รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์และแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

Analysis and Solve the Cracking Problem of RC Flat Slab

นายกีรติ มาลัยมาตย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศลิษา ไชยพุทธ)

โครงงานสหกิจศึกษา การวิเคราะห์และแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

นักศึกษา นายกีรติ มาลัยมาตย์ รหัสประจำตัว 62010069

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

อาจารย์นิเทศ รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

ผู้นิเทศงาน นายธนทัต วรพันธ์ตระกูล

สถานประกอบการ บริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีโครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยที่ใช้โครงสร้างพื้นเป็นพื้นชนิดไร้คานมากขึ้นในประเทศไทย โดยปัญหาการแตกร้าวเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงสร้างพื้นบ่อยครั้งทำให้ผู้อาศัยเกิดความกังวลได้ ทางบริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) ได้ให้โอกาสผู้วิจัยได้ทำโครงงานสหกิจศึกษาที่โครงการศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ โรงพยาบาลจุฬารงกรณ์ สภากาชาดไทย ซึ่งโครงการดังกล่าวมีการออกแบบโครงสร้างพื้นเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดไร้คานพบปัญหาการแตกร้าวของโครงสร้างพื้นหลายจุด จึงจำเป็นต้องหาวิธีป้องกันเพื่อลดปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตให้น้อยที่สุด

โดยปัญหาการแตกร้าวนั้นเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลต่อการรับแรงของพื้นที่อาจก่อความเสียหายที่รุนแรงได้ในภายหลัง งานวิจัยเล่มนี้มีจุดประสงค์หลักคือ ต้องการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวของพื้นและหาวิธีป้องกันเพื่อลดปัญหาการแตกร้าวและหาวิธีแก้ไขรอยร้าวที่เกิดขึ้นในโครงการนี้ได้ โดยการสำรวจการทำงานหน้างานจริง สังเกตรอยร้าวที่เกิดและหาความสัมพันธ์ของขนาดและพฤติกรรมของรอยร้าว แล้วนำข้อมูลที่สำรวจมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าวและหาวิธีป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดตามหลักการทางวิศวกรรม

คำสำคัญ : รอยร้าว, คอนกรีต, พื้นไร้คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research	Analysis and Solve the Cracking Problem of RC Flat Slab
Student	Mr.Keerati Malaimat ID 62010069
Curriculum	Bachelor of Engineering Program in Civil Engineering
Advisor	Dr.Salisa Chaiyaput
Supervisor	Mr.Thanathat Voraphantrakool
Enterprise	Powerline Engineering

ABSTRACT

Nowadays, there are a lot of residential building construction project that uses the floor structure as a flat slab in Thailand. The problem of cracking is a problem that often occurs in the floor structure, causing residents to concerned. Powerline Engineering Public Company Limited has been given the opportunity to researches for cooperative education at ICH, Chulalongkorn Hospital, which the project has designed the floor structure as a reinforced concrete flat slab. The Floors encounter problem of cracking at many point. Therefore, it is necessary to find a way to prevent it to minimize the problem of cracking.

The problem of cracking is an important problem that affects the strength of the area and may cause severe damage later. Therefore, the crucial objective of this research is that want to find out why cause of the cracking problem and find a preventive method to reduce and find a solution to fix the cracking problem that occur in this project. By exploring the work at the actual and observe the cracks and find the correlation between the size and behavior of the crack. Then the data will be analyzed to find factor that cause problems and to find to prevent and solve that arise according to engineering principles.

Keyword : Crack, Concrete, Flat Slab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรก ขอขอบคุณอาจารย์ศลิษา ไชยพุทธ ที่ได้อนุมัติให้ผู้วิจัยสามารถฝึกงานสหกิจศึกษา ณ บริษัทที่ผู้วิจัยสนใจ และได้ให้คำปรึกษาอย่างดีแก่ผู้วิจัยในส่วนต่างๆ ที่ผู้วิจัยสงสัยและบกพร่องในงานวิจัยเล่มนี้ การชี้แนะของอาจารย์เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยอย่างมาก

การทำโครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าหากบริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) ไม่ให้โอกาสผู้วิจัยมาฝึกงานที่โครงการอาคารศูนย์วิจัยนวัตกรรมและงานบริการนี้ และจะเกิดขึ้นไม่ได้อีกเช่นกันถ้าหากไม่มีวิศวกรผู้ดูแล นายธนทัต วรพันธ์ตระกูล วิศวกรผู้คอยให้ความรู้ในเรื่อง การแตกร้าวของคอนกรีต ได้มากขึ้น ให้ผู้วิจัยสามาถเข้าใจกระบวนการการแตกร้าวของคอนกรีตได้มากขึ้น และเป็นผู้ที่ช่วยกำหนดปัญหาของงานวิจัย ก่อให้เกิดงานวิจัยเล่มนี้ขึ้นมา

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้สอนและมอบความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ในเรื่องต่างๆได้และนำวิชาความรู้จากทุกศาสตร์วิชา มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและชีวิตประจำวันได้

สุดท้ายนี้ที่ขาดไม่ได้ คำขอบคุณอันพิเศษขอมอบแด่ บิดา มารดา ของผู้วิจัย ที่คอยเป็นห่วงและให้ความช่วยเหลือเสมอมา ทั้งด้านกำลังทรัพย์ กำลังใจ ตลอดที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันนี้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษา เรียนรู้ และทำให้โครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายกีรติ มาลัยมาตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยแตกร้าว	4
2.2 การแตกร้าวในคอนกรีต	7
2.3 ลักษณะของรอยแตกร้าว	12
2.4 การตรวจสอบด้านความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 การตรวจสอบความกว้างของรอยร้าว	32
2.6 การตรวจสอบรอยแตกร้าว	35
2.7 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต	35
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ขอบเขตการวิจัย	41
3.2 ศึกษาสภาพปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	41
3.3 การออกแบบการวิจัย	41
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	45
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	45
3.6 แนวทางการแก้ไขปัญหารอยแตกร้าว	46
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 บทนำ	47
4.2 ผลการสำรวจรอยแตกร้าวและการวัดรอยแตกร้าว	47
4.3 ผลการสำรวจขั้นตอนการทำงานและศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำการก่อสร้าง	70
4.4 ผลการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลทั้งหมด	74
4.5 ผลการวิเคราะห์หาแนวทางการป้องกันปัญหาการแตกร้าว	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	84
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้	86
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป	86
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก ก.	88
ขั้นตอนการก่อสร้างพื้น	
ภาคผนวก ข.	95
การแตกร้าวของคอนกรีตและการซ่อมแซมโครงสร้างพื้น	
ภาคผนวก ค.	101
การตรวจสอบงานต่างๆ	
ประวัติผู้เขียน	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าวของผนังก่ออิฐ	33
2.2 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	34
4.1 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1	48
4.2 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1	51
4.3 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2	52
4.4 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2	55
4.5 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3	57
4.6 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3	63
4.7 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 4	64
4.8 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4	69
4.9 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 1	75
4.10 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 2	77
4.11 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 3	78
4.12 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 4	79
4.13 โอกาสการเกิดแตกร้าวของโครงสร้างพื้น	80
5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การหดตัวแบบออโตจีนัสเนื่องจากเกิดหน่วยแรงดึงมากกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเมื่อมีการยึดรั้งคอนกรีต	5
2.2 การเกิด Drying Shrinkage Crack ของคอนกรีตโครงสร้างพื้น	6
2.3 การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้คอนกรีตเกิดสนิม	7
2.4 การแตกร้าวเนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีต	8
2.5 การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ	8
2.6 การแตกร้าวของผนังกำแพงเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส	9
2.7 การแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีต	9
2.8 การแตกร้าวคอนกรีตเนื่องจากด่างและมวลรวม	10
2.9 การแตกร้าวแบบ Plastic Shrinkage Crack	10
2.10 การแตกร้าวเนื่องจากการตกผลึกของเกลือ	11
2.11 การแตกร้าวเนื่องจากการยึดรั้งภายนอก	12
2.12 ประเภทการแตกร้าวของคอนกรีต	13
2.13 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากสนิมเหล็กเสริม	13
2.14 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต	14
2.15 รอยแตกร้าวจากการหดตัว	14
2.16 รอยแตกร้าวแบบแตกลายงา	15
2.17 รอยแตกร้าวที่เกิดจากแบบ	15
2.18 รอยแตกร้าวทีเกิดจากพื้นใต้คอนกรีตไม่แข็งแรง	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.19	พื้นที่ด้านกว้างเท่ากับด้านยาวและมีเหล็กเสริมเท่ากันทั้งสองทิศทาง รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจะเกิดเป็นรูปกากบาทในแนวทแยงมุม	17
2.20	รอยร้าวหรือรอยสนิมเหล็กที่ใต้ท้องพื้นเป็นตาราง	17
2.21	พื้นที่มีด้านกว้างด้านยาวไม่เท่ากัน รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจเกิดบริเวณกึ่งกลางเป็นเส้นขนานกับแนวคานด้านยาว	18
2.22	รอยร้าวที่บริเวณกึ่งกลางใต้ท้องพื้น เป็นแนวขวางกับแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	18
2.23	รอยร้าวที่บริเวณใต้ท้องพื้นไร้คานเป็นแนวขนานกับด้านสั้นของแผ่นพื้น	19
2.24	รอยร้าวทแยงมุมที่ผิวบนของพื้นเนื่องจากการทรุดตัวของเสาหรือฐานราก	20
2.25	รอยร้าวผิวบนบริเวณเหนือคานหรือบริเวณแผ่นปลายแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	21
2.26	รอยร้าวผิวบนตามแนวขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูป	21
2.27	รอยร้าวผิวบนพื้นไร้คานบริเวณเสา	22
2.28	รอยร้าวบนพื้นไร้คานบริเวณแนวระหว่างเสาในทิศทางด้านสั้น	22
3.1	แผนภูมิการดำเนินการวิจัย	40
3.2	แปลนแสดงโครงสร้างพื้นชั้นลานจอดรถ	42
3.3	แปลนแสดงรูปตัดพื้นคอนกรีต ชั้น ลานจอดรถ โดยระบุตำแหน่ง Grid line พื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย	42
3.4	ตลับเมตร เครื่องมือวัดความยาวรอยแตกร้าว	43
3.5	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เครื่องมือวัดความกว้างรอยแตกร้าว	43
3.6	แบบฟอร์มในการสำรวจสภาพการแตกร้าวของพื้นคอนกรีต	44
3.7	โครงสร้างของแผนผังแสดงเหตุและผลของการแตกร้าวคอนกรีต	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1	51
4.2 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1	51
4.3 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1	52
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2	55
4.5 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2	56
4.6 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2	56
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3	62
4.8 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3	63
4.9 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3	64
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4	69
4.11 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4	69
4.12 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4	70
4.13 การตั้งนั่งร้านรับแรง	71
4.14 การจัดวางเหล็กโครงสร้าง	71
4.15 การแบ่งเทคอนกรีตและการบ่มคอนกรีต	72
4.16 จำลองความร้อน แรงยก ความยาว ความแข็งแรงพื้นมีผลกระทบต่อการแตกร้าว	72
4.17 ลักษณะการเกิดแรงดัด และตำแหน่งที่จะเกิดรอยแตกร้าว	73
4.18 กราฟแสดงแรงดัดแลตำแหน่งการเกิดรอยแตกร้าวจากแรงดัดและแรงบิด	73
4.19 การแจกแจงข้อมูลลงในแผนผังแสดงเหตุและผลปัญหาการแตกร้าว	74
ก.1 รูปแบบการตั้งนั่งร้านรับพื้น	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.2 รายการคำนวณการตั้งนั่งร้านรับพื้น	89
ก.3 การตั้งนั่งร้านรับพื้นหน้างาน	90
ก.4 การจัดวางเหล็กโครงสร้างพื้นหน้างาน	91
ก.5 การเทคอนกรีตพื้นหน้างาน	92
ก.6 พื้นหลังเทคอนกรีต	93
ก.7 บ่มน้ำหลังเทคอนกรีตพื้น	94
ข.1 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 1	96
ข.2 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 2	97
ข.3 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 3	98
ข.4 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 4	99
ข.5 การซ่อมแซมรอยร้าวด้วยการฉีด Epoxy	100
ค.1 ตรวจสอบการทรุดตัวของคอนกรีตพื้น	102
ค.2 ตรวจสอบระดับของพื้นหลังเทคอนกรีต	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

Analysis and Solve the Cracking Problem of RC Flat Slab

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันกรุงเทพมีความเจริญมากขึ้น ประชากรเพิ่มขึ้น ความต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น แต่พื้นที่ในการก่อสร้างมีเท่าเดิม ดังนั้นการก่อสร้างในกรุงเทพส่วนใหญ่จึงเป็นอาคารสูงตามความสอดคล้องกับพื้นที่ที่มีจำกัด ปัจจุบันเทคโนโลยี วัสดุ ความรู้ด้านวิศวกรรมการก่อสร้างพัฒนาไปอย่างมาก รวมทั้งอุตสาหกรรม การก่อสร้างในประเทศไทยพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีระบบโครงสร้างหลากหลายรูปแบบที่เหมาะสมกับการอาคารแต่ละประเภท ซึ่งระบบพื้นไร้คานถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของผู้คนในปัจจุบัน และปัญหาการแตกร้าวของพื้นเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญสำหรับการก่อสร้างหน้างาน

เป็นต้น บริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัท เพื่อประกอบธุรกิจให้บริการออกแบบ จัดหา และรับเหมาติดตั้งงานระบบวิศวกรรมและรับเหมางานก่อสร้างขนาดใหญ่สำหรับอาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ ที่อยู่อาศัย โรงแรม โรงพยาบาล ศูนย์การค้า โรงงานอุตสาหกรรม โดย ทางบริษัทได้ให้โอกาสผู้วิจัยทำวิจัยโครงการสหกิจที่โครงการอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ โดยอยู่ในช่วงการก่อสร้างในส่วนงานโครงสร้างตั้งแต่พื้นดินถึงดาดฟ้า ซึ่งพื้นที่ใช้ในโครงการนี้เป็นพื้น RC Flat Slab เป็นพื้นไร้คานชนิดหนึ่ง ซึ่งพื้นไร้คานทำให้สามารถเพิ่มจำนวนชั้นได้มากขึ้น รวมถึงก่อสร้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถจัดแบ่งพื้นที่ได้อย่างอิสระเนื่องจากไม่มีคานมากำหนดแนวของผนัง สามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่ใช้สอยในอาคารได้ทุกโอกาส ได้ความสวยงามของงานระบบเนื่องจากท้องเรียบไม่มีสิ่งกีดขวางแนวท่อ และระยะห่างระหว่างเสามากขึ้นทำให้อาคารดูกว้างขวางสวยงาม ซึ่งปัญหาการแตกร้าวของพื้นชนิดนี้เป็นปัญหาสำคัญและเกิดขึ้นบ่อยเป็นอย่างมากในการก่อสร้าง ซึ่งจะเป็นผลเสียทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญในการสำรวจและตรวจสอบรอยแตกร้าวที่เกิดที่พื้นชนิดนี้ในโครงการ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์สาเหตุของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นในอนาคตและเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซ่อมแซมโดยไม่จำเป็นให้น้อยลง

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการสังเกตการณ์การทำงานมาระยะหนึ่งพบว่า การแตกร้าวของคอนกรีตของพื้น RC Flat Slab นั้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวสามารถมีได้จากหลากหลายสาเหตุ ดังนั้นผู้วิจัยจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนใจที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าว สมมติฐานเบื้องต้นว่าการวางเหล็กพื้นของโครงสร้างเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และมีปัจจัยอื่นๆอีกเช่นการบ่มน้ำโดยพื้นที่มีความหนามาก เป็นต้น โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาวิธีแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้น RC Flat Slab ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะและสาเหตุการแตกร้าวของพื้น RC Flat Slab

1.2.2 เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาตามหลักวิศวกรรมที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้เวลาในการเรียนรู้ รวบรวมข้อมูล จดบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ตั้งแต่วันที่เริ่มทำการสหกิจศึกษา จนถึงวันสุดท้ายของการสหกิจศึกษา ที่ บริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) ตั้งแต่วันที่ 8 สิงหาคม 2565 จนถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2565

ขอบเขตด้านเนื้อหาและฐานข้อมูล

ข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและรวบรวมนั้น เป็นข้อมูลที่ได้จากโครงการอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ เท่านั้น มิได้นำข้อมูลจากโครงการอื่นมาวิเคราะห์ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมนั้นเป็นข้อมูลปฐมภูมิที่ผู้วิจัยทำการบันทึกเอง

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาลักษณะการทำงานของโครงการ

1.4.2 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัยและแนวทางการดำเนินงานวิจัย

1.4.3 ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างพื้น RC Flat Slab

1.4.4 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแตกร้าวของคอนกรีต

1.4.5 รวบรวมข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ เช่น ข้อมูลการวางเหล็ก การตั้งค้ำยัน เป็นต้น

1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูลและหาวิธีแก้ไขปัญหา

1.4.7 สรุปผลการวิจัยและรับฟังข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถประยุกต์ใช้ความรู้จากวิชา Concrete Technology และ RC Design ได้

1.5.2 เป็นแนวทางในการทำงานก่อสร้างเพื่อป้องกันการแตกร้าวของพื้น RC Flat Slab

1.5.3 มีประสบการณ์ทางด้านการทำงานก่อสร้างอาคารสูง และนำไปต่อยอดได้

1.5.4 ได้เรียนรู้งานจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์จากหน้างานจริง

1.5.5 มีโอกาสที่จะได้เรียนรู้และสร้างปฏิสัมพันธ์กับบุคลากรหลากหลายหน้าที่

1.5.6 เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจเกี่ยวกับงานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อการศึกษาอ้างอิงในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รอยแตกร้าว เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นเป็นอย่างมากในงานก่อสร้าง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวมีหลายสาเหตุเช่น กระบวนการทำงาน การออกแบบ อายุและการใช้งานภายในอาคาร ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคาร

ดังนั้นหากผู้มีความเกี่ยวข้องในด้านงานก่อสร้างสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดรอยแตกร้าวจากพฤติกรรมของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงได้ ก็เป็นผลทำให้ความเสียหายที่จะเกิดในอนาคตน้อยลง

การวิเคราะห์หาสาเหตุการแตกร้าวนั้น จำเป็นต้องรู้จักรูปแบบและลักษณะของการแตกร้าวชนิดต่างๆที่มักจะเกิดขึ้นในอาคาร ถ้าวิเคราะห์สาเหตุของรอยร้าว ผิดพลาดอาจทำให้แก้ไขไม่ถูกวิธีทำให้เสียค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์หรืออาจจะต้องกลับมาแก้ไขซ้ำอีกครั้งรูปแบบและลักษณะของรอยร้าวจึงนับเป็นเรื่องที่ควรทำความเข้าใจเป็นอันดับแรก เพื่อวิเคราะห์สาเหตุได้อย่างถูกต้องก่อนที่จะดำเนินการแก้ไขต่อไป

2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยแตกร้าว

2.1.1 กำรหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์และมีหลายประเภทที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ กัน อาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุที่แตกต่างกัน โดยสามารถสรุปได้เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.1.1.1 กำรหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดในช่วงก่อนการก่อตัวเป็นการหดตัวที่มักไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และมักไม่ค่อยมีผลต่อปริมาตรโดยรวมของคอนกรีต เนื่องจากจะเกิดมากในช่วงเวลาเริ่มแรกก่อนเวลาก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีต การหดตัวอีก 3 แบบเป็นการหดตัวชนิดที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยรวมของคอนกรีตซึ่งจะนำไปสู่การแตกร้าวได้ถ้ามีการยึดรั้งและจำ เป็นต้องคำนึงถึงในการออกแบบคอนกรีตให้คงทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหดตัวแบบแห้งซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าวอย่างมากในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 กำรหดตัวแบบออโตจีนัส (autogenousvshrinkage)

การหดตัวของคอนกรีตแบบออโตจีนัสเป็นการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดหลังจากการก่อตัวขั้นสุดท้ายของคอนกรีต รวมกับที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นในช่องว่างของคอนกรีตซึ่งการหดตัวแบบออโตจีนัสนี้เป็นการหดตัวที่ไม่มีน้ำเข้าไปทดแทนในส่วนที่นำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และทำให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นในคอนกรีตเมื่อหน่วยแรงดึงนี้มีค่ามากกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต จะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว กล่าวโดย สรุปการหดตัวแบบออโตจีนัสเป็นการหดตัวที่ไม่มีการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อมแต่เป็นการสูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตเอง (ธเนศ, 2560)

รูปที่ 2.1 การหดตัวแบบออโตจีนัสเนื่องจากเกิดหน่วยแรงดึงมากกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเมื่อมีการยึดรั้งคอนกรีต (CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

2.1.1.3 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นของคอนกรีตทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียความชื้นและเกิดการหดตัวโดยที่การหดตัวที่ เกิดขึ้นนั้น บางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นขึ้นมาใหม่การ หดตัวแบบแห้งเกิดขึ้นในคอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศ มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นในช่องว่างของคอนกรีตมากเนื่องจากการสูญเสียน้ำอิสระ(free water) ไปสู่อากาศได้ด้วยการระเหยทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในช่องว่างของคอนกรีต ประกอบกับปริมาตรของคอนกรีตลดลง หรือหดตัวลงจากการสูญเสียน้ำถ้าการหดตัวนี้เกิดการยึดรั้งไม่ว่าด้วยโครงสร้างที่อยู่รอบข้างหรือด้วยเนื้อคอนกรีตภายในที่ไม่มีการสูญเสียความชื้น รอยแตกร้าวก็อาจเกิดขึ้นได้ถ้าการยึดรั้งนี้ ก่อให้เกิดหน่วยแรงยึดรั้ง ที่มีค่าสูงกว่ากำลังดึงของคอนกรีตในขณะนั้น การแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งเป็นการแตกร้าวที่เกิดหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว และการตกแต่งผิวใหม่ไม่ สามารถลบรอยแตกร้าวนี้ได้ดังภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 การเกิด Drying Shrinkage Crack ของคอนกรีตโครงสร้างพื้น

(ดร.ปัณฑ์ ปานถาวร, เทถนนแล้วทำไมแตกร้าว, วารสารคอนกรีต, 8 กันยายน 2565)

2.1.1.4 การแตกร้าวเนื่องจากคาร์บอเนชั่น (carbonation shrinkage)

การหดตัวของคอนกรีตแบบคาร์บอเนชั่นสาเหตุเกิดเนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaO) ทำ ปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ดังแสดงในสมการที่ 2.1

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

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการทำปฏิกิริยาคือความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(ร้อย ละ 50-60) และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยที่ค่า W/C มีค่ามากอัตราการเกิดปฏิกิริยามากตามไปด้วยและสุดท้ายคือความพรุนของซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีตกล่าวคือถ้าคอนกรีตมีความพรุนมากจะเพิ่มพื้นที่ทำปฏิกิริยามากขึ้น ผลของคาร์บอเนชั่น หลัก ๆ จากการบ่มในอากาศคือการลดความเป็นด่างในช่องว่าง (pore polution) ลงซึ่งจะมีผลต่อระยะหุ้มคอนกรีตและการป้องกนัการกัดกร่อนของเหล็กเสริม ปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้กระทำกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อย่าง เดียวเท่านั้น แต่ยังทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ไฮเดรตซิลิกา, อลูมินา และ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เพิ่มเติมจากคลเซียม คาร์บอเนต จากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นนี้จะก่อให้เกิดการลดลงของปริมาณซีเมนต์เพสต์และเกิดการหดตัวขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศประมาณร้อย 0.04 พอเพียง สำหรับการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ในระยะยาวและทำให้เกิดการแตกร้าวโดยมีความชื้นเป็น ตัวแปรสนับสนุนปฏิกิริยานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้คอนกรีตเกิดสนิม

การหดตัวแบบนี้จะเกิดขึ้นในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วผลเสียของการหดตัวของคอนกรีตแบบคาร์บอเนชั่น คือ ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง เพิ่มค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างทำให้เกิดการแตกร้าวการป้องกันทำได้โดยเลือกใช้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นมากลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ให้ต่ำลงและทำการบ่มที่ดี การหดตัว ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์โดยที่ความชื้นสูงมากและต่ำมากจะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นได้ยากในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำถึงแม้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถซึมเข้าได้แต่ในโพลงของซีเมนต์มีน้ำไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดกรด คาร์บอนิคและปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นดังภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างที่เหล็กเป็นสนิมหลังจากที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าวจากคาร์บอเนชั่น (ธเนศ, 2560)

2.2 การแตกร้าวในคอนกรีต

สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีต แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 การแตกร้าวจากความบกพร่องของโครงสร้าง (structural crack) มาจากสาเหตุหลัก3 ประการ

(1) การแตกร้าวเนื่องจากการออกแบบไม่ถูกต้อง เช่น การคำนวณการออกแบบ หรือการให้รายละเอียดการเสริมเหล็กไม่ถูกต้อง

(2) การแตกร้าวเนื่องจากการใช้วัสดุก่อสร้างไม่มีคุณภาพ เช่น ใช้หินผุ หินมีดิน ปน ทรายสกปรก น้ำสกปรก หรือทาการผสมคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนถูกต้อง รวมทั้งการใช้เหล็กเสริมที่เป็นสนิมมาก

(3) การแตกร้าวเนื่องจากการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน เช่น การผสม การขนส่ง การเทลงแบบ การหล่อคอนกรีตไม่ดีพอ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การแตกร้าวที่ไม่ได้เกิดจากโครงสร้าง (non structural crack) การแตกร้าวชนิดนี้เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุดังนี้

(1) การแตกร้าวเนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีต (freezing and thawing cracking) ในประเทศที่อากาศเย็นจัดจนกระทั่งน้ำในคอนกรีตเกิดการแข็งตัวได้จะเกิดการแตกร้าวและเสื่อมสภาพของคอนกรีต เนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวสลับกันไปของน้ำในคอนกรีตได้ บริเวณที่มักจะเกิดปฏิกิริยานี้มักจะเป็นบริเวณที่สัมผัสกับอากาศภายนอกซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการแข็งตัวและการหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีตได้บ่อยและง่ายโดยไม่ถูกหิมะและน้ำแข็งปกคลุมอยู่ตลอดเวลาหรือไม่อยู่ใต้ดิน

รูปที่ 2.4 การแตกร้าวเนื่องจากการแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำในคอนกรีต

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

(2) การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ (temperature cracking) การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตเป็นปัญหาสำคัญของงาน คอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีการเทคอนกรีตปริมาณมากๆในยะระเวลาจำกัดที่มัก เรียกว่าคอนกรีตหลา การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมินั้นสามารถเกิดได้ทั้งในช่วงที่อุณหภูมิภายในคอนกรีตกำลังเพิ่มขึ้นหรือกำลังลดลง ยกเว้น ในกรณียึดรั้งโดยภายนอกจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำและเกิดเนื่องจากหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการแตกต่างของอุณหภูมิในคอนกรีต การแตกร้าวชนิดนี้มักจะอยู่ในช่วงอายุต้นในช่วงไม่เกิน 2 สัปดาห์

รูปที่ 2.5 การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ (CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส (autogenous shrinkage crack) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสจะเกิดบริเวณที่น้ำบ่มคอนกรีตไม่สามารถเข้าถึงได้เต็มที่และเป็นบริเวณที่ยึดรั้งด้วยสิ่งที่โมดูลสัความยืดหยุ่นสูงกว่า เช่น การถูกยึดรั้งด้วยเหล็กเสริม ถูกยึดรั้งในคอนกรีตที่เทไว้แล้ว หรือ แม้แต่การถูกยึดรั้งโดยเนื้อคอนกรีตบริเวณผิวที่ได้รับการบ่มอย่างเพียงพอการหดตัวแบบออโตจีนัสจะเกิดขึ้นในช่วงแรกๆ และจะค่อยๆ มีอัตราต่ำลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปยาวนาน

รูปที่ 2.6 การแตกร้าวของผนังกำแพงเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัส

(PSPCEMENTMIN, การหดตัวของคอนกรีต, 2559)

(4) การแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีต (settlement crack) การแตกร้าวชนิดนี้เกิดขึ้นจากการที่ คอนกรีตมีการทรุดตัวทแตกต่างกันในเนื้อของคอนกรีตเองหลังจากที่เทคอนกรีต และคอนกรีตอยู่ในสภาวะพลาสติกอยู่อันมีสาเหตุหลายประการ เช่น มีสิ่งกีดขวางการทรุดตัวของคอนกรีต ความหนาของโครงสร้างคอนกรีตในทิศทางการทรุดตัว (แนวดิ่ง) แตกต่างกันทำให้ทรุดตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากมีการเยิ้มมากเกินไป มีฟองอากาศมากเกินไป

รูปที่ 2.7 การแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีต (TumCivil,การตรวจสอบรอยร้าว,2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากด่างและมวลรวม (alkali – aggregate crack) การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากด่างและมวลรวม จากการทำปฏิกิริยาระหว่างด่างกับซิลิกาในมวลรวมจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำอยู่ด้วย ดังนั้นในกรณีที่คอนกรีตแห้งแล้วจะไม่เกิดปฏิกิริยานี้การเกิดปฏิกิริยานี้จะเกิดอย่างช้าๆ ความเสียหายเนื่องจากปฏิกิริยานี้จะพบในโครงสร้าง ซึ่งมักจะเป็นโครงสร้างที่เปียกชื้นอยู่เป็นประจำ เช่น ถนน สะพาน เขื่อน ถังเก็บน้ำ

รูปที่ 2.8 การแตกร้าวคอนกรีตเนื่องจากด่างและมวลรวม

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

(6) การแตกร้าวแบบพลาสติก (plastic shrinkage crack) การแตกร้าวแบบพลาสติกรอยแตกร้าวชนิดนี้เกิดจากการที่คอนกรีตสูญเสียความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยการระเหยของน้ำบริเวณผิวของคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศในช่วงหลังจากการเทคอนกรีตเสร็จแล้ว จนถึงช่วงของคอนกรีตเกิดการก่อตัวเรียกคอนกรีตในช่วงนี้คอนกรีตในช่วงพลาสติก บริเวณที่มักจะเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบพลาสติกผิวบนของโครงสร้างคอนกรีตที่มีผิวสัมผัสกับอากาศมากเช่น บริเวณผิวถนน ผิวของพื้นอาคารคอนกรีต

รูปที่ 2.9 การแตกร้าวแบบ Plastic Shrinkage Crack

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

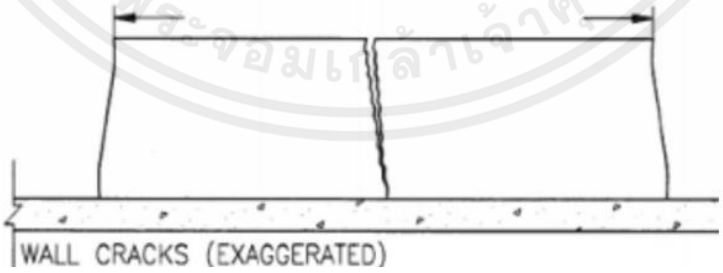
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) การแตกร้าวเนื่องจากการตกผลึกของเกลือ (salt crystallization cracking) การแตกร้าวเนื่องจากการตกผลึกของเกลือเกิดจากการสะสมของเกลือซึมเข้าไปในตัวคอนกรีตจากน้ำทะเลหรือน้ำใต้ดิน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องก็มีเกลือสามารถซึมเข้าไปคอนกรีตได้ง่ายก็จะมีความเสี่ยงได้มากจากการที่คอนกรีตถูกทาให้เปียกอยู่ ซ้ำๆ โดยคลื่นน้ำ ทะเลเมื่อมีการแห้งของคอนกรีตอีกครั้งความเข้มข้นก็จะสูงขึ้นทำให้ผลึกเกลือสามารถที่จะโตขึ้นเรื่อย ๆจนทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

รูปที่ 2.10 การแตกร้าวเนื่องจากการตกผลึกของเกลือ

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

(8) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง (drying shrinkage crack) การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้งเกิดจากที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำทำให้คอนกรีตที่ผิวสัมผัสกับอากาศสูญเสียน้ำ และเกิดการหดตัว โดยที่การหดตัวที่เกิดขึ้นนั้นบางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นก็ตาม บางครั้งถ้าผนังบางรอยแตกร้าวมกไปถึงผิวฝั่งตรงข้ามได้ ในกรณีที่เป็นผิวถนนมักจะเป็นรอยแตกตามยาวและตาม ขวาง รอยแตกมุม ของช่องเปิดหน้าต่างหรือประตูก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่เกิดจากการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง



(ก) ภาพกลไกลการยึดรั้งแบบภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ภาพการแตกร้าวแบบยึดรั้งภาพนอกที่เกิดขึ้นจริง

รูปที่ 2.11 การแตกร้าวเนื่องจากการยึดรั้งภายนอก

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

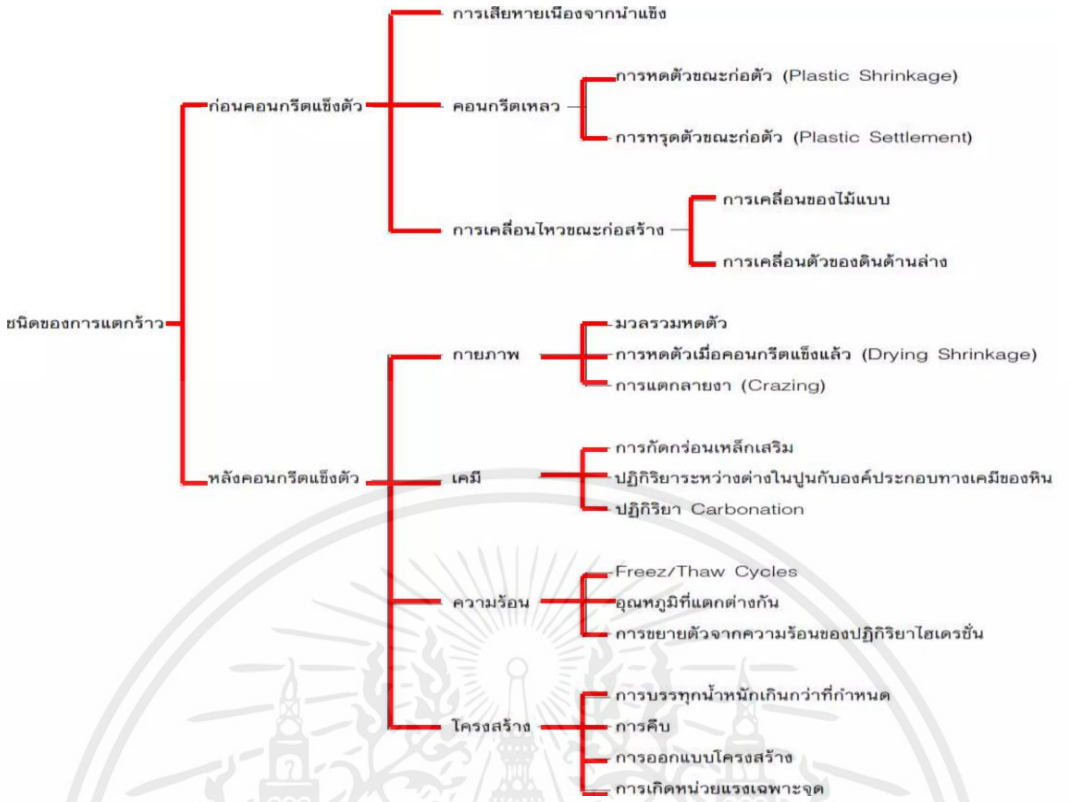
2.3 ลักษณะของรอยแตกร้าว

การแตกร้าวทั้งหมดทั้งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นและไม่ได้กล่าวมาในที่นี้สามารถแบ่งตามเวลาที่เกิดได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ

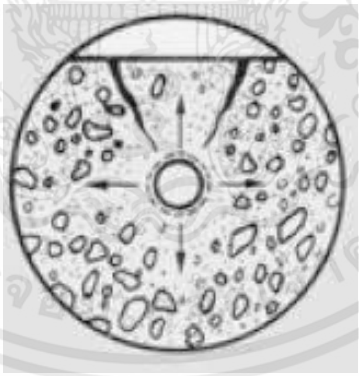
2.3.1 การแตกร้าวก่อนคอนกรีตแข็งตัวมีระยะเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง หลังจากเริ่มเทคอนกรีตจนถึงคอนกรีตแข็งตัว และทรงรูปอยู่ได้

2.3.2 การแตกร้าวหลังคอนกรีตแข็งตัว รอยแตกร้าวนี้อาจเกิดขึ้นได้ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างนั้น ๆ ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ประเภทการแตกร้าวของคอนกรีต (CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

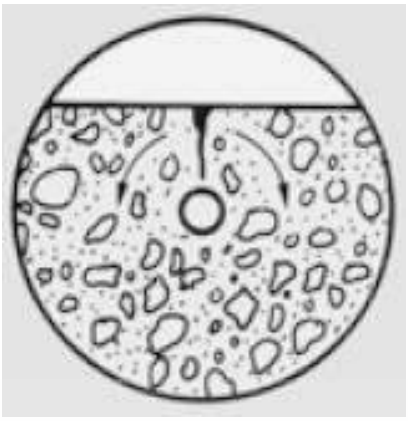


รูปที่ 2.13 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากสนิมเหล็กเสริม

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

รูปที่ 2.13 รอยแตกร้าวที่เกิดจากสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตขยายตัวป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมแน่นดี และให้คอนกรีตหุ้มเหล็กอย่างพอเพียง เพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปทำให้เหล็กเป็นสนิม (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา,ม.ป.ป.:ระบบ ออนไลน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

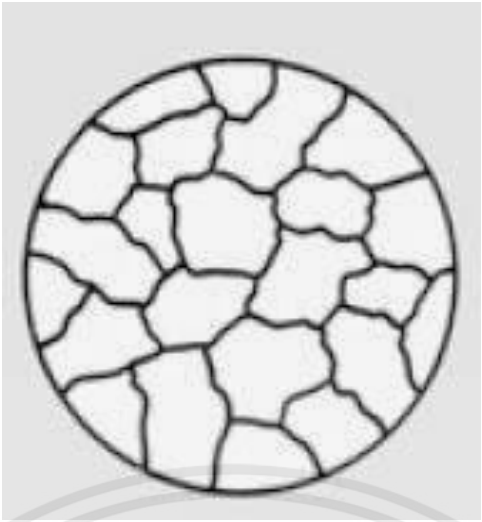
รูปที่ 2.14 รอยร้าวทีเกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อคอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็กจะป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีการยุบตัวน้อย และทำพื้นด้านล่างให้แข็งแรง

รูปที่ 2.15 รอยแตกร้าวจากการหดตัว

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

รูปที่ 2.15 รอยแตกร้าวจากการหดตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว เนื่องจากคอนกรีตเสียน้ำไปอย่างรวดเร็วจากการระเหยไปในอากาศหรือถูกพื้นดินที่ร้อนและแห้งด้านล่างดูดซับน้ำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 รอยแตกร้าวแบบแตกลายงา

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

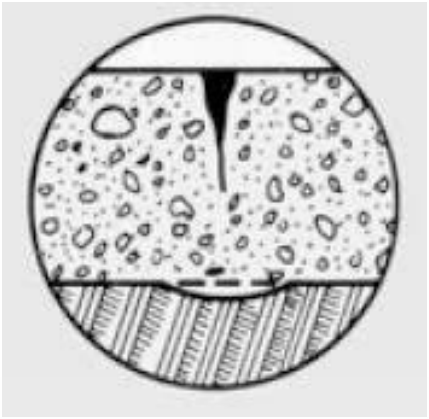
รูปที่ 2.16 รอยแตกร้าวลายงาเกิดขึ้นได้เนื่องจากการบ่มที่ไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการใส่ซีเมนต์มากเกินไป หรือเกิดจากการพองตัวของทรายหรือซีเมนต์ที่เผาไม่สุก

รูปที่ 2.17 รอยแตกร้าวที่เกิดจากแบบ

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

รูปที่ 2.17 รอยแตกร้าวที่เกิดจากแบบโป่งงอหรือเคลื่อนที่เนื่องจากไม้ขยายตัวแบบไม่แข็งแรงพอ รอยร้าวเหล่านี้มีลักษณะที่ไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 รอยแตกร้าวทีเกิดจากพื้นใต้คอนกรีตไม่แข็งแรง

(CPAC หนังสือ Concrete Technology, 2000)

รูปที่ 2.18 รอยร้าวที่เกิดจากพื้นใต้คอนกรีตไม่แข็งแรงยุบตัวลงทำให้คอนกรีตเคลื่อนที่ทรุดตัวลงขณะที่กาลังแข็งตัว รอยร้าวเหล่านี้มีลกัษณะที่ไม่แน่นอน

2.3.1 รอยร้าวที่พื้น

รอยร้าวที่พื้นมักจะพบเห็นได้ง่ายและทำให้เจ้าของอาคารกังวลมากกว่าอาคารของตนเองจะทรุดพังทลายหรือไม่ โดยความเป็นจริงรอยร้าวจำนวนมากเป็นเพียงรอยร้าวที่ผิววัสดุปูพื้นหรือวสัดุตกแต่งพื้นเฉพาะพื้นที่เป็นลักษณะโครงสร้างเท่านั้นกล่าวคือเป็นพื้นซึ่งมีคานรองรับ ไม่รวมถึงพื้นซึ่งวางบนดินเช่นพื้นที่จอดรถหรือพื้นชั้นล่างของอาคารขนาดเล็กโดยส่วนมากจะเป็นพื้นวางบนดินไม่มีโครงสร้างคานหรือเสาเข็มรองรับอยู่ซึ่งการเกิดรอยร้าวในพื้นวางบนดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติอยู่แล้ว ชนิดของรอยร้าวที่พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่นิยมเกิดในอาคาร มีดังนี้

2.3.1.1 รอยร้าวที่ใต้ท้องพื้น

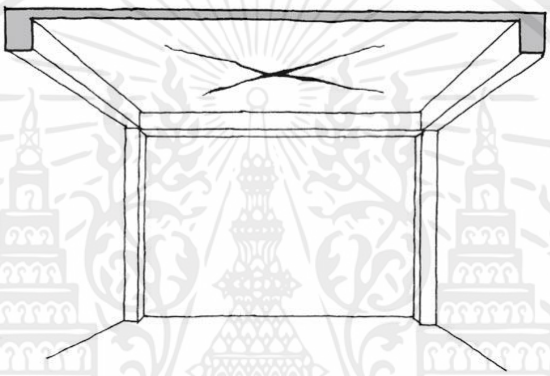
รอยร้าวที่เกอดใต้ท้องพื้นมักเป็นรอยร้าวที่บ่งบอกถึงความไม่มั่นคงแข็งแรงของพื้นซึ่งรอยร้าวจะแตกต่างกันตามชนิดของพื้นรอยร้าวประเภทนี้สังเกตได้ง่ายเพราะอยู่ใต้ท้องพื้นซึ่ง เป็นจุดที่เห็นได้ง่ายยกเว้น กรณีที่มีฝ้าเพดานปิดไว้รอยร้าวสำคัญ ที่บ่งบอกเป็นสัญญาณว่าพื้นเริ่มรับน้ำหนักไม่ไหว หรือมีอันตรายเกิดขึ้นได้ มีดังนี้

(1) รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตที่มีคานรองรับชนิดหล่อในที่

หากพื้นคอนกรีตที่มีคานรองรับชนิดหล่อในที่รับน้ำหนักมากจนเกิดขีดความสามารถก่อนจะเกิดการวิบัติจะมีรอยร้าวเตือนภัยที่บริเวณใต้ท้องพื้นเป็นรอยแตกเป็นทางยาวบริเวณตอนกลางของพื้นถ้าพื้น

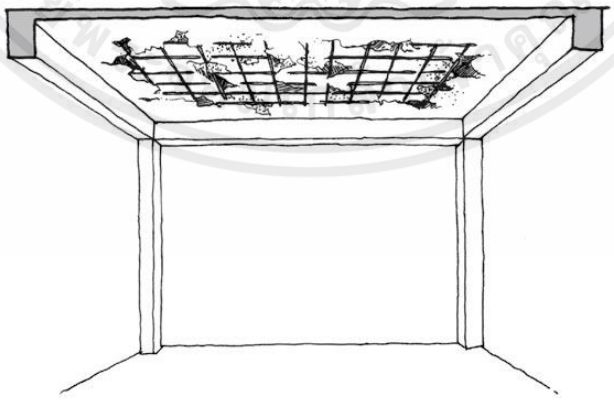
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกล่าวคือ ด้านกว้างกับด้านยาวเท่าๆกันท้องพื้นจะมีรอยร้าวเป็นรูปกากบาทในแนวทแยงมุม หรืออาจมีรอยร้าวที่ตอนกลางพื้นขนานกับคานด้านใดด้านหนึ่ง แต่ถ้าพื้นมีความกว้างไม่เท่ากับความยาวจะเกิดรอยร้าวบริเวณกึ่งกลางคานแผ่นพื้นขนานกับแนวคานด้านยาว รอยร้าวซึ่งมักพบในพื้นที่หลังคาดาดฟ้า ซึ่งมีการก่อสร้างที่ไม่ดีคือรอยร้าวใต้ท้องพื้น หรืออาจมีร่องรอยเป็นตารางตามแนวเหล็กเสริมในพื้น สาเหตุอาจเกิดจากการเทคอนกรีตไม่ดี หรือมีน้ำขังบนดาดฟ้าทำให้น้ำซึมทะลุผ่านแผ่นพื้นจนถึงชั้นเหล็กเสริมทำให้เหล็กเสริมถูกน้ำหนักคอนกรีตกดลงมาอยู่ใกล้ผิวไม้แบบเกินไป ทำให้คอนกรีตมีความหนาหุ้มเหล็กเสริมไม่เพียงพอเมื่อเวลาผ่านไปออกซิเจนและความชื้นซึมผ่านผิวคอนกรีตจนทำให้เหล็กเป็นสนิม ถ้าไม่มีการแก้ไขเหล็กจะเป็นสนิมขยายตัวบวมตัวดันคอนกรีตทีหุ้มเหล็กไว้หลุดร่องจนเห็นเหล็กเป็นตะแกรง พื้นจะมีความสามารถรับน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วจนเกินการวิบัติได้



รูปที่ 2.19 พื้นที่ด้านกว้างเท่ากับด้านยาวและมีเหล็กเสริมเท่ากันทั้งสองทิศทาง รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจะเกิดเป็นรูปกากบาทในแนวทแยงมุม

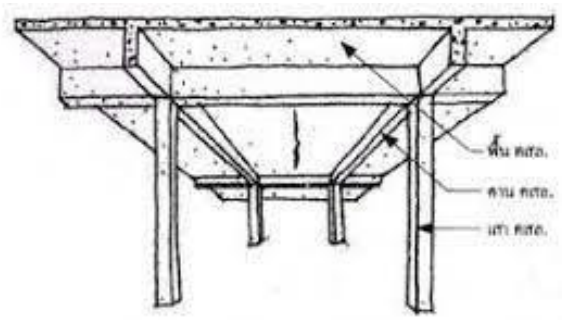
(REPCON, วิธีการตรวจสอบโครงสร้างบ้าน, นิตยสารRoom, เมษายน 2560)



รูปที่ 2.20 รอยร้าวหรือรอยสนิมเหล็กที่ใต้ท้องพื้นเป็นตาราง

(REPCON, วิธีการตรวจสอบโครงสร้างบ้าน, นิตยสารRoom, เมษายน 2560)

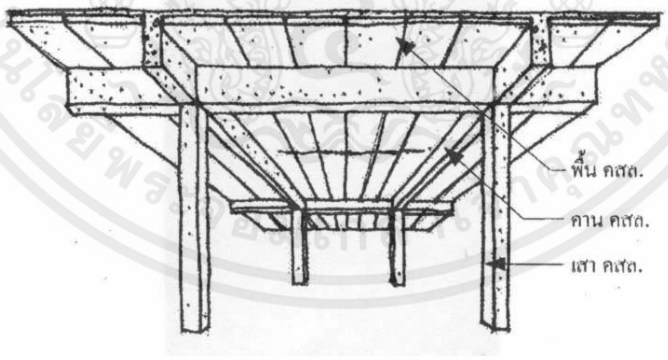
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 พื้นที่มีด้านกว้างด้านยาวไม่เท่ากัน รอยร้าวใต้ท้องพื้นอาจเกิดบริเวณกึ่งกลางเป็นเส้นขนานกับแนวคานด้านยาว(วสท. มาตรฐานวิศวกรรมไทย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์, 2546)

(2) รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปท้องเรียบ และชนิดกลวง

กรณีที่พื้นชนิดรับน้ำหนักเกินขีดความสามารถจะเกิดรอยร้าวที่บริเวณกึ่งกลางใต้ท้องพื้นเป็นแนวขวางกับแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป กรณีที่แผ่นพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบยาวกว่า 3.50 เมตร ผู้ผลิตมักจะกำหนดให้มีการค้ำยันที่ท้องพื้นขณะเทคอนกรีตทับหน้าแต่ผู้รับเหมาจำนวนมากไม่ปฏิบัติตามทำให้อาจเกิดรอยร้าวประเภทนี้ได้ตั้งแต่ขณะก่อสร้าง นอกจากนี้ยังเป็นผลเสียทำให้พื้นมีความสามารถรับน้ำหนักได้น้อยลง จึงเกิดรอยร้าวชนิดนี้ได้ง่ายเมื่อใช้งาน แม้ว่าจะไม่ได้มีการกองเก็บของไว้มากจนเกินขีดความสารถที่ออกแบบไว้กรณีแผ่นพื้นชนิดกลวงหากเกิดรอยร้าวใต้ท้องพื้นในลักษณะบริเวณกึ่งกลางช่วงและตั้งฉากกับแผ่นพื้นเช่นนี้จะบ่งชี้ว่าพื้นใกล้จะเกิดการวิบัติได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.22 รอยร้าวที่บริเวณกึ่งกลางใต้ท้องพื้น เป็นแนวขวางกับแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป

(วสท. มาตรฐานวิศวกรรมไทย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) รอยร้าวใต้ท้องพื้นคอนกรีตไร้คาน

พื้นคอนกรีตไร้คานเมื่อบรรทุกน้ำหนักเกินหรือเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกไม่ไหวจะเกิดรอยร้าวที่ผิวบนก่อน ต่อมาจึงเกิดรอยร้าวที่ผิวล่าง ดังนั้น กรณีที่พบเห็นรอยร้าวที่ใต้ท้องพืนชนิดนี้มีขนาดเกินกว่า 0.5 มิลลิเมตร จึงควรปรึกษาวิศวกรโยธาเพื่อหาสาเหตุ และการแก้ไขรอยร้าวใต้ท้องพื้นมักเกิดเป็นเส้นยาวบริเวณกึ่งกลางช่วงพื้นโดยขนานกับด้านสั้นของแผ่นพื้น

รูปที่ 2.23 รอยร้าวที่บริเวณใต้ท้องพื้นไร้คานเป็นแนวขนานกับด้านสั้นของแผ่นพื้น

(4) รอยร้าวในพื้นชนิดคานรูปตัวทีคว่ำและคอนกรีตบล็อก

พ้ทนชนิดนี้มักมีปูนฉาบปิดไว้ทำให้จำแนกรอยร้าวอันเนื่องจากการรับน้ำหนักเกินได้ยาก เพราะมักจะเกิดรอยร้าวอันเนื่องจากการฉาบปูนไม่ดี ปูนหลุดร่อน หรือมีรอยร้าวเป็นเส้นตามแนวรอยต่อระหว่างคานรูปตัวทีคว่ำกับคอนกรีตบล็อกซึ่งเป็นรอยร้าวที่ไม่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของพื้น หากมีรอยร้าวบริเวณกึ่งกลางพื้นเป็นเส้นขวางกับแนวคานรูปตัวทีคว่ำก็ควรสกัดปูนฉาบเพื่อดูว่ามีรอยร้าวที่คานรูปตัวทีคว่ำหรือไม่ ถ้ามีรอยร้าวที่ใต้ท้องคานตัวทีคว่ำแสดงว่าพื้นเริ่มจะส่งสัญญาณเตือนภัยว่ารับน้ำหนักไม่ไหว อนึ่งขั้นตอนการค้ำยันขณะก่อสร้างมีความสำคัญมากต่อความแข็งแรงของพื้นชนิดนี้ถ้าค้ำยันไม่ถูกต้องหรือไม่ครบตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้อาจจะทำให้พื้นที่ความสามารถรับน้ำหนักได้น้อยลงจึงเกิดรอยร้าวได้ง่ายหรืออาจเกิดทันทีขณะก่อสร้าง

2.3.1.2 รอยร้าวที่ผิวบนของพื้น

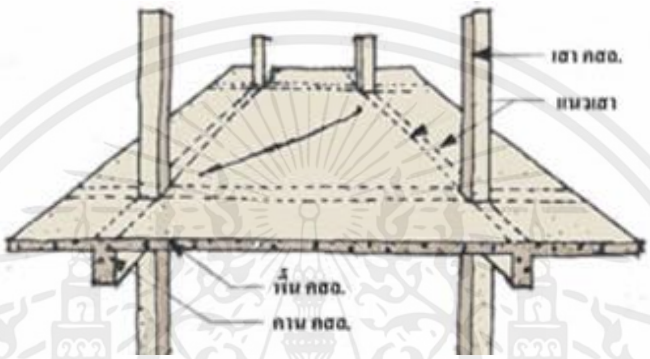
โดยหลักวิศวกรรมแล้วเมื่อพื้นรับน้พหนักไม่ไหวจะเกิดรอยร้าวที่ผิวบนก่อนการเกิดที่ใต้ท้องพื้น แต่เนื่องจากพื้นด้านบนมักมีวัสดุตกแต่งปิดทับ อาทิเช่น กระเบื้องพรม กระเบื้องยาง หินแกรนิต ทำให้มักไม่มีใครเห็นรอยแตกร้าวเหล่านั้น ประกอบกับผิวด้านบนมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากมายที่อาจทำให้เกิดรอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกร้าวได้ ดังนั้น เมื่อพบรอยร้าวที่ผิวบนพื้นควรตรวจสอบให้แน่ใจก่อนตัดสินว่าพื้นมีปัญหาความมั่นคงแข็งแรงหรือไม่ รอยแตกร้าวที่อาจพบบนผิวของพื้นที่สำคัญพอสังเขป ดังนี้

(1) รอยร้าวแยงมุมที่ผิวบนในพื้นคอนกรีตมีคานรองรับชนิดหล่อในที่

กรณีที่เสาหรือฐานรากมีการทรุดตัวอย่างมากอาจทำให้พื้นคอนกรีตหล่อในที่มีการแตกร้าวในแนวทแยงมุม จะเห็นได้ในเฉพาะพื้นที่มีวัสดุปูผิวชนิดแข็ง เช่น ผิวปูนขัดมัน ผิวขัดหินหรือผัวกระเบื้องเซรามิค เป็นต้น



รูปที่ 2.24 รอยร้าวทแยงมุมที่ผิวบนของพื้นเนื่องจากการทรุดตัวของเสาหรือฐานราก

(วสท. มาตรฐานวิศวกรรมไทย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์, 2546)

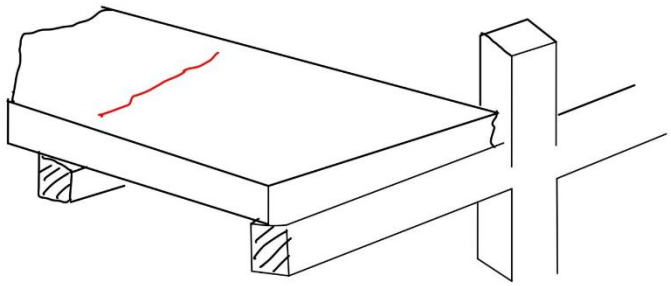
(2) รอยร้าวที่ผิวบนในพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป

พื้นชนิดคอนกรีตอัดแรงสาเร็จรูปมักมีปัญหาเกิดรอยร้าวหลัก ดังนี้

2.1) รอยร้าวบริเวณเหนือคาน

จะเกิดเป็นรอยร้าวเส้นยาวเหนือตำแหน่งคานหรือตำแหน่งปลายพื้นสำเร็จรูป เนื่องจากแผ่นพื้นประเภทนี้ได้รับการออกแบบเป็นพื้นช่วงเดียว (simple span) ไม่ได้ เป็นช่วงต่อเนื่อง(continuous span) จึงไม่มีเหล็กเสริมที่ผิวบนพื้นเพื่อรับโมเมนต์ลบที่เกิดขึ้นรอยร้าวชนิดนี้จึงพบได้เกือบทุกอาคาร หากวิศวกรผู้ออกแบบตระหนักถึงปัญหานี้ล่วงหน้าอาจมีการเสริมเหล็กเพิ่มบริเวณเหนือคาน ซึ่งจะช่วยลดขนาดความกว้างของรอยร้าวได้ แต่ยังคงสามารถสังเกตเห็นรอยร้าวเส้นเล็กๆได้

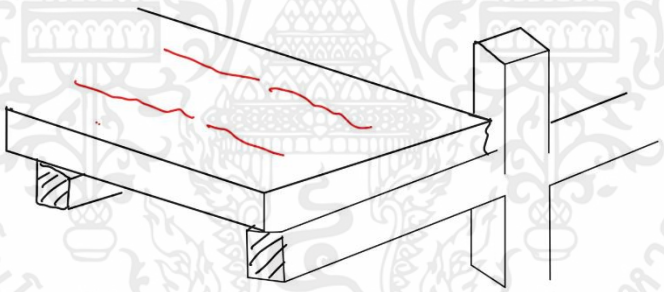
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 รอยร้าวผิวบนบริเวณเหนือคานหรือบริเวณแผ่นปลายแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

(2.2) รอยร้าวบริเวณขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูป

ในกรณีที่แผ่นพื้นรับน้ำหนักบรรทุกกระทกแบบจุดที่สูงมากหรือกรณีแผ่นพื้นมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมาก อาจพบปัญหาเกิดรอยร้าวที่ผิวพื้นตามแนวขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูปทั้งนี้เนื่องจากแผ่นพื้นที่อยู่ติดกันมีการแอ่นตัวหรือขยับตัวมากจนกระทั่งคอนกรีตทับหน้าและเหล็กเสริมตะแกรงไม่สามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้จึงเกิดรอยร้าว



รูปที่ 2.26 รอยร้าวผิวบนตามแนวขอบแผ่นพื้นสำเร็จรูป

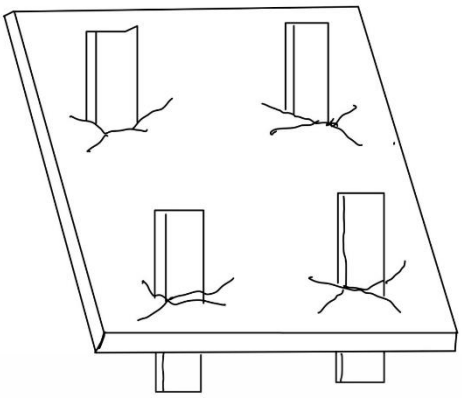
(2.3) รอยร้าวที่ผิวบนในพื้นคอนกรีตไร้คาน

เมื่อพื้นคอนกรีตไร้คาน (ทั้งชนิดคอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรง) รับน้ำหนักไม่ไหวก็จะเกิดรอยร้าวที่ผิวบนพื้น รอยร้าวอาจจำแนกได้หลายลักษณะ

(2.4) รอยร้าวผิวบนบริเวณโดยรอบเสา

มักจะเกิดขึ้นในกรณีที่พ้ทนมีความกว้างและด้านยาว เท่าๆ กัน หรือกรณีที่พื้นรับแรงเฉือนไม่ไหว

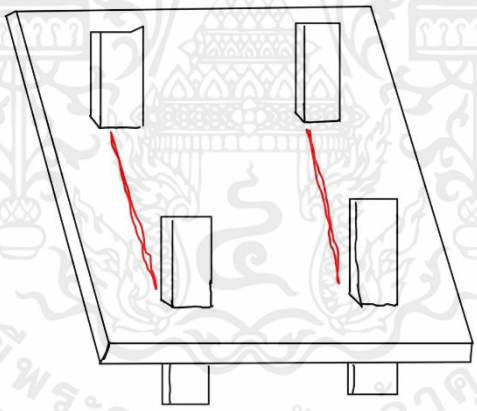
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 รอยร้าวผิวบนพื้นไร้คานบริเวณเสา

(2.5) รอยร้าวผิวบนเป็นเส้นยาวตามแนวระหว่างเสา

มักเกิดขึ้นในกรณีทีพื้นมีด้านกว้างและด้านยาวต่างกันมาก รอยร้าวจะเกิดขึ้นในทิศทางที่โมเมนต์ลบที่เกิดขึ้นจริงมีค่ามากกว่ากำลังความแข็งแรงที่เหล็กเสริมมีอยู่ในทิศทางนั้น กรณีทั่วๆไปมักจะเกิดรอยร้าวยาวพาดระหว่างเสาในทิศทางด้านสั้น



รูปที่ 2.28 รอยร้าวบนพื้นไร้คานบริเวณแนวระหว่างเสาในทิศทางด้านสั้น

2.4 การตรวจสอบด้านความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร

ความมั่นคงแข็งแรงของอาคารมีปัจจัยหลากหลาย ซึ่งอาจจะเป็นผลสืบเนื่องตั้งแต่การ วางแผน การออกแบบ การก่อสร้างวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ฝีมือการก่อสร้าง การใช้งาน และการ บำรุงรักษา ปัจจัยเหล่านี้จะต้องถูกนำ มาพิจารณาเพื่อประเมินสรุปว่า โครงสร้างมีความแข็งแรง เพียงใด หรือควรได้รับการแก้ไขจากวิศวกรโครงสร้างหรือไม่ ปัจจัยหลัก ที่อาจมีผลกระทบต่อ ความมั่นคงแข็งแรงของอาคารที่ควรพิจารณา มีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 หลักการทางวิศวกรรมที่ดี

หลักการทางวิศวกรรมมีแนวคิดว่า ผลงานทางวิศวกรรมที่ดีต้องมีความประหยัด (economic) และคำนึงถึงการใช้งานได้ (serviceability) โดยสะดวกสบายและปลอดภัย (safety) 4 ตลอดอายุการใช้งาน (service life) นอกจากนั้นผลงานทางวิศวกรรมยังต้องให้ความมั่นใจ (assurance) ทั้งผู้ผลิต(วิศวกรและผู้สร้าง)และผู้ใช้งาน (User) ว่ามีความปลอดภัยอย่างแท้จริงแนวคิดข้างต้นมีสองสิ่งที่ดูเหมือนจะขัดแย้งกันในตัวเองกล่าวคือ ความประหยัดและความปลอดภัย ถ้าจะให้ ปลอดภัยที่สุดไม่มีโอกาสมีความเสี่ยงเลยค่าก่อสร้างก็ต้องสูงมาก หรือในทางกลับกันถ้าต้องการ ประหยัดค่าใช้จ่ายต้องเพิ่มความเป็นไปได้ในการวิบัตินั่น ก็คือ ลดความปลอดภัยลงบ้าง ดังนั้น จึงต้องมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมาเป็นตัวถ่วงดุลระหว่างความประหยัดและความปลอดภัย

2.4.2 อัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety)

อัตราส่วนความปลอดภัย คือ ค่าอัตราส่วนของกำลัง หรือความสามารถของโครงสร้าง หารด้วยน้ำหนัก หรือแรงที่จะเกิดขึ้นจริง สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักรกลและผลิตผลทางวิศวกรรมล้วนต้องมีอัตราส่วนความปลอดภัยแฝงอยู่ ทั้งสิ้น เหตุที่ต้องมีอัตราส่วนความปลอดภัย เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานและความคงทนของโครงสร้างนั้นๆ พื้นฐานที่มาของอัตราส่วนความปลอดภัยมีข้อพิจารณาดังนี้

2.4.2.1 วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (materials)

อาคารและสิ่งก่อสร้างทั้งหลายเป็นวัสดุหรือแร่ธาตุจากธรรมชาติทั้งสิ้น วัสดุก่อสร้างบางชนิดมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนหลายขั้นตอน เช่น เหล็กเส้น ปูนซีเมนต์ ฯลฯ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติค่อนข้างแน่นอน มีความแปรปรวนต่ำ แต่วัสดุก่อสร้างบางชนิด เกือบจะเป็นการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้โดยตรง เช่น หิน ทราย ทำให้วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติไม่แน่นอน มีความแปรปรวนสูง

2.4.2.2 แรงงาน (labour) หรือการผลิต (production)

ในงานก่อสร้างส่วนใหญ่ใช้เครื่องจักรที่ค่อนข้างหยาบ เช่น เครื่องผสมปูน ไม้บรรทัดระดับน้ำ สายวัด ลูกดิ่ง ฯลฯ และใช้แรงงานค่อนข้างมากอีกทั้งทำงานอยู่ในที่กลางแจ้งที่ควบคุมสภาวะอากาศไม่ได้ รวมถึงการเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าในการทำงาน ทำให้ผลงานทางวิศวกรรมโยธามีความแปรปรวนค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 การใช้งาน (usage)

ผู้ใช้อาคารจำนวนมากไม่ทราบว่าอาคารที่ตนเองอยู่ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักประเภทใดและมากน้อยเพียงใด ส่วนมากอาคารมักถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกจร (live load) ชนิดแผ่กระจายตลอดพื้นที่ (uniform load) และอยู่คงที่ (constant) แต่ในทางปฏิบัติ น้ำหนักบรรทุกจรมักมีลักษณะเป็นจุด (point load) เช่น ตู้เอกสารโต๊ะทำงาน น้ำหนักคน (จำนวนมากๆ) เครื่องจักร แท่นผลิต ฯลฯ น้ำหนักเหล่านั้นมักมีการเคลื่อนไหวย้ายที่อยู่ตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ซึ่งลักษณะของน้ำหนักกระทำเป็นจุดๆและเคลื่อนไหว จะมีผลต่อโครงสร้างมากกว่า น้ำหนักแผ่กระจายที่ออกแบบไว้

2.4.2.4 ปัจจัยทางอ้อม

ผลกระทบของการวิบัติในองค์อาคารชิ้นใดชิ้นหนึ่งจะกระทบกระเทือนให้องค์อาคารอื่นวิบัติตามหรือไม่ เช่น เสาวิบัติจะทำให้คานและพื้นวิบัติตามไปด้วยนอกจากนั้นยังคำนึงถึงผลกระทบของการวิบัตินั้นๆ ว่าจะทำให้ผู้ใช้อาคารวิตกกังวลมากน้อยเพียงใด เพื่อให้อาคารมีความปลอดภัยและคงทนต่ออายุการใช้งาน (ประมาณ 50 ปี) ในหลักวิศวกรรมได้ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์วิบัติอันเนื่องจากความแปรปรวน หลายอย่างที่กล่าวข้างต้น อัตราส่วนความปลอดภัยต่างๆ ได้ข้อสรุปเป็นอัตราส่วนความปลอดภัยที่ปรากฏในมาตรฐานทางวิศวกรรม (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.4.3 อายุใช้งานของอาคาร

อาคารเป็นสิ่งปลูกสร้างถาวรที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่ชัดเจนตามอายุการใช้งานของอาคารที่จำกัดแม้ว่าสิ่งปลูกสร้างโบราณสถานหลายแห่งสามารถ คงทนถาวรอยู่ได้เป็นพันปีแต่ปกติอาคารที่ก่อสร้างในปัจจุบัน โดยเฉลี่ยแล้ววิศวกรมักจะถือว่าอาคารมีอายุใช้งานประมาณ 50 ปีอายุการใช้งานของอาคารมักถูกกๆ หนดด้วยคุณค่าทางเศรษฐกิจของอาคาร เมื่อหมดคุณค่าทางเศรษฐกิจแล้วแม้โครงสร้างอาคารยังคงมีความคงทนก็มักจะถูกรื้อถอนเพื่อให้สามารถใช้ที่ดินเพื่อประโยชน์อย่างอื่น

2.4.4 ขั้นตอนการออกแบบอาคาร

ขั้นตอนการออกแบบอาคาร ผู้มีบทบาทประกอบด้วย เจ้าของอาคาร และกลุ่มผู้ออกแบบ ความรับผิดชอบของเจ้าของอาคาร หรือที่ปรึกษาตัวแทน คือ ต้องกำหนดการใช้งานของอาคารอย่างชัดเจนเพื่อให้สถาปนิกได้พิจารณาออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน และวิศวกร ระบบจะได้พิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆให้เหมาะสม เพื่ออำนวยความสะดวกและความปลอดภัยจากการใช้งานส่วนวิศวกรโครงสร้างจะพิจารณาภาระการรับน้ำหนักสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นจากการใช้งานดังกล่าว รวมทั้งน้ำหนักอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในอาคารเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบส่วน ต่างๆ ของโครงสร้างอาคารให้สามารถรับน้ำหนักดังกล่าวได้ รวมทั้งน้ำหนักที่เกิดจากแรง ธรรมชาติเช่น แรงลม และแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยต้องมีมาตรฐานความปลอดภัยตามหลักวิชาชีพและตามหลักกฎหมาย โดยผู้ออกแบบจะต้องทำหน้าที่พัฒนาแบบเพื่อยื่นขออนุญาตต่อเจ้าหน้าที่ท้องถิ่นในการก่อสร้างตามแบบด้วย

ขั้นตอนนี้การสื่อสารระหว่างเจ้าของอาคารและกลุ่มผู้ออกแบบ มีความสำคัญยิ่งเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างกันอันอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิด ซึ่งจะส่งผลถึงปัญหาการก่อสร้างที่จะต้องปรับเปลี่ยนแก้ไขแบบก่อสร้างที่หน่วยงาน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะส่งผลถึงความปลอดภัยของขั้นตอนการใช้งานอาคารในภายหลัง

2.4.5 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

ผู้มีบทบาทมากที่สุดคือกลุ่มผู้รับเหมาและกลุ่มเจ้าของอาคาร ซึ่งในทางปฏิบัติต้องมีที่ปรึกษาเพื่อควบคุมให้แก่กลุ่มผู้รับเหมาก่อสร้างอาคารและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ตามแบบที่กลุ่มผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ขั้นตอนนี้โดยหลักวิชาชีพ กลุ่มผู้ออกแบบจะต้องเข้าร่วมประชุมเพื่อสังเกตการณ์ว่าการก่อสร้างทำตามแบบที่ออกแบบไว้ได้จริงเมื่อการก่อสร้างอาคารสมบูรณ์แล้วถ้าเป็นอาคารควบคุมการใช้ที่ต้องมีใบอนุญาตการใช้งานจะต้องยื่นขออนุญาติต่อเจ้าพนักงานท้องถิ่นเพื่อให้มาตรวจสอบว่าการก่อสร้างเป็นไปตามแบบที่ได้รับอนุญาตก่อนการก่อสร้าง

2.4.6 ขั้นตอนการใช้อาคาร (usage)

เจ้าของอาคารมีหน้าที่ต้องควบคุมให้การใช้งานเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ในการออกแบบมักมีการปล่อยปละละเลยได้ง่ายที่สุดด้วยเหตุผลอันเป็นประโยชน์แก่เจ้าของอาคารเองการใช้งานผิดไปจากที่เคยกำหนดต่อผู้ออกแบบอาจทำให้โครงสร้างอาคารต้องรับภาวะน้ำหนักเกินกว่าที่ออกแบบกำหนด อาคารอาจจะไม่พังทลายทันทีเพราะวิศวกรโครงสร้างได้เผื่อส่วนความปลอดภัยตามหลักวิชาชีพไว้แต่อาจทำให้อาคารเกิดการล้าตัวทำให้ทรุดโทรมอย่างรวดเร็ว

2.4.7 การตรวจสภาพและบำรุงรักษาอาคาร (inspection and maintenance)

เป็นความจริงที่ว่าอาคารส่วนใหญ่มีความคงทนมาก แต่หากมีข้อบกพร่องหรือการแตกร้าวของตัวอาคาร อัน เนื่องจากการก่อสร้างหรือการใช้งาน การซ่อมบำรุงเล็กๆน้อยๆ จะช่วยยืดอายุอาคารและทำให้อาคารปลอดภัย หรือมีอัตราส่วนความปลอดภัยคงเดิมตลอดอายุการใช้งาน

สำหรับอาคารที่ไม่มีประวัติการแตกร้าวหรือทรุดเอียงควรตรวจสอบโครงสร้างทั้งอาคารด้วยสายตาและเครื่องมือช่วยพื้นฐาน เช่น ลูกดิ่งไม้บรรทัดระดับน้ำ สายยางระดับน้ำ ปีละครั้งว่ามีการทรุดตัวเอียงตัว การแตกร้าว หรือมีคอนกรีตกะเทาะหรือไม่ เช่น จากการชนของเครื่องจักร อาจเป็นเหตุให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นและอากาศเข้าไปทำให้เกิดสนิมในเหล็ก หรืออาจมีน้ำรั่วซึมทำให้ โครงสร้างพื้น คาน และเสา ส่วนที่ไม่ได้ออกแบบไว้ให้เปียกน้ำ ได้การบำรุงรักษาจะสามารถช่วย ยืดอายุอาคารให้ยืนยาวตามที่ออกแบบไว

2.4.8 น้ำหนักบรรทุก (loading)

น้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่ใช้ในการออกแบบ วิศวกรผู้อกแบบจะกำหนดโดยอาศัยความต้องการเบื้องต้นของเจ้าของอาคารเป็นหลักพิจารณาถึงน้ำหนักบรรทุก ดังต่อไปนี้

2.4.8.1 ค่าที่กฎหมายควบคุมอาคารกำหนด (เป็นค่าต่ำสุดที่ควรใช้เพื่อความปลอดภัยพื้นฐาน แต่คนส่วนมากกลับยึดถือเป็นข้อกำหนดตายตัว ไม่มีการ ตรวจสอบว่าน้ำหนักบรรทุกจริงเป็นอย่างไร)

2.4.8.2 ค่าที่ประมวลมาจากน้ำหนักจริง การใช้งานจริง และน้ำหนักอุปกรณ์ เครื่องจักรจริง

2.4.8.3 ลักษณะของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำจริง

(1) น้ำหนกกระทำเป็นจุด (point load)

(2) แรงกระทำไม่สม่ำเสมอ แรงกระทำเป็นครั้งคราวเช่น แรงลม แรงจาก แผ่นดินไหว

(3) ตำแหน่งแรงกระทำไม่แน่นอน หรือ น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่

(4) น้ำหนกัคงค้างอยู่ถาวร เช่น เครื่องจักรที่หนักมากติดตั้งอยู่กับที่

(5) แรงกระทำเป็นวงจร เช่น แรงเหวี่ยงจากเครื่องจักรที่ทำงานเป็นรอบๆ

(6) แรงสั่นสะเทือน เช่น แรงสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยจากเครื่องจักรที่ทำงานแต่ความถี่สูงและมีอยู่ตลอดเวลา

2.4.8.4 แรงจากปัจจัยภายนอก

(1) แรงดันดิน

(2) แรงฉุดลงต่อเสาเข็มเนื่องจากการทรุดตัวของดินในระยะยาว

(3) แรงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

(4) แรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.9 พฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปจะมีลักษณะที่เป็นโครงแข็งแรงยึดติดกันแน่น และมีการแอ่นตัวเสียรูปน้อย เพราะคอนกรีตถูกหล่อยึดเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด (ยกเวน้ โครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปบางประเภท) ดังนั้น ผู้ใช้อาคารจึงมักไม่รู้สึกว่าอาคารสั่นสะเทือน หรือโยกตัวเคลื่อนไหว

กรณีที่โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักบรรทุกเต็มตามที่ออกแบบไว้ใน การใช้งานปกติอาจจะเริ่มมีรอยร้าวขนาดความกว้าง 0.2-0.3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดรอยร้าวที่ไม่มีผลเสียหายต่อโครงสร้างในระยะยาว แต่ถ้ารับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าที่ออกแบบไว้ขนาดของร อยร้าวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถ้ามีการเคลื่อนย้ายน้ำหนักที่เกินออกไป รอยร้าวนี้จะมีการหดตัวลง เล็กน้อย แต่ยังคงมีรอยร้าวเล็กๆให้เห็น โครงสร้างอาคารยังคงมีความปลอดภัยในการใช้งานตามปกติแต่ก็ควรมีการซ่อมบำรุงโดยใช้วัสดุปิดรอยร้าว ไม่ให้ความชื้นและอากาศเข้าไปจะทำให้เกิดสนิมที่เหล็ก เสริมแต่ถ้ามีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากกว่าค่าที่ออกแบบไว้ต่อเนื่องเรื่อย ๆ รอยร้าวจะขยายขนาดขึ้นเรื่อย ๆ พื้นคานจะมีการแอ่นตัวอย่างมาก เป็นการเตือนภัยให้หยุดการบรรทุกเกิน เมื่อโครงสร้างมีการแอ่นตัวมาก ๆ จะเกิดการวิบัติพังทลายลงมาอย่างรวดเร็ว

2.4.10 พฤติกรรมโครงสร้างเหลก็รูปพรรณ

โครงสร้างเหล็กรูปพรรณโดยทั่วไปจะมีลักษณะที่มีความเหนียวสูง แต่มีความสั่นสะเทือนได้ง่าย การแอ่นตัว การเสียรูปให้เห็นได้ง่ายกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกเกินค่าที่ออกแบบไว้จะมีการแตกร้าว หรือ สัญญาณใดๆ บ่งบอก เพราะโครงสร้างเหล็กมีความเหนียวมากหากลดน้ำหนัก บรรทุกเกินออกมา โครงสร้างก็จะคืนกลับสู่สภาพเดิมโดยไม่มีความเสียหายใดๆ เพราะเหล็กยังอยู่ในช่วงอิลาสติก หากเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเกินไปเรื่อย ๆ โครงสร้างจะมีการแอ่นตัวหรือเสียรูปอย่างมาก แต่จะไม่เกิดการวิบัติพังทลายอย่าง ฉับพลันการพังทลายของโครงสร้างเหล็กมักจะเกิดในลักษณะที่โครงสร้าง บิดเบี้ยว เสียรูปเกินกว่าจะใช้งานต่อไปได้มากกว่าที่จะเกิดการวิบัติในลักษณะชิ้นส่วนหลุดขาดจากกันเหมือนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.4.11 การบรรทุกน้ำหนักเกิน (over loading)

การบรรทุกน้ำหนักเกินเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากมีสาเหตุดังนี้

(1) เจ้าของอาคารมักคิดว่าอาคารมีความแข็งแรงมาก และวิศวกรออกแบบเผื่อไว้มาก

(2) เจ้าของอาคารบางรายไม่มีข้อมูล หรือไม่ทราบเลยว่าอาคารของตนออกแบบไว้ให้รับน้ำหนักบรรทุกได้เท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) เจ้าของอาคารไม่ทราบว่าน้ำหนักสินค้า เครื่องจักรที่ติดตั้งบนอาคารมีน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือนเท่าไร

(4) เจ้าของอาคารรู้เท่าไม่ถึงการณ์ไม่ทราบถึงอันตรายและความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น

2.4.12 การออกแบบน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าความต้องการ (under-design)

ปัญหาการออกแบบน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าความต้องการอาจเกิดจากวิศวกรออกแบบมองข้ามปัญหาบางอย่าง หรือได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วน

(1) ไม่ได้รับข้อมูลน้ำหนักจร น้ำหนักเครื่องจักร หรือกิจกรรมธุรกิจที่เกิดขึ้นจริง

(2) ยึดถือตัวเลขน้ำหนักบรรทุกจรที่พ.ร.บ.ความคุมอาคารกำหนดไว้โดยคิดว่าเป็นกรณีสูงสุด แต่ความเป็นจริงแล้วกฎหมายกำหนดชัดเจนว่าเป็นค่าต่ำสุดต้องออกแบบเพื่อความปลอดภัยแก่ประชาชนทั่วไป กรณีทราบน้ำหนัก บรรทุกจริงก็ควรใช้ค่าที่มากกว่า

(3) ไม่ได้คำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มของวัสดุตกแต่งทางสถาปัตย์ เช่น ปูน ทรายปรับระดับ หินแกรนิต หินอ่อน ฝ้าเพดาน ฯลฯ

(4) ไม่ได้คำนึงผลของแรงสั่นสะเทือนจากเครื่องจักร เครื่องปรับอากาศ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือเกิดการวิบัติเนื่องจากการส่งของวัสดุ

(5) ไม่ได้รับข้อมูลสถานที่ก่อสร้างจริงว่า มีแรงดันดินในแนวราบอันเนื่องจากการสร้างบนที่ลาดชันหรือการถมดินสูงในที่ดินเหนียวอ่อน หรือมีบ่อดินอยู่บริเวณใกล้เคียง หรืออยู่ใกล้แม่น้ำที่อาจมีการลดของระดับ น้ำ อย่างฉับพลัน

(6) ไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงฉุดลงในเสาเข็มอันเนื่องจากการทรุดตัวในระยะยาวของดิน

(7) ไม่ได้คำนึงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดแรงภายในโครงสร้าง เช่น หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต

2.4.13 การดัดแปลงหรือการต่อเติมอำคาร (modification)

การดัดแปลงอาคารการต่อเติมอาคาร และการใช้งานผิดประเภทเป็นปัญหาใหญ่มากในประเทศไทย อันเนื่องจากความอ่อนแอในการบังคับใช้กฎหมายกล่าวคือ เมื่อได้รับใบอนุญาตก่อสร้างอาคารแล้วไม่มีการตรวจสอบภายหลังว่าใช้อาคารเหมือนที่ขออนุญาติไว้หรือไม่ ประกอบกับนิสัยการรักถิ่นที่อยู่เดิมโดยไม่โยกย้ายที่อยู่ทำให้มีการดัดแปลงและต่อเติมอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นเจ้าของอาคารส่วนใหญ่มีความรู้สึกว่าอาคารสิ่งก่อสร้างเป็นสิ่งคงทน มาก และเห็นแก่ประโยชน์ที่จะได้รับจึงมักต่อเติมอาคารโดยไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบถามผู้ออกแบบทำให้โครงสร้างอาคารได้รับภาวะรับน้ำหนักเกินกว่าที่ออกแบบไว้แม้อาคารอาจไม่พังทลายทันทีแต่อาจเกิดการล้าตัวทำให้เกิดการทรุดตัว หรือทรุดโทรมอย่างรวดเร็วจนอาจวิบัติก่อนอายุขัยของอาคาร

2.4.14 การก่อสร้างที่ผิดแบบหรือคุณภาพต่ำ

งานก่อสร้างที่ไม่มีวิศวกรควบคุมงาน ผู้ออกแบบไม่ได้มาตรวจแบบทำให้คุณภาพการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน บางครั้งผู้ก่อสร้างพยายามปกปิดข้อบกพร่อง หรือความผิดพลาดจากการก่อสร้างโดยไม่แจ้งให้วิศวกรหรือผอู้อกแบบรับทราบถึงปัญหา กรณีความบกพร่องนั้นอาจไม่ปรากฏให้เห็นในทันทีเนื่องจากมีอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่บ้าง เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจึงจะปรากฏความเสียหายนั้นให้เห็น หรืออาคารอาจมีอายุการใช้งานสั้นกว่าที่ควรจะเป็น

2.4.15 การสูญเสียเสถียรภาพของโครงสร้าง (unstability of structure)

เสถียรภาพของโครงสร้างเป็นพื้นฐานสำคัญที่วิศวกรต้องคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้างของอาคาร นอกจากอาคารจะต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งแล้วโครงสร้างอาคารต้องต้านแรงในแนวราบได้ด้วย เช่น แรงลม แรงจากแผ่นดินไหว แรงในแนวราบอันเนื่องจากการใช้งาน แรงในแนวราบอันเนื่องจากโครงสร้างไม่ได้อยู่ในแนวดิ่งอย่างสมบูรณ์ ฯลฯ วิศวกรจึงต้องออกแบบให้โครงสร้างอาคารสามารถต้านแรงในแนวราบที่อาจจะเกิดขึ้น การสูญเสียเสถียรภาพของโครงสร้างอาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

(1) การดัดแปลงอาคารเช่น การตัดคานค้ำยันที่เอาเสาออกทำให้เสาสูงชะลูดเกินไป การต่อเติมเพิ่มคาน ซึ่งอาจจะเพิ่มแรงดันด้านข้าง หรือเพิ่มโมเมนต์ดัดแก่เสา

(2) การทรุดตัวของฐานรากและเสาเข็ม สามารถทำให้โครงสร้างทั้งอาคารเสีย เสถียรภาพล้มลงได้

(3) การออกแบบผิดพลาด ไม่มีโครงสร้างรับแรงในแนวราบอันเกิดจากแรงลม หรือแรงดันดิน

(4) การไหลเคลื่อนตัวของดิน (slide) หรือชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีการถมดินสูง2-3 เมตรอาจจะเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ดันให้เสาเข็มและฐานรากเคลื่อนตัวจนอาคารสูญเสียเสถียรภาพได้

(5) เสาเข็มซึ่งไม่มีเหล็กเดือย (powel) ยึดติดกับฐานราก หากเสาคอนกรีต เยื้องศูนย์กับเสาเข็มอาคารก็มีโอกาสที่จะวิบัติได้ในระยะยาว

2.4.16 การวิบัติของโครงสร้างเนื่องจากเพลิงไหม้ (fire)

เพลิงไหม้เป็นสาเหตุให้อาคารเกิดการวิบัติจำนวนมากในประเทศไทย อันสืบเนื่องจากระบบป้องกันและต่อสู้อัคคีภัยทั้งในตัวอาคาร และหน่วยงานดับเพลิงยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอทำให้ต้นเพลิงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นลุกลามใหญ่โต จนทำให้มีผู้เสียชีวิตมากมาย หรือ อาคารพังทลายทั้งหลัง ทั้ง ๆที่ต้นเพลิงอาจเกิดจากบุหรี่มวนเดียว หรือ กระป๋องทินเนอร์ใบเดียว หรือเตาแก๊สอันเดียวและเกิดต่อหน้าผู้คนจำนวนมากในเวลากลางวัน

เพลิงไหม้จะเกิดขึ้นได้ด้วยปัจจัยพื้นฐาน 3 ประการคือแหล่งความร้อนเชื้อไฟ และออกซิเจน กระบวนการเกิดไฟไหม้จะเริ่มต้นจากต้นเพลิงเล็กๆ ซึ่งต้องใช้เวลาในการไหม้ ขยายตัว (growth period) ระยะเวลาการเกิดไฟไหม้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งสามดังกล่าวซึ่งอาจจะใช้เวลา 10-20 นาทียกเว้นเชื้อไฟประเภทแก๊สหรือน้ำมันเชื้อเพลิงไหม้จะเกิดขึ้นภายในไม่กี่วินาทีระยะนี้อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มจากอุณหภูมิห้องจนเกิดการติดไฟลุกลาม(burning period) อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิขึ้นกับชนิดของไฟ) จนกระทั่งหมดเชื้อไฟจะเป็นระยะไฟมอด (decay period) อุณหภูมิจะค่อยลดต่ำลงอย่างช้า ๆ

ความทนไฟของวัสดุก่อสร้างจะแตกต่างกันตามคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุทั้งในแง่ฟิสิกส์และเคมี รวมทั้งความสามารถในการนำหรือถ่ายความร้อนด้วย

2.4.16.1 เหล็กซึ่งใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง มักผ่านขบวนการทางความร้อน (heat treatment) เพื่อให้มีความแข็งแรงตามความต้องการ เช่น เหล็กข้ออ้อย เกรด SD-30,SD-40,SD-50 เหล็กรูปพรรณประเภท high strength เหล็ก ลวดอัดแรงกำลังสูง(pc.wire/pc strand) เหล็กเหล่านีจะมีกำลังลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 425 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ค่า elastic modulus จะเริ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และลดลง อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ความร้อนจากกอง เพลิงซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส จึงทำให้อาคารเหล็กพังลงมาได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาประมาณ 30 นาที ดังที่เคยปรากฏในกรณีเพลิงไหม้โรงงานทำตุ๊กตาผลการทดสอบพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูง กว่า 300 องศาเซลเซียส โครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะเริ่มสูญเสียกำลังและสติฟเนส (stiffness ความแข็งแกร่ง) เนื่องจาก modulus of elastic ลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียสกำลังความแข็งแรงโดยรวม (strength) ของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะลดลงถึงร้อยละ 30 มาตรฐานการออกแบบทางวิศวกรรมของ วสท.จึงกำหนดให้มีวัสดุหุ้มเหล็กที่เพียงพอเพื่อเพิ่มระยะเวลาความต้านทานไฟไหม้

2.4.16.2 คอนกรีตแม้ว่าคอนกรีตจะมีความต้านทานไฟได้ค่อนข้างดีรวมกับคุณสมบัติที่เป็นฉนวนค่อนข้างดีทำให้คอนกรีตต้านทานต่อไฟไหม้ได้ค่อนข้างดีอุณหภูมิที่สูงกว่า 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานจะเริ่มมีผลทำให้ปูนซีเมนต์เสื่อมกำลังยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นปูนซีเมนต์จะเสื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลัง อย่างรวดเร็ว ดังนั้น เมื่อเกิดเพลิงไหมค้อนกรีตจะได้รับความร้อนที่ระดับ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะ

2.4.17 การกัดกร่อนและการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง (corrosion and deterelation)

วัสดุก่อสร้างแม้ว่าจะมีอายุการใช้งานค่อนข้างยืนยาวแต่ความคงทนต่อสภาพดิน ฟ้าอากาศ อุณหภูมิและปัจจัยภายนอกที่มากระทบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังนี้

(1) คุณภาพการก่อสร้างคอนกรีต เช่น

- คอนกรีตมีรูโพรงมากน้อยเพียงใด

- ขนาดของฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ หรือต่อเนื่องเป็นกลุ่ม

- ความหนาหุ้มคอนกรีตมากน้อยเพียงพอหรือไม่

(2) การป้องกนัการกดักร่อนหรือเสื่อมสภาพ เช่น

- การทาสีป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็ก

- การทาสีของผิวคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของคอนกรีตได้

a. การป้องกันมิให้ปัจจัยภายนอกกระทำต่อวัสดุก่อสร้างโดยตรงอาทิ เช่น

- การป้องกันมิให้มีน้ำไหลรั่วซึมจากชั้นหลังคา หรือป้องกันมิให้น้ำขังบนพื้นคอนกรีตดาดฟ้า

- การป้องกันมิให้น้ำเค็ม หรือน้ำร้อน หรือกรด-ด่าง จากขบวนการ อุตสาหกรรมไหลรั่วมาสัมผัสโครงสร้างคอนกรีต

การตรวจสอบบำรุงรักษาเล็กๆน้อยๆ เช่น ซ่อมแซมรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต หรือ การทาสี ทุกระยะ 3-5 ปีหรือการขจัดน้ำขังบนพื้นคอนกรีต การสามารถยืดอายุโครงสร้างให้ยืนยาว ไม่ต่ำกว่า 50 ปี ได้

2.4.17.1 การเสื่อมสภาพเนื่องจากน้ำ

น้ำ (ความชื้น) และออกซิเจนเป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดสนิมในโครงสร้างเหล็กได้เป็นการยากที่จะขจัด ตัวการต้นเหตุเหล่านี้ดังนั้นโครงสร้างเหล็กจำเป็นต้องมีการป้องกันสนิม และมีการบำรุงรักษาตรวจสอบทุกปีแม้ว่าน้ำจืดจะมีปฏิกิริยาน้อยมากกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแต่สำหรับโครงสร้างที่สัมผัส น้ำตลอดเวลา จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้ดีตั้งแต่ก่อสร้างกล่าวคือ ต้องมีการกระจายของฟองอากาศที่สม่ำเสมอ ฟองอากาศต้องไม่กระจุกตัวหรือต่อเนื่องห้ามมีรูโพรงในเนื้อคอนกรีตอีกทั้งความหนาหุ้มของ คอนกรีตต้องมีเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.17.2 การเสื่อมสภาพเนื่องจากน้ำเค็ม หรือน้ำกร่อย

ในบริเวณที่มีน้ำกร่อยต้องให้ความสำคัญอย่างมากสำหรับป้องกันการกัดกร่อนสำหรับเหล็กโครงสร้างแม้โครงสร้างจะไม่ได้แช่ในน้ำเค็มโดยตรงแต่ไอน้ำเค็มก็เป็น อันตรายต่อโครงสร้างเหล็กควรป้องกันสนิมด้วยวิธีชุบสังกะสี (galvanization) หรือ cathode protection ที่มีประสิทธิภาพเชื่อถือได้และได้รับการพิสูจน์แล้ว สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับน้ำเค็มหรือน้ำกร่อย ต้องใช้ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ห้า และมีความหนาหุ้มที่เพียงพอสำหรับบริเวณที่มีน้ำเค็มเปียกและแห้งสลับกันยิ่งต้องมีวิธีป้องกันที่เข้มงวดยิ่งขึ้น อีกทั้งความหนาหุ้มของคอนกรีตต้องมีเพียงพอ

2.4.17.3 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยา carbonation

ขบวนการเกิด carbonation บนผิวคอนกรีตคอนข้างจะช้าแต่สำหรับ โครงสร้างที่สำคัญ และต้องการอายุยืนยาว ควรมีการป้องกันการทาสีบนผิวคอนกรีตและการป้องกันมิให้น้ำไหลผ่านหรือการเปียกชื้นจะช่วยลดการเกิด carbonation ได้

2.4.17.4 การเสื่อมสภาพเนื่องจากกรด หรือสารเคมี

สารเคมีกรด ด่าง และแม้แต่ไอน้ำความร้อนจากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมล้วนแล้วแต่เป็นอันตรายทำให้โครงสร้างคอนกรีตและเหล็กสั้นลงได้ควรหลีกเลี่ยงมิให้สัมผัสกับโครงสร้างกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรหาวัสดุป้องกันหรือวิธีการป้องกัน และต้องมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงโครงสร้างอย่างสม่ำเสมอ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ 2546.)

2.5 การตรวจสอบความกว้างของรอยร้าว

2.5.1 การตรวจวัดความกว้างของรอยร้าว ความกว้างของรอยร้าว จะวัดโดยเกจวัดความกว้างของรอยร้าว(crack width gauge)ซึ่งมีชนิดที่เป็นแผ่นพลาสติกใสที่มีเส้นขนาดความกว้างต่างๆ ใช้ทาบวัดความกว้างและที่ชนิดเป็นชุดแถบโลหะที่มีความหนาต่างๆ(feeler gauge)ใช้เสียบเข้าไปในรอยร้าวเพื่อวัดความกว้างของรอยร้าว

2.5.2 การวัดความกว้างของรอยร้าวด้วยเกจชนิดพลาสติกจะทำโดยการเอาแผ่นเกจทาบกับรอยร้าวแล้วเลือกขนาดเส้นที่มีขนาดใกล้เคียงกับรอยร้าวมากที่สุด

2.5.3 การวัดความกว้างของรอยร้าวด้วยเกจชนิดแถบโลหะ (feeler gauge) จะทำโดยการลองเสียบแผ่นเกจลงในรอยร้าวโดยเริ่มจากขนาดเล็กไปสู่ขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถเสียบเข้ารอยร้าวได้ความหนาสุดท้ายของแผ่นเกจที่เสียบได้จะเป็นขนาดของรอยร้าวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สภาพความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย	ความกว้างของรอยร้าว โดยประมาณ
ไม่เสียหาย	รอยร้าวขนาดเส้นผม (Hairline Cracks)	< 0.1 มม.
น้อยมาก	รอยร้าวขนาดเล็ก สังเกตเห็นได้ยากหาก ไม่ตรวจสอบอย่างดี รอยร้าวนี้ไม่จำเป็นต้องแก้ไขและสามารถปกปิดได้เมื่อมีการทาสี	< 1 มม.
เล็กน้อย	มีรอยร้าวที่สามารถสังเกตเห็นได้และอาจจำเป็นต้องตกแต่ง โดยการยาปูนหน้าต่างและประตูอาจติดขัด	< 5 มม.
ปานกลาง	มีรอยร้าวที่จำเป็นต้องแก้ไขโดยกะเทาะรอยร้าวออกและยาปูนใหม่ บางครั้งอาจจะต้องรื้อผนังบางส่วนออกแล้วก่ออิฐใหม่ ประตูและหน้าต่าง ติดขัดและอาจมีการแตกของท่อที่ติดหรือฝังในผนัง อากาศภายนอกพัดผ่านเข้าในอาคารผ่านรอยร้าวได้	5-15 มม. หรือมีหลายรอยร้าวกว้างเกิน 3 มม.
ร้ายแรง	มีรอยร้าวขนาดใหญ่หลายรอยที่ต้องแก้ไขโดยการทุบผนังทิ้งบางส่วนแล้วสร้างใหม่โดยเฉพาะส่วนที่ อยู่เหนือประตูและหน้าต่างวงกบประตูและหน้าต่าง บิดเบี้ยว สามารถสังเกตเห็นพื้นลาดเอียง ผนังเอียง ไม่ได้ดิ่ง ท่อแตกและคานอาจสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนัก	15-20 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว
ร้ายแรงมาก	มีรอยร้าวที่ต้องแก้ไขโดยด่วน โดยอาจต้องรื้อสร้างใหม่ทั้งหมดหรือบางส่วน เนื่องจากสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักและผนังเอียงจนต้องค้ำยัน	> 25 มม. และขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าต่างแตกและโครงสร้างไม่มั่นคง ปลอดภัย	

ตารางที่ 2.2 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (ACI 224R-90 : *Control of Cracking in Concrete Structures*, 1990)

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

2.5.4 การวัดการขยายตัวและการหดตัวของรอยร้าว

2.5.4.1 การวัดการขยายและการหดตัวของรอยร้าว จะกระทำโดยใช้อุปกรณ์ซึ่งได้แก่ มาตรวัดการขยายตัวและการหดตัวของรอยร้าว (tell-tale crack gauge) หรือหมุดวัดระยะที่ฝังอยู่ 2 ข้างของรอยร้าว เพื่อใช้วัดการ 26 เปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างหมุดอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีความทนทาน มีความละเอียดของการวัดไม่ต่ำกว่า1มิลลิเมตรสำหรับการวัดด้วยไม้บรรทัดและ ไม่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิเมตร สกหรับการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และสามารถยึดติดคร่อมรอยร้าวอย่างมั่นคง

2.5.4.2 ไม้วัดการขยายตัวของรอยร้าวจะต้องยึดแน่นกับตัวผนังแต่ละข้างของรอยร้าวไม่โยกคลอนและต้องให้สายใยอ่านอยู่ในแนวตั้งฉากกับไม้บรรทัดอ่าน หมุดวัดระยะทางจะต้องถูกฝังอยู่ในแต่ละข้า งของรอยร้าวอย่างมั้นคงแข็งแรง ไม่โยกคลอนและต้องมีระยะห่างระหว่างหมุดที่สามารถวัดด้วย เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์อย่างสะดวก จำวนหมุดที่วัดแต่ละชุดอาจมี2 หรือ 3 จุด ขึ้นอยู่กับ ทิศทางการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของโครงสร้างทั้งสองฝั่งของรอยร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การตรวจสอบรอยแตกร้าว

2.6.1 การตรวจพินิจ (visual inspection)

การพินิจด้วยตาเป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของชิ้นส่วนโครงสร้างได้รวดเร็ววิธีหนึ่ง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพการก่อสร้าง ลักษณะการใช้งานของโครงสร้างและการ เสื่อมสภาพของวัสดุ เช่น ในขณะก่อสร้างหากคอนกรีตเกิดการเยิ้ม หรือการแยกตัวของคอนกรีต คอนกรีตจะมีลักษณะแตกบริเวณผิวพื้นหลุดร่อนได้ง่าย หรือถ้าพบคอนกรีตเกิดโพรง (honeycomb) ก็สามารถสรุปได้ว่าเกิดความผิดพลาดในเรื่องคุณภาพการก่อสร้าง หากพบการหลุดร่อนของผิวคอนกรีตจนเห็นเนื้อเหล็กเสริมเป็นสนิมอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมจนเกิดสนิม มีปริมาตรเพิ่มขึ้นเกิดแรงภายในมากขึ้น และเกิดแรงดันต้านกับกำลังคอนกรีตจนหลุดร่อนออกมาได้ดังนั้นการพินิจจึงจำเป็นสาหรับการตรวจสอบสภาพโครงสร้างพ้ทนฐานเพื่อเป็นข้อมูลในการตดัสินใจเลือกวิธีการตรวจสอบโครงสร้างในลำดับถัดไป

2.6.2 การวัดรอยแตกร้าว

เป็นการใช้ไม้บรรทัด ตลับเมตร หรือเกจวัดรอยแตกร้าว ตามความกว้าง ความยาวของแต่ละเส้นรอยร้าว นำข้อมูลที่ด้มาจัดเรียงลำดับเพื่อกำหนดรอยแตกร้าวเล็กน้อย ปานกลาง และรุนแรง โดยนำไปเทียบกับตาราง ซึ่งเกจวัดความกว้างของรอยร้าว(crack width gauge) ที่นิยมใช้มีสองชนิด (สืบศักดิ์และชูเลิศ, 2550)

2.7 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต

“การกัดกร่อน (Corrosion)” หมายถึง การที่โลหะถูกทำลายโดยการการกัดกร่อนทางเคมี ทางการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าในปฏิกิริยาเคมีการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าในการแลกเปลี่ยนประจุกับสิ่งแวดล้อมรอบตัว

“การซ่อมแซม (Repair)” หมายถึง การเปลี่ยนหรือการแก้ไขส่วนของโครงสร้างที่ถูกทำลายหรือเสียหาย

“การซ่อมแซมส่วนที่เป็นโครงสร้างหลัก (Structural Repair)” หมายถึง การซ่อมแซมโครงสร้างที่มีการทำ ขึ้นมาใหม่หรือการเสริมเพิ่มให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

“การซ่อมแซมส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้างหลัก (Non-Structural Repair)” หมายถึง การซ่อมแซมเฉพาะส่วนที่เสียหายที่ไม่มีผลกระทบกับความแข็งแรงของโครงสร้างหลัก

“การดาด (Lining)” หมายถึงการปรับปรุงผิวของโครงสร้างด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอื่นๆ เพื่อให้เกิดผิวที่คงตัวแข็งแรง หรือสามารถทนการกัดกร่อนขัดสีจากการไหลผ่านของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“การป้องกันความชื้น (Damp Proofing)” หมายถึง วิธีการป้องกันไม่ให้น้ำผ่านหรือซึมผ่านคอนกรีตหรือปูนมอร์ตาร์ เช่น การผสมสารผสมเพิ่ม (Admixture) หรือปรับปรุงคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ การสร้างฟิล์มกันชื้นด้วยการใช้แผ่นพอลิเอทธิลีน (Polyethylene) ปูรองพื้นก่อนเทคอนกรีต

“การป้องกันความเสียหาย (Protection)” หมายถึง กระบวนการที่จะปิดบังไม่ให้โครงสร้างคอนกรีตได้รับความเสียหายจากสภาพแวดล้อมหรือจากสภาพที่ตั้งใจจะป้องกันเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตนั้นมีอายุใช้งานได้ยาวนาน

“การสกัดเปิดผิว (Excavation)” หมายถึงขั้นตอนในการเปิดผิวคอนกรีตที่ถูกทำลายจนถึงเนื้อคอนกรีตที่ดีหรือจนถึงระดับที่กำหนด

“ความเสียหายคะวิเทชั่น (Cavitation Damage)” หมายถึง หลุมเล็กๆ บริเวณผิวคอนกรีตซึ่งเกิดจากการสลายตัวของละอองไอน้ำซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความดันต่ำและสลายตัวเมื่อเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มี ความดันสูงกว่า

“พอลิเมอร์คอนกรีต (Polymer Concrete)” หมายถึง คอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์เพื่อเป็นวัสดุประสาน

“พอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ต้าร์ (Polymer Cement Concrete and Mortar)” หมายถึง คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของน้ำปูนซีเมนต์ มวลรวม และ โมโนเมอร์หรือพอลิเมอร์ในกรณีที่ใช้โมโนเมอร์จะทำ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) หลงจากผสม

“ระบบการซ่อมแซม (Repair System)” หมายถึงการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตโดยการเลือกใช้วัสดุพิเศษและวิธีการที่เหมาะสม

“รอยร้าวที่มีรูปแบบที่แน่นอน” หมายถึงรอยร้าวที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะเป็นรูปแบบเดียวกันหรือซ้ำๆ กันในหลายๆบริเวณของโครงสร้างคอนกรีต

“รอยร้าวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน” หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะแตกต่างกันไปไม่ซ้ำกันในหลายๆบริเวณของโครงสร้างคอนกรีต

“รอยร้าวที่ยังคงมีการขยายตัวอยู่ (Active Crack)” หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่คอนกรีตที่ยังคงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เช่น รอยร้าวกว้างขึ้นหรือลึกขึ้น รวมถึงรอยร้าวใดๆก็ตามที่กลไก หรือปฏิกิริยาของการเกิดรอยร้าวยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง

“รอยร้าวที่หยุดการขยายตัวแล้ว (Dormant Crack)” หมายถึง รอยร้าวที่เกิดขึ้นที่คอนกรีตซึ่งไม่มีการเพิ่มขึ้นของทั้งความกว้างและความลึก หรืออาจกล่าวได้ว่ารอยร้าวดังกล่าวหยุดการขยายตัวแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“ลาเทกซ์แบบกระจายตัวใหม่ได้ (Redispersible Latex)” หมายถึงลาเทกซ์ที่สามารถทาบนพื้นผิวที่จะซ่อมแซมได้หลายวันก่อนจะลงวัสดุซ่อม และมีหน่วยแรงยึดเกาะไม่น้อยกว่า 2.8 เมกา ปาสกาล เมื่อแห้งลาเทกซ์ประเภทนี้ไม่ควรใช้กับบริเวณที่เปียกน้ำ ความชื้นสูง หรือกำลังใช้งาน

“ลาเทกซ์แบบกระจายตัวใหม่ไม่ได้ (Nonredispersible Latex)” หมายถึงลาเทกซ์ที่เหมาะกับการยึดเกาะเมื่อใช้ผสม

“วัสดุคั่น (Bond Breakers)” หมายถึง วัสดุที่ใช้สำหรับกันรอยต่อต่างๆ ในการก่อสร้างเพื่อแยกวัสดุสองชนิดหรือคอนกรีตที่เทในระยะเวลาที่แตกต่างกนออกจากกัน

“สารเชื่อมประสาน (Bonding Agent)” หมายถึง สารที่ใช้กับผิวชั้นหนึ่งๆ เพื่อสร้างการยึดเกาะหรือการเชื่อมประสานระหว่างตัวมันเองกับชั้นอื่นๆ

“อีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin)” หมายถึง สารซึ่งประกอบด้วยสารละลายสองชนิดขึ้นไปที่ทำปฏิกิริยาแล้วทำ ให้เกิดเจลหรือตะกอนแข็ง ปฏิกิริยาในสารละลายอาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมีหรือทางเคมีฟิสิกส์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ในสารละลาย หรือระหว่างส่วนประกอบในสารละลาย และสารอื่นๆในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะลดความสามารถในการไหลและทำให้สารละลายแข็งตัวอุดช่องว่างที่มีในคอนกรีต

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

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิพนธ์ จงพิทักษ์ศีล (2538) การศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพของคอนกรีตและอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ของโครงสร้างสะพานคอนกรีต ในเขตกรุงเทพมหานคร ตามปกติเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะสามารถป้องกนัการเกิดสนิมจากคุณสมบัติความเป็นด่างของคอนกรีตที่หุ้มอยู่โดยรอบ แต่สถานะภาพความเป็นด่างของคอนกรีตจะถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเนื้อคอนกรีต เกิดกระบวนการคาร์บอเนชั่นในคอนกรีตและเมื่อปฏิกิริยาเข้าถึงผิวเหล็กเสริมจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้หากมีน้ำและก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอสนิมในเหล็กเสริมจะส่งผลให้กำลังของโครงสร้างลดลง เพราะหน้าตัดของเหล็กเสริมจะลดลง แต่เหล็กเสริมที่เป็นสนิมจะมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นเกิดแรงดันทำให้คอนกรีตปริแตกและเมื่อถึงสภาวะดังกล่าวอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมจะทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากผิวเหล็กจะสัมผัสกับอากาศและความชื้นโดยตรง งานวิจัยนี้จะศึกษาขบวนการการเกิดคาร์บอเนชั่นของคอนกรีต และการเกิดสนิมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเสริมซึง ขบวนการการเกิดคาร์บอเนชั่น เป็นกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์จะประกอบด้วยกลไกการควบแน่นของน้ำภายในรูพรุน การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อคอนกรีต และการทำปฏิกิริยาทางเคมีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และกับสารประกอบซีเมนต์ที่สามารถเกิดคาร์บอเนตได้การศึกษาได้จำลองพฤติกรรมทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการการเกิดคาร์บอเนชั่นที่มีความซับซ้อนอย่างมากให้เข้าใจพฤติกรรมได้อย่างชัดเจน อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นที่นำเสนอได้มาจากผลการทดลองของนักวิจัยในอดีตหลายท่านร่วมกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีกึ่ง ทดลองแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดความลึกคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างจริงจากตัวอย่างสะพานในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งพบว่าให้ค่าต่าง ๆ สอดคล้องกับสภาพสิ่งแวดล้อมในเขต กรุงเทพมหานครเป็นอย่างดีส่วนขบวนการเกิดสนิทของเหลก็เสริม จะเป็นขบวนการทางไฟฟ้าเคมีเริ่มต้นจากเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีตจะถูกรบกวน เมื่อความชื้นและคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยาทางเคมีเป็นกรดอ่อน ๆ และทา ให้ค่า pHในคอนกรีตค่อย ๆ ลดลงจนมีอนุภาพก่อให้เกิดการกดักร่อนที่ผิวเหล็กเสริมเกิดเป็นสนิมเมื่อมีความชื้นหรือน้ำและออกซิเจนและอากาศอย่างพอเพียงอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในช่วงเริ่มต้นและช่วงปลายจะแปรผันตรงกับเวลาและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในกรุงเทพมหานคร การวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงอายุการใช้งานของโครงสร้าง โดยกำหนดให้มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5และหากยึดถือการลดพื้นที่หน้าตัดของเหลก็เสริมเกินกว่าร้อยละ 10 บ่งบอกระดับความเสียหายของโครงสร้างอันนำไปสู่การซ่อมแซมปรับปรุงเพื่อให้มีกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยปราศจากการวิบัติใด ๆ

อมร พิมานมาศ (2548) พฤติกรรมและการวิบัติขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเสียหายจากรอยร้าวโครงสร้างล่วงหน้ากรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาพฤติกรรมขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีรอยร้าวล่วงหน้าและเพื่อสร้างทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีรอยร้าวล่วงหน้าภายใตการรับแรงดึงและแรงอัดโดยเป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากการศึกษาในระดับปริญญาเอกซึ่งเน้นที่ พฤติกรรมของคอนกรีตที่มีรอยร้าวล่วงหน้าภายใต้การรับแรงดึง ในงานวิจัยหลังปริญญาเอกนี้ผู้วิจัยได้เน้นที่ การศึกษา พฤติกรรมของคอนกรีตที่มีรอยร้าวหน้าภายใต้การรับแรงอัด ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 3 ชุดได้แก่ 1. พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคาน ค.ส.ล. ที่ใส่เหลก็ลูกตั้งเป็นปริมาณมาก 2. พฤติกรรมการวิบัติของคาน ค.ส.ล. ที่ได้รับความเสียหายจากรอยร้าวล่วงหน้า 3. พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคานลึกที่มีรอยร้าวล่วงหน้า ผลการทดลองพบว่ารอยร้าวล่วงหน้าทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงแต่ทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงดีขึ้น โดยการลดลงของกำลังรับแรงอัดประสิทธิผลนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของรอยร้าวต่อขนาดของมวลรวม (crack width/aggregate size) ส่วนการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงดึงนี้ขึ้นอยู่กับความกว้างของรอยร้าวล่วงหน้าในทางตรงกันข้ามรอยร้าวล่วงหน้ากลับทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนรูปขององคอ์อาคารเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นกรณีรับแรงดึง หรือแรงอัดก็ตาม ผู้วิจัยได้สร้างทฤษฎีขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมคอนกรีตที่มีรอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้าวล่วงหน้า ภายใต้แรงดึงและแรงอัด ทฤษฎีการรับแรงดึงนั้น ตั้งอยู่บน 2 ทฤษฎีพื้นฐานคือ ทฤษฎีการหยุด และการเบี่ยงรอยร้าว และทฤษฎี shear anisotropy ทั้งสองนี้อธิบายว่ารอยร้าวดิ่งที่มีอยู่นั้นเป็นระนาบ anisotropic ภายในคอนกรีตที่สามารถชะลอหยุดยั้ง หรือ เบี่ยงรอยร้าวทแยงที่วิ่งเข้ามา หรือ ที่จะเกิดขึ้นเป็นผลให้กำลังรับแรงดึงประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้นส่วนทฤษฎีการรับแรงอัดนั้นตั้งอยู่บน 2 กลไกหลัก คือ 1. การลดลงของพื้นที่สัมผัสประสิทธิผล 2. การเสื่อมลดของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ที่ผิวหน้ารอยร้าวเนื่องจากรอยร้าวจุลภาค โดยอาศัยกลไกทั้งสองนี้ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายเพื่อใช้คำนวณหากำลังรับแรงอัดประสิทธิผลของคอนกรีตที่มีรอยร้าวล่วงหน้าและพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถทำนายผลการ ทดลองได้อย่างถูกต้อง ทั้งชุดทดลองการรับแรงเฉือนของคาน ค.ส.ล. ที่ใส่เหล็กลูกตั้งเป็นปริมาณมากและชุดทดลองคานลึกงานวิจัยในอนาคตควรเน้นที่การปรับปรุงพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานี้ให้ครอบคลุมถึงคอนกรีตที่มีรอยร้าวหลายๆ ทิศทางควรศึกษาผลของรอยร้าวดิ่งต่อความสามารถในการเปลี่ยนรูปของคอนกรีตและการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้งานในโปรแกรมไฟไนต์อิลีเมนต์ต่อไป

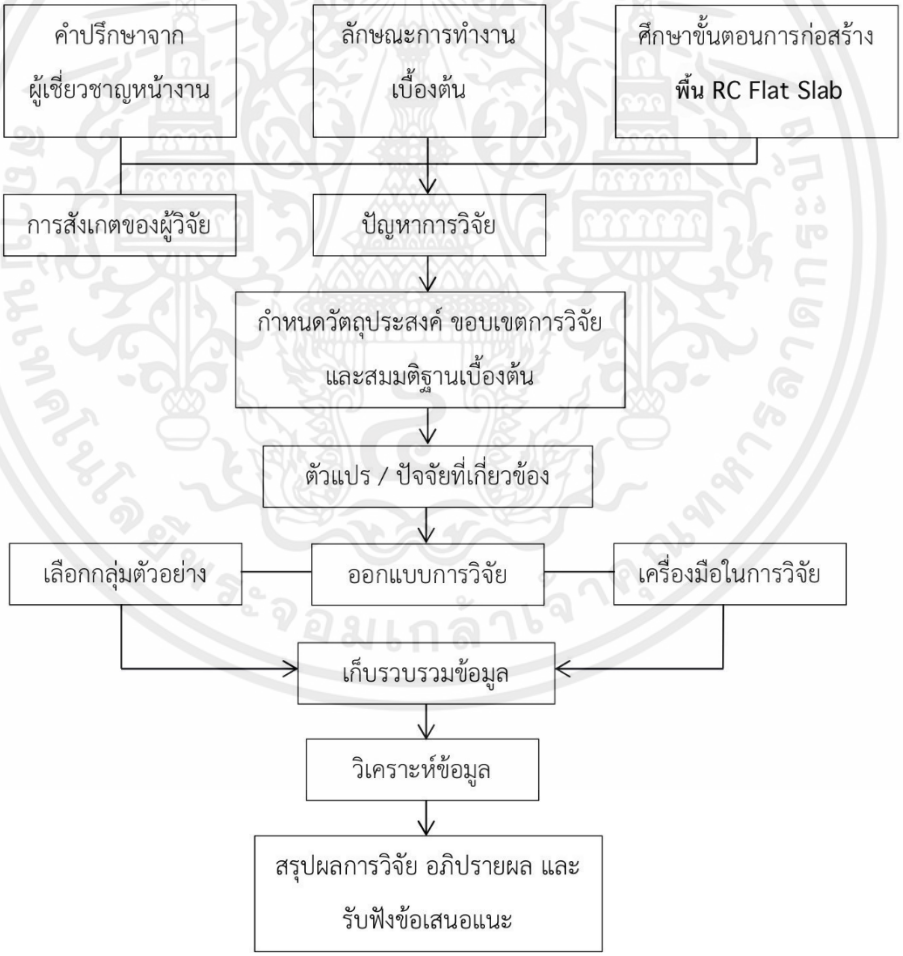
ปูชิตเทพ ปานทองและอดุลย์ วงค์คำ (2553) การศึกษาการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟองอากาศ ซึ่งเกิดจากการสร้างฟองโฟมแล้วฉีดฟองโฟมเหลวเข้าไปในส่วนผสมของทราย ปูนซีเมนต์และน้ำ ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปริมาณฟองโฟมหรือฟองอากาศที่เติมเข้าไปซึ่งค่าหน่วยน้ำหนักจะน้อยหากใส่ปริมาณฟองโฟมที่เติมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตมาก คุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะเปลี่ยนไปตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตหรือปริมาณฟองอากาศคอนกรีตที่มีปริมาณ ฟองอากาศมาก ปริมาณน้ำผสมมากจะเกิดการหดตัวแบบแห้งสูงแต่สำหรับวัสดุผสมที่เป็นมวลละเอียดหรือทรายนั้น เมื่อใส่เข้าไปปริมาณมากจะทำให้คอนกรีตคงรูปขึ้นและเกิดการหดตัวน้อย โครงการนี้ศึกษาคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ค่าหน่วยน้ำหนักออกแบบเท่ากับ 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 ตัวอย่างทดสอบที่ อายุ1,3,7,14,21,28,35 และ 56 วัน จากการทดสอบ พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีอัตราการหดตัวแบบแห้งอยู่ระหว่าง 0.068 –0.253 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย เป็นส่วนหนึ่งที่แสดงรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการดำเนินการวิจัย อาทิ เช่น การเลือกกลุ่มตัวอย่างของผู้วิจัย เครื่องมือในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดในการวิจัย เป็นต้น ซึ่งวานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้นของโครงการศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ โดยการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาจากข้อมูลการก่อสร้างโครงสร้างพื้นและสถานที่ก่อสร้างจริง ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จะนำไปสู่การหาแนวทางการแก้ปัญหาอย่างถูกต้อง ทันเวลาและแนวทางป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับโครงการลักษณะเดียวกันนี้ในอนาคต เพื่อลดต้นทุน ระยะเวลา และ ความเสี่ยงในการดำเนินการก่อสร้างโครงการในลักษณะเดียวกัน โดยมีกระบวนการวิจัยตั้งแต่เริ่มถึงสิ้นสุดการวิจัย ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาสภาพปัญหาภายในโครงสร้างพื้นของโครงการอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ สาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของพื้นคอนกรีตภายในอาคารในส่วนลานจอดรถ ส่วนที่แตกร้าวของพื้นคอนกรีต คือตั้งแต่ชั้นลานจอดรถขึ้นไปจากพื้นดิน และชั้นสำนักงานขึ้นไปมีระยะห่างระหว่างผิวพื้นถึงเพดานคอนกรีตชั้นต่อไป ประมาณ 2.5 – 5.0 เมตร มีพื้นที่ความเสียหายของรอยร้าวที่แตกร้าวและเกิดการหลุดลงมาของคอนกรีต

3.2 ศึกษาสภาพปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการศึกษาข้อมูลในการจัดทำการวิจัยถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำการวิจัย และเป็นช่วงแรกในการดำเนินการวิจัย โครงการนี้ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ตลอดจนบุคลากรที่เชี่ยวชาญภายในบริษัทเพื่อนำข้อมูลมาดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.2.1 สาเหตุของการแตกร้าว

3.2.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าว

3.2.3 ลักษณะของรอยแตกร้าว

3.2.4 การตรวจสอบรอยแตกร้าว

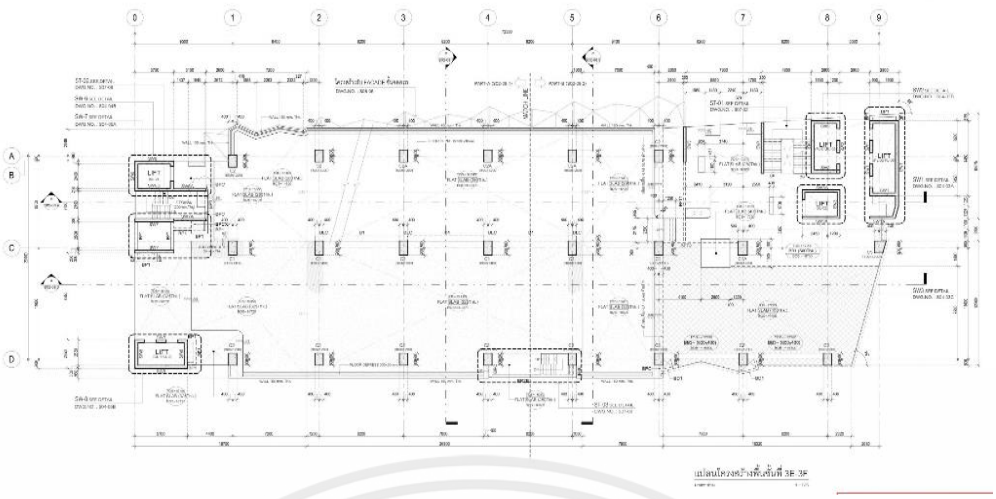
3.2.5 การแก้ปัญหารอยแตกร้าวอย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 การออกแบบการวิจัย

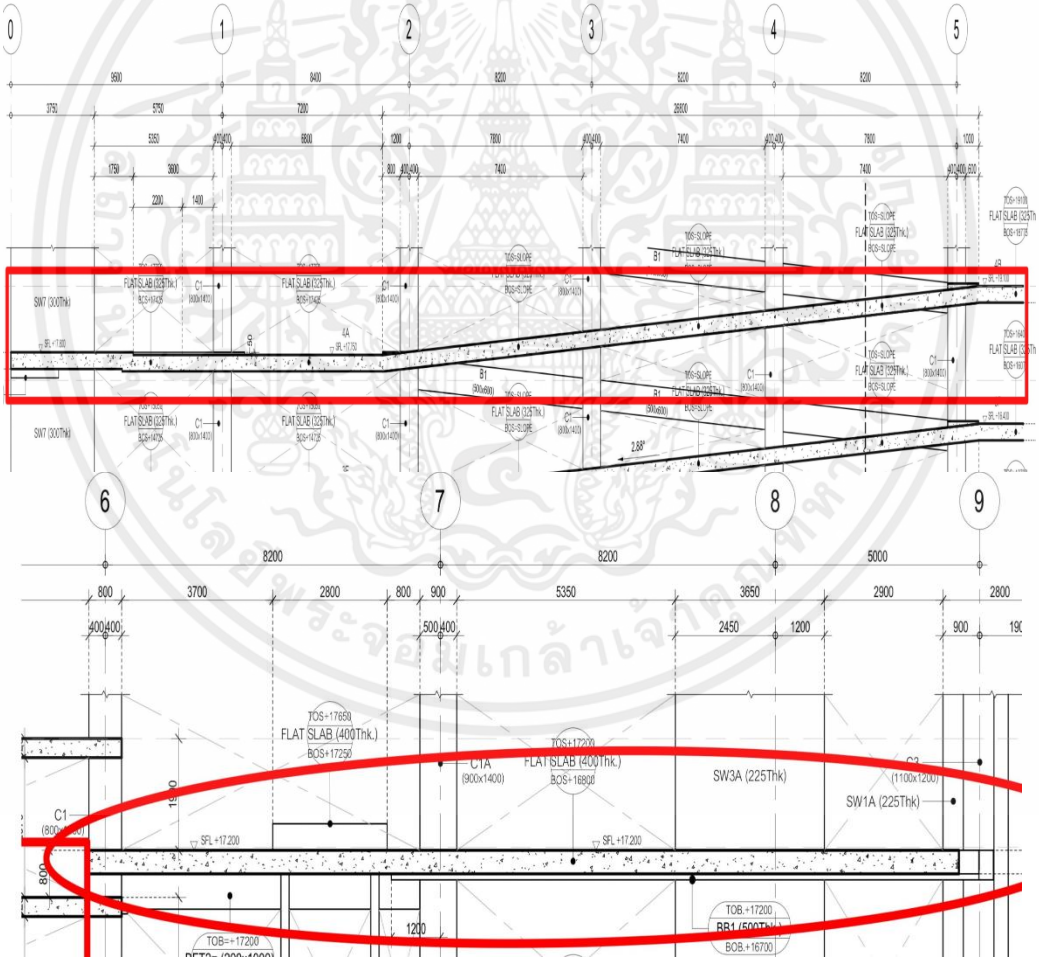
3.3.1 การสำรวจรอยแตกร้าวของพื้นคอนกรีต

ลงพื้นที่สำรวจรอยแตกร้าวด้วยสายตาทำการบันทึกรายละเอียด และถ่ายภาพ เช่น ตำแหน่ง ขนาดความกว้าง ความต่อเนื่องของรอยแตกร้าวและอื่นๆ ผู้วิจัยได้เข้าพื้นที่สำรวจหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของพื้นคอนกรีตภายในอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ โดยมีพื้นที่สำรวจ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แปลนแสดงโครงสร้างพื้นชั้นลานจอดรถ

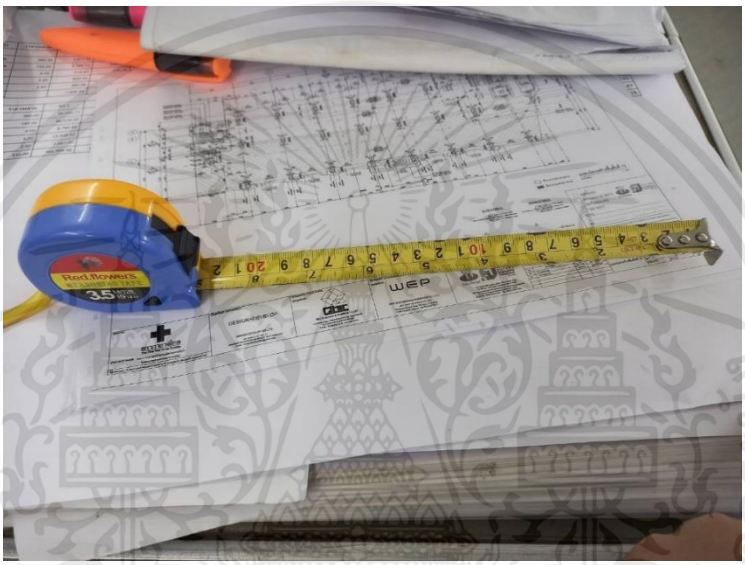


รูปที่ 3.3 แปลนแสดงรูปตัดพื้นคอนกรีต ชั้น ลานจอดรถ โดยระบุตำแหน่ง Grid line พื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เครื่องมือการวิจัย

สำรวจรอยร้าวโดยการวัดความกว้าง และความยาวของรอยแตกร้าว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถระบุระดับความรุนแรงแบ่งกลุ่มประเภทของรอยร้าว และอ้างอิงได้ชัดเจนมากขึ้นกว่าการตรวจแบบพินิจ โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความกว้าง ตลับเมตรวัดความยาว การเก็บข้อมูล รอยแตกร้าวทุกจุดภายในพื้นที่โครงสร้างพื้นชั้นลานจอดรถขั้นไป ในอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงาน ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสำรวจรอยร้าวทุกจุดภายในพื้นที่ ชั้นลานจอดรถ ในอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ โดยใช้แบบฟอร์มในการสำรวจสภาพการแตกร้าวของพื้นคอนกรีต



รูปที่ 3.4 ตลับเมตร เครื่องมือวัดความยาวรอยแตกร้าว

รูปที่ 3.5 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เครื่องมือวัดความกว้างรอยแตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานกาตรวจสอบสภาพการแตกร้าวของอาคาร

ชนิดโครงสร้าง พื้นเพดานคอนกรีต

ชื่อโครงการ อาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ

วันที่สำรวจ 1 กันยายน 2565 สำรวจครั้งที่ 1

ตำแหน่งสำรวจชั้นที่ 1 ตำแหน่งที่ 1

ขนาดพื้น กว้าง 8.4 ม. ยาว 12 ม. คอนกรีตฉาบหนา 30 ซม.

รูปแสดงการเกิดรอยแตกร้าว

ลักษณะการแตกร้าว

ชนิดของพื้น คอนกรีตหล่อในที่

ตำแหน่งรอยแตกร้าว ท้องพื้น

ทิศทางรอยแตกร้าว

หมายเหตุ _____

ระดับความเสียหายของพื้นเพดานคอนกรีต

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

รูปที่ 3.6 แบบฟอร์มในการสำรวจสภาพการแตกร้าวของพื้นคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ได้ จำเป็นที่ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาก่อน เพื่อที่จะนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ต่อไป ในบทที่ 3.4 นี้จะกล่าวถึงวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยนี้ ว่ามีขั้นตอนอย่างไร และมีข้อมูลใดบ้างที่จำเป็นต่องานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการจดบันทึกข้อมูลหน้างานอย่างละเอียด โดยมีแบบบันทึกข้อมูลรอยร้าวในแต่ละวันของโครงการ ดังรูปที่ 3.6
2. เมื่อจดบันทึกข้อมูลแล้ว วิศวกรภาคสนามจะนำข้อมูลดังกล่าวไปเขียนเป็น Report เก็บข้อมูลไว้ในจุดที่สำรวจในแต่ละวัน
3. รวบรวมข้อมูลที่บันทึกไว้เป็น Data ที่แยกข้อมูลในส่วน ความยาว ความกว้าง ตำแหน่ง ความต่อเนื่อง ความอันตราย ของรอยร้าว ในแต่ละโซน
4. นำค่าต่างๆที่เก็บข้อมูล มาวิเคราะห์เพื่อสังเกตกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆในแต่ละจุดที่ทำการสำรวจรอยร้าว
5. เมื่อได้ข้อมูลของพื้นแต่ละโซนที่สำรวจแล้วในขั้นตอนที่ 4 ให้นำข้อมูลที่มีทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่างมา Plot เป็นกราฟ เพื่อที่จะวิเคราะห์ผลของการสำรวจรอยร้าวที่พื้น

ข้อมูลที่ดีและน่าเชื่อถือนั้น ต้องทำการเก็บต่อเนื่องตลอดเวลา กล่าวคือต้องมีวิศวกรที่ทำการจดบันทึกการทำงานตลอดช่วงเวลาที่มีการดำเนินงานอยู่ ดังนั้นในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนี้ ไม่สามารถที่จะทำการจดบันทึกคนเดียวแล้วได้ข้อมูลครบถ้วนได้ เว้นแต่จะมีการใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือในการจดบันทึก เช่น กล้องขนาดเล็กที่ทำการบันทึกภาพการทำงานตลอดเวลา เป็นต้น

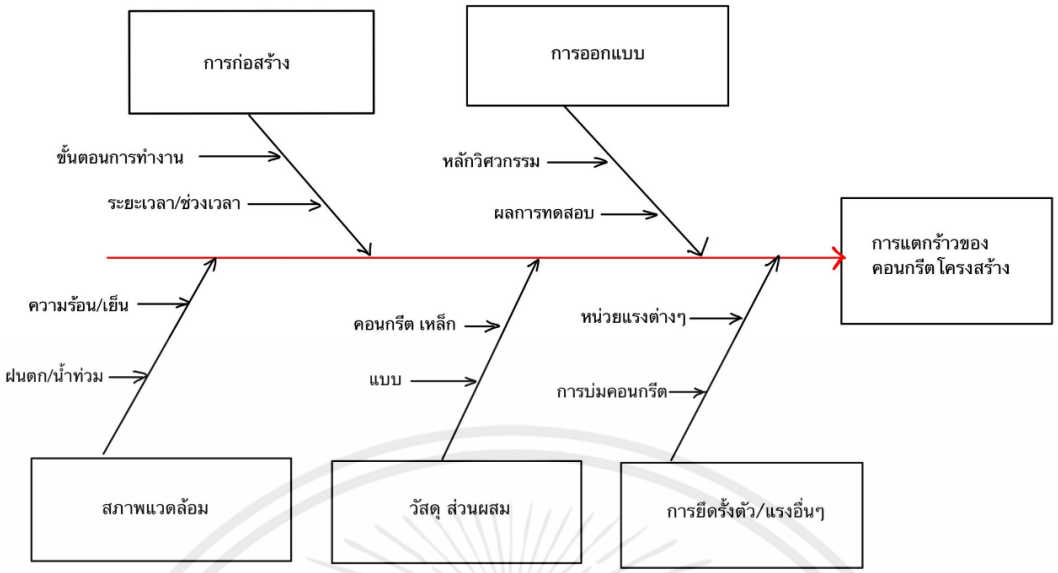
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาการแตกร้าว คือ การนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรอยแตกร้าวด้วยวิธีพินิจ ในการก่อสร้างอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ สภาพแวดล้อมขณะก่อสร้าง มาวิเคราะห์สาเหตุที่มาของปัญหาอย่างละเอียด แยกประเภทของรอยร้าว ตามหลักทฤษฎีลักษณะของรอยร้าว วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

3.5.1 สรุปข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรอยแตกร้าว

3.5.2 วิเคราะห์สาเหตุปัญหาจากข้อมูลทั้งหมดโดยใช้แผนภูมิก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของแผนผังแสดงเหตุและผลของการแตกร้าวคอนกรีต

3.6 แนวทางการแก้ไขปัญหารอยแตกร้าว

นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ และการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าว เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกวิธีการแก้ไขรอยร้าวที่เหมาะสมกับรอยร้าวแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

ขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนต่างๆ ของการศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น โครงการศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ ที่กล่าวถึงในบทที่ 3 ที่ผ่านมาได้ทำการวิจัยตามจุดประสงค์ที่ทางผู้วิจัยได้ตั้งไว้ซึ่งผลจากการวิจัยแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

4.1.1 ผลการสำรวจรอยแตกร้าว และการวัดรอยแตกร้าว

4.1.2 ผลการสำรวจขั้นตอนการทำงานและศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำการก่อสร้าง

4.1.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลทั้งหมด

4.1.4 ผลการสำรวจแนวทางการแก้ไขปัญหาการแตกร้าว

4.2 ผลการสำรวจรอยแตกร้าวและการวัดรอยแตกร้าว

การสำรวจรอยร้าวโดยการวัดความกว้าง และความยาวของรอยแตกร้าว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถระบุระดับความรุนแรงแบ่งกลุ่มประเภทของรอยร้าว และอ้างอิงได้ชัดเจนมากขึ้นกว่าการตรวจแบบพินิจ โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความกว้าง ตลับเมตรวัดความยาว ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลรอยแตกร้าวทุกจุดและการวัดรอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น สามารถแบ่งแยกตามพื้นที่ของโครงการ รอยแตกร้าวที่ตรวจพบออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อความสะดวกในการเทียบกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ พื้นชั้นลานจอดรถหน้าโครงการ รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวางแนวยาวและทแยงมุม โดยมีความยาวแต่ละด้านไม่เกิน 5 เมตร

กลุ่มที่ 2 คือ พื้นชั้นลานจอดรถหลังโครงการ รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวางแนวยาวและทแยงมุม โดยมีความยาวแต่ละด้านไม่เกิน 5 เมตร

กลุ่มที่ 3 คือ พื้นชั้นลานจอดรถที่เป็นทางขึ้นลง รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นเส้นอิสระยาว ตามแนวขวางของพื้นซึ่งอาจจะวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีลักษณะเส้นทอดยาวตามแนวขวาง และมีความยาวไม่เกิน 10 เมตร

กลุ่มที่ 4 คือ พื้นชั้นสำนักงานขึ้นไป รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉกเส้นอิสระยาว ตามแนวขวางของพื้นซึ่งอาจจะวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีลักษณะเส้นทอดยาวตามแนวขวาง และมีความยาวแต่ละด้านไม่เกิน 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 1

ลำดับ	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (ซม.)	ยาว (ม.)	
1	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
2	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
3	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.5	
4	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.1	
5	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.2	
6	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.4	
7	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	
8	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.2	
9	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.0	
10	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
11	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
12	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.3	
13	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.2	
14	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.4	
15	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.8	
16	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
17	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.1	
18	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.1	
19	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.8	
20	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.2	
21	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.5	
22	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.6	
23	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.4	
24	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.8	
25	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.6	
26	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.2	
27	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.8	
28	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
29	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

30	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
31	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.6	
32	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	
33	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
34	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.1	
35	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
36	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.8	
37	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.1	
38	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.2	
39	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.2	
40	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.5	
41	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
42	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
43	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
44	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.2	
45	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.6	
46	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
47	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	
48	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
49	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.8	
50	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.5	
51	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.6	
52	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.4	
53	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
54	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
55	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.6	
56	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.5	
57	ใต้ท้องพื้น	0.3	4.6	
58	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.2	
59	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
60	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	

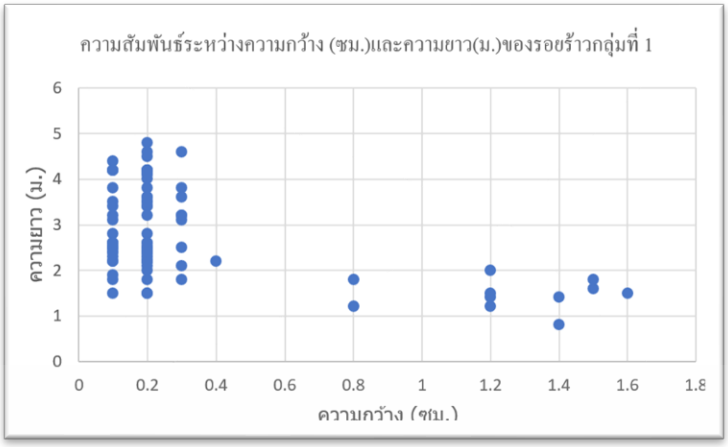
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

61	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.3	
62	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
63	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
64	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
65	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.2	
66	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.8	
67	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.2	
68	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.3	
69	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	
70	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
71	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.9	
72	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.0	
73	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.2	
74	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.5	
75	ใต้ท้องคาน	1.2	1.5	
76	ใต้ท้องคาน	1.4	1.4	
77	ใต้ท้องคาน	0.8	1.2	
78	ใต้ท้องคาน	1.5	1.8	
79	ใต้ท้องคาน	1.2	1.4	
80	ใต้ท้องคาน	1.2	2.0	
81	ใต้ท้องคาน	0.4	2.2	
82	ใต้ท้องคาน	1.5	1.6	
83	ใต้ท้องคาน	1.6	1.5	
84	ใต้ท้องคาน	0.8	1.8	
85	ใต้ท้องคาน	1.2	1.2	
86	ใต้ท้องคาน	1.4	0.8	

ตารางที่ 4.1 เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 ด้วยสายตาวัดความยาวด้วยตลับเมตร และวัดความกว้างด้วยรอยแตกร้าวด้วยเวอร์เนีย ทั้งหมด 86 รอย รอยที่กว้างที่สุด คือ 1.6 ซม. รอยที่กว้างน้อยที่สุด คือ 0.1 ซม. รอยที่สั้นที่สุดคือ ยาว 0.8 ม. รอยที่ยาวที่สุด ยาว 4.8 ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

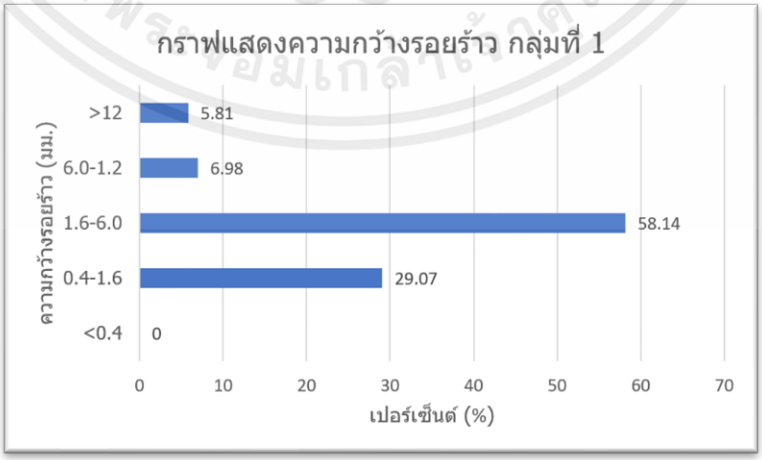


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1

ตารางที่ 4.2 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1

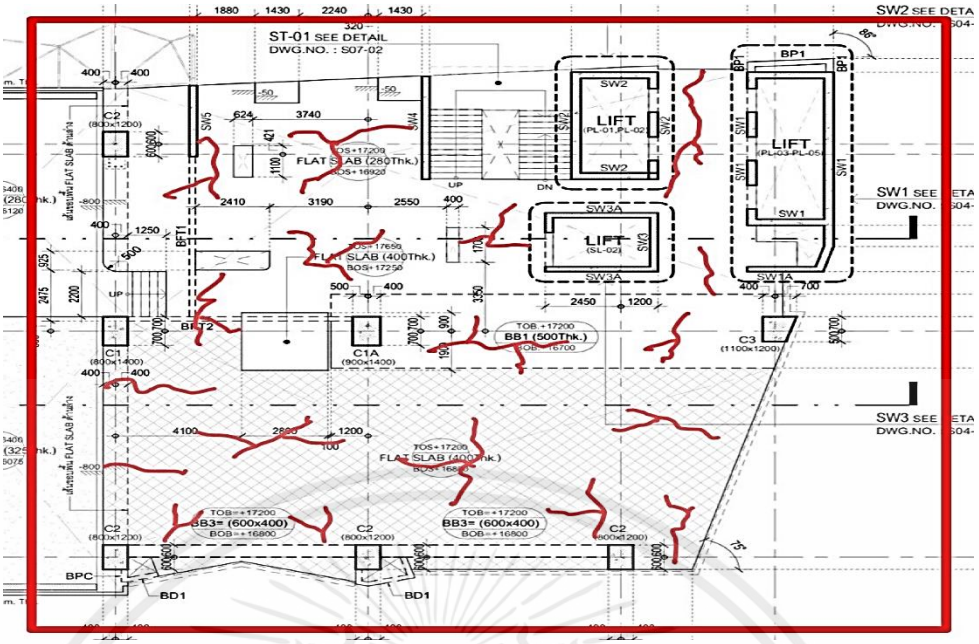
ลำดับ	ความกว้างรอยร้าว	จำนวน	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์(%)
1	ไม่เกิน 0.4 มม.	0	0
2	เกิน 0.4 มม.แต่ไม่เกิน 1.6 มม.	25	29.07
3	เกิน 1.6 มม. แต่ไม่เกิน 6.0 มม.	50	58.14
4	เกิน 6.0 มม. แต่ไม่เกิน 12.0 มม.	6	6.98
5	เกิน 12.0 มม.	5	5.81

จากข้อมูลการสำรวจความกว้างของรอยร้าวในกลุ่มที่ 1 จะสรุประดับความเสียหายของรอยแตกร้าวได้ว่า ระดับน้อยมาก คือ 0% ระดับน้อย คือ 29.7% ระดับปานกลาง คือ 58.14% ระดับมาก คือ 6.98% ระดับรุนแรง คือ 5.81%



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1

รูปที่ 4.3 แสดงภาพร่างรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 1 จากการสำรวจพบว่า รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นสามแฉกและเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวางแนวยาวและทแยงมุมขนาดเล็กกระจายทั่วไป และหนาแน่นช่วงขอบพื้นในขณะที่ช่วงกลางพื้นรอยแตกร้าวมีน้อยกระจายตัวห่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 2

ลำดับ	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (ซม.)	ยาว (ม.)	
1	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.0	
2	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
3	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
4	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	
5	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.2	
6	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
7	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
8	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
9	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
10	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
11	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
12	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

13	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.5	
14	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.4	
15	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
16	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
17	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
18	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
19	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.8	
20	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
21	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.5	
22	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
23	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.1	
24	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.6	
25	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
26	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.2	
27	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.8	
28	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
29	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.1	
30	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.5	
31	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.1	
32	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.2	
33	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
34	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.1	
35	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.5	
36	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
37	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.1	
38	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
39	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.2	
40	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
41	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
42	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
43	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.2	

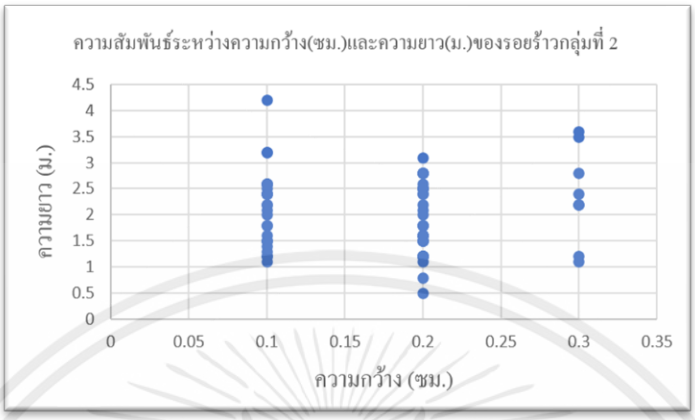
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

44	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
45	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.6	
46	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
47	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
48	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
49	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.8	
50	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
51	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
52	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.4	
53	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
54	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
55	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.6	
56	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
57	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
58	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.2	
59	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
60	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
61	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.3	
62	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.2	
63	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
64	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
65	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
66	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
67	ใต้ท้องคาน	0.3	1.1	
68	ใต้ท้องคาน	0.2	1.5	
69	ใต้ท้องคาน	0.2	2.0	
70	ใต้ท้องคาน	0.3	1.2	
71	ใต้ท้องคาน	0.2	0.5	
72	ใต้ท้องคาน	0.2	0.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 ด้วยสายตาวัดความยาวด้วยตลับเมตร และวัดความกว้างด้วยรอยแตกร้าวด้วยเวอร์เนีย ทั้งหมด 72 รอย รอยที่กว้างที่สุด คือ 0.3 ซม. รอยที่กว้างน้อยที่สุด คือ 0.1 ซม. รอยที่สั้นที่สุดคือ ยาว 0.5 ม. รอยที่ยาวที่สุด ยาว 4.2 ม.



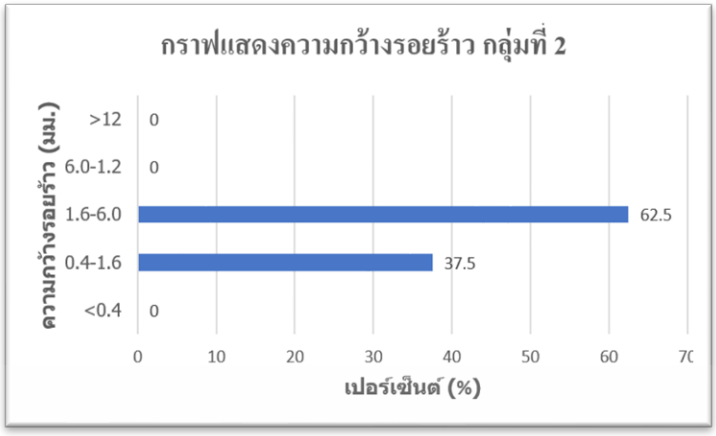
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2

ตารางที่ 4.4 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2

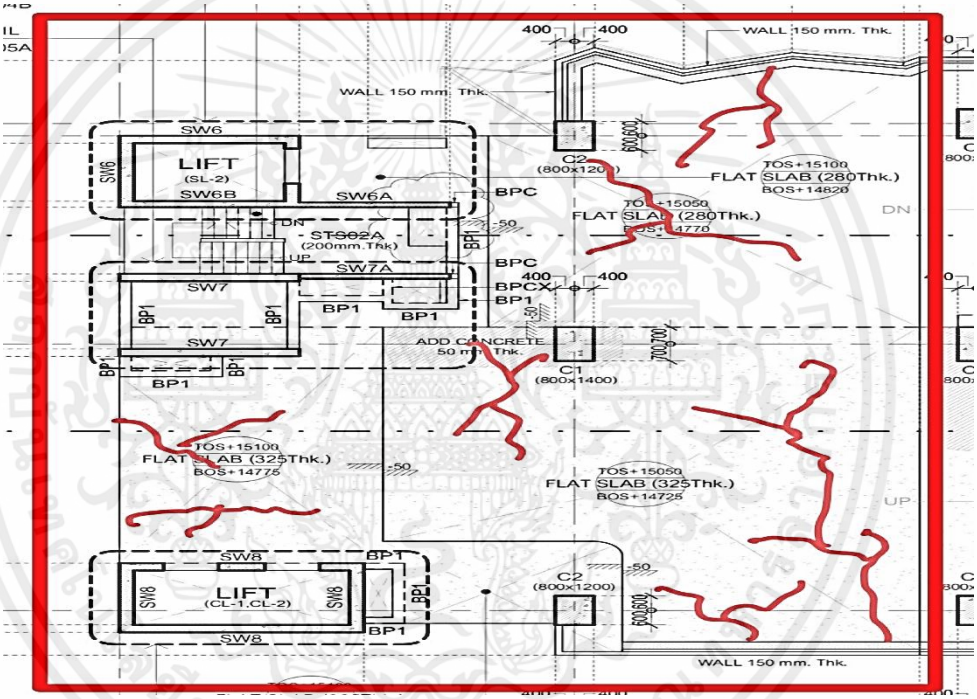
ลำดับ	ความกว้างรอยร้าว	จำนวน	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์(%)
1	ไม่เกิน 0.4 มม.	0	0
2	เกิน 0.4 มม.แต่ไม่เกิน 1.6 มม.	27	37.50
3	เกิน 1.6 มม. แต่ไม่เกิน 6.0 มม.	45	62.50
4	เกิน 6.0 มม. แต่ไม่เกิน 12.0 มม.	0	0
5	เกิน 12.0 มม.	0	0

จากข้อมูลการสำรวจความกว้างของรอยร้าวในกลุ่มที่ 2 จะสรุประดับความเสียหายของรอยแตกร้าวได้ว่า ระดับน้อยมาก คือ 0% ระดับน้อย คือ 37.50% ระดับปานกลาง คือ 62.50% ระดับมาก คือ 0% ระดับรุนแรง คือ 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2



รูปที่ 4.6 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2

รูปที่ 4.6 แสดงภาพร่างรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 2 จากการสำรวจพบว่า รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นสามแฉกและเส้นอิสระไม่มีแฉก เส้นส่วนใหญ่ตามแนวยาวและทแยงมุมขนาดเล็กกระจายทั่วไป และหนาแน่นช่วงขอบพื้นในขณะที่ช่วงกลางพื้นรอยแตกร้าวมีน้อยกระจายตัวห่าง ๆ และพบว่ารอยร้าวจะสั้นกว่าและน้อยกว่ากลุ่มที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 3

ลำดับ	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (ซม.)	ยาว (ม.)	
1	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
2	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.8	
3	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.1	
4	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.6	
5	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.2	
6	ใต้ท้องพื้น	0.1	8.5	
7	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.0	
8	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.6	
9	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.8	
10	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
11	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
12	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
13	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
14	ใต้ท้องพื้น	0.15	4.8	
15	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.8	
16	ใต้ท้องพื้น	0.15	2.6	
17	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.1	
18	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
19	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.5	
20	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.2	
21	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.8	
22	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	
23	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.4	
24	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.8	
25	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.6	
26	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.0	
27	ใต้ท้องพื้น	0.15	3.2	
28	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.4	
29	ใต้ท้องพื้น	0.1	5.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

30	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.5	
31	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.2	
32	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.5	
33	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.6	
34	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.8	
35	ใต้ท้องพื้น	0.15	6.2	
36	ใต้ท้องพื้น	0.1	6.3	
37	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.5	
38	ใต้ท้องพื้น	0.2	8.2	
39	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
40	ใต้ท้องพื้น	0.15	4.2	
41	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
42	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
43	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
44	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.1	
45	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.0	
46	ใต้ท้องพื้น	0.1	5.6	
47	ใต้ท้องพื้น	0.25	4.6	
48	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.4	
49	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.1	
50	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.3	
51	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.5	
52	ใต้ท้องพื้น	0.15	2.9	
53	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.1	
54	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.6	
55	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
56	ใต้ท้องพื้น	0.1	7.1	
57	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.2	
58	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
59	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.8	
60	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

61	ใต้ท้องพื้น	0.15	4.1	
62	ใต้ท้องพื้น	0.1	5.2	
63	ใต้ท้องพื้น	0.2	0.8	
64	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.2	
65	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.2	
66	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.4	
67	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.7	
68	ใต้ท้องพื้น	0.2	6.1	
69	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
70	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.4	
71	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.8	
72	ใต้ท้องพื้น	0.25	3.4	
73	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.6	
74	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
75	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
76	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.6	
77	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
78	ใต้ท้องพื้น	0.3	4.7	
79	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.4	
80	ใต้ท้องพื้น	0.1	6.2	
81	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.9	
82	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
83	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.8	
84	ใต้ท้องพื้น	0.2	0.5	
85	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.5	
86	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.4	
87	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.0	
88	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.8	
89	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.4	
90	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.6	
91	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

92	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
93	ใต้ท้องพื้น	0.1	8.2	
94	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.5	
95	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.6	
96	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.5	
97	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.9	
98	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.4	
99	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.0	
100	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
101	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.8	
102	ใต้ท้องพื้น	0.1	5.5	
103	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.5	
104	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
105	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.0	
106	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
107	ใต้ท้องพื้น	0.15	3.4	
108	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.2	
109	ใต้ท้องพื้น	0.1	6.6	
110	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.9	
111	ใต้ท้องพื้น	0.15	2.4	
112	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.6	
113	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.1	
114	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
115	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.5	
116	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
117	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
118	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.4	
119	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.2	
120	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.8	
121	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.5	
122	ใต้ท้องพื้น	0.1	0.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

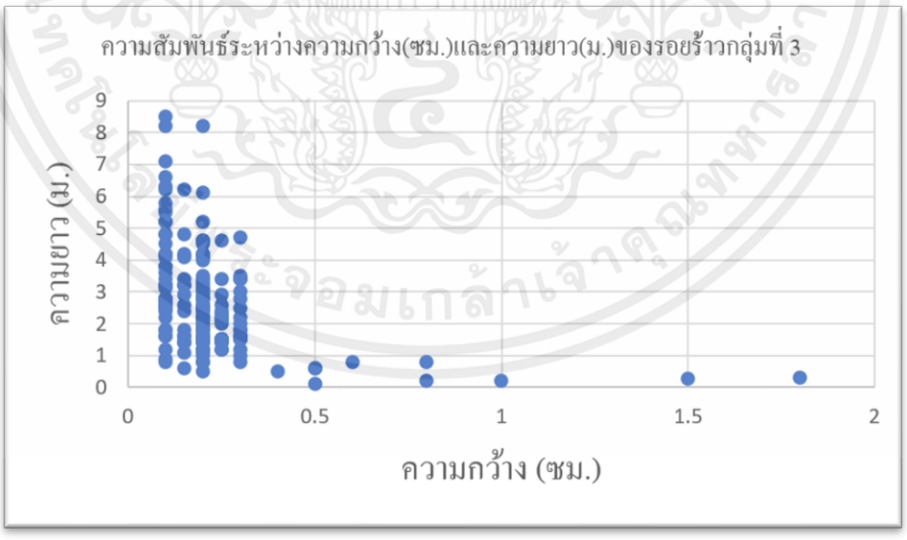
123	ใต้ท้องพื้น	0.15	0.6	
124	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.2	
125	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.4	
126	ใต้ท้องพื้น	0.1	0.9	
127	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.1	
128	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
129	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
130	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
131	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
132	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.6	
133	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.6	
134	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.2	
135	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
136	ใต้ท้องพื้น	0.15	3.2	
137	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.3	
138	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
139	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
140	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
141	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.2	
142	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.1	
143	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
144	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.4	
145	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.6	
146	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.2	
147	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.4	
148	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.8	
149	ใต้ท้องพื้น	0.1	5.2	
150	ใต้ท้องคาน	0.6	0.8	
151	ใต้ท้องคาน	0.4	0.5	
152	ใต้ท้องคาน	1.0	0.2	
153	ใต้ท้องคาน	0.5	0.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

154	ใต้ท้องคาน	0.2	0.8	
155	ใต้ท้องคาน	0.2	1.0	
156	ใต้ท้องคาน	0.3	0.8	
157	ใต้ท้องคาน	0.3	1.0	
158	ใต้ท้องคาน	0.2	1.2	
159	ใต้ท้องคาน	0.8	0.2	
160	ใต้ท้องคาน	0.5	0.1	
161	ใต้ท้องคาน	0.5	0.6	
162	ใต้ท้องคาน	0.8	0.8	
163	ใต้ท้องคาน	1.5	0.28	
164	ใต้ท้องคาน	1.8	0.3	

ตารางที่ 4.5 เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 ด้วยสายตาวัดความยาวด้วยตลับเมตร และวัดความกว้างด้วยรอยแตกร้าวด้วยเวอร์เนีย ทั้งหมด 164 รอย พบว่ารอยที่กว้างที่สุด คือ 22.0 ซม. รอยที่กว้างน้อยที่สุด คือ 0.1 ซม. รอยที่สั้นที่สุดคือ ยาว 0.1 ม. รอยที่ยาวที่สุด ยาว 8.5 ม.



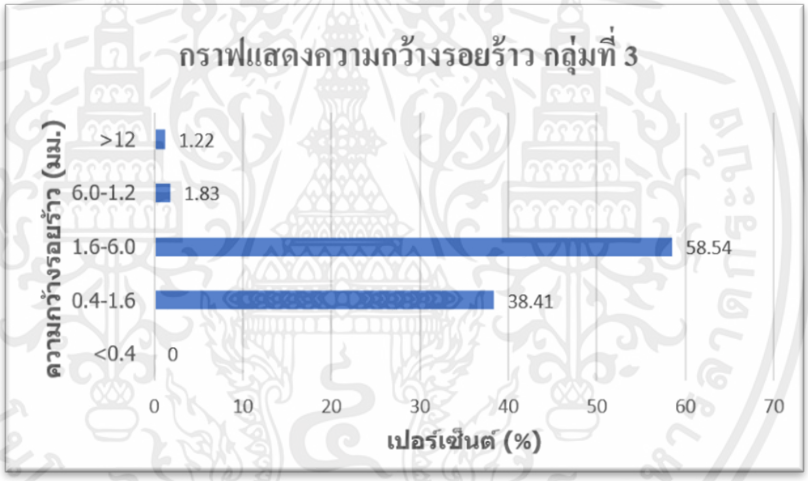
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3

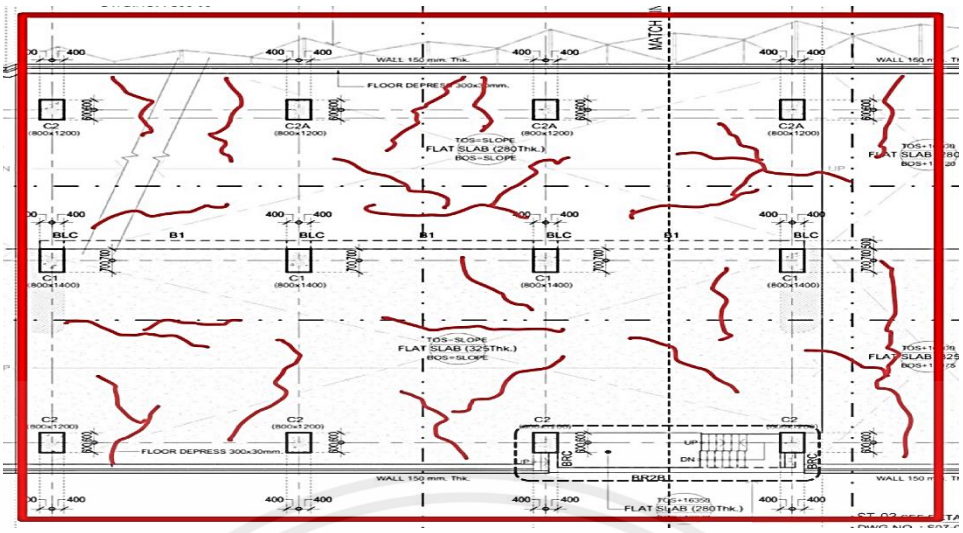
ลำดับ	ความกว้างรอยร้าว	จำนวน	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์(%)
1	ไม่เกิน 0.4 มม.	0	0
2	เกิน 0.4 มม.แต่ไม่เกิน 1.6 มม.	63	38.41
3	เกิน 1.6 มม. แต่ไม่เกิน 6.0 มม.	96	58.54
4	เกิน 6.0 มม. แต่ไม่เกิน 12.0 มม.	3	1.83
5	เกิน 12.0 มม.	2	1.22

จากข้อมูลการสำรวจความกว้างของรอยร้าวในกลุ่มที่ 3 จะสรุประดับความเสียหายของรอยแตกร้าวได้ว่า ระดับน้อยมาก คือ 0% ระดับน้อย คือ 38.41% ระดับปานกลาง คือ 58.54% ระดับมาก คือ 1.83% ระดับรุนแรง คือ 1.22%



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3

รูปที่ 4.9 แสดงภาพร่างรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 3 จากการสำรวจพบว่า รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นเส้นอิสระไม่มีแฉกวิ่งตามแนวขวางกระจายทั่วไป และวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง และหนาแน่นช่วงขอบพื้นในขณะที่ช่วงกลางพื้นรอยแตกร้าวมีน้อยกระจายตัวห่าง ๆ และพบว่ารอยร้าวจะยาวกว่าและมากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดรอยแตกร้าว กลุ่มที่ 4

ลำดับ	ตำแหน่ง	การวัดรอยร้าว		หมายเหตุ
		กว้าง (ซม.)	ยาว (ม.)	
1	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.6	
2	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.2	
3	ใต้ท้องพื้น	0.15	2.4	
4	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.6	
5	ใต้ท้องพื้น	0.15	2.3	
6	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
7	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.5	
8	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.2	
9	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
10	ใต้ท้องพื้น	0.2	3.0	
11	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
12	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.6	
13	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

14	ใต้ท้องพื้น	0.3	3.8	
15	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.2	
16	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
17	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.5	
18	ใต้ท้องพื้น	0.35	1.6	
19	ใต้ท้องพื้น	0.15	3.2	
20	ใต้ท้องพื้น	0.25	3.8	
21	ใต้ท้องพื้น	0.15	4.1	
22	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.7	
23	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.2	
24	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.4	
25	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.6	
26	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.8	
27	ใต้ท้องพื้น	0.15	4.0	
28	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.1	
29	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.5	
30	ใต้ท้องพื้น	0.25	4.3	
31	ใต้ท้องพื้น	0.15	2.5	
32	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.8	
33	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.1	
34	ใต้ท้องพื้น	0.3	4.0	
35	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.5	
36	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
37	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.2	
38	ใต้ท้องพื้น	0.1	5.6	
39	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.3	
40	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.2	
41	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.3	
42	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.9	
43	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.1	
44	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

45	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
46	ใต้ท้องพื้น	0.15	4.8	
47	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.6	
48	ใต้ท้องพื้น	0.25	4.5	
49	ใต้ท้องพื้น	0.15	2.5	
50	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.6	
51	ใต้ท้องพื้น	0.1	3.4	
52	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.5	
53	ใต้ท้องพื้น	0.3	5.2	
54	ใต้ท้องพื้น	0.25	4.9	
55	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.6	
56	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.8	
57	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.2	
58	ใต้ท้องพื้น	0.15	3.2	
59	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.3	
60	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.6	
61	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.6	
62	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.5	
63	ใต้ท้องพื้น	0.1	2.8	
64	ใต้ท้องพื้น	0.25	1.4	
65	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.4	
66	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.5	
67	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.4	
68	ใต้ท้องพื้น	0.35	3.6	
69	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.7	
70	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.8	
71	ใต้ท้องพื้น	0.15	0.8	
72	ใต้ท้องพื้น	0.1	1.4	
73	ใต้ท้องพื้น	0.1	0.6	
74	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.2	
75	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

76	ใต้ท้องพื้น	0.2	6.6	
77	ใต้ท้องพื้น	0.15	5.8	
78	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.7	
79	ใต้ท้องพื้น	0.35	1.4	
80	ใต้ท้องพื้น	0.2	0.2	
81	ใต้ท้องพื้น	0.3	4.9	
82	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.5	
83	ใต้ท้องพื้น	0.15	6.8	
84	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.5	
85	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.5	
86	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.4	
87	ใต้ท้องพื้น	0.25	3.2	
88	ใต้ท้องพื้น	0.3	2.0	
89	ใต้ท้องพื้น	0.15	1.2	
90	ใต้ท้องพื้น	0.2	1.0	
91	ใต้ท้องพื้น	0.1	7.1	
92	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.0	
93	ใต้ท้องพื้น	0.35	3.6	
94	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.1	
95	ใต้ท้องพื้น	0.2	2.8	
96	ใต้ท้องพื้น	0.3	1.6	
97	ใต้ท้องพื้น	0.1	4.8	
98	ใต้ท้องพื้น	0.2	5.5	
99	ใต้ท้องพื้น	0.25	2.5	
100	ใต้ท้องพื้น	0.2	4.6	
101	ใต้ท้องคาน	0.1	1.7	
102	ใต้ท้องคาน	0.1	1.5	
103	ใต้ท้องคาน	0.1	0.6	
104	ใต้ท้องคาน	0.2	1.1	
105	ใต้ท้องคาน	0.2	0.5	
106	ใต้ท้องคาน	0.1	0.6	

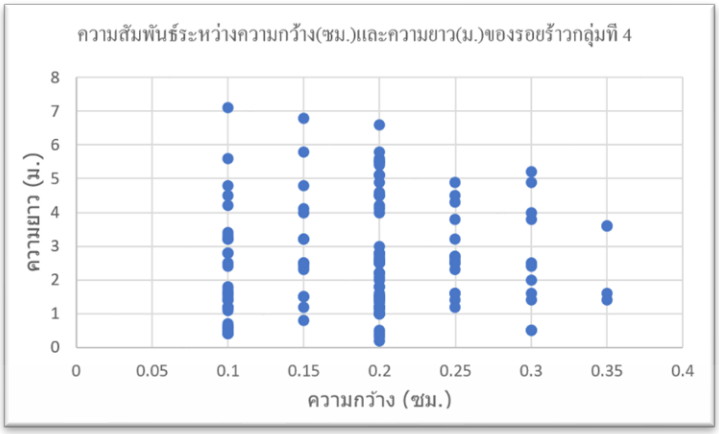
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

107	ใต้ท้องคาน	0.2	0.3	
108	ใต้ท้องคาน	0.2	1.0	
109	ใต้ท้องคาน	0.1	0.6	
110	ใต้ท้องคาน	0.1	1.2	
111	ใต้ท้องคาน	0.1	0.4	
112	ใต้ท้องคาน	0.2	1.5	
113	ใต้ท้องคาน	0.2	1.4	
114	ใต้ท้องคาน	0.3	0.5	
115	ใต้ท้องคาน	0.1	0.7	
116	ใต้ท้องคาน	0.1	1.1	
117	ใต้ท้องคาน	0.2	1.2	
118	ใต้ท้องคาน	0.2	1.8	
119	ใต้ท้องคาน	0.2	1.2	
120	ใต้ท้องคาน	0.3	0.5	
121	ใต้ท้องคาน	0.2	0.4	
122	ใต้ท้องคาน	0.1	0.5	
123	ใต้ท้องคาน	0.1	0.4	
124	ใต้ท้องคาน	0.1	1.4	
125	ใต้ท้องคาน	0.2	1.2	
126	ใต้ท้องคาน	0.1	0.6	
127	ใต้ท้องคาน	0.2	1.0	
128	ใต้ท้องคาน	0.2	1.4	
129	ใต้ท้องคาน	0.1	0.5	
130	ใต้ท้องคาน	0.1	0.4	

ตารางที่ 4.7 เป็นการสำรวจรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4 ด้วยสายตาวัดความยาวด้วยตลับเมตร และวัดความกว้างด้วยรอยแตกร้าวด้วยเวอร์เนีย ทั้งหมด 130 รอย พบว่ารอยที่กว้างที่สุด คือ 0.35 ซม. รอยที่กว้างน้อยที่สุด คือ 0.1 ซม. รอยที่สั้นที่สุดคือ ยาว 0.3 ม. รอยที่ยาวที่สุด ยาว 7.1 ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

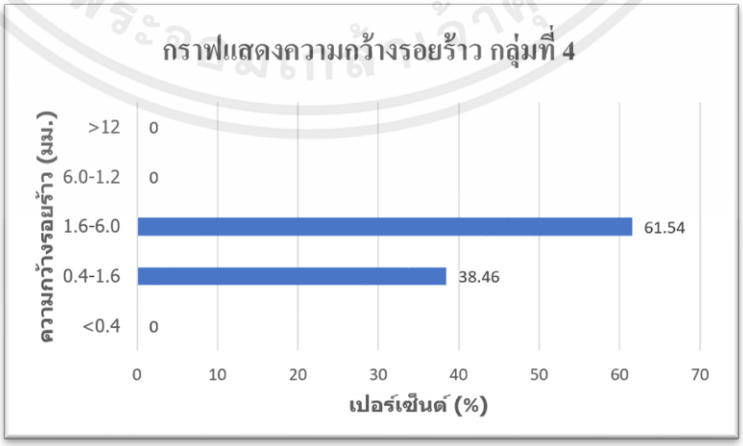


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4

ตารางที่ 4.8 ความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4

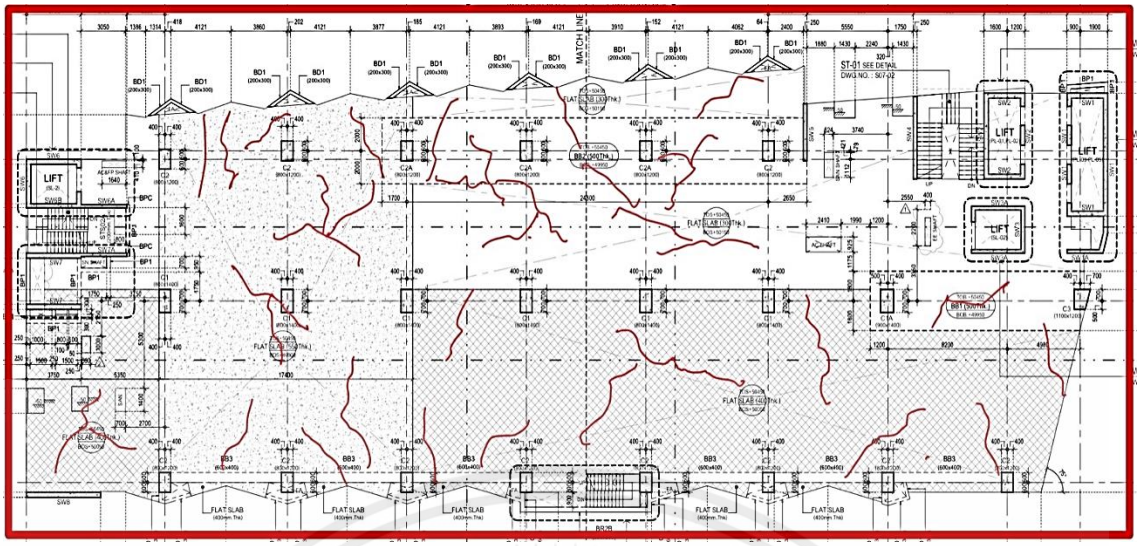
ลำดับ	ความกว้างรอยร้าว	จำนวน	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์(%)
1	ไม่เกิน 0.4 มม.	0	0
2	เกิน 0.4 มม.แต่ไม่เกิน 1.6 มม.	50	38.46
3	เกิน 1.6 มม. แต่ไม่เกิน 6.0 มม.	80	61.54
4	เกิน 6.0 มม. แต่ไม่เกิน 12.0 มม.	0	0
5	เกิน 12.0 มม.	0	0

จากข้อมูลการสำรวจความกว้างของรอยร้าวในกลุ่มที่ 4 จะสรุประดับความเสียหายของรอยแตกร้าวได้ว่า ระดับน้อยมาก คือ 0% ระดับน้อย คือ 38.46% ระดับปานกลาง คือ 61.54% ระดับมาก คือ 0% ระดับรุนแรง คือ 0%



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความกว้างของรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ระบุตำแหน่งรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4

รูปที่ 4.12 แสดงภาพร่างรอยแตกร้าวกลุ่มที่ 4 จากการสำรวจพบว่า รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นเส้นอิสระสามแฉกวิ่งตามแนวขวางกระจายทั่วไป และวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง และหนาแน่นช่วงขอบพื้นในขณะที่ช่วงกลางพื้นรอยแตกร้าวมีน้อยกระจายตัวห่าง ๆ และพบว่ารอยร้าวเกิดน้อยกว่าและรอยร้าวสั้นกว่าชั้นลานจอดรถ

4.3 ผลการสำรวจขั้นตอนการทำงานและศึกษาสภาพแวดล้อมขณะทำการก่อสร้าง

เป็นการรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมการทำการก่อสร้างจากรายงานการทำงานของ ผู้รับเหมา บริษัทที่ปรึกษาผู้ควบคุมงาน รายงานการประชุม รายงานปัญหาอุปสรรค จากภาพถ่าย และการสังเกตการทำงานหน้างานของผู้วิจัย ดังนี้

4.3.1 การตั้งนั่งร้านและรื้อนั่งร้านรับแรง

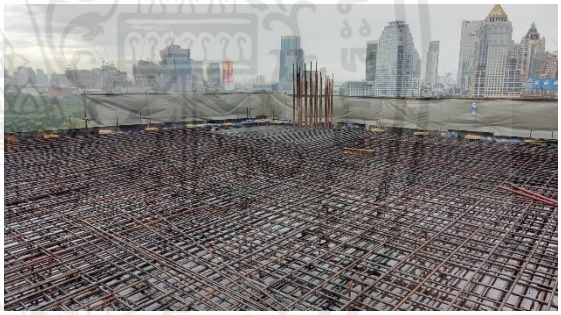
การตั้งนั่งร้านและการรื้อนั่งร้าน เป็นขั้นตอนการก่อสร้างที่มีความสำคัญในการทำงาน โดยการตั้งนั่งร้านผู้ออกแบบต้องมีรายการคำนวณการรับแรงที่สามารถรับแรงที่จะเกิดขึ้นในการก่อสร้างได้ ซึ่งทำการตั้งนั่งร้านตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ส่วนการรื้อนั่งร้านจะทำหลังการเทคอนกรีตพื้นแล้ว ควรจะรื้อหลังจากเทคอนกรีตอย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้คอนกรีตพัฒนากำลังตามหลักวิศวกรรม แต่เนื่องจากเร่งการทำงานจึงรีบรื้อนั่งร้านชั้นล่างเพื่อที่จะเอาไปใช้ต่อโดยทำการรื้อก่อน 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 การตั้งนั่งร้านรับแรง

4.3.2 การจัดวางเหล็กโครงสร้าง

การจัดวางเหล็กจะมีแบบไว้ให้เพื่อสามารถจัดวางได้ตามที่ผู้ออกแบบไว้ แต่ในการทำงานจริงสามารถจัดวางเหล็กให้สะดวกต่อการทำงานหน้างานได้ ซึ่งจากแบบเหล็กเสริมการวางเหล็กตามแบบทำให้การทำงานลำบากเนื่องจากมีเหล็กเยอะและมีการวางเหล็กที่ถี่มาก ทำให้มีปัญหาตอนเทคอนกรีตซึ่งการวางเหล็กถี่จะทำให้จี้ปูนได้ลำบากทำให้คอนกรีตไม่สามารถแทรกตัวลงไปเต็มพื้นที่ทำให้เกิดโพรงได้แล้วอาจทำให้เกิดปัญหาในภายหลัง



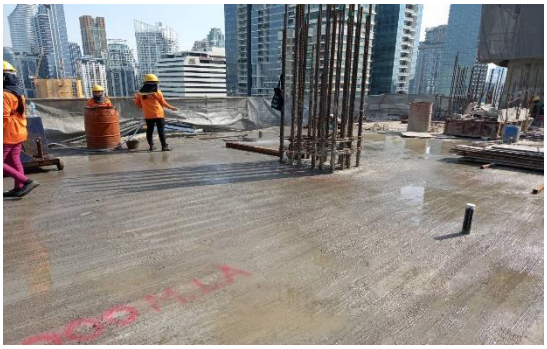
รูปที่ 4.14 การจัดวางเหล็กโครงสร้าง

4.3.3 การเทคอนกรีต การบ่มคอนกรีต

การเทคอนกรีตโครงสร้างพื้น (คอนกรีตเสริมเหล็ก) เหล็กเสริมสองชั้น คอนกรีตพื้นหนา 28 - 40 ซม.ได้ทำการแบ่งเททำให้มีรอยต่อของคอนกรีต เนื่องจากพื้นมีพื้นที่มากไม่สามารถเทเป็นผืนเดียวจบได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาคอนกรีตแบ่งแยกชั้นไม่ผสานกันเป็นเนื้อเดียวได้

การบ่มคอนกรีตได้ทำการบ่มตามหลักวิศวกรรม แต่อาจจะขาดความสม่ำเสมอของคนงาน ทำให้พื้นสูญเสียความชื้นเร็วเกินไป

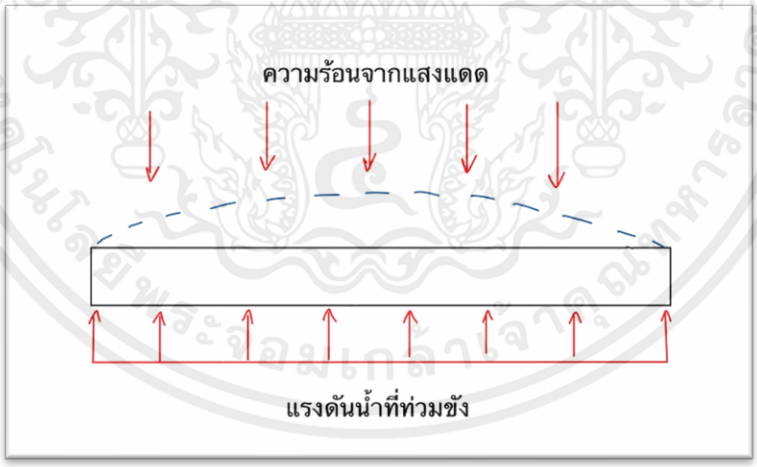
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การแบ่งเทคอนกรีตและการบ่มคอนกรีต

4.3.4 สภาพแวดล้อมขณะทำงาน

สภาพอากาศ(ความร้อนจากอากาศ) ในระหว่างการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตของพื้น เดือน สิงหาคม 2565 – พฤศจิกายน 2565 สภาพอากาศที่บริเวณหน้างานร้อนมากสลับฝนตกหนัก อุณหภูมิที่วัดหน้างาน ประมาณ 36-40 องศาเซลเซียส กลางคืนอุณหภูมิจะค่อนข้างเย็น 18-26 องศาเซลเซียส คอนกรีตเกิดการยืดหดตัว ดังนี้



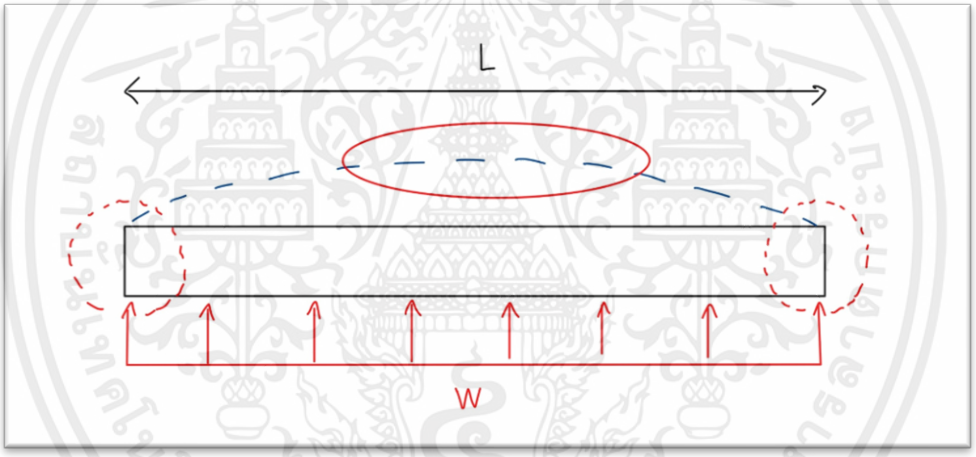
รูปที่ 4.16 จำลองความร้อน แรงยก ความยาว ความแข็งแรงพื้นมีผลกระทบต่อการแตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

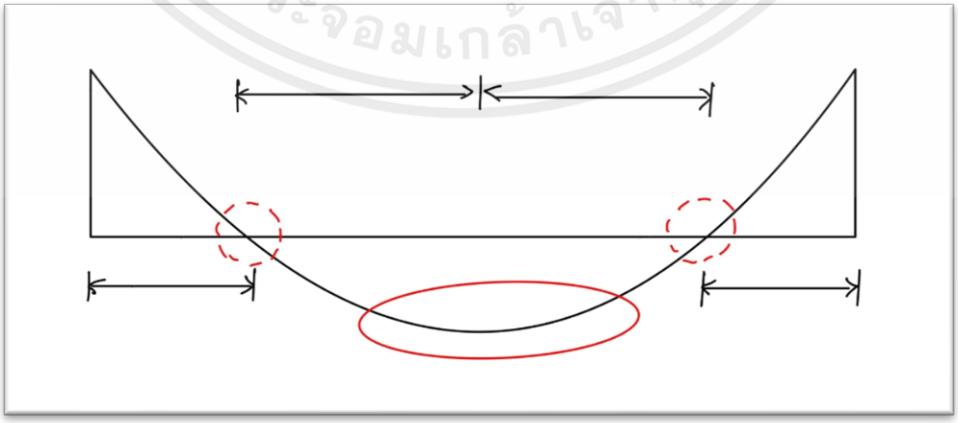
รูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อคอนกรีตได้รับความร้อนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้แผ่นคอนกรีตเกิดการหดตัว หรือขยายตัว เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุแข็งเปราะดังนั้นจึงแตกร้าวจากการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายซึ่งจะเกิดการยืดหดตัว ดังนี้

กลางวันอากาศร้อนจัดพื้นคอนกรีตด้านบนได้รับความร้อนเกิดการขยายตัวในขณะที่พื้นคอนกรีตด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้เกิดการยืดตัวไม่เท่ากันทำให้พื้นโก่งและแตกร้าวตั้งฉากกับ L แรงดันของน้ำที่ท่วมขัง W ความร้อนจากแสงแดด ส่วนมากจะเป็นช่วงกลางแผ่นพื้นที่โก่งและการเกิดแรงโก่งดัดนั้น ในกรณีที่พื้นมีความกว้างมากก็สามารถเกิดแรงดัดในลักษณะตั้งฉากกับแรงโก่งดัดที่เกิดขึ้นครั้งแรกได้ซึ่งทำให้เกิดรอยแตกร้าวในลักษณะตั้งฉากกับรอยแตกร้าวที่เกิดจากแรงโก่งดัดแรกได้

กลางคืนอากาศเย็นจะเกิดการหดตัวซึ่งการยืดตัวหดตัวสลับกัน (กลางวัน กลางคืน) จะเกิดการแตกร้าวใกล้กับจุดยึดรั้ง เช่น ขอบพื้นจากแรงดึงแรงบิด



รูปที่ 4.17 ลักษณะการเกิดแรงดัด และตำแหน่งที่จะเกิดรอยแตกร้าว



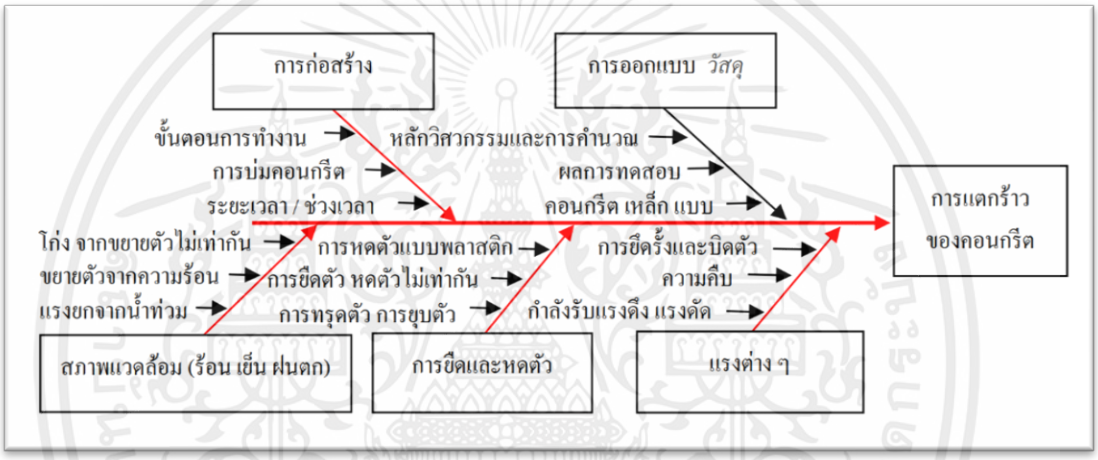
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงแรงดัดและตำแหน่งการเกิดรอยแตกร้าวจากแรงดัดและแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 กราฟแรงดัดที่กระทำต่อพื้นคอนกรีตที่ทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน และจะทำให้เกิดการแตกร้าวของพื้นคอนกรีตที่บริเวณช่วงกลางของแผ่นพื้น (วงรีสีแดงเส้นทึบ) โดยแนวแตกร้าวจะตั้งฉากกับแนวแรงดัด เมื่อกลางวันอากาศร้อนจัดพื้นคอนกกรีตด้านบนได้รับความร้อนเกิดการขยายตัวในขณะที่พื้นคอนกรีตด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้เกิดการยืดตัวไม่เท่ากันทำให้พื้นโก่งและแตกร้าวตั้งฉากกับแนวแรงดัดส่วนมากจะเป็นช่วงกลางแผ่นพื้นที่โก่ง

4.4 ผลการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการแตกร้าวจากข้อมูลทั้งหมด

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น (ข้อ 4.2 – 4.3) นำมาสู่การจัดแผนผังแสดงเหตุและผลเพื่อแจกแจงสาเหตุปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น



รูปที่ 4.19 การแจกแจงข้อมูลลงในแผนผังแสดงเหตุและผลปัญหาการแตกร้าว

รูปที่ 4.19 พบว่าปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตมาจากห้ากลุ่มปัจจัยเสี่ยง อาจจะเกิดขึ้นพร้อมกันหรือต่างเวลาทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกันหรือบางปัจจัยเสี่ยงอาจจะไม่เกิดขึ้นเลยก็ได้ เนื่องจากมีการตรวจสอบป้องกันได้ทัน เวลา จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดลูกศรสีแดงคือปัจจัยเสี่ยงที่เป็นสาเหตุของการแตกร้าวครั้งนี้จากข้อมูลดังกล่าวกำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = การออกแบบ

B = ขั้นตอนการก่อสร้าง

C = การหดตัวแบบพลาสติก

D = การทรุดหรือยุบตัวของคอนกรีต

E = การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง

F = การยึดรั้งและการบิดตัว

G = ความคืบของคอนกรีต

H = การยืดหดตัว จากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น)

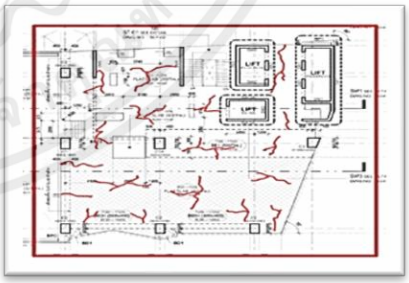
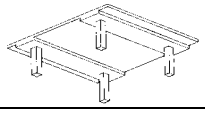
I = กำลังแรงดึงแรงดัดของคอนกรีต การแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาว

J = การเคลื่อนตัวของอาคาร

K = สนิมเหล็ก

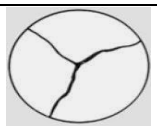
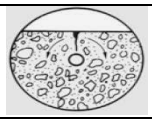
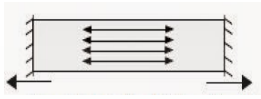
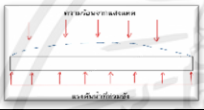
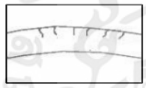
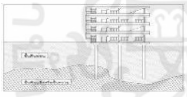
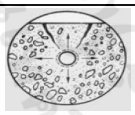
และกำหนดให้ความรุนแรงและผลกระทบ ระดับที่ 1 = น้อยมาก √ ระดับ 2 = น้อย √√ ระดับ 3 = ปานกลาง √√√ ระดับ 4 = มาก √√√√ ระดับ 5 = รุนแรง √√√√√ เมื่อนำข้อมูลรอยแตกร้าวทั้งหมดเปรียบเทียบกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 4.9 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 1

สาเหตุ / ปัจจัย กลุ่มที่		1	หมายเหตุ 
A			
B		√√√√	ไม่ได้บ่มคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอทำให้คอนกรีตสูญเสียความชื้น และ ไม่ได้กระจาย load ของที่วางไว้หลังเทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

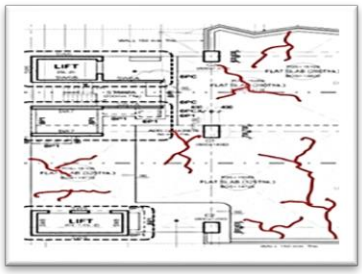
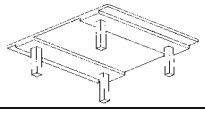
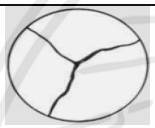
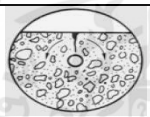
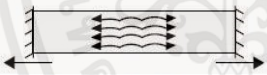
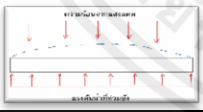
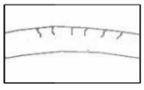
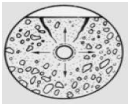
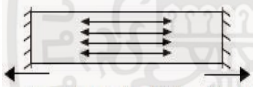
ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

C		√√√	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D		√	รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีตเมื่อตอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็ก
E		√√√	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง
F		√	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตผนังลิฟต์ เมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว
G		√	ความคืบทำให้รอยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาวและลึกมากขึ้น
H		√√√	ทำให้เกิดการขยายตัวด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่าเกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน
I			
J			
K			

ตารางที่ 4.9 พบว่า กลุ่มที่ 1 สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) ขั้นตอนการก่อสร้าง (C) การหดตัวแบบพลาสติก (D) การทรุดหรือยุบตัวของคอนกรีต (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว (G) ความคืบของคอนกรีต (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ซึ่งการบ่มคอนกรีตไม่สม่ำเสมอและไม่ได้กระจาย load คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้นกลุ่มที่ 1

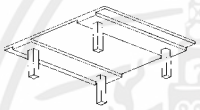
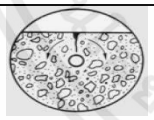
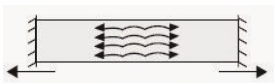
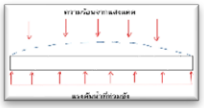
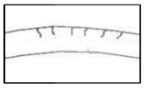
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 2

กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		2	หมายเหตุ 
A			
B		√√√√	ไม่ได้บ่มคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอทำให้คอนกรีตสูญเสียความชื้น และ ไม่ได้กระจาย load ของที่วางไว้หลังเทคอนกรีต
C		√√√	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D		√	รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีตเมื่อตอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็ก
E		√√√	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง
F		√	พื้นคอนกรีตถูกยึดรั้งโดยคอนกรีตผนังลิฟต์ เมื่อเกิดแรงบิดจึงเกิดการแตกร้าว
G		√	ความคืบทำให้ร้อยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาวและลึกมากขึ้น
H		√√√	ทำให้เกิดการขยายตัวด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่าเกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน
I			
J			
K			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

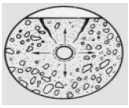
ตารางที่ 4.10 พบว่า กลุ่มที่ 2 สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) ขั้นตอนการก่อสร้าง (C) การหดตัวแบบพลาสติก (D) การทรุดหรือยุบตัวของคอนกรีต (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง (F) การยึดรั้งและการบิดตัว (G) ความคืบของคอนกรีต (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ซึ่งการบ่มคอนกรีตไม่สม่ำเสมอและไม่ได้กระจาย load คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้นกลุ่มที่ 2

ตารางที่ 4.11 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 3

สาเหตุ / ปัจจัย \ กลุ่มที่		3	หมายเหตุ
A			
B		√√√√√	ไม่ได้บ่มคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอทำให้คอนกรีตสูญเสียความชื้น และ ไม่ได้กระจาย load ของที่วางไว้ และรื้อนั่งร้านเร็วเกินไปหลังเทคอนกรีต และการจี้คอนกรีตไม่ได้เต็มปริมาตรจนเกิดโพรง
C		√√√	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D			
E		√√√	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง
F			
G		√	ความคืบทำใหร้อยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาวและลึกมากขึ้น
H		√√√	ทำให้เกิดการขยายตัวด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่าเกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน
I		√√	เกิดจากแรงดัดตามแนวยาวของพื้น ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวขวางของพื้น ตั้งฉากกับแรงดัด

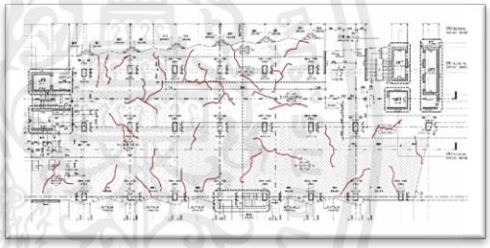
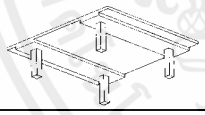
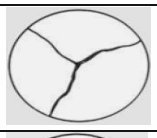
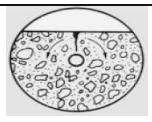
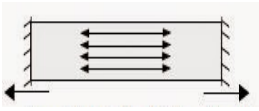
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

J			
K		√	สนิมเหล็กจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดันให้คอนกรีตแตกร้าวได้

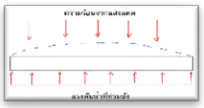
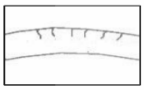
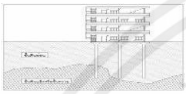
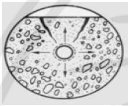
ตารางที่ 4.11 พบว่า กลุ่มที่ 3 สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) ขั้นตอนการก่อสร้าง (C) การหดตัวแบบพลาสติก (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง (G) ความคืบของคอนกรีต (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) (I) กำลังแรงดึงแรงดัดของคอนกรีต การแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาว (K) สนิมเหล็ก ซึ่งขั้นตอนการก่อสร้าง การบ่มคอนกรีตไม่สม่ำเสมอและไม่ได้กระจาย load จี้คอนกรีตไม่ดี รื้อนั่งร้านเร็ว คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้นกลุ่มที่ 3

ตารางที่ 4.12 สาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น กลุ่มที่ 4

กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย		4	หมายเหตุ 
A			
B		√√√	ไม่ได้บ่มคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอทำให้คอนกรีตสูญเสียความชื้น และรื้อนั่งร้านเร็วเกินไปหลังเทคอนกรีต และการจี้คอนกรีตไม่ได้เต็มปริมาตรจนเกิดโพรง
C		√√√	การหดตัวขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว
D			
E		√√√	เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

F			
G		√	ความคืบทำใหร้อยร้าวเกิดการขยายตัว กว้าง ยาวและลึกมากขึ้น
H		√√√	ทำให้เกิดการขยายตัวด้านบนร้อนแต่พื้นด้านล่างอุณหภูมิต่ำกว่าเกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน
I			
J			
K			

ตารางที่ 4.12 พบว่า กลุ่มที่ 4 สาเหตุการแตกร้าวมาจาก (B) ขั้นตอนการก่อสร้าง (C) การหดตัวแบบพลาสติก (E) การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง (G) ความคืบของคอนกรีต (H) การยืดหดตัวจากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) ซึ่งขั้นตอนการก่อสร้าง การบ่มคอนกรีตไม่สม่ำเสมอและ จี้คอนกรีตไม่ดี รื้อนั่งร้านเร็ว คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้นกลุ่มที่ 4

ตารางที่ 4.13 โอกาสการเกิดแตกร้าวของโครงสร้างพื้น

สาเหตุ / ปัจจัย	โอกาสเกิด (%)
A การออกแบบ	น้อยกว่า 1.0
B ขั้นตอนการก่อสร้าง	34.0
C การหดตัวแบบพลาสติก	15.0
D การทรุดหรือยุบตัวของคอนกรีต	2.6
E การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง	14.0
F การยืดรั้งและการบิดตัว	2.8
G ความคืบของคอนกรีต	10.0
H การยืดหดตัว จากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น)	14.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

I กำลังแรงดึงแรงดัดของคอนกรีต การแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาว	2.8
J การเคลื่อนตัวของอาคาร	2.2
K สนิมเหล็ก	2.5

ตารางที่ 4.13 จากการสำรวจและวิเคราะห์สาเหตุการเกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้น โครงการศูนย์วิจัยและนวัตกรรมบริการ พบว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการแตกร้าวบ่อยที่สุด 34% คือ ปัญหาขั้นตอนการก่อสร้างเนื่องจากความไม่ได้มาตรฐานในการทำงานโดยฝีมือมนุษย์เท่าที่ควร (Human Error) จึงเกิดปัญหาการแตกร้าวอยู่บ่อยครั้ง ถัดมาจะเป็นปัญหาทาง กายภาพ เคมี ของคอนกรีต และสภาพแวดล้อมเป็นพฤติกรรมธรรมชาติของคอนกรีตที่เกิดอยู่แล้ว 10-15% และปัญหาด้านวัสดุ อุปกรณ์ เป็นปัญหาที่เกิดน้อยที่สุดน้อยกว่า 3%

4.5 ผลการวิเคราะห์หาแนวทางการป้องกันปัญหาการแตกร้าว

จากการสำรวจรอยแตกร้าวที่พื้นคอนกรีตทั้ง 4 กลุ่ม สามารถแบ่งปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการแตกร้าวและวิธีป้องกันการเกิดรอยร้าวได้ ดังนี้

4.5.1 การออกแบบ

เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวไม่บ่อยนักเนื่องจากในขั้นตอนการออกแบบต้องผ่านการตรวจสอบจากหลายหน่วยงานโดยต้องมีมาตรฐานความปลอดภัยตามหลักวิชาชีพและตามหลักกฎหมายตรวจสอบมาก่อนที่จะกลายมาเป็นแบบให้เราสามารถทำการก่อสร้างได้ และในกรณีนี้วิศวกรได้มีการตรวจสอบทำการเคลียแบบกับผู้ออกแบบอยู่เสมอ ดังนั้นปัญหารอยร้าวที่จะเกิดจึงมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดจากขั้นตอนนี้ ดังนั้นแนวทางการป้องกัน คือ ผู้ออกแบบควรมีความตระหนักถึงความปลอดภัยของโครงการมาก่อนเป็นลำดับแรกเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดให้เกิดความเสียหายต่อตนเองและผู้อื่น และวิศวกรต้องทำการเคลียแบบให้เข้าใจกับผู้ออกแบบอยู่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง

ขั้นตอนการก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่มีลายละเอียดสำคัญมากในแต่ละขั้นตอน มีวิธีที่ได้มาตรฐานและได้รับการยอมรับซึ่ง วิศวกรจำเป็นที่จะต้องรู้วิธีการที่ถูกต้องในการทำงานต่างๆเพื่อจะได้นำมาควบคุมการทำงานของผู้รับเหมาได้เพื่อให้งานที่ออกมามีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าในขั้นตอนนี้พบปัญหาที่จะทำให้เกิดการแตกร้าวอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์สามารถจำแนกสาเหตุที่จะทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวและวิธีป้องกันได้ ดังนี้

4.5.2.1 การบ่มคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ

จากการสังเกตการณ์ทำงานพบว่า ในขั้นตอนการบ่มคอนกรีตหลังเทนั้นไม่ได้ทำการบ่มตามหลักทางวิศวกรรมอย่างที่ควร ซึ่งการบ่มคอนกรีตเป็นวิธีการที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยการป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตเร็วเกินไป ซึ่งการบ่มที่ดีจะส่งผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเมื่อเซตตัว เพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรง ทั้งยังช่วยเหล็กไม่เป็นสนิมได้ง่าย ดังนั้นแนวทางการป้องกัน คือ วิศวกรหรือโฟร์แมนควรคำนึงถึงวิธีการที่ถูกต้องของการทำงานและควบคุมดูแลให้เป็นไปตามหลักทางวิศวกรรม

4.5.2.2 การบรรทุกน้ำหนักเกินกว่าที่สามารถรับได้

หลังจากการเทคอนกรีตแล้วคอนกรีตที่เทยังไม่สามารถรับแรงตามที่ได้ออกแบบไว้ต้องรอให้คอนกรีตพัฒนากำลังจึงไม่ควรที่จะนำของมาวางมากเกินไปและไม่ควรวางกองไว้ในจุดๆเดียว ดังนั้นแนวทางการป้องกัน คือ หลังจากเทคอนกรีตสามรถนำของมาวางได้แต่ไม่ควรวางไว้ ณ จุดๆเดียวควรที่จะกระจายน้ำหนักที่พื้นจะได้รับไว้หลายจุด ดังนั้นวิศวกรหรือโฟร์แมนควรวางแผนจัดการให้พื้นโครงสร้างไม่รับน้ำหนักมากกเกินไปจากวัสดุอุปกรณ์การก่อสร้างต่างๆ

4.5.2.3 การจัดวางเหล็กโครงสร้างถี่เกินไป

การวางเหล็กจะมีแบบเหล็กเสริมมาให้เป็นแบบในการทำงาน ซึ่งกรณีนี้นั้นการจัดวางเหล็กจากแบบทำให้หน้างานตอนเทคอนกรีตอย่างมากมีปัญหาเนื่องจากการจัดวางเหล็กที่ถี่มากในหลายส่วนของโครงสร้างพื้นจึงทำให้มีปัญหาคอนกรีตไม่สามารถเซตตัวได้เต็มปริมาตรเนื่องจากไม่สามารถทำการจี้คอนกรีตให้ไหลลงเต็มแบบได้เพราะติดเหล็กโครงสร้างที่วางติดกันไว้ถี่มาก ดังนั้นแนวทางการป้องกัน คือ ทางวิศวกรสามารถเปลี่ยนการจัดวางเหล็กตามสภาพหน้างานตามหลักการทางวิศวกรรมและความปลอดภัยเพื่อให้สะดวกต่อการทำงาน เพื่อให้เนื้องานออกมามีประสิทธิภาพมากที่สุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.4 รื้อแบบเร็วเกินไป

เมื่อเทคอนกรีตลงในแบบหล่อแล้ว คอนกรีตก็จะเริ่มก่อตัวภายใน 24 ชั่วโมงแรกนี้ จึงต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการกระทบกระเทือนใดๆ กับโครงสร้างส่วนนั้นโดยเด็ดขาดการเทคอนกรีตนั้น สำหรับการถอดแบบหล่อส่วนโครงสร้างท้องพื้น จะถอดออกไม่ได้จนกว่าจะครบกำหนดเวลาหลังจากการเทคอนกรีตแล้วอย่างน้อย 7 วัน และหลังจากรื้อแบบแล้วควรตั้งนั่งร้านค้ำยันรับท้องพื้นไว้อยู่ซึ่งจากการสังเกตพบว่ามีการรื้อแบบหล่อท้องพื้นเร็วกว่าที่ควรจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวที่ท้องพื้นบ่อยครั้ง ดังนั้นแนวทางการป้องกัน คือ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการแตกร้าวตามมาวิศวกรควรควบคุมการรื้อแบบให้รอครบกำหนดอย่างน้อย 7 วัน เท่าที่ควรตามหลักวิศวกรรมหรือถ้าจะรื้อเร็วกว่านี้ควรตรวจสอบผลค่ารับกำลังคอนกรีตที่เทว่าพัฒนากำลังมากพอแล้วจึงรื้อได้

4.5.3 ปัญหาทาง กายภาพ เคมี ของคอนกรีตเนื่องจากสภาพแวดล้อม

ปัญหาที่เกิดจากพฤติกรรมของคอนกรีตเป็นปัญหาที่จะทำให้เกิดการแตกร้าว เช่น การยืดหดตัวเป็นปัญหาป้องกันการเกิดได้ยากแต่สามารถควบคุมให้เกิดน้อยที่สุดได้โดยการทำงานที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ดังนั้นแนวทางการป้องกัน คือ วิศวกรหรือโฟร์แมนควรควบคุมการทำงานของผู้รับเหมาให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

4.5.4 ปัญหาวัสดุ อุปกรณ์ การก่อสร้างเสื่อมสภาพ

เป็นปัญหาที่เกิดได้น้อยเนื่องจากทางบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างไม่ต้องการให้งานออกไม่ได้มาตรฐานจึงคำนึงถึงวัสดุผลิตภัณฑ์และอุปกรณ์ก่อสร้างให้มีคุณภาพเสมอและต้องได้มาตรฐานรับรองจึงจะนำมาใช้ทำการก่อสร้างได้ ซึ่งปัญหาที่เคยพบยกตัวอย่างเช่น เหล็กเสื่อมภาพเกิดสนิม คอนกรีตหมดอายุ สามารถป้องกันได้โดย สนิมเหล็กหากเป็นสนิมผิวไม่ควรใช้แปรงขัดเพราะการขัดจะทำให้เนื้อเหล็กหายแต่สนิมยังอยู่แล้วจะทำให้สนิมเข้าไปกินเนื้อเหล็กแทนควรเคลือบด้วยวัสดุป้องกันสนิมแทน ส่วนคอนกรีตหมดอายุนั้นทางวิศวกรต้องคอยเช็คเวลาคอนกรีตหมดอายุหากหมดอายุแล้วไม่ควรใช้เทต่อให้สั่งคอนกรีตใหม่มาแทน

4.5.5 การซ่อมแซมการแตกร้าวคอนกรีต

การซ่อมรอยร้าวคอนกรีตด้วยการฉีด Epoxy สามารถทำได้ดังนี้

1. ยิงน๊อตไว้ตามรอยร้าวห่างกันประมาณ 25-50 ซม. ไว้ยิง Epoxy เข้ารู

2. ฉาบ Epoxy ปิดแนวรอยร้าวก่อนทิ้งไว้ประมาณ 7 ชม.

3. ยิง Epoxy เข้ารูในน๊อตที่ติดตั้งไว้จากนั้นขัดผิว Epoxy ให้เรียบแล้วฉาบปูนปิดตามผิวเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเล่มนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ สามารถหาสาเหตุของปัญหาการแตกร้าวของโครงสร้างพื้น RC Flat Slab ของโครงการศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการได้ และสามารถหาวิธีป้องกันอย่างมีประสิทธิภาพตามหลักวิศวกรรมเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการแตกร้าวที่ซึ่งจะนำความเสียหายมาในภายหลังซ้ำ โดยผลการสำรวจพบว่ารอยแตกร้าวที่ปรากฏตั้งแต่ขั้นตอนการสำรวจและการวัดรอยแตกร้าวแล้วทำการวิเคราะห์สาเหตุการแตกร้าวจาก ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและความสัมพันธ์ต่างๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น

กลุ่มที่ / สาเหตุ / ปัจจัย	1	2	3	4
การออกแบบ				
ขั้นตอนการก่อสร้าง	√√√√	√√√√	√√√√√	√√√√
การหดตัวแบบพลาสติก	√√√	√√√	√√√	√√√
การทรุดหรือยุบตัวของคอนกรีต	√	√		
การหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง	√√√	√√√	√√√	√√√
การยึดรั้งและการบิดตัว	√	√		
ความคืบของคอนกรีต	√	√	√	√
การยืดหดตัว จากการสัมผัสอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น)	√√√	√√√	√√√	√√√
กำลังแรงดึงแรงดัดของคอนกรีต การแอ่นตัว โก่งตัวโดยทันทีและระยะยาว			√√	
การเคลื่อนตัวของอาคาร				
สนิมเหล็ก			√	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางสรุปสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้นโดยกำหนดให้ความรุนแรงที่เกิดสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวต่างๆ เครื่องหมายถูก √ คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าวระดับน้อยมาก √√ คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าว ระดับน้อย √√√ คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าวระดับปานกลาง √√√√ คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าวระดับมาก √√√√√ คือระดับความรุนแรงและผลกระทบจากสาเหตุการแตกร้าวระดับรุนแรง ดังตารางที่ 5.1 และจากผลกาศึกษาวิจัยรอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างพื้น ดังที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดสามารถสรุป ได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ พื้นชั้นลานจอดรถหน้าโครงการ รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวางแนวยาวและทแยงมุมและความกว้างกับความยาวรอยร้าวไม่มากนัก ความรุนแรงของการแตกร้าวไม่มาก ซึ่งการบ่มคอนกรีตไม่สม่ำเสมอและไม่ได้กระจาย load วางของหลังเทคอนกรีต คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้น แนวทางการป้องกัน คือ หลังจากเทคอนกรีตสามรถนำของมาวางได้แต่ไม่ควรวางไว้ ณ จุดๆเดียวควรที่จะกระจายน้ำหนักที่พื้นจะได้รับไว้หลายจุดวิศวกรหรือโฟร์แมนควรคำนึงถึงวิธีการที่ถูกต้องของการทำงานและควบคุมดูแลให้เป็นไปตามหลักทางวิศวกรรม

กลุ่มที่ 2 คือ พื้นชั้นลานจอดรถหลังโครงการ รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉก และเส้นอิสระไม่มีแฉก มีทั้งเส้นตามแนวขวางแนวยาวและทแยงมุมและความกว้างกับความยาวรอยร้าวไม่มากนัก ความรุนแรงของการแตกร้าวไม่มาก ซึ่งการไม่ได้กระจาย load วางของหลังเทคอนกรีต คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้น แนวทางการป้องกัน คือ หลังจากเทคอนกรีตสามรถนำของมาวางได้แต่ไม่ควรวางไว้ ณ จุดๆเดียวควรที่จะกระจายน้ำหนักที่พื้นจะได้รับไว้หลายจุดวิศวกรหรือโฟร์แมนควรคำนึงถึงวิธีการที่ถูกต้องของการทำงานและควบคุมดูแลให้เป็นไปตามหลักทางวิศวกรรม

กลุ่มที่ 3 คือ พื้นชั้นลานจอดรถที่เป็นทางขึ้นลง รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นเส้นอิสระยาว ตามแนวขวางของพื้นซึ่งอาจจะวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีลักษณะเส้นทอดยาวตามแนวขวาง ความรุนแรงของการแตกร้าวเสียหายเยอะเป็นกลุ่มที่เกิดรอยร้าวและความกว้างกับความยาวรอยร้าวมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ซึ่งขั้นตอนการก่อสร้างการรื้อนั่งร้านเร็วเกิน คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้น แนวทางการป้องกัน คือ ควบคุมการรื้อแบบให้รอครบกำหนดอย่างน้อย 7 วัน เท่าที่ควรตามหลักวิศวกรรมหรือถ้าจะรื้อเร็วกว่านี้ควรตรวจสอบผลค่ารับกำลังคอนกรีตที่เทว่าพัฒนากำลังมากพอแล้วจึงรื้อได้

กลุ่มที่ 4 คือ พื้นชั้นสำนักงานขึ้นไป รอยแตกร้าวที่มีลักษณะเป็นสามแฉกเส้นอิสระยาว ตามแนวขวางของพื้นซึ่งอาจจะวิ่งมาบรรจบเป็นสามแยกที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีลักษณะเส้นทอดยาวตามแนวขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรุนแรงของการแตกร้าวไม่มากเท่ากลุ่มที่ 3 เนื่องจากในขั้นตอนการทำงานได้ควบคุมดูแลอย่างละเอียดมากขึ้นเพราะได้พบปัญหาเกิดการแตกร้าวมาจากชั้นล่าง ซึ่งขั้นตอนการก่อสร้างการจี้คอนกรีตไม่ดี รื้อนั่งร้านเร็ว คือปัจจัยหลักทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างพื้น แนวทางการป้องกัน คือ สามารถเปลี่ยนการจัดวางเหล็กตามสภาพหน้างานตามหลักการทางวิศวกรรมและความปลอดภัยเพื่อให้สะดวกต่อการทำงานเวลาเทปูนและควบคุมการรื้อแบบให้รอครบกำหนดอย่างน้อย 7 วัน

จากผลการวิจัยสามารถสรุปสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดรอยร้าวได้ดังนี้ ปัญหาหลัก คือ ขั้นตอนการทำงานไม่ได้ทำตามหลักการทางวิศวกรรมเท่าที่ควรจึงก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าว บ่อยของโครงการนี้สามารถลดปัญหาโดยการทำงานให้ถูกต้องตามมาตรฐาน รองลงมา คือ พฤติกรรมของคอนกรีตซึ่งสามารถป้องกันได้โดยขั้นตอนที่ได้มาตรฐาน สุดท้ายปัญหาวัสดุเสื่อมสภาพเป็นสาเหตุที่เกิดการแตกร้าวน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1. การใช้ผลการวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางในการทำงาน ต้องมีลักษณะการก่อสร้างตรงกับเงื่อนไข / ขอบเขตการวิจัย
2. ค่าที่บันทึกเป็นข้อมูลที่เก็บโดยตัวผู้วิจัยเองครั้งเดียวไม่ได้มีการเช็ครอยร้าวเดิมซ้ำซึ่งหากมีการร้าวเพิ่มเติมจะทำให้ผลการวิจัยระดับความเสียหายของกลุ่มตัวอย่างอาจเปลี่ยนแปลงได้

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรตรวจสอบรอยร้าวให้ละเอียดมากขึ้นโดยตรวจสอบความลึกรอยร้าวโดยการเจาะสำรวจเก็บชิ้นตัวอย่างคอนกรีต และคำนึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากขึ้น
2. ควรศึกษากลุ่มตัวอย่างรอยร้าวให้หลากหลายเพื่อให้ทราบพฤติกรรมการร้าวที่ละเอียดมากขึ้น
3. ควรตรวจเช็ครอยร้าวที่เกิดเป็นระยะๆ ว่าเป็นมีการร้าวเพิ่มเติมหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

GEL. ระบบพื้นไร้คาน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : ระบบพื้นไร้คาน – General Engineering Public Company Limited (gel.co.th) [วันที่ 10 กันยายน 2565]

Tum Civil. คู่มือการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : RcFlatSlab.cdr (tumcivil.com) [วันที่ 22 กันยายน 2565]

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์. (2546). คู่มือเทคนิคการตรวจสอบอาคารเพื่อความปลอดภัย ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร.

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

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

ธเนศ วีระศิริ. (2560). การแก้ไขอาคารทรุด การยกและการย้ายอาคาร. ประชุมวิชาการการแก้ไขอาคารทรุดและเทคนิคการยกอาคารที่ทรุดเอียง ณ โรแมน ติค ปากช่อง นครราชสีมา.

ณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์. (2558). การประเมินอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างของสะพานคอนกรีตของ กรมทางหลวงชนบท.กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

PST Group. การซ่อมพื้นและผนังคอนกรีต. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : Ko_Troubleshooting_6.pdf (pstgroup.biz) [วันที่ 2 พฤศจิกายน 2565]

ACI 224R-90 (1990) : *Control of Cracking in Concrete Structures*, American Concrete Institute.

Mongkol Jirawacharadet (2559). *Reinforced Concrete Design*. ม.ป.ป. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://xn.--12cfn5csu9and2eb2ali6g9d.blogspot.com/2014/11/blog-post_14.html [วันที่ 9 พฤศจิกายน 2565]

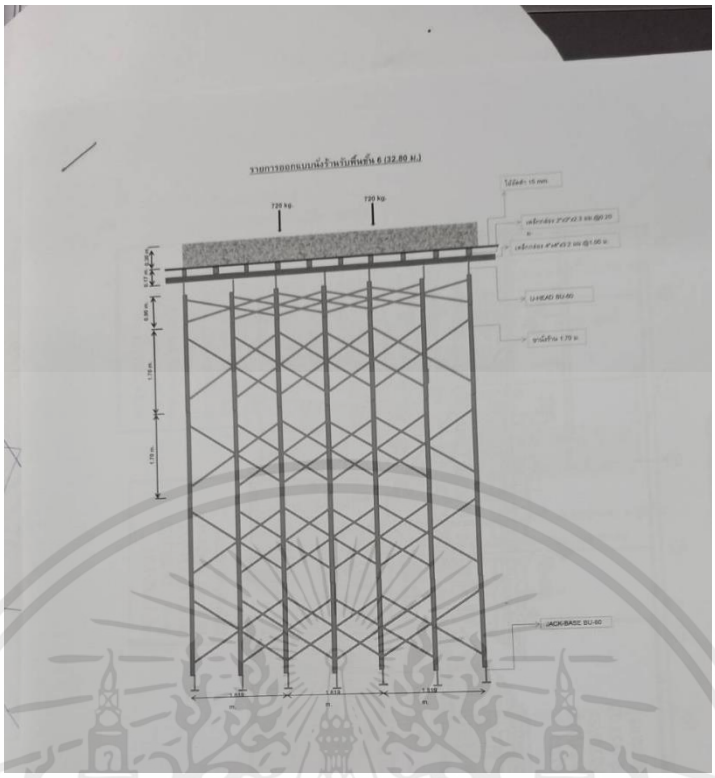
CPAC. (2000). *Concrete Technology CPAC*. [Online]. แหล่งที่มา : www.sut.ac.th. [วันที่ 12 พฤศจิกายน 2565]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการก่อสร้างพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 รูปแบบการตั้งนั่งร้านรับพื้น

1.1 ข้อมูลการออกแบบ
- ระยะวางหาดของไม้อัด = 0.30 ม
1.2 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อนั่งร้าน
- น้ำหนักบรรทุก = 245 kg/m^2
- น้ำหนักบรรทุกตายตัว = 2,400 x 0.30 = 720 kg/m^2 (ใช้หน่วยน้ำหนักคอนกรีต 2,400 kg/m^3)
- น้ำหนักของตัวนั่งร้าน , U - Head = 50 kg/m^2
รวมน้ำหนักที่กระทำต่อนั่งร้านทั้งหมด = 245+720+50(18) = 1,865 kg/m^2 > 450 kg/m^2
1.3 หาความหนาของไม้อัดรองแผ่นพื้น(จากตารางไม้อัด)
- เลือกใช้ไม้อัดความหนา 3/4 นิ้ว หรือ 15 mm.
1.4 ตรวจสอบระยะห่างที่ยอมให้ของคงที่รองรับไม้อัดขนาดที่เลือก
- ระยะห่างของคงที่รองรับไม้อัดเนื่องจากผลของการดัด
Fb = M/S ; S = 0.455 in^3 (7.46 cm^3)
Fb = (WL^2)/(10S) Fb = 1545 psi. (108.62 ksc.)
L = 3.16$\sqrt{}$(SFb/W)
L = 3.16$\sqrt{}$((7.46x108.62)/(1,865/100))x1.1 = 22.91 cm. (ใช้ระยะห่างคง = 20 cm.)
ดังนั้น น้ำหนักที่กระทำต่อคงแต่ละตัว = WA = 1,865x(20/100) = 373 กก./ม.
เลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 50 x 50 x2.3 mm.
Ix=15.9 cm^4 ,Sx=6.34 cm^3 ,As=4.252 cm^2 ,หนัก = 3.04 kg/m.
- ระยะห่างของคานที่รองรับคงเนื่องจากผลของการดัด
Fb = M/S
Fb = (WL2)/(10S)
L = 3.16$\sqrt{}$(SFb/W)
L = 3.16$\sqrt{}$((6.34x2,450))/(1,865/100))x1.1 = 100.31 cm. (ใช้ระยะห่างคาน = 100 cm.)
เลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 100 x 100 x3.2 mn
1.5 หาน้ำหนักที่ลงนั่งร้าน
- พื้นที่ที่นั่งร้านรับน้ำหนัก = 1.2 x 1.8 = 2.16 ตร.ม.
- น้ำหนักที่กระทำต่อขานั่งร้าน = 2.16 x 1,865 = 4,028.40 kg < 5,000 kg OK.
MAXIMUM LEG LOADS(Safety Factor = 2)
2,500 kg. per leg - Fame A - 1217B , A - 1217A , A-917A (นั่งร้านสูง 1.70 ม)
2,250 kg. per leg - Fame A - 1219 (นั่งร้านสูง 1.90 ม.)
1,750 kg. per leg - Fame A - 717S , A - 617S

รูปที่ ก.2 รายการคำนวณการตั้งนั่งร้านรับพื้น

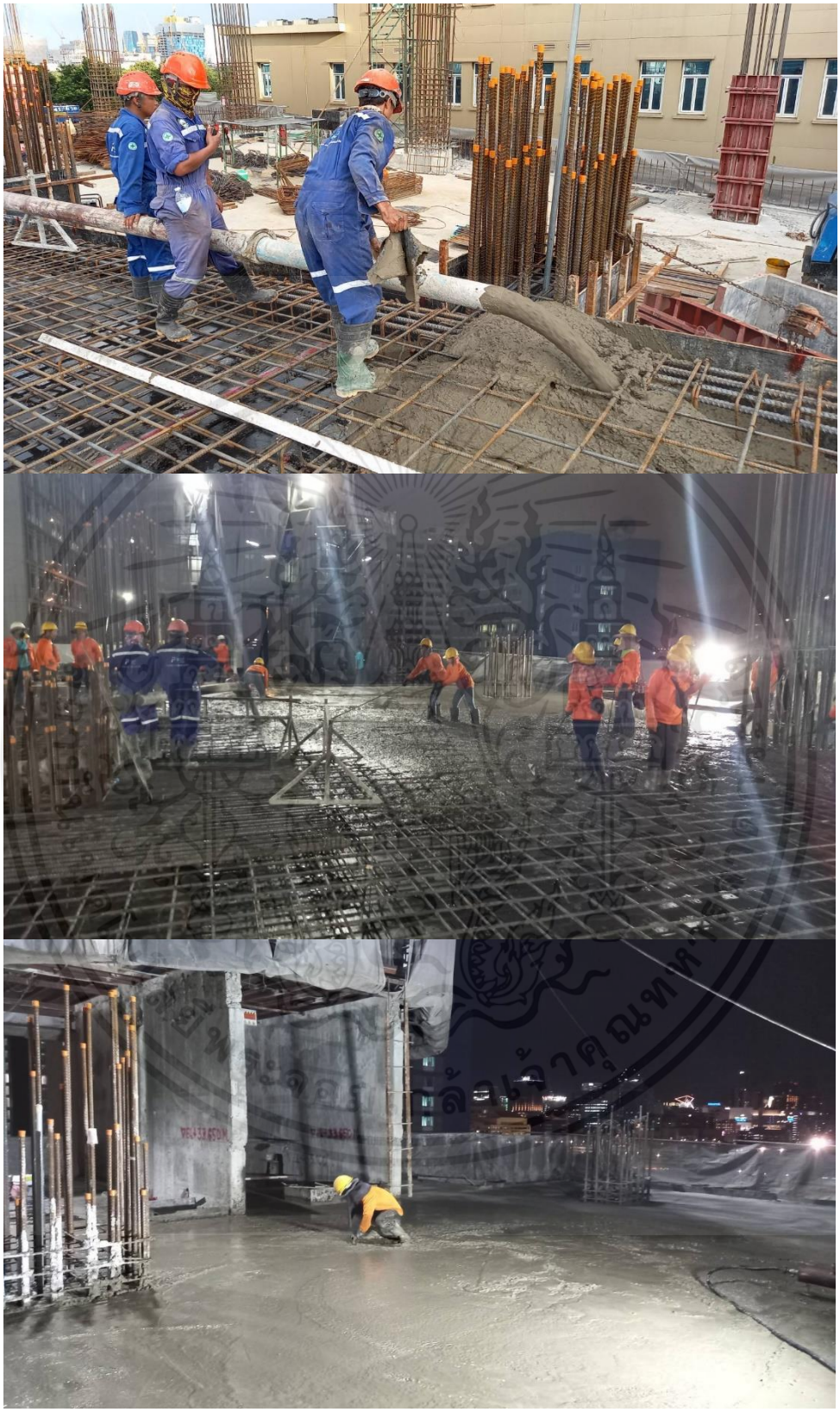
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.3 การตั้งนั่งร้านรับพื้นหน้างาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.4 การจัดวางเหล็กโครงสร้างพื้นหน้างาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

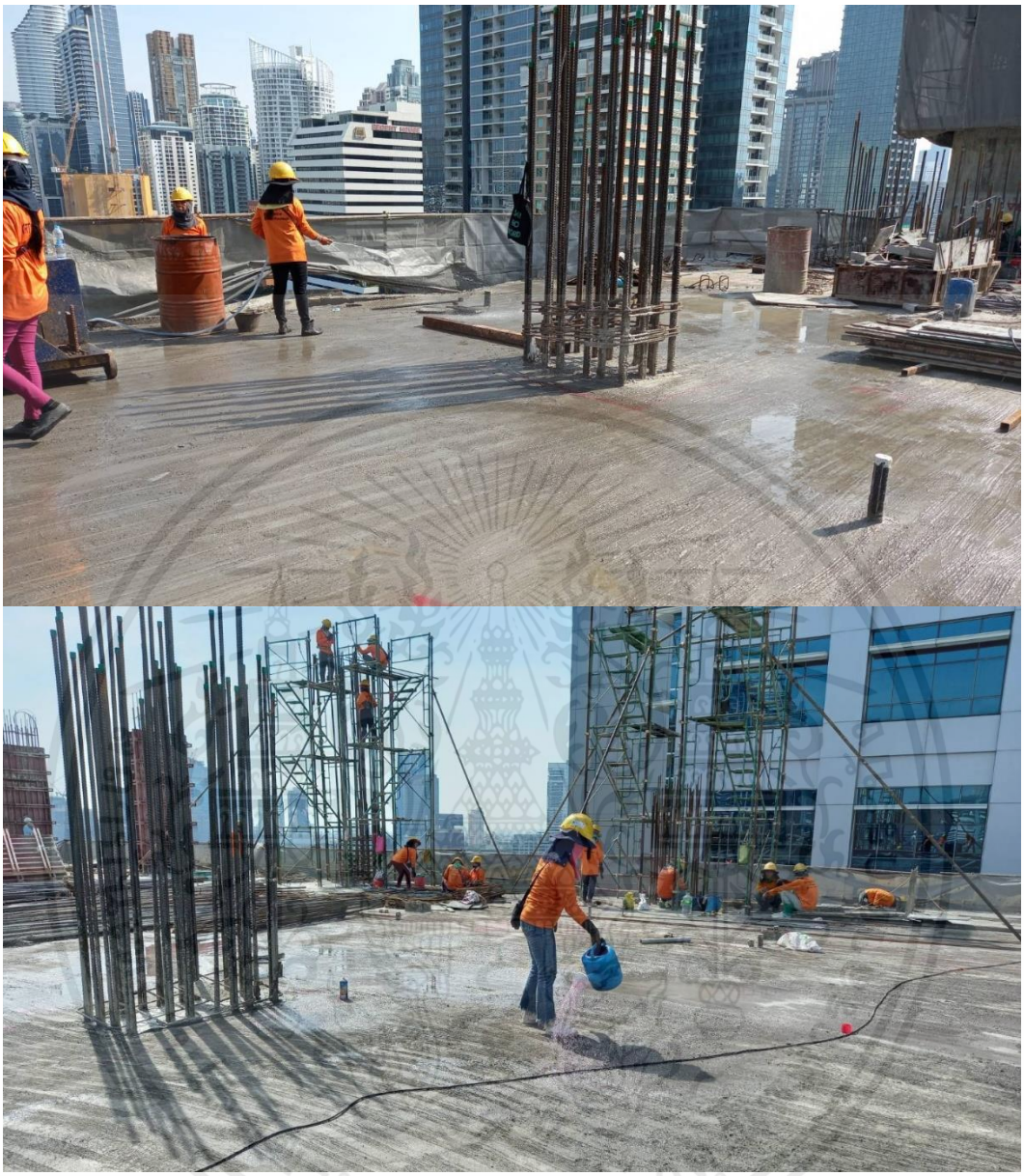


รูปที่ ก.5 การเทคอนกรีตพื้นหน้างาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.6 พื้นหลังเทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 บ่มน้ำหลังเทคอนกรีตพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การแตกร้าวของคอนกรีตและการซ่อมแซมโครงสร้างพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.1 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.2 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.4 การแตกร้าวคอนกรีตพื้นกลุ่มที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.5 การซ่อมแซมรอยร้าวด้วยการฉีด Epoxy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การตรวจสอบงานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.1 ตรวจสอบการทรุดตัวของคอนกรีตพื้น

รูปที่ ค.2 ตรวจสอบระดับของพื้นหลังเทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นายกีรติ มาลัยมาตย์ รหัสนักศึกษา 62010069 ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้เข้าร่วมเข้าฝึกงานสหกิจศึกษา ปีการศึกษา 2565 กับบริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำในวงการก่อสร้าง ได้รับเหมาติดตั้งงานระบบวิศวกรรมและรับเหมางานก่อสร้าง ของโครงการอาคารศูนย์วิจัยและนวัตกรรมงานบริการ โรงพยาบาลจุฬารงกรณ์สภากาชาดไทย โดยบริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) ได้ให้โอกาสผู้วิจัยทำวิจัยโครงงานสหกิจศึกษา ทางบริษัทได้มอบหมายงานในตำแหน่งผู้ช่วย Site Engineer มีหน้าที่ควบคุมงานก่อสร้างในส่วนงานโครงสร้าง และมีหน้าที่ตรวจสอบความเรียบร้อยสมบูรณ์ของงาน ถือเป็นประสบการณ์การทำงานที่ดีครั้งหนึ่งในชีวิตของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าหวังว่างานวิจัย การวิเคราะห์และแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Analysis and Solve the Cracking Problem of RC Flat Slab) ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้สนใจ ไม่ว่าจะเป็นนักศึกษา ผู้ประกอบการ หรือผู้ที่ต้องการนำไปศึกษาต่อ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่มากก็น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้