.3 การวัดความกว้างของรอยร้าวด้วยเกจชนิดแถบโลหะ (feeler gauge) จะทำโดยการลองเสียบแผ่นเกจลงในรอยร้าว โดยเริ่มจากขนาดเล็กไปสู่ขนาด ใหญ่ที่ไม่สามารถเสียบเข้ารอยร้าวได้ความหนาสุดท้ายของแผ่นเกจที่เสียบ ได้จะเป็นขนาดของรอยร้าวนั้น

ข้อแนะนำ 1.

(1) รอยร้าวในอาคารอาจเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้มากมาย ทั้งที่เกิดจากการ เคลื่อนตัวของอาคารจากผลกระทบของการก่อสร้างข้างเคียง และที่ไม่ได้ เกิดจากผลกระทบของการก่อสร้าง เช่น เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตจาก การสูญเสียความชื้นหรือจากอุณหภูมิและการทรุดตัวไม่เท่ากันของอาคาร จากน้ำหนักของอาคารเองเป็นต้น

(2) ลักษณะรอยร้าวในอาคาร เช่น ความกว้าง จำนวน ตำแหน่งและทิศทางของ รอยร้าว เป็นตัวบ่งชี้ว่าอาคารมีความเสียหายหรือไม่และมีความเสียหาย อย่างไร การประเมินความเสียหายของอาคารจำเป็นต้องใช้วิศวกร ผู้เชี่ยวชาญ อย่างไรก็ตามความกว้างของรอยร้าวเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่ทำให้ ทราบถึงสภาพความเสียหายของอาคาร ตารางที่ 2.1 แสดงสภาพความเสียหาย ของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้นตามข้อแนะนำของ Burland et al, 1977

(3) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมาตรฐาน ACI 224R – 90 ได้ให้ คำแนะนำว่าขนาดของความกว้างของรอยแตกร้าวที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ใน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นดังแสดงในตารางที่ 2.2

(4) ก่อนการก่อสร้างใดๆ ที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง ควรมีการสำรวจสภาพรอยร้าวของอาคารข้างเคียง ในรัศมีที่คาดว่าผลกระทบจากการก่อสร้างจะไปถึง

(5) โดยทั่วไป อาคารส่วนใหญ่โดยเฉพาะอาคารเก่า อาจมีรอยร้าวอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นการสำรวจสภาพรอยร้าวของอาคารข้างเคียงก่อนการก่อสร้างใดๆ จะทำให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องรวม ถึงเจ้าของอาคาร เจ้าของโครงการผู้รับเหมาผู้ ควบคุมงาน ทราบถึงสภาพของอาคารก่อนการก่อสร้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ ต่อการประเมินว่าการก่อสร้างก่อให้เกิดความเสียหายเพิ่มเติมต่ออาคาร ข้างเคียงหรือไม่และอย่างไร นอกจากนี้รอยร้าวของอาคารข้างเคียงยังเป็น เครื่องมือบ่งบอกว่าอาคารอยู่ใน

สภาพที่จะสามารถรองรับผลกระทบจาก การก่อสร้างได้มากน้อยเพียงใด และจำเป็นจะต้องมีมาตรการพิเศษอะไร หรือไม่ในการป้องกันอาคารที่อยู่ในสภาพที่ไม่ค่อยมั่นคงอยู่ก่อนแล้ว ไม่ให้พังพลายระหว่างก่อสร้าง

ตารางที่ 2.1 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังก่ออิฐ (ที่มา: Burland et al, 1977)

สภาพความเสียหาย	**ลักษณะความเสียหาย**	**ความกว้างของรอยร้าวโดยประมาณ**
ไม่เสียหาย	รอยร้าวขนาดเส้นผม (Hairline Cracks)	< 0.1 มม.
น้อยมาก	รอยร้าวขนาดเล็ก สังเกตเห็นได้ยากหากไม่ตรวจสอบอย่างดีรอยร้าวนี้ไม่จำเป็นต้องแก้ไขและ สามารถปกปิดได้เมื่อมีการทาสี	< 1 มม.
เล็กน้อย	มีรอยร้าวที่สามารถสังเกตเห็นได้และอาจจำเป็น ต้องตกแต่งโดยการยาปูน หน้าต่างและประตูอาจ ติดขัด	< 5 มม.
ปานกลาง	มีรอยร้าวที่จำเป็นต้องแก้ไขโดยกะเทาะรอยร้าว ออกและยาปูนใหม่ บางครั้งอาจจะต้องรื้อผนัง บางส่วนออกแล้วก่ออิฐใหม่ ประตูและหน้าต่าง ติดขัดและอาจมีการแตกของท่อที่ติดหรือฝังในผนัง อากาศภายนอกพัดผ่านเข้าในอาคารผ่านรอยร้าวได้	5-15 มม. หรือมีหลายรอยร้าวกว้างเกิน 3 มม. 25
สภาพความเสียหาย	**ลักษณะความเสียหาย**	**ความกว้างของรอยร้าวโดยประมาณ**
ร้ายแรง	มีรอยร้าวขนาดใหญ่หลายรอยที่ต้องแก้ไขโดยการ ทุบผนังทิ้งบางส่วนแล้วสร้างใหม่โดยเฉพาะส่วนที่ อยู่เหนือประตูและหน้าต่างวงกบประตูและหน้าต่าง บิดเบี้ยว สามารถสังเกตเห็นพื้นลาดเอียง ผนังเอียง ไม่ได้ดิ่ง ท่อแตกและคานอาจสูญเสียความสามารถ ในการรับน้ำหนัก	15-20 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว
ร้ายแรงมาก	มีรอยร้าวที่ต้องแก้ไขโดยด่วน โดยอาจต้องรื้อ สร้างใหม่ทั้งหมดหรือบางส่วน เนื่องจากความ สูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักและผนัง เอียงจนต้องค้ำยัน หน้าต่างแตกและโครงสร้างไม่ มั่นคงปลอดภัย	> 25 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว

ตารางที่ 2.2 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
(ที่มา: ACI 224R – 90)

สภาวะที่คอนกรีตสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม	ความกว้างของรอยแตกที่ยอมให้เกิดขึ้นได้	
	(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

2.6.4 การวัดการขยายตัวและการหดตัวของรอยร้าว

2.6.4.1 การวัดการขยายและการหดตัวของรอยร้าว จะกระทำโดยใช้อุปกรณ์ซึ่งได้แก่ มาตรวัดการขยายตัวและการหดตัวของรอยร้าว (tell-tale crack gauge) หรือหมุดวัดระยะที่ฝังอยู่ 2 ข้างของรอยร้าวเพื่อใช้วัดการ 26 เปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างหมุดอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีความทนทาน มีความละเอียดของการวัดไม่ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร สำหรับการวัดด้วยไม้บรรทัดและไม่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิเมตร สำหรับการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และสามารถยึดติดคร่อมรอยร้าวอย่างมั่นคง

2.6.4.2 ไม้วัดการขยายตัวของรอยร้าวจะต้องยึดแน่นกับตัวผนังแต่ละข้างของรอยร้าวไม่โยกคลอนและต้องให้สายใยอ่านอยู่ในแนวตั้งฉากกับไม้บรรทัดอ่าน 2.3 หมุดวัดระยะทางจะต้องถูกฝังอยู่ในแต่ละข้างของรอยร้าวอย่างมั่นคงแข็งแรง ไม่โยกคลอนและต้องมีระยะห่างระหว่างหมุดที่สามารถวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์อย่างสะดวก จำนวนหมุดที่วัดแต่ละชุดอาจมี2 หรือ 3 จุด ขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของโครงสร้างทั้งสองฝั่งของ รอยร้าว

ข้อแนะนำ 2.

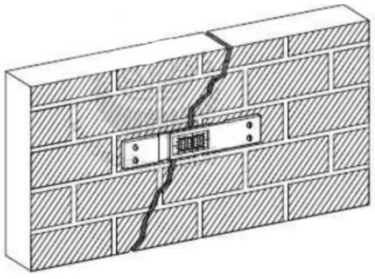
(1) เมื่ออาคารมีรอยแตกร้าวในลักษณะที่อาจมีสาเหตุจากปัญหาเรื่องความ มั่นคงของโครงสร้าง การตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของขนาดของ รอยร้าวเป็นมาตรการที่ใช้บ่งชี้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นกำลังทวีความรุนแรงขึ้น หรือหยุดแล้วถ้าหากรอยร้าวขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ย่อมแสดงให้เห็นว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นยังคงส่งผลกระทบต่อ

โครงสร้างอาคารอย่างต่อเนื่อง หาก รอยร้าวมีขนาดคงที่ไม่ขยายตัวแล้ว ย่อมแสดงว่าโครงสร้างอาคารอยู่ใน สภาวะสมดุลแล้ว นอกจากนี้การก่อสร้างใกล้อาคารที่มีรอยร้าวอยู่แล้ว อาจจะต้องทำการติดตามการขยายตัวของรอยร้าวที่อาจเกิดขึ้น เพื่อเป็นตัว บ่งชี้ว่าผลกระทบจากการก่อสร้างต่ออาคารที่มีรอยร้าวอยู่แล้วอยู่ใน เกณฑ์ที่สามารถควบคุมได้หรือไม่และจะส่งผลต่อความมั่นคงแข็งแรง ของอาคารที่มีรอยร้าวหรือไม่

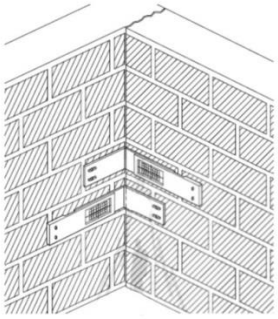
(2) อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของรอยร้าวที่ใช้กันส่วนใหญ่ใน ปัจจุบัน คือ มาตรวัดการขยายตัวของรอยร้าว และหมุดวัดระยะห่างของ รอยร้าว

(2.1) มาตรวัดการขยายตัวของรอยร้าว เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยแผ่นไม้บรรทัดและแผ่นสายใยที่ติดอยู่คนละด้านของรอยร้าว ดังแสดงในรูปที่ 2.49 เมื่อรอยร้าวมีการหดตัวหรือขยายตัว แผ่นสายใยจะเคลื่อนที่เข้า หาหรือออกจากแผ่นไม้บรรทัด และสามารถอ่านขนาดการขยายตัว 27 หรือการหดตัวของรอยร้าวโดยเทียบสายใยกับแผ่นไม้บรรทัดที่เวลา ต่างๆ ได้โดยทั่วไป ความละเอียดของการอ่านจะอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร มาตรวัดการขยายตัวของรอยร้าวสามารถติดตั้งเพื่อวัดรอยร้าวที่มุม ของอาคารได้ดังแสดงในรูปที่ 2.50

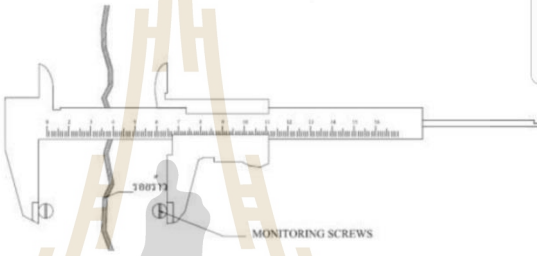
(2.2) หมุดวัดระยะห่างของรอยร้าว ประกอบด้วยหมุดอย่างน้อย 2 หมุด ติดตั้งอยู่คนละด้านของรอยร้าว โดยระยะห่างระหว่างหมุดสามารถ อ่านได้ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.51 ระยะห่างที่วัด ได้ที่เวลาต่างๆ เทียบกับระยะเริ่มต้น จะบ่งบอกการเคลื่อนตัวของรอย ร้าว ในกรณีที่ติดตั้งหมุด3 จุดดังแสดงในรูปที่2.9 จะสามารถใช้วัด การเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากและขนานกับรอยร้าวได้1 ความละเอียด ของการวัดด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดความละเอียด0.1 ถึง 0.02 มิลลิเมตร



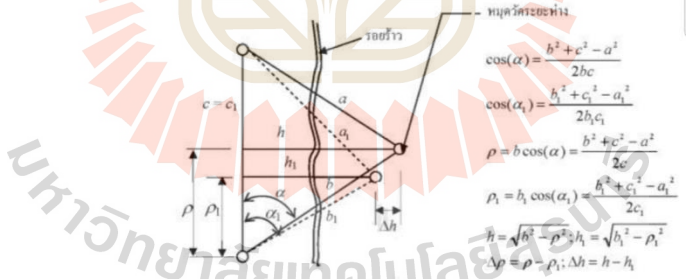
รูปที่ 2.42 มาตรวัดการขยายตัวของรอยร้าวสำหรับวัดการขยายตัวของรอยร้าวบนผนัง (สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง , ปี พ.ศ. 2551)



รูปที่ 2.43 มาตรวัดการขยายตัวของรอยร้าวสำหรับวัดการขยายตัวของรอยร้าวที่มุมผนัง
(สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง , ปี พ.ศ. 2551)



รูปที่ 2.44 หมุดวัดการขยายตัวของรอยร้าว
(สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง , ปี พ.ศ. 2551)



รูปที่ 2.45 การวัดการขยายตัวของรอยร้าวโดยใช้หมุด 3 ตัว (Hanna, T.H 1985)
(สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง , ปี พ.ศ. 2551)

2.7 การตรวจสอบรอยแตกร้าว

2.7.1 การตรวจพินิจ (visual inspection)

การพินิจด้วยตาเป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของชิ้นส่วนโครงสร้าง ได้รวดเร็ววิธีหนึ่ง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพการก่อสร้าง ลักษณะการใช้งานของโครงสร้างและการเสื่อมสภาพของวัสดุ เช่น ในขณะก่อสร้างหากคอนกรีตเกิดการเยิ้ม หรือการแยกตัวของคอนกรีต คอนกรีตจะมีลักษณะแตกบริเวณผิวพื้นหลุดร่อนได้ง่าย หรือถ้าพบคอนกรีตเกิดโพรง (honeycomb)

ก็สามารถสรุปได้ว่าเกิดความผิดพลาดในเรื่องคุณภาพการก่อสร้าง หากพบการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตจนเห็นเนื้อเหล็กเสริมเป็นสนิม อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมทาปฏิกิริยากับเหล็กเสริมจนเกิดสนิม มีปริมาตรเพิ่มขึ้นเกิดแรงภายในมากขึ้น และเกิดแรงดันต้านกับกาลังคอนกรีตจนหลุดร่อนออกมาได้ ดังนั้นการพินิจจึงจำเป็นสาหรับการตรวจสอบสภาพโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกวิธีการตรวจสอบโครงสร้างในลำดับถัดไป

2.7.2 การวัดรอยแตกร้าว

เป็นการใช้ไม้บรรทัด ตลับเมตร หรือเกจวัดรอยแตกร้าว ตามความกว้าง ความยาวของแต่ละเส้นรอยร้าว นาข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงลาดับ เพื่อกาหนดรอยแตกร้าวเล็กน้อย ปานกลาง และรุนแรง โดยนาไปเทียบกับตาราง ซึ่งเกจวัดความกว้างของรอยร้าว(crack width gauge) ที่นิยมใช้มีสองชนิด (สืบศักดิ์ และชูเลิศ, 2550)

2.8 การสำรวจและรูปแบบที่ใช้

เมื่ออาคารเกิดการแตกร้าวควรหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขเสียแต่เนิ่นๆ ก่อนที่อาคารจะเสียหายมากจนแก้ไขได้ยากหรือแก้ไขไม่ได้เลย การวิเคราะห์หาสาเหตุการแตกร้าวของอาคารได้อย่างถูกต้องจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะและรูปแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับอาคารทั้งหมด เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จึงควรกำหนดเป็นรูปแบบที่แน่นอนว่าจะดำเนินการสำรวจอย่างไร ควรเริ่มต้นสำรวจจากจุดไหน และสิ่งที่ต้องบันทึกนั้นมีอะไรบ้าง นำผลทั้งหมดที่ได้จากการสำรวจมาวิเคราะห์เป็นภาพรวมในลำดับสุดท้าย

ลำดับในการสำรวจสภาพการแตกร้าวของอาคารควรเริ่มจาก ผนัง คาน พื้น และ เสาซึ่งโดยทั่วไปผนังจะเป็นส่วนที่อ่อนไหวเกิดรอยแตกร้าวได้ง่ายกว่าตำแหน่งอื่น แต่ก็ไม่แน่เสมอไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยร้าวนั้นๆ อย่างไรก็ตามการสำรวจเป็นลำดับขั้นจะทำให้ง่ายต่อการสรุปและวิเคราะห์ผล รายละเอียดของการสำรวจควรประกอบด้วย

(1) ชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารที่แตกร้าว

(2) ตำแหน่งรอยร้าว อยู่ใกล้จุดต่อโครงสร้างหรือบริเวณกลางชิ้นส่วน

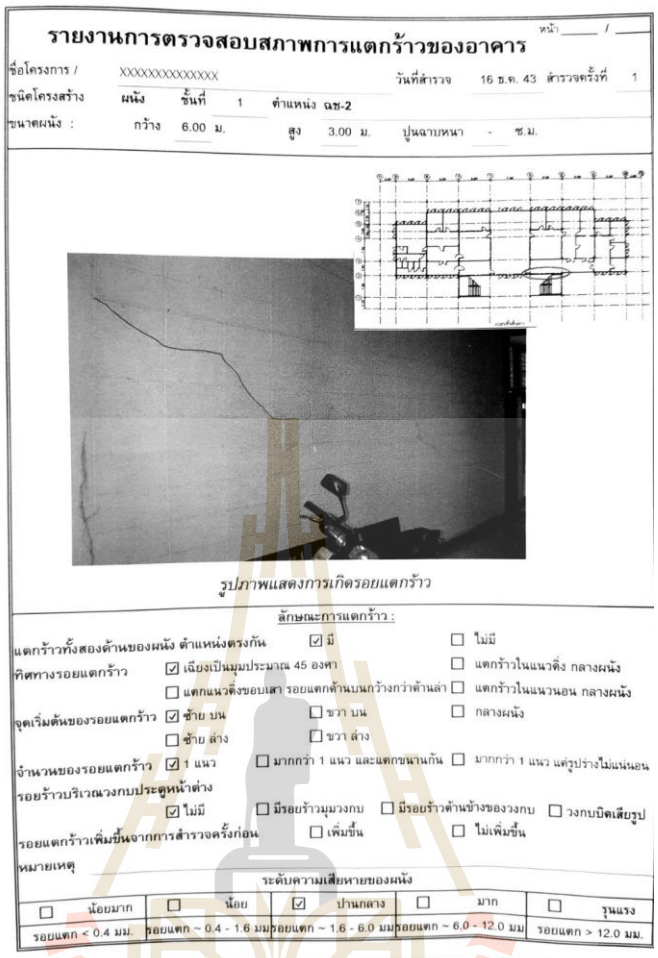
(3) ลักษณะรอยแตกร้าว แตกเฉียงแนวนอนหรือแนวดิ่ง

(4) ความกว้างของรอยแตกร้าว

(5) การตรวจติดตาม (ตามวิธีการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา) ผลการติดตามเป็นเช่นไร

(6) วันที่เริ่มสำรวจ วันที่สำรวจหลังสุด และระยะเวลารวมในการสำรวจ

(7) รูปภาพแสดงรอยร้าวตำแหน่งต่างๆ



รายงานการตรวจสอบสภาพการแตกร้าวของอาคาร

หน้า ____ / ____

ชื่อโครงการ / XXXXXXXXXXXXXX วันที่สำรวจ 16 ธ.ค. 43 สำรวจครั้งที่ 1

ชนิดโครงสร้าง ผนัง ชั้นที่ 1 ตำแหน่ง ฉช-2

ขนาดผนัง : กว้าง 6.00 ม. สูง 3.00 ม. ปูนฉาบหนา - ซ.ม.

รูปภาพแสดงการเกิดรอยแตกร้าว

ลักษณะการแตกร้าว :

แตกร้าวทั้งสองด้านของผนัง ตำแหน่งตรงกัน ☑ มี ☐ ไม่มี

ทิศทางรอยแตกร้าว ☑ เฉียงเป็นมุมประมาณ 45 องศา ☐ แตกร้าวในแนวดิ่ง กลางผนัง

☐ แตกแนวดิ่งขอบเสา รอยแตกด้านบนกว้างกว่าด้านล่าง ☐ แตกร้าวในแนวนอน กลางผนัง

จุดเริ่มต้นของรอยแตกร้าว ☑ ซ้าย บน ☐ ขวา บน ☐ กลางผนัง

☐ ซ้าย ล่าง ☐ ขวา ล่าง

จำนวนของรอยแตกร้าว ☑ 1 แนว ☐ มากกว่า 1 แนว และแตกขนานกัน ☐ มากกว่า 1 แนว แต่รูปร่างไม่แน่นอน

รอยร้าวบริเวณวงกบประตูหน้าต่าง

☑ ไม่มี ☐ มีรอยร้าวมุมวงกบ ☐ มีรอยร้าวด้านข้างของวงกบ ☐ วงกบบิดเสียรูป

รอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นจากการสำรวจครั้งก่อน ☐ เพิ่มขึ้น ☐ ไม่เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ

ระดับความเสียหายของผนัง

☐ น้อยมาก	☐ น้อย	☑ ปานกลาง	☐ มาก	☐ รุนแรง
รอยแตก < 0.4 มม.	รอยแตก ~ 0.4 - 1.6 มม	รอยแตก ~ 1.6 - 6.0 มม	รอยแตก ~ 6.0 - 12.0 มม	รอยแตก > 12.0 มม.

รูปที่ 2.45 ตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้สำรวจสภาพการแตกร้าวของผนัง

รูปที่ 2.57 เป็นตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้บันทึกสภาพรอยร้าวของผนัง รูปแบบที่ใช้บันทึกเช่นนี้จะช่วยให้ง่ายต่อการพิจารณาสภาพรอยร้าวของอาคารโดยรวม ทำให้ทราบตำแหน่งที่แตกร้าวมากที่สุด ทราบทิศทางของรอยร้าวทั้งหมดในอาคารว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือมีรอยร้าวที่แตกกลับทิศทางกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์สาเหตุได้ชัดเจนและถูกต้องยิ่งขึ้น

การสำรวจรอยร้าวนั้นไม่ควรสำรวจภายในอาคารแต่เพียงอย่างเดียว ควรสำรวจสภาพแตกร้าวภายนอกอาคารด้วย โดยเฉพาะอาคารที่มีการเชื่อมต่อกันหลายๆห้อง เช่น ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์ ทั้งนี้เพราะรอยร้าวที่เกิดขึ้นในห้องใดห้องหนึ่งนั้นอาจไม่ได้มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของโครงสร้างหรือฐานรากของห้องนั้นแต่เพียงอย่างเดียว โครงสร้างหรือฐานรากของห้องที่เชื่อมติดกันอาจเป็นต้นเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดการดึงรั้งจนเกิดการแตกร้าว (ที่มา : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์. 2546)

2.9 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

"การกัดกร่อน (Corrosion)" หมายถึง การที่โลหะถูกทาลายโดยการการกัดกร่อนทางเคมีทางการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าในปฏิกิริยาเคมีการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าในการแลกเปลี่ยนประจุกับสิ่งแวดล้อมรอบตัว

"การซ่อมแซม (Repair)" หมายถึง การเปลี่ยนหรือการแกไข้ ส่วนของโครงสร้างที่ถูกทำลายหรือเสียหาย

"การซ่อมแซมส่วนที่เป็นโครงสร้างหลัก (Structural Repair)" หมายถึง การซ่อมแซมโครงสร้างที่มีการทำขึ้นมาใหม่หรือการเสริมเพิ่มให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

"การซ่อมแซมส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้างหลัก (Non-Structural Repair)" หมายถึง การซ่อมแซมเฉพาะส่วนที่เสียหายที่ไม่มีผลกระทบกบความแข็งแรงของโครงสร้างหลัก

"การดาด (Lining)" หมายถึงการปรับปรุงผิวของโครงสร้างด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอื่นๆ เพื่อให้เกิดผิวที่คงตัวแข็งแรง หรือสามารถทนการกัดกร่อนขัดสีจากการไหลผ่านของน้ำ

"การป้องกันความชื้น (Damp Proofing)" หมายถึง วิธีการป้องกนไม่ให้น้ำผ่านหรือซึมผ่านคอนกรีตหรือปูนมอร์ต้าร์ เช่น การผสมสารผสมเพิ่ม (Admixture) หรือปรับปรุงคุณสมบัติของปูนซีเมนต์การสร้างฟิล์มกันชื้นด้วยการใช้แผ่นพอลิเอทธิลีน(Polyethylene) ปูรองพื้นก่อนเทคอนกรีต

"การป้องกันความเสียหาย (Protection)" หมายถึง กระบวนการที่จะปิดบังไม่ให้โครงสร้างคอนกรีตได้รับความเสียหายจากสภาพแวดลอมหรือจากสภาพที่ตั้งใจจะป้องกันเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตนั้นมีอายุใช้งานได้ยาวนาน

"การสกัดเปิดผิว (Excavation)" หมายถึง ขั้นตอนในการเปิดผิวคอนกรีตที่ถูกทำลายจนถึงเนื้อคอนกรีตที่ดี หรือจนถึงระดับที่กำหนด

"ความเสียหายคะวิเทชั่น (Cavitation Damage)" หมายถึง หลุมเล็กๆ บริเวณผิวคอนกรีตซึ่งเกิดจากการสลายตัวของละอองไอน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความดันต่ำและสลายตัวเมื่อเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีความดันสูงกว่า

"พอลิเมอร์คอนกรีต (Polymer Concrete)" หมายถึงคอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์เพื่อเป็นวัสดุประสาน

"พอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้าร์ (Polymer Cement Concrete and Mortar)" หมายถึงคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของน้ำ ปูนซีเมนต์ มวลรวม และ โมโนเมอร์หรือพอลิเมอร์ในกรณีที่ใช้โมโนเมอร์จะทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) หลงจากผสม

“ระบบการซ่อมแซม (Repair System)” หมายถึงการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตโดยการเลือกใช้วัสดุพิเศษและวิธีการที่เหมาะสม

“รอยร้าวที่มีรูปแบบที่แน่นอน” หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะเป็นรูปแบบเดียวกันหรือซ้ำๆกันในหลายๆบริเวณของโครงสร้างคอนกรีต

“รอยร้าวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน” หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะแตกต่างกันไปไม่ซ้ำกันในหลายๆบริเวณของโครงสร้างคอนกรีต

“รอยร้าวที่ยังคงมีการขยายตัวอยู่ (Active Crack)” หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่คอนกรีตที่ยังคงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เช่น รอยร้าวกว้างขึ้นหรือลึกขึ้น รวมถึงรอยร้าวใดๆก็ตามที่กลไกหรือปฏิกิริยาของการเกิดรอยร้าวยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง

“รอยร้าวที่หยุดการขยายตัวแล้ว (Dormant Crack)” หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่คอนกรีตซึ่งไม่มีการเพิ่มขึ้นของทั้งความกว้างและความลึก หรืออาจกล่าวได้ว่ารอยร้าวดังกล่าวหยุดการขยายตัวแล้ว

“ลาเทกซ์แบบกระจายตัวใหม่ได้ (Redispersible Latex)” หมายถึงลาเทกซ์ที่สามารถทาบนพื้นผิวที่จะซ่อมแซมได้หลายวันก่อนจะลงวัสดุซ่อม และมีหน่วยแรงยึดเกาะไม่น้อยกว่า 2.8 เมกาปาสกาลเมื่อแห้งลาเทกซ์ประเภทนี้ไม่ควรใช้กับบริเวณที่เปียกน้ำ ความชื้นสูง หรือกำลังใช้งาน

“ลาเทกซ์แบบกระจายตัวใหม่ไม่ได้ (Nonredispersible Latex)” หมายถึงลาเทกซ์ที่เหมาะกับการยึดเกาะเมื่อใช้ผสม

“วัสดุคั่น (Bond Breakers)” หมายถึง วัสดุที่ใช้สำหรับกั้นรอยต่อต่างๆ ในการก่อสร้างเพื่อแยกวัสดุสองชนิดหรือคอนกรีตที่เทในระยะเวลาที่แตกต่างกันออกจากกัน

“สารเชื่อมประสาน (Bonding Agent)” หมายถึง สารที่ใช้กับผิวชั้นหนึ่งๆ เพื่อสร้างการยึดเกาะหรือการเชื่อมประสานระหว่างตัวมันเองกับชั้นอื่นๆ

“อีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin)” หมายถึง สารซึ่งประกอบด้วยสารละลายสองชนิดขึ้นไปที่ทำปฏิกิริยาแล้วทำให้เกิดเจลหรือตะกอนแข็ง ปฏิกิริยาในสารละลายอาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมีหรือทางเคมีฟิสิกส์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ในสารละลาย หรือระหว่างส่วนประกอบในสารละลายและสารอื่นๆในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะลดความสามารถในการไหลและทำให้สารละลายแข็งตัวอุดช่องว่างที่มีในคอนกรีต

“ออโตจีเนียสฮีลลิ่ง (Autogeneous Healing)” หมายถึง พฤติกรรมของคอนกรีตที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างต่อเนื่องของปูนซีเมนต์ ทำให้รอยแตกร้าวขนาดเล็กสามารถเชื่อมติดกันได้(มยผ. 1901-51,2551)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิพนธ์ จงพิทักษ์ศีล (2538) การศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพของคอนกรีต และอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ของโครงสร้างสะพานคอนกรีต ในเขตกรุงเทพมหานคร ตามปกติเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะสามารถป้องกันการเกิดสนิม จากคุณสมบัติความเป็นด่างของคอนกรีตที่หุ้มอยู่โดยรอบ แต่สถานะภาพความเป็นด่างของคอนกรีตจะถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเนื้อคอนกรีต เกิดกระบวนการคาร์บอเนชั่นในคอนกรีตและเมื่อปฏิกิริยาเข้าถึงผิวเหล็กเสริมจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้หากมีน้ำและก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอ สนิมในเหล็กเสริมจะส่งผลให้กำลังของโครงสร้างลดลง เพราะหน้าตัดของเหล็กเสริมจะลดลง แต่เหล็กเสริมที่เป็นสนิมจะมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นเกิดแรงดันทำให้คอนกรีตปริแตก และเมื่อถึงสภาวะดังกล่าว อัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมจะทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากผิวเหล็กจะสัมผัสกับอากาศ และความชื้นโดยตรง งานวิจัยนี้จะศึกษาขบวนการการเกิดคาร์บอเนชั่นของคอนกรีต และการเกิด สนิมของเหล็กเสริม ซึ่งขบวนการการเกิดคาร์บอเนชั่นเป็นกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์ จะประกอบด้วย กลไกการควบแน่นของน้ำภายในรูพรุน การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อคอนกรีต และการทำปฏิกิริยาทางเคมีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และกับสารประกอบซีเมนต์ที่สามารถเกิดคาร์บอเนตได้ การศึกษาได้จำลองพฤติกรรมทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการการเกิดคาร์บอเนชั่นที่มีความซับซ้อนอย่างมากให้เข้าใจพฤติกรรมได้อย่างชัดเจน อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นที่นำเสนอ ได้มาจากผลการทดลองของนักวิจัยในอดีตหลายท่านร่วมกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีกึ่งทดลอง แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดความลึกคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างจริงจากตัวอย่างสะพานในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งพบว่าให้ค่าต่าง ๆ สอดคล้องกับสภาพสิ่งแวดล้อมในเขตกรุงเทพมหานครเป็นอย่างดี ส่วนขบวนการเกิดสนิทของเหล็กเสริม จะเป็นขบวนการทางไฟฟ้าเคมีเริ่มต้นจากเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีตจะถูกรบกวน เมื่อความชื้นและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำปฏิกิริยาทางเคมีเป็นกรดอ่อน ๆ และทำให้ค่า pHในคอนกรีตค่อย ๆ ลดลง จนมีอนุภาพก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวเหล็กเสริมเกิดเป็นสนิมเมื่อมีความชื้นหรือน้ำ และ ออกซิเจนและอากาศอย่างพอเพียง อัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในช่วงเริ่มต้นและช่วงปลาย จะแปรผันตรงกับเวลาและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในกรุงเทพมหานคร การวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงอายุการใช้งานของโครงสร้างโดยกำหนดให้มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 และหากยึดถือการลดพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมเกินกว่าร้อยละ 10 บ่งบอกระดับความเสียหายของโครงสร้าง อันนำไปสู่การซ่อมแซมปรับปรุงเพื่อให้มีกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยปราศจากการวิบัติใด ๆ

โอพาร เหลืองเพชราภรณ์ (2553) การประเมินสมรรถนะของการประสานรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์.กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปัจจุบันการซ่อมแซมรอยร้าวเป็นส่วนสำคัญในงานบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีต วัสดุซ่อมจำนวนมากที่วางจำหน่ายในท้องตลาดได้แสดงให้เป็นถึงความสำคัญของการซ่อมแซมรอยร้าว ท่ามกลางวัสดุซ่อมนานาชนิด วัสดุซ่อมที่มีซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหรือวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ (CRMs) เป็นวัสดุซ่อมที่มีความเข้ากันได้กับคอนกรีตเป็นอย่างดีและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้ได้นำปูนทรายซ่อมประสานซีเมนต์สามชนิดที่ใช้งานด้วยการเคลือบผิว มาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการซ่อมแซมรอยร้าวโดยใช้การทดสอบกำลังยึดเกาะ การทดสอบการรั่วซึมของน้ำผ่านรอยร้าว การทดสอบระยะคาร์บอเนชั่นในสภาวะเร่ง และการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์เป็นเกณฑ์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กำลังยึดเกาะระหว่างวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์กับคอนกรีตเดิม มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ นอกจากนี้การซ่อมแซมรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำผ่านรอยร้าวคอนกรีตได้ ในส่วนของความต้านทานคาร์บอเนชั่นและความต้านทานคลอไรด์ พบว่า คอนกรีตที่มีรอยร้าวมีความต้านทานลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีรอยร้าว โดยความต้านทานคาร์บอเนชั่น ณ ตำแหน่งรอยร้าวมีความสัมพันธ์กับความกว้างรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การซ่อมแซมด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์สามารถลดการเกิดคาร์บอเนชั่นและการแทรกซึมของคลอไรด์ลงได้ ซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมร่วมระหว่างวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์และคอนกรีตที่มีรอยร้าว และวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์ต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการซ่อมแซมรอยร้าวที่แตกต่างกัน

อมร พิมานมาศ (2548) พฤติกรรมและการวิบัติขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเสียหายจากรอยร้าวโครงสร้างล่วงหน้า กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาพฤติกรรมขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีรอยร้าวล่วงหน้า และ เพื่อสร้างทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีรอยร้าวล่วงหน้าภายใต้การรับแรงดึง และแรงอัด โดยเป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากการศึกษาในระดับปริญญาเอกซึ่งเน้นที่พฤติกรรมของคอนกรีตที่มีรอยร้าวล่วงหน้าภายใต้การรับแรงดึง ในงานวิจัยหลังปริญญาเอกนี้ ผู้วิจัยได้เน้นที่การศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีรอยร้าวหน้าภายใต้การรับแรงอัด ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 3 ชุดได้แก่

1. พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคาน ค.ส.ล. ที่ใส่เหล็กลูกตั้งเป็นปริมาณมาก
2. พฤติกรรมการวิบัติของคาน ค.ส.ล. ที่ได้รับความเสียหายจากรอยร้าวล่วงหน้า
3. พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคานลึกที่มีรอยร้าวล่วงหน้า

ผลการทดลองพบว่ารอยร้าวล่วงหน้าทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง แต่ทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงดีขึ้น โดยการลดลงของกำลังรับแรงอัดประสิทธิผลนี้

ขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของรอยร้าวต่อขนาดของมวลรวม (crack width/aggregate size) ส่วนการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงดึงนี้ขึ้นอยู่กับความกว้างของรอยร้าวล่วงหน้า ในทางตรงกันข้ามรอยร้าวล่วงหน้ากลับทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนรูปขององค์อาคารเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นกรณีรับแรงดึงหรือแรงอัดก็ตาม ผู้วิจัยได้สร้างทฤษฎีขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมคอนกรีตที่มีรอยร้าวล่วงหน้าภายใต้แรงดึง และ แรงอัด ทฤษฎีการรับแรงดึงนั้น ตั้งอยู่บน 2 ทฤษฎีพื้นฐานคือ ทฤษฎีการหยุดและการเบี่ยงรอยร้าว และทฤษฎี shear anisotropy

ทั้งสองนี้อธิบายว่ารอยร้าวดิ่งที่มีอยู่นั้น เป็นระนาบ anisotropic ภายในคอนกรีตที่สามารถชะลอ หยุดยั้ง หรือ เบี่ยงรอยร้าวทแยงที่วิ่งเข้ามา หรือ ที่จะเกิดขึ้น เป็นผลให้กำลังรับแรงดึงประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วน ทฤษฎีการรับแรงอัดนั้น ตั้งอยู่บน 2 กลไกหลัก คือ

1. การลดลงของพื้นที่สัมผัสประสิทธิผล
2. การเสื่อมลดของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ที่ผิวหน้ารอยร้าวเนื่องจากรอยร้าวจุลภาค โดยอาศัยกลไกทั้งสองนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายเพื่อใช้คำนวณหากำลังรับแรงอัดประสิทธิผลของคอนกรีตที่มีรอยร้าวล่วงหน้า และ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถทำนายผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง ทั้ง ชุดทดลองการรับแรงเฉือนของคาน ค.ส.ล. ที่ใส่เหล็กลูกตั้งเป็นปริมาณมาก และ ชุดทดลองคานลึก งานวิจัยในอนาคตควรเน้นที่การปรับปรุงพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานี้ให้ครอบคลุมถึงคอนกรีตที่มีรอยร้าวหลายๆทิศทาง ควรศึกษาผลของรอยร้าวดิ่งต่อความสามารถในการเปลี่ยนรูปของคอนกรีต และ การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้งานในโปรแกรมไฟไนต์อิลีเมนต์ต่อไป

ปูชิตเทพ ปานทองและอดุลย์ วงค์คำ (2553) การศึกษาการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟองอากาศ ซึ่งเกิดจากการสร้างฟองโฟมแล้วฉีด ฟองโฟม เหลวเข้าไปในส่วนผสมของทราย ปูนซีเมนต์และน้ำ ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตขึ้นอยู่กับ ปริมาณฟองโฟม หรือฟองอากาศที่เติมเข้าไป ซึ่งค่าหน่วยน้ำหนักจะน้อยหากใส่ปริมาณฟองโฟม ที่ เติมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตมาก คุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะ เปลี่ยนไปตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตหรือปริมาณฟองอากาศคอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศมาก ปริมาณน้ำผสมมาก จะเกิดการหดตัวแบบแห้งสูง แต่สำหรับวัสดุผสมที่เป็นมวลละเอียดหรือทรายนั้น เมื่อใส่เข้าไปปริมาณมากจะทำให้คอนกรีตคงรูปขึ้น และเกิดการหดตัวน้อย โครงการนี้ศึกษา คุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ค่าหน่วยน้ำหนักออกแบบเท่ากับ 800 1,000 1,200 1,400 1,600 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อ ปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25:1, 0.5:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

เท่ากับ 0.45 และ 0.55 รวมจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 78 ตัวอย่าง ทดสอบที่อายุ 1,3,7,14,21,28,35 และ 56 วัน จากการทดสอบ พบว่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีอัตราการหดตัวแบบแห้งอยู่ ระหว่าง 0.068 – 0.253 เปอร์เซ็นต์

ณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์ (2558) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงสะพานภายใต้การดูแลของกรมทางหลวงชนบทซึ่งทางกรมทางหลวงชนบทได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบบริหารการบำรุงสะพาน (Bridge Maintenance Management System : BMMS) เนื่องจากอัตราการเสื่อมสภาพมีผลกระทบต่อการพยากรณ์ความเสียหายที่เกิดขึ้นในอนาคตว่ามากน้อยเพียงใด จึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างของสะพานด้วยทฤษฎีของมาร์คอฟ และประเมินระดับความเสียหายของสะพานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องด้วยฐานข้อมูลไม่มีผลการตรวจสอบสะพานครั้งก่อนหน้านี้ จึงพิจารณาจากสภาพเริ่มต้นใช้งานของสะพานมาแทนผลการตรวจสอบสะพานครั้งก่อน และนำมาทำการวิเคราะห์กับผลตรวจสอบความเสียหายสะพานครั้งปัจจุบัน โดยนำข้อมูลความเสียหายที่ได้จากการตรวจสอบมาจัดเรียงลำดับข้อมูลตามอายุ ชิ้นส่วน และประเภทความเสียหาย เพื่อนำไปทำเป็นเปอร์เซ็นต์ตามระดับความเสียหายของปีนั้นๆ และนำเปอร์เซ็นต์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทของความเสียหายและตามประเภทชิ้นส่วนของสะพาน เนื่องมาจากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอดีตนั้นมีการซ่อมบำรุง ทำให้ผลการตรวจสอบสะพานครั้งปัจจุบันนั้นไม่พบความเสียหายเกิดขึ้น ทำให้สะพานอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้ผลจากการศึกษาตามประเภทความเสียหายทุกประเภทพบว่ามีค่าอัตราการเสื่อมสภาพที่น้อยกว่าค่าอัตราการเสื่อมสภาพที่ JICA ได้เสนอมาเบื้องต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

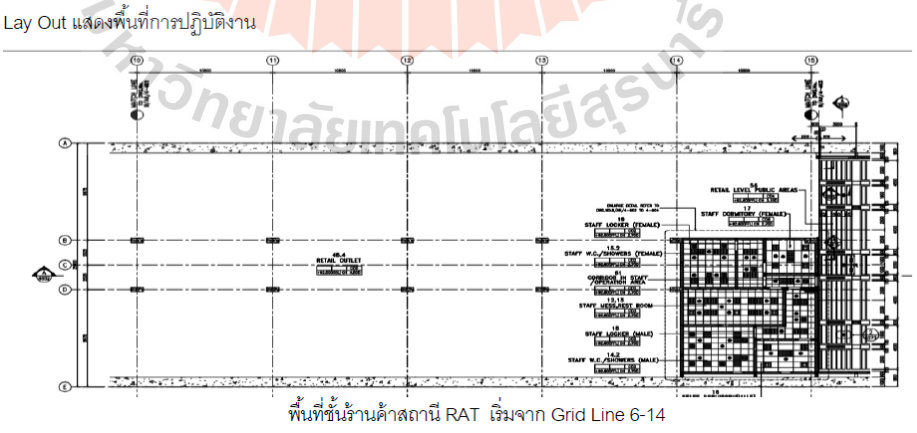
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเกิดรอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีตภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก ส่วนที่เสียหายคือชั้นรองลงมาจากผิวถนน มีระยะห่างระหว่างผิวถนนถึงเพดานคอนกรีตชั้นRetail ประมาณ 8.5 เมตร มีพื้นที่ความเสียหายของรอยร้าวที่แตกร้าวและเกิดการหลุดลงมาของคอนกรีตชั้นRetail ประมาณ 20 เมตร ผู้ศึกษาได้กำหนดการศึกษาดังนี้

3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

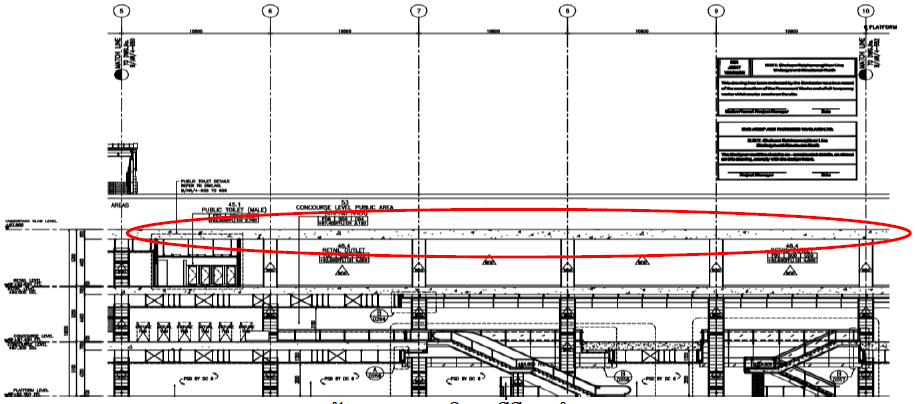
1. การสำรวจรอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ(visual inspection)
2. การวัดความกว้าง ความยาวของรอยแตกร้าว
3. การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลที่ได้มา
4. นำเสนอแนวทางการแก้ไขรอยร้าวที่เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ

3.1.1 การสำรวจรอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ (visual inspection)

ลงพื้นที่สำรวจรอยแตกร้าวด้วยสายตา ทำการบันทึกรายละเอียด และถ่ายภาพ เช่น ตำแหน่ง ขนาดความกว้าง ความต่อเนื่องของรอยแตกร้าวและอื่นๆ ผู้ศึกษาได้เข้าพื้นที่สำรวจหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเพดานคอนกรีตภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก โดยมีพื้นที่สำรวจดังนี้



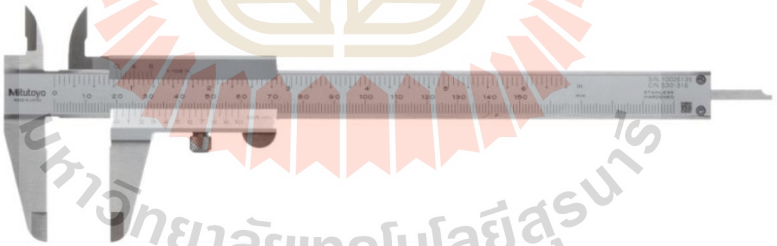
รูปที่ 3.1 แปลนแสดงพื้นที่ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก



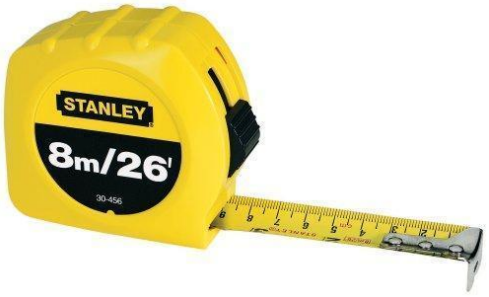
รูปที่ 3.2 แปลนแสดงพื้นที่เพดานคอนกรีต ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก โดยระบุตำแหน่ง Grid line พื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย

3.1.2 การวัดความกว้าง ความยาวของรอยแตกร้าว

สำรวจรอยร้าวโดยการวัดความกว้าง และความยาวของรอยแตกร้าว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถระบุระดับความรุนแรง แบ่งกลุ่มประเภทของรอยร้าว และอ้างอิงได้ชัดเจนมากขึ้นกว่าการตรวจแบบพินิจ โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความกว้าง ตลับเมตรวัดความยาว การเก็บข้อมูลรอยแตกร้าวทุกจุดภายในพื้นที่ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก ด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) ผู้ศึกษาได้จัดทำแบบสำรวจรอยร้าวทุกจุดภายใน พื้นที่ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก โดยใช้แบบฟอร์มในการสำรวจสภาพการแตกร้าวของพื้นเพดานคอนกรีต



รูปที่ 3.3 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เครื่องมือวัดความกว้างรอยแตกร้าว



รูปที่ 3.4 ตลับเมตร เครื่องมือวัดความยาวรอยแตกร้าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานการตรวจสอบสภาพการแตกร้าวของอาคาร

ชนิดโครงสร้าง **พื้นเพดานคอนกรีต**

ชื่อโครงการ งานสำรวจรอยแตกร้าวเพดานคอนกรีต ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก

วันที่สำรวจ 20 กุมพาพันธ์ 2561 สำรวจครั้งที่ 1

ตำแหน่งที่สำรวจชั้นที่ 1 ตำแหน่งที่ 1

ขนาดพื้น : กว้าง 14.50 เซนติเมตร ยาว 0.37 เมตร คอนกรีตฉาบ 2.5 ซ.ม.

รูปภาพแสดงการเกิดรอยแตกร้าว จุดที่ 2

ลักษณะการแตกร้าว

ชนิดของพื้น ☑ คอนกรีตหล่อในที่
☐ พื้นสำเร็จรูป

ตำแหน่งรอยแตกร้าว ☑ ท้องพื้น
☐ ผิวบนของพื้นที่ขอบคานทั้งสี่ด้าน
☐ ผิวบนของพื้นที่ขอบคานด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน

ทิศทางรอยร้าวกรณีเป็นพื้นสำเร็จรูป ☐ ผิวบนของพื้นที่ขอบคานขนานกับแผ่นพื้น
☐ ขอบคานขวางกับแผ่นพื้น

หมายเหตุ_____

ระดับความเสียหายของพื้นเพดานคอนกรีต

☐ **น้อยมาก**	☐ **น้อย**	☐ **ปานกลาง**	☐ **มาก**	☑ **รุนแรง**
รอยแตก < 0.4 มม.	รอยแตก0.4-1.6 มม.	รอยแตก1.6-6.0 มม.	รอยแตก6.0-12.0มม.	รอยแตก > 12.0 มม.

รูปที่ 3.5 แบบฟอร์มในการสำรวจสภาพการแตกร้าวของผนังคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.3 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลที่ได้มา

วิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาการแตกร้าว คือ การนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ ในการแยกประเภทของรอยร้าว ตามหลักทฤษฎีลักษณะของรอยร้าววิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

3.1.4 แนวทางการแก้ไขรอยร้าวที่เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ และการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าว เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกวิธีการแก้ไขรอยร้าวที่เหมาะสมกับรอยร้าวแต่ละประเภท

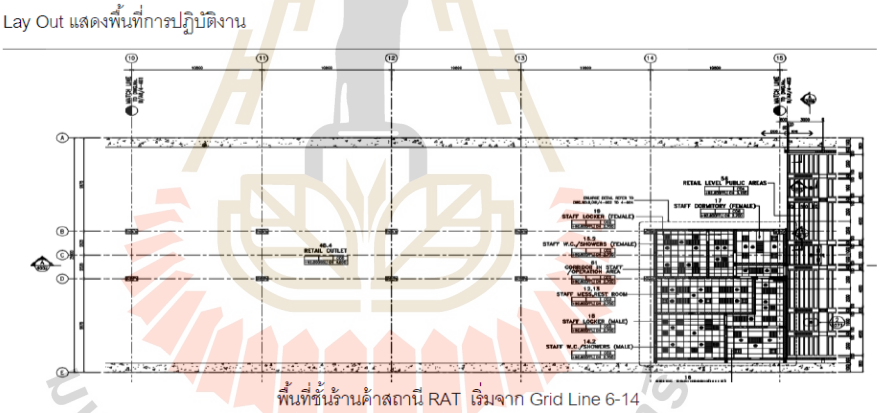
3.2 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาสภาพปัญหาภายใน รถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก สาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเพดานคอนกรีตภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก ส่วนที่แตกร้าวของเพดานคอนกรีต คือชั้นรองลงมาจากผิวถนน มีระยะห่างระหว่างผิวถนนถึงเพดานคอนกรีตชั้น Retail ประมาณ 8.5 เมตร มีพื้นที่ความเสียหายของรอยร้าวที่แตกร้าวและเกิดการหลุดลงมาของคอนกรีตชั้นRetail ประมาณ 20 เมตร

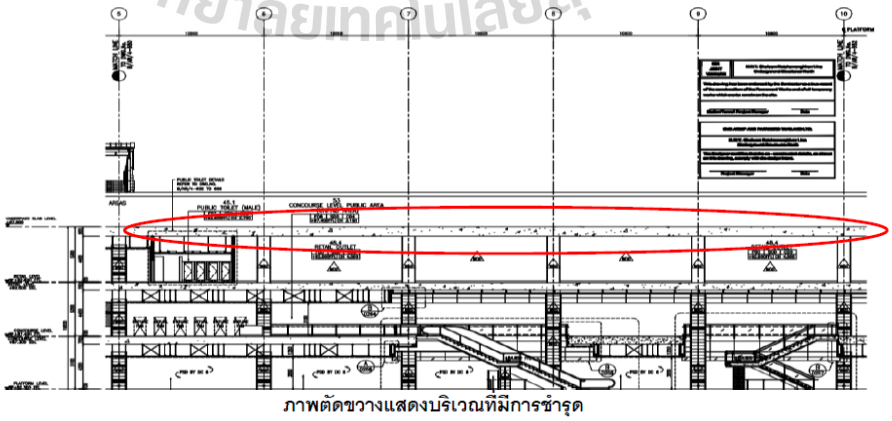
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการสำรวจ

งานวิจัยนี้สำรวจความเสียหายของฝ้าเพดานคอนกรีตที่มีรอยแตกร้าว อันเนื่องมาจากอายุการใช้งานมานานและขาดการบำรุงรักษาที่ถูกต้องอย่างต่อเนื่อง และนำเสนอแนวทางแก้ไขความเสียหายที่เหมาะสมตามหลักวิศวกรรม งานวิจัยนี้สำรวจรอยแตกร้าวทั้งหมด 98 จุด ภายใน MRT รัชดาภิเษก ส่วนที่เสียหายคือชั้นรองลงมาจากผิวถนน มีระยะห่างระหว่างผิวถนนถึงเพดานคอนกรีตชั้น Retail ประมาณ 8.5 เมตร มีพื้นที่ความเสียหายของรอยร้าวที่แตกร้าวและเกิดการหลุดลงมาของคอนกรีตชั้น Retail ประมาณ 20 เมตร ซึ่งรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีรัชดาภิเษก ได้เปิดให้บริการเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2547 ซึ่ง ปัจจุบันสถานีแห่งนี้ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลา 14 ปีแล้ว ทำให้มีการเสื่อมสภาพของโครงสร้างตามอายุการใช้งาน จากการสำรวจทางกายภาพ สามารถแสดงตำแหน่งที่เกิดรอยแตกร้าวดังนี้



รูปที่ 4.1 แปลนแสดงพื้นที่ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก



รูปที่ 4.2 แปลนแสดงพื้นที่เพดานคอนกรีต ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก
โดยระบุตำแหน่ง Grid line พื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย 20 เมตร

4.1 ผลสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) และการวัดรอยแตกร้าว

จากการสำรวจรอยร้าวทางกายภาพบริเวณชั้น Retail พื้นที่ประมาณ 20 เมตร ในสถานีรัชดาภิเษก มีรอยแตกร้าวทั้งหมด 98 จุด เปรียบเทียบกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง พบว่า รอยร้าวนั้นเกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ รอยร้าวเช่นนี้มักจะเกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตเป็นบริเวณกว้างและเป็นหย่อมๆ มีลักษณะเป็นลายงามีทิศทางของรอยแตกไม่แน่นอน บางส่วนกะเทาะหลุดล่อนออกจนเห็นเหล็กสนิม เช่น รอยร้าวของคอนกรีตที่บริเวณท้องพื้นตามแนวของเหล็กเสริม การกะเทาะหลุดล่อนของคอนกรีตที่เสาจนเห็นเหล็กเสริม หรือรอยแตกร้าวที่เกิดจากการยืดหดตัวของคอนกรีต เป็นต้น

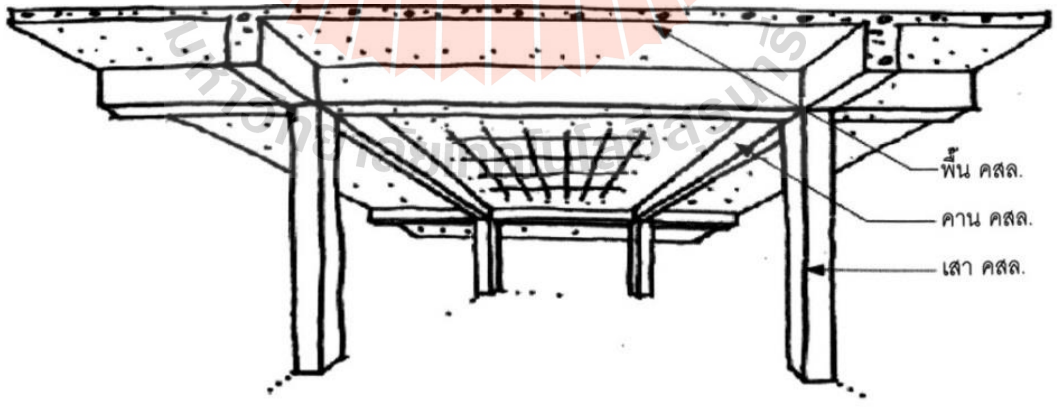
มีลักษณะตามผลสำรวจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1. รอยร้าวใต้ท้องพื้น จำนวน 54 จุด

กลุ่มที่ 2. รอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม จำนวน 44 จุด

4.1.1 กลุ่มที่ 1 รอยร้าวใต้ท้องพื้น จำนวน 54 จุด

รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตที่มีคานรองรับชนิดหล่อในที่ มีร่องรอยเป็นตารางตามแนวเหล็กเสริมในพื้น สาเหตุอาจเกิดจากการเทคอนกรีตไม่ดี หรือมีความชื้นมากทำให้ความชื้นซึมทะลุผ่านคอนกรีตจนถึงชั้นเหล็กเสริม โดยเหล็กเสริมอาจจะถูกน้ำหนักคอนกรีตกดลงมาอยู่ใกล้ผิวไม้แบบเกินไป ทำให้คอนกรีตมีความหน้าหุ้มเหล็กเสริมไม่เพียงพอ เมื่อเวลาผ่านไป ออกซิเจนและความชื้นซึมผ่านผิวคอนกรีตจนทำให้เหล็กเป็นสนิม ถ้าไม่มีการแก้ไขเหล็กจะเป็นสนิมขยายตัว บวมตัว ดันคอนกรีตที่หุ้มเหล็กไว้หลุดร่อน จนเห็นเหล็กเป็นตะแกรง และอาจทำให้ความสามารถรับน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วจนเกินการวิบัติได้



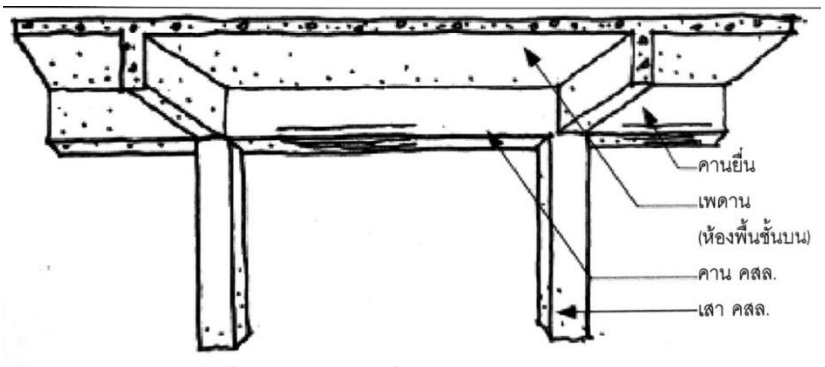
รูปที่ 4.3 รอยร้าวหรือรอยสนิมเหล็กที่ใต้ท้องพื้นเป็นตาราง
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

รูปที่ 4.4 การสำรวจพบรอยร้าวรอยร้าวใต้ท้องพื้น จำนวน 44 จุด

จากรูป 4.4 กรณีเหล็กเสริมในพื้นที่เป็นสนิมจะสังเกตได้จากใต้ท้องพื้นมีรอยแตกตามแนวยาวในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และมีหลายเส้นขนานกัน เมื่อเหล็กเสริมเป็นสนิมจะบวมตัวดันคอนกรีตปิดผิวที่ส่วนล่างให้แตก ดันคอนกรีตที่หุ้มเหล็กไว้หลุดร่อน และหลุดออกมา จนเห็นเหล็กเป็นตะแกรง

4.1.2 กลุ่มที่ 2 รอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม จำนวน 44 จุด

รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม กรณีที่เหล็กเสริมในคานมีคอนกรีตหุ้มไว้หนาไม่เพียงพอหรือคอนกรีตเป็นรูโพรงเหล็กเสริมในคานจะค่อยๆเกิดสนิม อันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศโดยมีความชื้นเป็นตัวเร่ง สนิมเหล็กจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดันให้คอนกรีตแตกร้าวได้



รูปที่ 4.5 รอยร้าวเนื่องจากเหล็กเป็นสนิม
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

รูปที่ 4.6 การสำรวจพบรอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม จำนวน 44 จุด

จากรูป 4.6 จากการสำรวจรอยร้าว พบว่าเป็นรอยร้าวในแนวราบยาวไปตามคาน ตามตำแหน่งของเหล็กเสริม รอยร้าวที่พบเห็นเป็นรอยร้าวบริเวณใต้คาน หรือขอบด้านล่างของคานหากปล่อยทิ้งไว้เหล็กที่เป็นสนิมจะบวม และดันให้คอนกรีต ส่วนใต้รอยร้าวนี้หลุดออกมาได้

4.2 การวัดความกว้าง ความยาวของรอยแตกร้าว

สำรวจรอยร้าวโดยการวัดความกว้าง และความยาวของรอยแตกร้าว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถระบุระดับความรุนแรง แบ่งกลุ่มประเภทของรอยร้าว และอ้างอิงได้ชัดเจนมากขึ้นกว่าการตรวจแบบพินิจ โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความกว้าง ตลับเมตรวัดความยาว ผู้ศึกษาได้เก็บข้อมูลรอยแตกร้าวทุกจุดภายในพื้นที่ชั้น Retail ในสถานีรัชดาภิเษก ได้ข้อมูลดังนี้

ตาราง 4.1 รายละเอียดกลุ่มที่ 1 รอยร้าวใต้ท้องพื้น

รอยแตกร้าวที่	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (cm.)	ยาว (M.)	
1	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.3	0.45	
2	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.2	0.36	
3	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.53	
4	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.4	0.18	
5	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.5	0.22	
6	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	3.2	0.65	
7	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.35	
8	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.5	0.19	
9	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.6	0.35	
10	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.39	
11	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.3	0.42	
12	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.20	
13	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	14.5	0.37	
14	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.23	
15	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	11.20	0.25	
16	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.25	
17	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.3	0.30	
18	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.7	0.20	
19	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.8	0.15	
20	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.5	0.37	
21	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.3	0.40	
22	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.6	0.31	
23	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.5	0.22	
24	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.2	0.74	
25	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	5.0	0.55	
26	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.3	0.47	

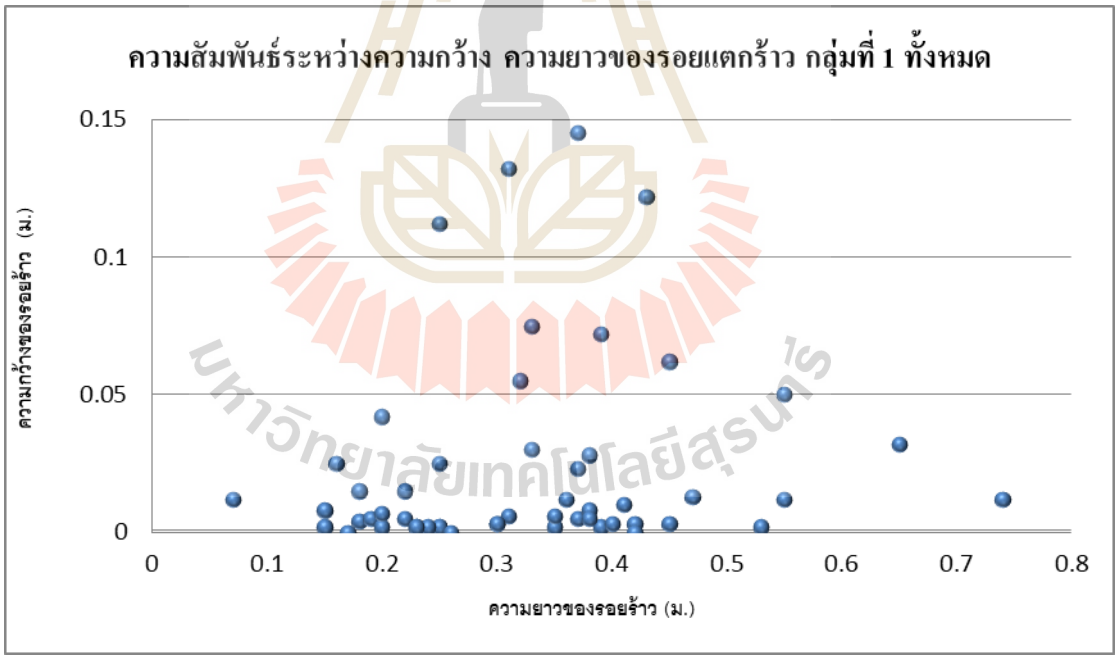
ตาราง 4.1 (ต่อ)

รอยแตกร้าวที่	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (cm.)	ยาว (M.)	
27	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.8	0.38	
28	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.3	0.30	
29	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.25	
30	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	5.5	0.32	
31	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	7.2	0.39	
32	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	12.2	0.43	
33	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	3.0	0.33	
34	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	2.5	0.25	
35	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	13.2	0.31	
36	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	4.2	0.20	
37	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.23	
38	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.3	0.30	
39	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.24	
40	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.5-1.0	0.17	***
41	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.5	0.18	
42	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.2	0.07	
43	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	2.5	0.16	
44	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.1-0.3	0.26	***
45	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.15	
46	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	2.8	0.38	
47	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.0	0.41	
48	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.2	0.23	
49	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	0.5	0.38	
50	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.3-1.7	0.42	***
51	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	7.5	0.33	
52	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	6.2	0.45	

ตาราง 4.1 (ต่อ)

รอยแตกร้าวที่	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (cm.)	ยาว (M.)	
53	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	2.3	0.37	
54	รอยร้าวใต้ท้องพื้น	1.2	0.55	

จากตางรางที่ 4.1 เป็นการสำรวจรอยร้าวกลุ่มที่ 1 ด้วยสายตา วัดความกว้างและความยาวด้วยตลับเมตร ทั้งหมด 54 จุด รอยที่กว้างมากที่สุดคือ 14.50 เซนติเมตร รอยยาวที่สุดคือ 74 เซนติเมตร และรอยที่กว้างน้อยที่สุดคือ 0.2 เซนติเมตร รอยสั้นที่สุดคือ 7 เซนติเมตร รอยแตกร้าวที่ระบุความกว้างเป็น 2 ค่า เช่น 0.5-1.0 เซนติเมตร (***) คือ รอยแตกร้าวที่มีความกว้างของรอยแตกร้าวตั้งแต่ 0.5 เซนติเมตร ถึง 1.0 เซนติเมตร ความกว้างต่ำสุด 0.5 เซนติเมตร และมีความกว้างสูงที่สุด 1.0 เซนติเมตร (ขนาดตามที่ระบุในช่องความกว้าง)

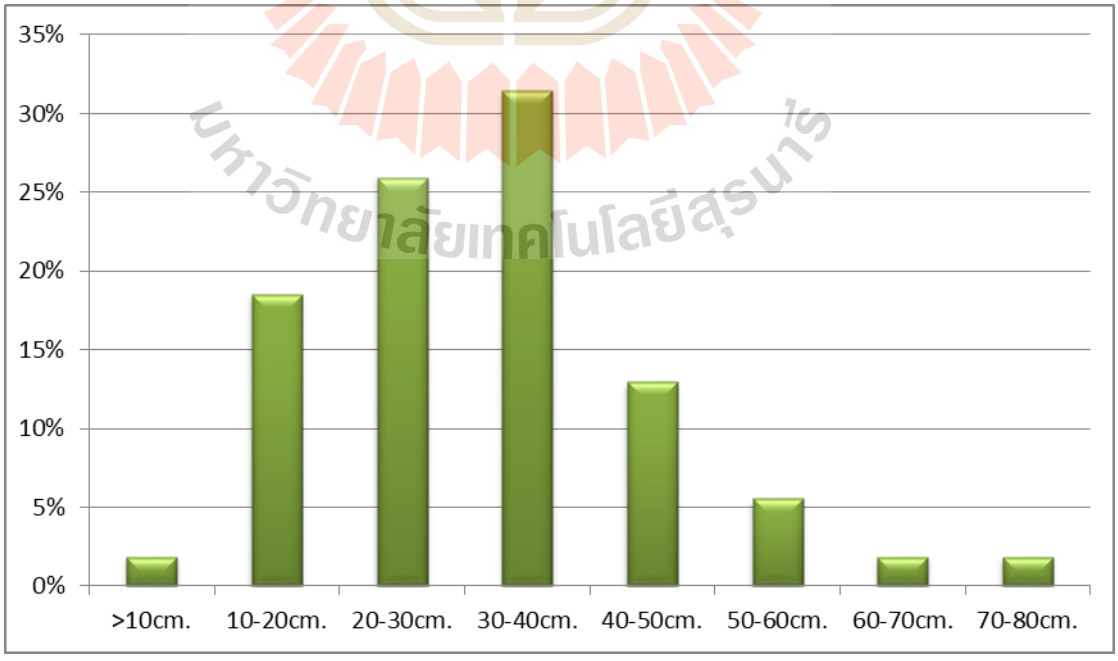


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1 ทั้งหมด

ตาราง 4.2 ความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด

ลำดับ	ความยาวรอยแตกร้าว	จำนวน (รอยร้าว)	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
1	รอยแตกร้าวความยาวไม่เกิน 10 ซม.	1	1.85 %
2	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 10 ซม. แต่ไม่เกิน 20 ซม.	10	18.52 %
3	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 20 ซม. แต่ไม่เกิน 30 ซม.	14	25.93 %
4	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่เกิน 40 ซม.	17	31.48 %
5	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 40 ซม. แต่ไม่เกิน 50 ซม.	7	12.96 %
6	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 50 ซม. แต่ไม่เกิน 60 ซม.	3	5.56 %
7	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 60 ซม. แต่ไม่เกิน 70 ซม.	1	1.85 %
8	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 70 ซม. แต่ไม่เกิน 80 ซม.	1	1.85 %

จากข้อมูลสำรวจ สรุปปริมาณความยาวของรอยร้าวในกลุ่มที่ 1 ได้ว่า รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่เกิน 40 ซม.มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้จำนวน 31.48 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ รอยแตกร้าวความยาวไม่เกิน 10 ซม. จำนวน 1.85 % รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 60 ซม. แต่ไม่เกิน 70 ซม.จำนวน 1.85 % และรอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 70 ซม. แต่ไม่เกิน 80 ซม.จำนวน 1.85 %

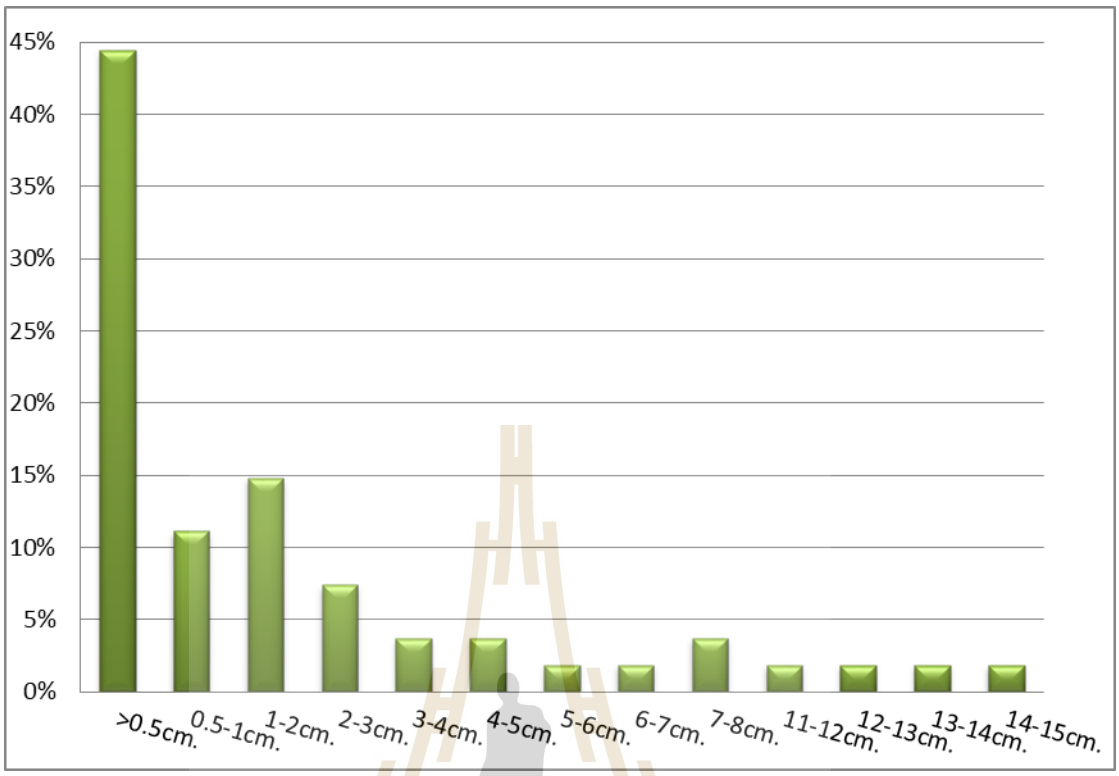


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด

ตาราง 4.3 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด

ลำดับ	ความกว้างรอยแตกร้าว	จำนวน (รอยร้าว)	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
1	รอยแตกร้าวความกว้างไม่เกิน 0.5 ซม.	24	44.45 %
2	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 0.5 ซม. แต่ไม่เกิน 1.0 ซม.	6	11.12 %
3	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 1.0 ซม. แต่ไม่เกิน 2.0 ซม.	8	14.82 %
4	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 2.0 ซม. แต่ไม่เกิน 3.0 ซม.	4	7.41 %
5	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 3.0 ซม. แต่ไม่เกิน 4.0 ซม.	2	3.70 %
6	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 4.0 ซม. แต่ไม่เกิน 5.0 ซม.	2	3.70 %
7	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 5.0 ซม. แต่ไม่เกิน 6.0 ซม.	1	1.85 %
8	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 6.0 ซม. แต่ไม่เกิน 7.0 ซม.	1	1.85 %
9	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 7.0 ซม. แต่ไม่เกิน 8.0 ซม.	2	3.70 %
10	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 11.00ซม. แต่ไม่เกิน 12.00 ซม.	1	1.85 %
11	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 12.00ซม. แต่ไม่เกิน 13.00 ซม.	1	1.85 %
12	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 13.00ซม. แต่ไม่เกิน 14.00 ซม.	1	1.85 %
13	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 14.00ซม. แต่ไม่เกิน 15.00 ซม.	1	1.85 %

จากข้อมูลสำรวจ สรุปปริมาณความกว้างของรอยร้าวในกลุ่มที่ 1 ได้ว่า รอยแตกร้าวความกว้างไม่เกิน 0.5 ซม. มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้ จำนวน 44.45 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุด คือ จำนวน 1.85 % มีดังนี้ รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 5.0 ซม. แต่ไม่เกิน 6.0 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 6.0 ซม. แต่ไม่เกิน 7.0 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 11.00 ซม. แต่ไม่เกิน 12.00 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 12.00 ซม. แต่ไม่เกิน 13.00 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 13.00 ซม. แต่ไม่เกิน 14.00 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 14.00 ซม. แต่ไม่เกิน 15.00 ซม.



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด

ตาราง 4.4 รายละเอียดกลุ่มที่ 2 รอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม

รอยแตกร้าวที่	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (cm.)	ยาว (M.)	
1	รอยร้าวในคาน	3.3	0.40	
2	รอยร้าวในคาน	1.5	0.51	
3	รอยร้าวในคาน	3.0	0.56	
4	รอยร้าวในคาน	2.1	0.39	
5	รอยร้าวในคาน	5.2	0.44	
6	รอยร้าวในคาน	1.2	0.67	
7	รอยร้าวในคาน	1.8	0.61	
8	รอยร้าวในคาน	4.0	0.54	
9	รอยร้าวในคาน	1.7	0.47	
10	รอยร้าวในคาน	0.7	0.55	
11	รอยร้าวในคาน	1.6	0.61	
12	รอยร้าวในคาน	2.8	0.65	

ตาราง 4.4 (ต่อ)

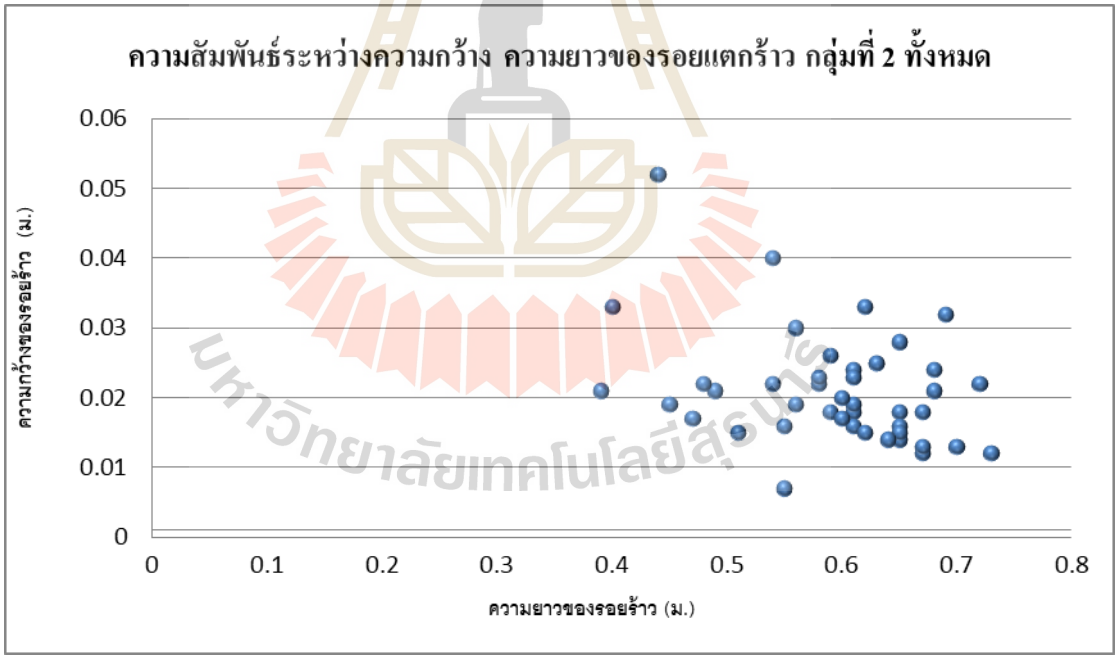
รอยแตกร้าวที่	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (cm.)	ยาว (M.)	
13	รอยร้าวในคาน	1.5	0.62	
14	รอยร้าวในคาน	1.9	0.61	
15	รอยร้าวในคาน	2.2	0.58	
16	รอยร้าวในคาน	3.3	0.62	
17	รอยร้าวในคาน	2.1	0.49	
18	รอยร้าวในคาน	2.2	0.54	
19	รอยร้าวในคาน	1.9	0.56	
20	รอยร้าวในคาน	2.5	0.63	
21	รอยร้าวในคาน	2.2	0.72	
22	รอยร้าวในคาน	2.4	0.68	
23	รอยร้าวในคาน	1.3	0.70	
24	รอยร้าวในคาน	1.8	0.65	
25	รอยร้าวในคาน	3.2	0.69	
26	รอยร้าวในคาน	2.4	0.61	
27	รอยร้าวในคาน	1.3	0.67	
28	รอยร้าวในคาน	1.6	0.65	
29	รอยร้าวในคาน	1.8	0.67	
30	รอยร้าวในคาน	1.2	0.73	
31	รอยร้าวในคาน	2.1	0.68	
32	รอยร้าวในคาน	1.4	0.65	
33	รอยร้าวในคาน	2.3	0.58	
34	รอยร้าวในคาน	2.0	0.60	
35	รอยร้าวในคาน	1.5	0.65	
36	รอยร้าวในคาน	1.4	0.64	
37	รอยร้าวในคาน	2.3	0.61	
38	รอยร้าวในคาน	1.8	0.59	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตาราง 4.4 (ต่อ)

รอยแตกร้าวที่	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (cm.)	ยาว (M.)	
39	รอยร้าวในคาน	2.5	0.63	
40	รอยร้าวในคาน	1.6	0.55	
41	รอยร้าวในคาน	2.2	0.48	
42	รอยร้าวในคาน	1.9	0.45	
43	รอยร้าวในคาน	2.6	0.59	
44	รอยร้าวในคาน	1.7	0.60	

จากตางรางที่ 4.4 เป็นการสำรวจรอยร้าวกลุ่มที่ 2 ด้วยสายตา วัดความกว้างและความยาวด้วยตลับเมตร ทั้งหมด 44 จุด รอยที่กว้างมากที่สุดคือ 5.2 เซนติเมตร รอยยาวที่สุดคือ 73 เซนติเมตร และรอยที่กว้างน้อยที่สุดคือ 0.7 เซนติเมตร รอยสั้นที่สุดคือ 39 เซนติเมตร

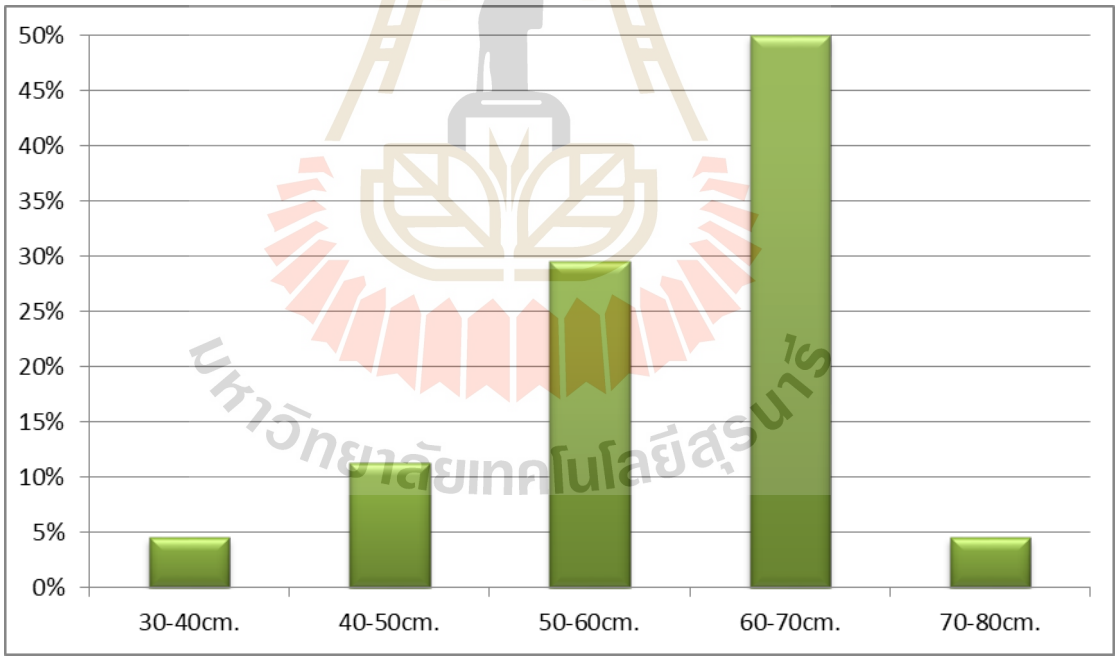


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2 ทั้งหมด

ตาราง 4.5 ความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด

ลำดับ	ความยาวรอยแตกร้าว	จำนวน (รอยร้าว)	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
1	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่เกิน 40 ซม.	2	4.55 %
2	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 40 ซม. แต่ไม่เกิน 50 ซม.	5	11.35 %
3	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 50 ซม. แต่ไม่เกิน 60 ซม.	13	29.55 %
4	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 60 ซม. แต่ไม่เกิน 70 ซม.	22	50.00 %
5	รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 70 ซม. แต่ไม่เกิน 80 ซม.	2	4.55 %

จากข้อมูลสำรวจ สรุปปริมาณความยาวของรอยร้าวในกลุ่มที่ 2 ได้ว่า รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 60 ซม. แต่ไม่เกิน 70 ซม.มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้จำนวน 50.00 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่เกิน 40 ซม. จำนวน 4.55 % และรอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 70 ซม. แต่ไม่เกิน 80 ซม. จำนวน 4.55 %

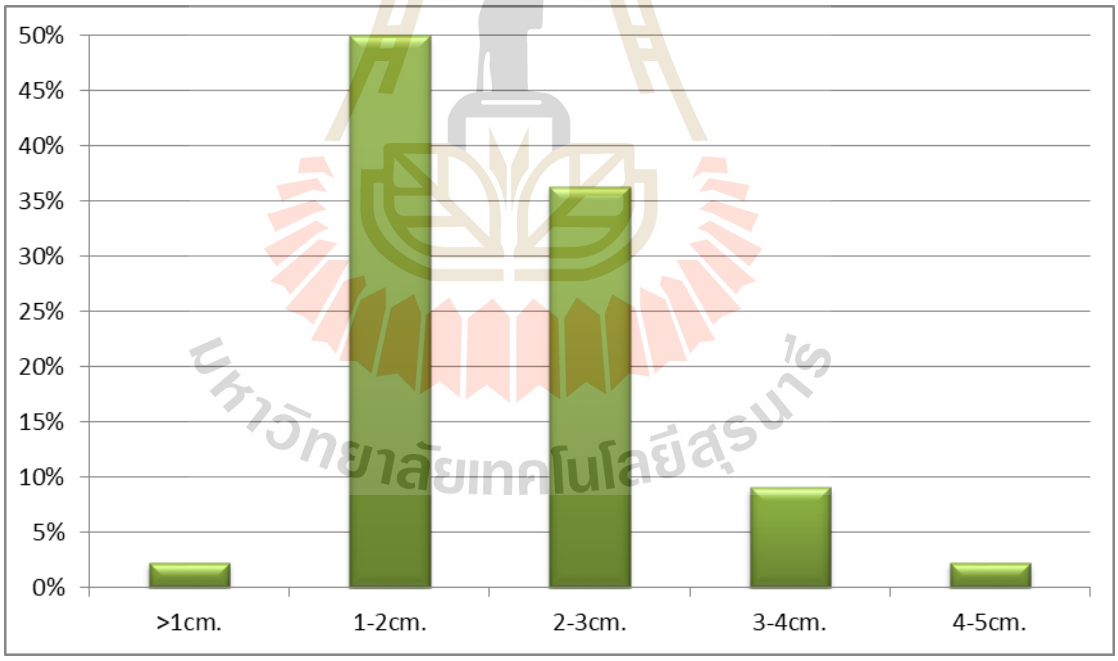


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความยาวของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด

ตาราง 4.6 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด

ลำดับ	ความกว้างรอยแตกร้าว	จำนวน (รอยร้าว)	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
1	รอยแตกร้าวความกว้างไม่เกิน 1.0 ซม.	1	2.27 %
2	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 1.0 ซม. แต่ไม่เกิน 2.0 ซม.	22	50.00 %
3	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 2.0 ซม. แต่ไม่เกิน 3.0 ซม.	16	36.37 %
4	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 3.0 ซม. แต่ไม่เกิน 4.0 ซม.	4	9.09 %
5	รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 4.0 ซม. แต่ไม่เกิน 5.0 ซม.	1	2.27 %

จากข้อมูลสำรวจ สรุปปริมาณความกว้างของรอยร้าวในกลุ่มที่ 2 ได้ว่า รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 1.0 ซม. แต่ไม่เกิน 2.0 ซม. มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้ จำนวน 50.00 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ จำนวน 2.27 % มีดังนี้ รอยแตกร้าวความกว้างไม่เกิน 1.0 ซม. และรอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 4.0 ซม. แต่ไม่เกิน 5.0 ซม.



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ทั้งหมด

4.3 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลที่ได้มา

จากการสำรวจทางกายภาพภายใน รถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก พบว่า ปัจจุบันสถานีแห่งนี้ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลา 14 ปีแล้ว ทำให้มีการเสื่อมสภาพของโครงสร้างตามอายุการใช้งาน แบ่งประเภทรอยร้าวได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 รอยร้าวใต้ท้องพื้น จำนวน 54 จุด รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตที่มีคานรองรับชนิดหล่อในที่ มีร่องรอยเป็นตารางตามแนวเหล็กเสริมในพื้น เกิดจากเหล็กเสริมในคอนกรีตเกิดสนิมจะสังเกตได้จากใต้ท้องพื้นมีรอยแตกตามแนวยาวในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และมีหลายเส้นขนานกัน เมื่อเหล็กเสริมเป็นสนิมจะบวมตัวดันคอนกรีตปิดผิวที่ส่วนล่างให้แตก และหลุดออกมา ถ้าไม่มีการแก้ไขเหล็กจะเป็นสนิม ขยายตัว บวมตัว ดันคอนกรีตที่หุ้มเหล็กไว้หลุดร่อน จนเห็นเหล็กเป็นตะแกรง

กลุ่มที่ 2 รอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม จำนวน 44 จุด เหล็กเสริมในคานมีคอนกรีตหุ้มไว้หนาไม่เพียงพอหรือคอนกรีตเป็นรูโพรงเหล็กเสริมในคานจะค่อยๆเกิดสนิม อันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศโดยมีความชื้นเป็นตัวเร่ง สนิมเหล็กจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดันให้คอนกรีตแตกร้าวได้ รอยร้าวที่พบเกิดในแนวราบยาวไปตามคานตามตำแหน่งของเหล็กเสริม รอยร้าวที่พบเห็นก่อนมักเป็นรอยร้าวบริเวณใต้คาน หรือขอบด้านล่างของคานเมื่อปล่อยทิ้งไว้ เหล็กที่เป็นสนิมจะบวม และดันให้คอนกรีต ส่วนใต้รอยร้าวนี้หลุดออกมา

4.4 แนวทางการแก้ไขรอยร้าวที่เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ

จากการสำรวจรอยแตกร้าวที่เพดานคอนกรีต พบว่าทั้ง 2 กลุ่ม เกิดจากเหล็กเสริมเป็นสนิม ทำให้เกิดรอยร้าวบริเวณผิวคอนกรีต มีลักษณะเป็นลายงามีทิศทางของรอยแตกไม่แน่นอน บางจุดมีลักษณะเป็นรอยกว้าง มีการขยายตัว บวมตัว และดันคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมให้ปริออก บางส่วนกะเทาะหลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมที่เป็นสนิม ในกรณีนี้หากปล่อยทิ้งไว้นานโดยไม่ได้รับการซ่อมแซมอาจทำให้ความสามารถรับน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วจนเกินการวิบัติได้ ขั้นตอนการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตแตกร้าวที่เกิดจากเหล็กเสริมเป็นสนิม สามารถทำได้ดังนี้

4.4.1 กำหนดขอบเขตในการซ่อม โดยใช้เครื่องตัดคอนกรีตตัดผิวคอนกรีตตามแนวตั้งหรือแนวนอน ให้มีระยะห่างจากรอยแตกร้าวประมาณ 10-20 เซนติเมตรตามความเหมาะสม ความลึกประมาณ 3 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตในส่วนที่ไม่มีความเสียหายระหว่างการซ่อมแซม

4.4.2 การสกัดคอนกรีต ต้องสกัดคอนกรีตที่เสียหายออก ให้หมดจนถึงเนื้อคอนกรีตที่แข็งแรง อาจต้องสกัดคอนกรีตจนถึงแนวเหล็กเสริมคอนกรีต หากต้องสกัดจนเจอ

เหล็กเสริมนั้น ควรสกัดคอนกรีตให้ถึงหลังเหล็กเสริมประมาณ 1-3 เซนติเมตร ตามความยาวของเหล็กเสริมให้สกัดจนถึงเหล็กเสริมที่มีสภาพดีประมาณ 10-20 เซนติเมตร ให้ทำการติดตั้งค้ำยันหรือจะต้องมีการออกแบบค้ำยัน เพื่อความปลอดภัยขณะทำงาน และป้องกันความเสียหายจากโครงสร้างอื่นๆ

4.2.3 การทำความสะอาดเหล็กเสริม มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดกับเหล็กเสริม และเช็คสภาพความเสียหายของเหล็กเสริม ได้แก่ คราบน้ำมัน สนิม เป็นต้น ควรทำความสะอาดด้วยวิธีการที่เหมาะสม เช่น การขัดด้วยมือโดยใช้แปรงลวดขัดเหล็ก หินเจียร หรือเครื่องขัด การพ่นด้วยทราย หรือ ฉีดด้วยน้ำแรงดันสูง (แรงดันน้ำไม่เกิน 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เป็นต้น

4.4.4 การปรับปรุงเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อพบว่าเหล็กเสริมเป็นสนิมที่ผิวเหล็ก ให้ซ่อมแซมโดยวิธีการขัดด้วยแปรงลวด แล้วเคลือบผิวเหล็กเสริมด้วยวัสดุป้องกันสนิมชนิดที่สามารถยึดเกาะกับวัสดุซ่อมและ เหล็กเสริมได้ดี เช่น Epoxy zinc

4.4.5 ทาเคลือบเหล็กเสริมด้วยวัสดุ Epoxy ที่มีส่วนผสมของสังกะสี เพื่อเป็นรองพื้นป้องกันการเป็นสนิมของเหล็กโครงสร้าง ตามมาตรฐาน BS 4652:1971

4.4.6 ทาน้ำยาประสานคอนกรีตประเภท Acrylic Based Concrete Bonding Agent และต้องเป็นน้ำยาประสานคอนกรีตที่มีค่า Bond Strength by Slant Shear 52.38 kgf/cm2 ที่ 28 วัน หรือ Epoxy bonding agent โดยทาบริเวณคอนกรีตเก่าเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ ตามมาตรฐาน ASTM S 1042-99

งานวิจัยนี้เลือกใช้วัสดุ Sikadur® -32TH (former Sikadur® -732RT) เพราะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานวิจัย เป็นอีพ็อกซี่สำหรับงานเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ ดังตารางที่ 4.7

4.4.7 เทคอนกรีตทับหน้าด้วย Non-Shrink Cement Based with Polymer Modified High Strength หากไม่ต้องการเข้าแบบเพื่อเท Cement Non-Shrink Grout สามารถฉาบด้วยวัสดุ Cement Non-Shrink Grout Patching ประเภท Non-Shrink Cement Based with Polymer Modified High Strength ชนิดฉาบมีค่า Compressive Strength 935.58 kgf/cm2 และ 850.58 kgf/cm2 ตามลำดับ Bonding Strength 60.75 kgf/cm2 ที่ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM S 1042-99, ASTM C 579-01, ASTM C 531-00, ASTM D 785-03

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ 2 ชนิด คือ Sikadur®-41 CF Normal (อีพ็อกซี่มอร์ต้าประเภทธิโซโทรปิคชนิดสามส่วนผสมสำหรับงานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต) และSika® MonoTop® -614T (ซีเมนต์มอร์ต้าคุณสมบัติสูงสำหรับงานฉาบซ่อม) เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่า Sikadur®-41 CF Normal มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่เหมาะสำหรับงานวิจัยนี้มากกว่า Sika® MonoTop® -614T ดังตารางที่ 4.8

4.4.8 ฉาบ Non-Shrink Grout Patching ในการฉาบแต่ละครั้งจะต้องหนาไม่เกิน 1 - 2 เซนติเมตร แต่สามารถใช้การฉาบหลายๆครั้งในการเพิ่มความหนา โดยสามารถฉาบหนาได้ถึง 5 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยให้เซ็ทตัว และบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีต เมื่อพบปัญหาการสึกกร่อนคอนกรีตทุกครั้งจำเป็นจะต้องตรวจสอบสาเหตุ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำซ้อน และวิเคราะห์วิธีที่เหมาะสมก่อนทำการ "ซ่อมแซมคอนกรีต (Concrete Repair)" เพื่อให้คอนกรีตกลับมาสมบูรณ์แข็งแรงและรับกำลังได้ดังเดิม

4.5 การเลือกใช้วัสดุสำหรับซ่อมแซมรอยแตกร้าว

ตารางที่ 4.7 วัสดุสำหรับงานเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่

Sikadur® -32TH (former Sikadur® -732RT) อีพ็อกซี่สำหรับงานเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่	
คุณลักษณะ 	เป็นอีพ็อกซี่ประเภทอิโซโทรปิค (Thixotropic) มี 2 ส่วนผสม ประกอบด้วยอีพ็อกซี่เรซิ่นกับฟิลเลอร์ (Filler) มีความข้นหนืดมากไม่มีส่วนผสมของสารทำละลาย ประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน เมื่อผสมส่วนผสมทั้งสองเข้าด้วยกันสามารถใช้เป็นตัวประสานและช่วยการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ที่สมบูรณ์
มาตรฐาน	คุณสมบัติเทียบเท่า ASTM 881-78 ประเภท II เกรด 2 คลาส B+C
การใช้งาน	Sikadur® -32TH (ซิก้าดัวร์-32ทีเอช) จะให้ค่าแรงยึดเกาะที่แข็งแกร่งกว่าค่ารับกำลังแรงดึง (Tensile Strength) ของคอนกรีตดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานเชื่อมยึดงานโครงสร้าง (Structural Bonding) ระหว่างคอนกรีตใหม่กับโครงสร้างเดิมที่มีอยู่ นอกจากนี้ Sikadur® -32TH ยังใช้เป็นตัวประสานสำหรับคอนกรีต มอร์ต้า เหล็ก ฯลฯ อีกด้วย

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

Sikadur® -32TH (former Sikadur® -732RT) อีพ็อกซี่สำหรับงานเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่	
คุณประโยชน์	สามารถสร้างคุณประโยชน์อื่นๆ ให้กับผู้ใช้ได้ดังนี้ - ใช้งานง่าย - ไม่มีส่วนผสมของสารทำละลายโซเวนท์ - ใช้ได้ทั้งกับพื้นผิวแห้งและพื้นผิวชื้น - มีประสิทธิภาพสูง แม้จะใช้กับพื้นที่ชื้น - ยังมีสภาพเหลว เทได้แม้สภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ - มีค่ากำลังแรงดึงสูง (Tensile Strength)
ปริมาณการใช้	0.3 - 0.8 กก./ ตร.ม. ขึ้นอยู่กับสภาพความพรุนของพื้นผิวด้วย
ขั้นตอนการใช้งาน	พื้นผิวทุกชนิดจะต้องสะอาด ปราศจากน้ำท่วมขัง และเศษฝุ่นต่างๆ ใน
ขั้นตอนการใช้งาน	กรณีที่พื้นผิวเดิมมีเศษขุยซีเมนต์เกาะติดให้ทำความสะอาดโดยใช้เครื่องมือกล เช่น การพ่นทราย ขัดด้วยแปรงลวด เป็นต้น
การผสม	ให้ผสมส่วนผสมทั้งสองเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องกวนไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบต่ำ (ไม่เกิน600 รอบต่อนาที) จนได้ส่วนผสมที่มีเนื้อเป็นสีเดียวกันและมีความเหลวสม่ำเสมอ
วิธีการใช้งาน	1. เมื่อผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ให้ใช้แปรง ลูกกลิ้ง หรือสเปรย์ทาหรือฉาบบนพื้นผิวที่เตรียมไว้ด้วย Sikadur® -32TH 2. ในกรณีของพื้นผิวที่เปียกชื้นควรใช้เกรียงบดถูด้วย Sikadur® -32TH ขณะที่ฉาบด้วยเพื่อ ให้มั่นใจว่า Sikadur® -32TH สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวชื้นได้เต็มที่ 3.ให้เทคอนกรีตใหม่ในขณะที่ Sikadur® -32TH ยังคงเหนอะอยู่ (tacky)
การทำความสะอาด	ให้ทำความสะอาดเครื่องมือต่างๆ ทันทีที่เสร็จงานด้วย ทินเนอร์ ซี (Thinner C)
ข้อมูลเชิงเทคนิค	
สี	เทาอ่อน
ความหนาแน่น	~ 1.4 กก. / ลิตร
อัตราส่วนผสม	ส่วนผสมชนิด A : B = 2:1 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

<table>
<tr><td colspan="2">Sikadur® -32TH (former Sikadur® -732RT)
อีพ็อกซี่สำหรับงานเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่</td></tr>
<tr><td>พ็อตไลฟ์ (Potlife)
(ระยะเวลาขณะวัสดุเริ่มทำปฏิกริยา)</td><td>จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามสภาพอุณหภูมิ และชนิด ตามตารางต่อไปนี้
<table><tr><td>อุณหภูมิ °C</td><td></td></tr><tr><td>40</td><td>20 นาที</td></tr><tr><td>30</td><td>40 นาที</td></tr><tr><td>20</td><td>90 นาที</td></tr><tr><td>10</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>-</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>ระยะเวลาที่วัสดุแข็งตัว
(Open Time)</td><td><table><tr><td>อุณหภูมิ °C</td><td></td></tr><tr><td>40</td><td>2 ชั่วโมง</td></tr><tr><td>30</td><td>3 ชั่วโมง</td></tr><tr><td>20</td><td>-</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>ค่ากำลังอัด (Compressive Strength)</td><td>60-70 นิวตัน/ตร.มม.</td></tr>
<tr><td>ค่าแรงดัด
(Flexural Strength)</td><td>30-35 นิวตัน/ตร.มม.</td></tr>
<tr><td>ค่าแรงดึง
(Tensile Strength)</td><td>18-20 นิวตัน/ตร.มม.</td></tr>
<tr><td>ค่าแรงยึดเกาะต่อคอนกรีต
(Bond Strength to Concrete)</td><td>2.5-3 นิวตัน/ตร.มม.</td></tr>
<tr><td>ค่าแรงยึดเกาะต่อเหล็ก
(Bond Strength to Steel)</td><td>18-20 นิวตัน/ตร.มม.
ทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C ความชื้นสัมพันธ์ 65% อายุ 10 วัน
(สำหรับ R.T.)</td></tr>
</table>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบวัสดุสำหรับงานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต

ข้อมูลผลิตภัณฑ์	**Sikadur®-41 CF Normal** อีพ็อกซี่มอร์ต้าประเภทธิโซโทรปิคชนิดสามส่วนผสมสำหรับงานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต	**Sika® MonoTop® -614T** ซีเมนต์มอร์ต้าคุณสมบัติสูงสำหรับงานฉาบซ่อม
คุณลักษณะ	เป็นมอร์ต้าประเภทธิโซโทรปิคชนิดสามส่วนผสมสำหรับ งานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต โดยใช้ส่วนผสมของอีพ็อกซี่และตัวแทรกประสาน (filler) พิเศษ ออกแบบมาสำหรับใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง +10 °C และ +30 °C 	เป็นซีเมนต์มอร์ต้าพิเศษคุณภาพสูงแบบส่วนผสมเดียว ที่มีส่วนผสมของโพลิเมอร์ดัดแปลง ซิลิก้าฟูมและเส้นใยไฟเบอร์ เสริมกำลังให้กำลังสูง
การใช้งาน	ใช้เป็นมอร์ต้าสำหรับงานซ่อมหรือประสาน -ชิ้นงานคอนกรีต -หินธรรมชาติแข็ง -เซรามิค,ไฟเบอร์ซิเมนต์ -มอร์ต้า, อิฐก่อ, การก่อตึก -เหล็กกล้า, เหล็ก, อะลูมิเนียม -โพลีเอสเตอร์, อีพ็อกซี่ -กระจก ใช้เป็นมอร์ต้าสำหรับซ่อม -อุดโพรงและฟองอากาศ	ใช้สำหรับฉาบซ่อมคอนกรีตที่เสียหายโดยเฉพาะในแนวดิ่ง นอกเหนือจากนี้ยังให้ คุณสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติมแก่ผู้ใช้ดังนี้ -สำหรับซ่อมคอนกรีตที่เป็นรูพรุน -สำหรับซ่อมคอนกรีตที่เสียหายอันเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม
การใช้งาน	-ใช้ในแนวตั้งและเหนือศีรษะได้ ใช้ป้องกันการสึกหรอ และการกระแทก หลุดร่อน อุดรอยต่อและอุดเชื่อมรอยร้าว: -ซ่อมรอยต่อและรอยร้าวและขอบบิ่น	-สามารถใช้ในงานพ่นแบบเปียกได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ข้อมูลผลิตภัณฑ์	Sikadur®-41 CF Normal อีพ็อกซี่มอร์ต้าประเภทธิโซโทรปิคชนิดสามส่วนผสมสำหรับงานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต	Sika® MonoTop® -614T ซีเมนต์มอร์ต้าคุณสมบัติสูงสำหรับงานฉาบซ่อม
คุณประโยชน์	Sikadur®-41 CF มีข้อดีดังต่อไปนี้ -ผสมและใช้งานได้ง่าย -เหมาะกับพื้นผิวคอนกรีตที่แห้งและชื้น -ติดกับวัสดุที่ใช้งานก่อสร้างเกือบทุกชนิดได้เป็นอย่างดี -ให้กำลังสูง -เป็นสารประเภทธิโซโทรปิค:ไม่เกิดการย้อยเมื่อใช้ในแนวดิ่งและงานเหนือศีรษะ -ไม่มีการหดตัว เมื่อแห้งและแข็งตัว -ส่วนผสมมีสีแตกต่างกัน -ไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุรองพื้น -ให้ความแข็งแรงทางกลสูง -ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี -ทนต่อสารเคมีได้ดี	เป็นส่วนผสมเดียว ใช้งานง่าย โดยผสมกับน้ำสะอาดเท่านั้น -สามารถทำงานได้ง่าย -สามารถปรับความข้นเหลวได้ -ให้การยึดเกาะดี เหมาะกับงานในแนวดิ่ง -ให้ค่ารับกำลังทางกลสูง -สามารถทำงานได้ถึงความหนาสูงสุด 50 มม. (ในแนวดิ่ง) -ไม่เป็นพิษ -สามารถทำงานโดยใช้วิธีพ่นแบบเปียกได้
มาตรฐาน	ทดสอบตามมาตรฐาน EN 1504-3	-
อัตราส่วนผสม	ส่วนผสม A: สีขาว ส่วนผสม B: สีเทาเข้ม ส่วนผสม C: สีทราย ส่วนผสม A+B+C: สีเทาคอนกรีต	น้ำต่อ Sika® MonoTop® -614T = 1:8.2 - 9.0 ส่วนโดยน้ำหนัก = 1:5.2 - 5.6 ส่วนโดยปริมาตร (น้ำ 2.2 - 2.4 ลิตร ต่อ Sika® MonoTop® -614T
เคมีภัณฑ์	อีพ็อกซี่เรซิ่น	ซีเมนต์
ความหนาแน่น	1.85 ± 0.1 กก./ลิตร (ส่วนผสม A+B+C) (ที่ +23°C) (ไล่ลมออกแล้ว)	1.6 กก. / ลิตร (ผงแห้ง) 2.1 กก. / ลิตร (เมื่อผสมเสร็จ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

<table>
<tr><th>ข้อมูลผลิตภัณฑ์</th><th>Sikadur®-41 CF Normal
อีพ็อกซี่มอร์ต้าประเภทธิโซโทรปิคชนิดสามส่วนผสมสำหรับงานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต</th><th>Sika® MonoTop® -614T
ซีเมนต์มอร์ต้าคุณสมบัติสูงสำหรับงานฉาบซ่อม</th></tr>
<tr><td>Sag Flow</td><td>ไม่เกิดการย้อยเมื่อใช้ในแนวดิ่งความหนาไม้เกิน 20 มม. (ตามมาตรฐาน FIP 1799)</td><td>-</td></tr>
<tr><td>กาเปลี่ยนแปลงปริมาตร</td><td>การหดตัว: แห้งและแข็งตัวโดยไม่มีการหดตัว</td><td>มีการหดตัว</td></tr>
<tr><td>สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน</td><td>สัมประสิทธิ์ W: 3.5 x 10-5 ต่อ °C
(ช่วงอุณหภูมิ +23°C ถึง +60°C)
(ตามมาตรฐาน FIP 1770)</td><td>-</td></tr>
<tr><td>เสถียรภาพทางอุณหภูมิ</td><td>Heat Deflection Temperature (HDT):
HDT = +49o C (7 วัน / +23o C)
(ตามมาตรฐาน ISO 75) (ความหนา 10 มม.)</td><td>-</td></tr>
<tr><td>ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)</td><td>(ตามมาตรฐาน DIN EN 196)
<table><tr><th></th><th colspan="3">อุณหภูมิในการก่อตัว</th></tr><tr><th>ระยะเวลาการก่อตัว</th><th>+10°C</th><th>+23°C</th><th>+30°C</th></tr><tr><td>1 วัน</td><td>13 - 23 นิวตัน / มม²</td><td>57 - 67 นิวตัน / มม²</td><td>67 - 77 นิวตัน / มม²</td></tr><tr><td>3 วัน</td><td>45 - 55 นิวตัน / มม²</td><td>74 - 84 นิวตัน / มม²</td><td>76 - 86 นิวตัน / มม²</td></tr><tr><td>7 วัน</td><td>59 - 69 นิวตัน / มม²</td><td>77 - 87 นิวตัน / มม²</td><td>77 - 87 นิวตัน / มม²</td></tr></table></td><td>> 30 นิวตัน/ตรมม. (1 วัน)
> 60 นิวตัน/ตรมม. (28 วัน)</td></tr>
<tr><td>ค่ากำลังรับแรงดัด (Flexural Strength)</td><td>(ตามมาตรฐาน DIN EN 196)
<table><tr><th></th><th colspan="3">อุณหภูมิในการก่อตัว</th></tr><tr><th>ระยะเวลาการก่อตัว</th><th>+10°C</th><th>+23°C</th><th>+30°C</th></tr><tr><td>1 วัน</td><td>6 - 12 นิวตัน / มม²</td><td>17 - 27 นิวตัน / มม²</td><td>20 - 30 นิวตัน / มม²</td></tr><tr><td>3 วัน</td><td>14 - 24 นิวตัน / มม²</td><td>21 - 31 นิวตัน / มม²</td><td>25 - 35 นิวตัน / มม²</td></tr><tr><td>7 วัน</td><td>26 - 36 นิวตัน / มม²</td><td>33 - 43 นิวตัน / มม²</td><td>33 - 43 นิวตัน / มม²</td></tr></table></td><td>-</td></tr>
<tr><td>ค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)</td><td>(ตามมาตรฐาน ISO 527)
<table><tr><th></th><th colspan="3">อุณหภูมิในการก่อตัว</th></tr><tr><th>ระยะเวลาการก่อตัว</th><th>+10°C</th><th>+23°C</th><th>+30°C</th></tr><tr><td>1 วัน</td><td>2 - 6 นิวตัน / มม²</td><td>13 - 19 นิวตัน / มม²</td><td>12 - 22 นิวตัน / มม²</td></tr><tr><td>3 วัน</td><td>12 - 18 นิวตัน / มม²</td><td>15 - 21 นิวตัน / มม²</td><td>14 - 24 นิวตัน / มม²</td></tr><tr><td>7 วัน</td><td>13 - 19 นิวตัน / มม²</td><td>16 - 22 นิวตัน / มม²</td><td>16 - 26 นิวตัน / มม²</td></tr></table></td><td>-</td></tr>
</table>

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

<table>
<tr><th>ข้อมูล
ผลิตภัณฑ์</th><th>Sikadur®-41 CF Normal
อีพ็อกซี่มอร์ต้าประเภทธิโซโทรปิคชนิดสาม
ส่วนผสมสำหรับงานฉาบซ่อมผิวคอนกรีต</th><th>Sika® MonoTop® -614T
ซีเมนต์มอร์ต้าคุณสมบัติสูง
สำหรับงานฉาบซ่อม</th></tr>
<tr><td>ค่ากำลังยึดเกาะ
(Bond
Strength)</td><td>(ตามมาตรฐาน EN ISO 4624 และ EN 1542 และ EN 12188)
<table><tr><th>เวลา</th><th>อุณหภูมิ</th><th>พื้นผิว</th><th>กำลังยึดเกาะ</th></tr><tr><td>7 วัน</td><td>+10°C</td><td>คอนกรีตแห้ง</td><td>>4 นิวตัน / มม²*</td></tr><tr><td>7 วัน</td><td>+10°C</td><td>คอนกรีตชื้น</td><td>>4 นิวตัน / มม²*</td></tr><tr><td>7 วัน</td><td>+10°C</td><td>เหล็กกล้า</td><td>4-8 นิวตัน / มม²</td></tr><tr><td>7 วัน</td><td>+23°C</td><td>เหล็กกล้า</td><td>13-17 นิวตัน / มม²</td></tr></table>*100% คอนกรีตวิบัติ</td><td>> 2.0 นิวตัน/ตรมม.
(บนพื้นผิวที่เตรียมไว้)</td></tr>
<tr><td>โมดูลัสความ
ยืดหยุ่น
(E-Modulus)</td><td>แรงดึง: ~ 4,000 นิวตัน / มม2 (14 วัน ที่ +23°C)
(ตามมาตรฐาน ISO 527)
แรงอัด: ~ 9,000 นิวตัน / มม2 (14 วัน ที่ +23°C)
(ตามมาตรฐาน ASTM D695)</td><td>-</td></tr>
<tr><td>ค่าการยืดตัว
ก่อนขาด</td><td>0.2 ± 0.1% (7 วัน ที่ +23°C)
(ตามมาตรฐาน ISO 75)</td><td>-</td></tr>
</table>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของเพดานคอนกรีตภายใน รถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก

จากการสำรวจทางกายภาพภายใน รถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก ส่วนที่เสียหายคือชั้นรองลงมาจากผิวถนน มีระยะห่างระหว่างผิวถนนถึงเพดานคอนกรีตชั้น Retail ประมาณ 8.5 เมตร มีพื้นที่ความเสียหายของรอยร้าวที่แตกร้าวและเกิดการหลุดลงมาของคอนกรีตชั้น Retail ประมาณ 20 เมตร ซึ่งรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีรัชดาภิเษก ได้เปิดให้บริการเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2547 ซึ่งปัจจุบันสถานีแห่งนี้ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลา 14 ปีแล้ว ทำให้มีการเสื่อมสภาพของโครงสร้างตามอายุการใช้งาน สาเหตุปัญหาการแตกร้าวทั้ง 2 กลุ่ม ดังกล่าว พบว่า

กลุ่มที่ 1 รอยร้าวใต้ท้องพื้น จำนวน 54 จุด ปริมาณความยาวมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่เกิน 40 ซม.มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้จำนวน 31.48 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ รอยแตกร้าวความยาวไม่เกิน 10 ซม. จำนวน 1.85 % รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 60 ซม. แต่ไม่เกิน 70 ซม.จำนวน 1.85 % และรอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 70 ซม. แต่ไม่เกิน 80 ซม.จำนวน 1.85 % และรอยแตกร้าวความกว้างไม่เกิน 0.5 ซม. มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้ จำนวน 44.45 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ จำนวน 1.85 % มีดังนี้ รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 5.0 ซม. แต่ไม่เกิน 6.0 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 6.0 ซม. แต่ไม่เกิน 7.0 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 11.00 ซม. แต่ไม่เกิน 12.00 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 12.00 ซม. แต่ไม่เกิน 13.00 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 13.00 ซม. แต่ไม่เกิน 14.00 ซม. รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 14.00 ซม. แต่ไม่เกิน 15.00 ซม.

กลุ่มที่ 2 รอยร้าวในคานเนื่องจากเหล็กเสริมเป็นสนิม จำนวน 44 จุด ปริมาณความยาวของรอยร้าวในกลุ่มที่ 2 รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 60 ซม. แต่ไม่เกิน 70 ซม.มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้จำนวน 50.00 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ รอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่เกิน 40 ซม. จำนวน 4.55 % และรอยแตกร้าวความยาวมากกว่า 70 ซม. แต่ไม่เกิน 80 ซม. จำนวน 4.55 % และปริมาณความกว้างของรอยร้าวในกลุ่มที่ 2 รอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 1.0 ซม. แต่ไม่เกิน 2.0 ซม. มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มนี้ จำนวน 50.00 % และรอยร้าวที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ จำนวน 2.27 % มีดังนี้ รอยแตกร้าวความกว้างไม่เกิน 1.0 ซม. และรอยแตกร้าวความกว้างมากกว่า 4.0 ซม. แต่ไม่เกิน 5.0 ซม.

เมื่อทำการเปรียบเทียบรอยแตกร้าวจากการสำรวจรอยแตกร้าวที่เพดานคอนกรีต ภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษก กับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วพบว่า รอยร้าวทั้ง 2 กลุ่มนั้น

เกิดจากเหล็กเสริมเป็นสนิม ทำให้เกิดรอยร้าวบริเวณผิวคอนกรีต ลักษณะเป็นลายงามีทิศทางของรอยแตกไม่แน่นอน บางจุดมีลักษณะเป็นรอยกว้าง มีการขยายตัว บวมตัว และดันคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมให้ปริออก บางส่วนกะเทาะหลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมที่เป็นสนิม สรุปได้ว่ารอยร้าวดังกล่าวนี้เกิดจากวัสดุเสื่อมสภาพ ในกรณีนี้หากปล่อยทิ้งไว้นานโดยไม่ได้รับการซ่อมแซมอาจทำให้ความสามารถรับน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วจนเกินการวิบัติได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

5.2.1 การได้มาของข้อมูลหลักฐานต่าง ๆ มีข้อจำกัด เนื่องจากเป็นการสืบค้นหลักฐานจากสำรวจและบันทึกย้อนหลังการทำงานเท่านั้น

5.2.2 การพิสูจน์ การตรวจสอบรอยแตกร้าว และการติดตามผลเพิ่มเติมใหม่ ไม่สามารถทำได้เนื่องจากเป็นพื้นที่ปิดปรับปรุง เมื่อดำเนินงานซ่อมเสร็จแล้วทางรถไฟฟ้าไม่อนุญาตให้เข้าพื้นที่ได้อีก

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. หากพบว่าเหล็กเสริมคอนกรีตเป็นสนิมทำให้ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมลดลงเกินร้อยละ 10 ควรเปลี่ยนเหล็กเสริมนั้น หรือดามเสริมความแข็งแรง ทั้งนี้ให้เป็นไปตามดุลยพินิจของวิศวกร หรือ ผู้ควบคุมงาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่
   1.1 การซ่อมแซมโดยการเปลี่ยนเหล็กเสริม วิธีที่นิยมใช้ซึ่งได้แก่การตัดเหล็กเสริมส่วนที่เสียหายออกแล้วทาบต่อด้วยเหล็กใหม่
   1.2 การซ่อมแซมโดยการใส่เหล็กเสริมเพิ่มเติม วิธีการนี้อาจจำเป็นเมื่อเหล็กเสริมเดิมสูญเสียหน้าตัดเป็นปริมาณมากจนทำให้ปริมาณเหล็กเสริมที่เหลือไม่เพียงพอ โดยเริ่มจากการทำความสะอาดเหล็กเสริมที่เป็นสนิมด้วยวิธีการที่เหมาะสม สกัดคอนกรีตบริเวณ รอบๆ ออก จนมีพื้นที่พอในการวางเหล็กเสริมใหม่ข้างเหล็กเสริมเดิมที่มีอยู่
2. การป้องกันการเกิดสนิมแบบถาวร สามารถติดตั้งระบบป้องกันการเกิดสนิมเหล็กชนิดไฟฟ้าเคมี (ระบบกัลวานิค) ในกรณีป้องกันเหล็กเสริมเกิดสนิมแบบถาวร เป็นระบบป้องกันสนิมชนิดก้อนสำหรับติดตั้งบนเหล็กภายในโครงสร้าง เพื่อป้องกันการผุกร่อนที่เกิดจากสนิม มีความสามารถในการควบคุมการสูญเสียค่ากระแสไฟฟ้าในเหล็กเสริมเพื่อควบคุมการเกิดสนิมใหม่

เอกสารอ้างอิง

ชัชวาล เศรษฐบุตร. (2535). **คอนกรีตเทคโนโลยี.** ครั้งที่4. กรุงเทพมหานคร.

ธเนศ วีระศิริ. (2560). **การแก้ไขอาคารทรุด การยกและการย้ายอาคาร.** ประชุมวิชาการการแก้ไขอาคารทรุด และเทคนิคการยกอาคารที่ทรุดเอียง ณ โรแมน ติค ปากช่อง นครราชสีมา.

นิพนธ์ จงพิทักษ์ศีล. (2538). **การศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพของคอนกรีต และอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ของโครงสร้างสะพานคอนกรีต ในเขตกรุงเทพมหานคร.** กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปูชิตเทพ ปานทองและอดุลย์ วงค์คำ (2553) **การศึกษาการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต มวลเบาแบบเซลลูล่าเป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟองอากาศ.** กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มยผ. 1901-51.ISBN 978-974-16-5854-1.(2551). **มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต.** กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์. (2546). **คู่มือเทคนิคการตรวจสอบอาคารเพื่อความปลอดภัย**. ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร.

สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). **มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร.**

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

สนธยา ทองอรุณศรี. (2551). **การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต.** จังหวัดตาก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

โอฬาร เหลืองเพชราภรณ์. (2553). **การประเมินสมรรถนะของการประสานรอยร้าวด้วยวัสดุซ่อมประสานซีเมนต์.**กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อมร พิมานมาศ (2548) **พฤติกรรมและการวิบัติขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเสียหายจากรอยร้าวโครงสร้างล่วงหน้า กรุงเทพมหานคร** : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์. (2558).การประเมินอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างของสะพานคอนกรีตของกรมทางหลวงชนบท.กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). **มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร.**

Burland,J.B., Broms,B.B., and DeMello, V.F.B. (1977). **Behavior of Foundations and Structures State of The Art Report.** Proc. of The 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, 495-546.

CPAC. (2546). **Concrete Technology CPAC.**

Principles & Practice - Coduto 2 0 0 1 (2nd Edition). **Foundation Design, DONALD P. CODUTO** [Online]. แหล่งที่มา: http://fepoderymilagros.org/social/blog/view/2 7 2 6 4 7 / foundation-designprinciples-and-practices-2nd-edition-by-coduto-donald-p-download-pdf-and-epub [3/02/2546].

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

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

Principles & Practice - Coduto 2 0 0 1 (2nd Edition). Foundation Design, DONALD P. CODUTO [Online]. แหล่งที่มา: http://fepoderymilagros.org/social/blog/view/2 7 2 6 4 7 / foundation-designprinciples-and-practices-2nd-edition-by-coduto-donald-p-download-pdf-and-epub [10/03/2561].

Cr. Concrete Technology C-PAC. ม.ป.ป. [Online]. แหล่งที่มา : http://xn--12cfn5csu9and2eb2ali6g9d.blogspot.com/2014/11/blog-post_14.html [10/03/2561].

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.1 บริเวณพื้นที่รอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีต

รูปที่ ก.2 ความปลอดภัยในการดำเนินงาน

การป้องกันระบบทางเดินหายใจ

ใช้อุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ หากการระบายอากาศไม่เพียงพอ หรือมีการประเมินว่า การสัมผัสอยู่ในขอบเขตที่แนะนำชนิดของไส้กรองที่ใช้ในเครื่องช่วยหายใจจะต้องเหมาะกับขนาดความเข้มข้นสูงสุดของสิ่งปนเปื้อน (แก๊ส/ไอ/ละอองลอย/อนุภาค) ซึ่งคาดจะเกิดขึ้นขณะที่ใช้ผลิตภัณฑ์ หากความเข้มข้นดังกล่าวสูงกว่าค่าที่กำหนดจะต้องใช้เครื่องช่วยหายใจแบบมีถังอากาศสำหรับหายใจ

การป้องกันมือ

ควรสวมถุงมือที่ทนสารเคมีที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานตลอดเวลา เมื่อใช้งานสารเคมีและมีการประเมินว่ามีความเสี่ยงและจำเป็นต้องใช้

การป้องกันดวงตา

ควรใช้แว่นตานิรภัยที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานเมื่อมีการประเมิน ว่ามีความเสี่ยงและจำเป็นต้องใช้

รูปที่ ก.3 ลักษณะรอยแตกร้าวของเพดานคอนกรีต

รูปที่ ก. 4 การดำเนินงานซ่อมแซมรอยแตกร้าว

รูปที่ ก.5 รอยแตกร้าวบริเวณกว้าง ทำการสกัดคอนกรีตจนถึงเนื้อคอนกรีตที่แข็งแรงอาจต้องสกัดคอนกรีตจนถึงแนวเหล็กเสริมคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.6 การซ่อมแซมรอยแตกร้าวด้วย Sikadur® -32TH
(former Sikadur® -732RT) และ Sikadur®-41 CF Normal

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.7 ภาพหลังการดำเนินงานซ่อมแซมรอยแตกร้าวเสร็จ
และใช้วัสดุ Aluminium Compositeกรุเพดานคอนกรีต

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเยาวลักษณ์ ส่วนเสน่ห์ เกิดเมื่อวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2532 สถานที่เกิด จังหวัดนครราชสีมา ประวัติการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนปักธงชัยชุณหะวัณวิทยาคาร อำเภอ ปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนปักธงชัยประชานิรมิต อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ระดับปริญญาตรีคณะวิทยาการสารสนเทศ สาขา แอนิเมชั่นและเกมส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอขามเรียง จังหวัดมหาสารคาม ประวัติการทำงาน บริษัท ซีเจ พาวเวอร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี