



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาหาความเหมาะสมการติดตั้งแผงพลังงานอาทิตย์
ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ

The Suitability Study of Solar Cell

at Rajamangala University of Technology Krugthep Bangkok Technical Area



ผู้วิจัย

นาย รัตนศักดิ์ หงษ์ทอง

นาย อภัย เบ็ญจพงศ์

นาย ธรรมมา เจียรธรวานิช

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2559

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้คงสำเร็จลุล่วงลงด้วยดีไม่ได้หากขาดการสนับสนุนจากบุคคลหรือหน่วยงานต่าง ๆ ต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ หน่วยงานที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2559

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

กองคลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษา ให้กำลังใจและเข้าใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัย จนกระทั่งผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยสำเร็จลงได้



บทคัดย่อ

ปัจจุบันการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในอาคารและบ้านเรือน ทั้งนี้หากมีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารที่เริ่มมีการชำรุดทรุดโทรมจะต้องคำนึงถึงกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างก่อนการติดตั้ง เนื่องจากในอดีตวิศวกรไม่ได้คำนึงถึงการรับน้ำหนักของชั้นดาดฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และอีกหนึ่งปัญหাবริเวณชั้นดาดฟ้าเป็นส่วนที่มีผลกระทบจากสภาพแวดล้อม เช่น แดด ฝน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะมีผลทำให้คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพส่งผลให้เกิดรอยร้าวและนำไปสู่การเกิดสนิมภายในเหล็กเสริมทำให้กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวมลดลง

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินความเสียหายของโครงสร้างและการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคาร ประสิทธิภาพพื้นดาดฟ้าอาคารจำนวน 7 หลัง ประกอบไปด้วยอาคาร 2/2 19 35 36 48 50 และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา ในพื้นที่เทคนิคกรุงเทพ งานวิจัยนี้เริ่มจากการสำรวจเบื้องต้นด้วยตาเปล่า หลังจากนั้นจะกำหนดกลุ่มเป้าหมายและทำการทดสอบแบบไม่ทำลาย เช่น การทดสอบกำลังอัดประลัย ความสมบูรณ์ของคอนกรีต และ กำลังการผลิตที่ได้จากการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

จากผลการศึกษาพบว่า รอยร้าวของอาคารทุกอาคารมีรอยร้าวเกินมาตรฐาน ACI 224R-01 และมาตรฐาน วสท. ทั้งนี้ในงานวิจัยได้เลือกอาคาร 19 และ อาคารคณะศิลปศาสตร์ มาประเมินกำลังรับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าเพื่อรองรับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากอาคารดังกล่าวมีอายุมากและมีรอยร้าวเฉลี่ยมากที่สุดในขณะเดียวกันกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตของตึก 19 มีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 225.19 กก./ซม.² นำมาใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักพบว่าพื้นดาดฟ้าอาคาร 19 และ อาคารศิลปศาสตร์สามารถรับน้ำหนักแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างปลอดภัย ซึ่งหากมีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ชั้นดาดฟ้าที่ทำการศึกษพบว่าหากติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU ทั้งหมดในอาคารทั้ง 7 อาคารจะใช้เครื่องปรับอากาศทั้งหมด 55 เครื่อง ซึ่งสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าได้ทั้งหมด 292,215 บาท โดยประมาณ

Abstract

Nowadays, installation of photovoltaics cells is widely used in both buildings and houses. However, carrying capacity of building structure should be considered before installing photovoltaics cells at nearly damaged buildings. In the past, engineers did not consider carrying capacity of rooftop for photovoltaics cells. Another problem is that rooftop produces effect on the environment including sunlight, rain and carbon dioxide, bringing about concrete deterioration, cracks and rust on fabricated steel. As a result, carrying capacity of the total structure decreases.

This research aimed to evaluate damage and deterioration of reinforced concrete structure of 7 buildings consisting of Building No. 2/2, 19, 35, 36, 48, 50 and 52 inside Bangkok Technical College site. The research began with primarily visual survey. Then, the target group was determined and non-destructive testing was performed. The test included ultimate compressive strength, concrete completeness and production capacity of the installed photovoltaics cells.

The study showed that the cracks on all buildings exceeded the standards of ACI 224R-01 standard and Engineering Institute of Thailand. Building No. 19 and Liberal Arts Building were selected to conduct the evaluation of the rooftop carrying capacity supporting the photovoltaics cells. The two buildings were evaluated because they are old with the most cracks and the compressive strength of Building No. 19 was the less or 225.19 kg/cm^2 . The results indicated that if the photovoltaics cells were installed at the rooftops, the rooftops of Building No. 19 and Liberal Arts Building could carry the photovoltaics cells safely. The study also revealed that 55 18,000-BTU air conditioners will be needed to be installed inside the 7 buildings and can reduce electricity costs by approximately 292,215 baht.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ

บทที่

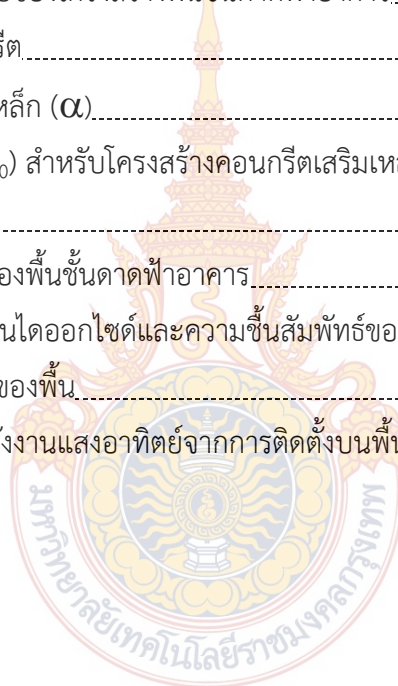
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ.....	6
2 การทบทวนวรรณกรรม.....	8
2.1 คอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้าง.....	9
2.2 การเสื่อมสภาพของเหล็กเสริมคอนกรีตมักเกิดจากสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต.....	16
2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง.....	17
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 ข้อมูลทั่วไป.....	21
3.2 การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์.....	22
3.3 การทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	22
3.4 การประเมินกำลังรับน้ำหนัก.....	25
3.5 วิเคราะห์ผลการเก็บข้อมูล.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	27
4.1 ประวัติอาคารที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
4.2 การตรวจสอบโครงสร้างด้วยตาเปล่า (Visual Inspection).....	30
4.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วย Schmidt Hammer.....	34
4.4 การทดสอบความสมบูรณ์ของคอนกรีต.....	41
4.5 ระยะหุ้มของคอนกรีต.....	43
4.6 การวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์.....	45
4.7 การตรวจสอบตำแหน่งและปริมาณของเหล็กเสริมพื้นดาดฟ้า.....	46
4.8 การประเมินกำลังรับน้ำหนักของพื้นชั้นดาดฟ้า.....	49
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	53
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก รูปภาพการทดสอบ.....	59

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์วิธีที่ 2 (วสท.2534).....	11
4.1 ผลการสำรวจรอยร้าวด้วยตาเปล่า.....	32
4.2 ความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุด.....	33
4.3 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 224R-01.....	33
4.4 สรุปผลรอยร้าวที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นชั้นดาดฟ้า.....	34
4.5 ตารางสรุปค่ากำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ.....	35
4.6 สรุปค่ากำลังอัดของโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้า.....	41
4.7 สรุปค่าความเร็วคลื่นเฉื่อยของโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร.....	42
4.8 แสดงคุณภาพของคอนกรีต.....	42
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็ก (α).....	44
4.10 ระยะเหล็กเสริมทั่วไป (C_o) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดสนิม.....	44
4.11 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กของพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร.....	44
4.12 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของอาคาร.....	46
4.13 น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของพื้น.....	51
5.1 กำลังไฟฟ้าได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จากการติดตั้งบนพื้นที่ดาดฟ้า.....	55



สารบัญภาพ

ภาพประกอบ

หน้า

1.1	ภาพถ่ายดาวเทียมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ.....	3
1.2	เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์.....	4
1.3	ค้อนกระแทก (Schmidt Hammer).....	5
1.4	Ultrasonic Velocity.....	5
1.5	เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กและหาตำแหน่งเหล็กเสริม.....	6
2.1	แสดงตำแหน่งการจัดวางเหล็กเสริมในพื้นที่คอนกรีต.....	12
2.2	อิทธิพลเนื่องจากเวลาของปฏิกิริยาคาร์บอนชั่น.....	16
3.1	ภาพถ่ายดาวเทียมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ.....	21
3.2	เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์.....	22
3.3	ค้อนกระแทก (Schmidt Hammer).....	23
3.4	Ultrasonic Velocity.....	23
3.5	เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กและหาตำแหน่งเหล็กเสริม.....	24
3.5	แผ่นวัดความกว้างรอยร้าว.....	24
4.1	อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2).....	26
4.2	อาคารสาขาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19).....	27
4.3	อาคารสาขาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35).....	27
4.4	อาคารเรียนรวม (อาคาร 36).....	28
4.5	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48).....	28
4.6	อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50).....	29
4.7	อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา (อาคาร 52).....	29
4.8	การแตกร้าวของพื้นที่ชั้นดาดฟ้า.....	30
4.9	ภาพชั้นดาดฟ้าของอาคาร.....	31
4.10	ทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกในห้องปฏิบัติการ.....	35
4.11	การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพื้นดาดฟ้า.....	36
4.12	ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารสาขาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19).....	37
4.13	ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารสาขาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35).....	37
4.14	ตำแหน่งที่ทดสอบอาคาร 36.....	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

4.15 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48).....	38
4.16 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50).....	39
4.17 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคาร 80 พรรษา.....	39
4.18 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2).....	40
4.19 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบความเร็วคลื่นบนโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร.....	42
4.20 แสดงการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของอาคาร.....	45
4.21 การวัดขนาดเหล็กเสริมพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร.....	47
4.22 การวัดความหนาโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร.....	47
4.23 รายละเอียดเหล็กโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคารสาขาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19).....	48
4.24 รายละเอียดเหล็กโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2).....	49



บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาวิจัยเริ่มต้นมาจากการเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นและนำมาวิเคราะห์หาคำตอบหรือหนทางแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักทฤษฎีประกอบ ซึ่งต้องเริ่มจากการวางกรอบการวิจัย กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการศึกษา ระบุขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการศึกษาวิจัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

พลังงานงานสะอาดเป็นสิ่งที่กำลังได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายพลังงานสะอาดเป็นประเภทหนึ่งที่สามารถหาและนำไปใช้ได้งานง่าย คือ พลังงานแสงอาทิตย์ แต่ก่อนที่นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้นั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้งตัวรับแสง ที่เรียกว่า แผงพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถติดตั้งได้บนพื้นที่ว่าง ทั้งบนหลังคาบ้านและหลังคาโรงงาน บนหลังคาโรงจอดรถ บนชั้นดาดฟ้าของอาคารและบนพื้นดิน ซึ่งตำแหน่งที่ดีในการเลือกติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ต้องเป็นตำแหน่งที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งวัน โดยต้องไม่มีสิ่งใดมาบดบังแสงอาทิตย์ และไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีฝุ่นหรือไอระเหยจากน้ำมันมากเกินไป ดังนั้นในบริเวณพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดคือบริเวณดาดฟ้าอาคาร นอกจากนี้ความกว้างของแผงขึ้นอยู่กับจำนวนไฟฟ้าที่ต้องการ ยิ่งต้องการไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์มากแผงพลังงานก็จะต้องมีความกว้างมากด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจส่งผลโดยตรงต่อการรับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าของอาคารหากพื้นดาดฟ้าอาคารไม่ได้ออกแบบให้รับน้ำหนักเพิ่มเติมจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งโดยทั่วไปพื้นที่ชั้นดาดฟ้าของอาคารจะมีการเสื่อมสภาพเร็วกว่าส่วนโครงสร้างของอาคารอื่นๆ

ปกติในการออกแบบอาคารวิศวกรจะคำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่ในการออกแบบโครงสร้างจากแบบสถาปัตยกรรม และใช้น้ำหนักบรรทุกใช้งานตามที่กฎหมายกำหนด ดังนั้นหากในแบบสถาปัตยกรรมไม่ได้ระบุว่าจะมีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์วิศวกรผู้ออกแบบมักจะไม่ได้คำนวณน้ำหนักดังกล่าวไว้ อีกทั้งสำหรับดาดฟ้าอาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กกฎหมายกำหนดให้ใช้น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หากต้องการพลังงานที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ในปริมาณสูงจำเป็นต้องมีแผงรับพลังงานขนาดใหญ่ซึ่งจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อาจส่งผลโดยตรงต่อการรับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าอาคาร

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยหนึ่งที่น่ากังวลเกี่ยวกับพื้นดาดฟ้าอาคารที่สร้างมาเป็นเวลานาน เนื่องจากพื้นดาดฟ้าอาคารต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่รุนแรงกว่าพื้นที่อื่น เช่น ต้องสัมผัสความชื้นจากฝนตามฤดูกาลและความร้อนจากแสงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลา ไม่เพียงเท่านั้นอาคารที่อยู่ในเมืองใหญ่มักประสบกับปัญหาการเสื่อมสภาพโดย คาร์บอนชั่น (Carbonation) ซึ่งเป็นผลมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในอากาศที่มีปริมาณสูงเกินไป สภาวะแวดล้อมดังกล่าวอาจส่งผลให้คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพและเหล็กเสริมที่อยู่ภายในคอนกรีตเป็นสนิม ส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าน้อยลง และหากต้องเพิ่มน้ำหนักให้โครงสร้างอาจทำให้โครงสร้างเกิดการแตกร้าว และวิบัติตามมาได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการสำรวจและประเมินการเสื่อมสภาพของพื้นชั้นดาดฟ้าอาคารภายในพื้นที่เทคนิคกรุงเทพ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของพื้นชั้นดาดฟ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสำรวจและเก็บข้อมูลการเสื่อมสภาพของพื้นดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็กอาคารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ

1.2.2 เพื่อประเมินกำลังของพื้นดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็กอาคารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ เพื่อรองรับการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้คือ ขอบเขตด้านการสำรวจสภาพของคอนกรีตในพื้นที่อาคารที่มีชั้นดาดฟ้าภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.3.1 สำรวจและตรวจสอบแบบไม่ทำลายพื้นดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็กอาคารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ

1.3.2 ศึกษาถึงผลกระทบของการเสื่อมสภาพที่มีต่อกำลังรับน้ำหนักพื้นดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3.3 ศึกษาเพื่อหาความเหมาะสมในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคารที่มีชั้นดาดฟ้าเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานเพื่อศึกษาหาความเหมาะสมในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและประเมินประสิทธิภาพพื้นดาดฟ้าอาคารจำนวน 7 หลัง ประกอบไปด้วยอาคาร 2/2 19 35 36 48 50 และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรชงานวิจัยนี้เริ่มจากการสำรวจเบื้องต้นด้วยตาเปล่า หลังจากนั้นจะกำหนดกลุ่มเป้าหมายและทำการทดสอบแบบไม่ทำลาย เช่น การทดสอบกำลังอัดประลัย ความสมบูรณ์ของคอนกรีต ประเมินกำลังของพื้นที่ต่อไปเพื่อรองรับการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ภาพถ่ายดาวเทียมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ



ภาพที่ 1.1 ภาพถ่ายดาวเทียมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ

ที่มา www.google.com

1.4.1 การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ทำการตรวจสอบการเสื่อมสภาพเบื้องต้น จดบันทึกลักษณะความเสียหายรวมถึงตำแหน่งที่เกิดขึ้น เช่นการหลุดล่อนของคอนกรีต การแตกร้าว และทำการวัดขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้น

1.4.2 รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบโครงสร้าง วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

1.4.3 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบต่อไป

1.4.4 การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์อาคารที่ตั้งอยู่ในเมืองใหญ่ และมีการจราจรที่หนาแน่นย่อมมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงตามมา ก๊าซดังกล่าวเมื่อรวมตัวกับความชื้นส่งผลให้โครงสร้างเสื่อมสภาพตามที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว ดังนั้นงานวิจัยจึงได้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์โดยทำการเก็บข้อมูลเป็น 2 ช่วงเวลา 8.00-9.30 น. และ 17.00-18.30 น. ของทุกวันเป็นเวลา 1 เดือนดังแสดงในภาพที่ 1.2 เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 1.2 เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์

1.4.5 ทดสอบกำลังอัดด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer) การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer) การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่สะดวกและส่งผลกระทบบกับโครงสร้างเดิมน้อยที่สุดคือ การทดสอบด้วยค้อนกระแทก เครื่องมือชนิดนี้เป็นการวัดแรงสะท้อนกลับคอนกรีตว่ามีค่าเท่าไร จากนั้นจึงทำการแปลผลค่าที่ได้เป็นกำลังอัดของคอนกรีต งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลด้วยค้อนกระแทกจำนวน 4-5 จุด แต่ละจุดจะเก็บข้อมูล 16 จุดย่อยในลักษณะตารางกริดโดยแต่ละจุดจะห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1.3 ค้อนกระแทก (Schmidt Hammer)



ภาพที่ 1.3 ค้อนกระแทก (Schmidt Hammer)

1.4.6 ทดสอบคุณภาพคอนกรีตด้วยคลื่น (Ultrasonic Test) การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบโดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิม โดยใช้หัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse) ผ่านเข้าภายในเนื้อคอนกรีตและรับสัญญาณด้วยหัวรับสัญญาณ (Receiver) หากคอนกรีตมีคุณภาพดีคลื่นจะเดินทางผ่านได้เร็ว จากนั้นนำความความเร็วคลื่นที่ได้มาแปรผลเป็นกำลังอัดของคอนกรีต การทดสอบนี้อ้างอิง ASTM C597 งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลด้วยคลื่นจำนวน 4-5 จุดต่อหนึ่งอาคารดังแสดงในภาพที่ 1.4 Ultrasonic Velocity



ภาพที่ 1.4 Ultrasonic Velocity

1.4.7 การตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริม (Reinforcing Rebar Location Determination) การตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมโดยเครื่องProfometerเป็นการตรวจสอบหาขนาดเหล็กเสริมโดยไม่ทำลายพื้นผิวคอนกรีต โดยอาศัยหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องจะสร้างสนามแม่เหล็กกระแสไฟฟ้ารอบเหล็กเสริมและทำการเหนี่ยวนำเป็นช่วงๆ ซึ่งจะสามารถบอกตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริมที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตได้ดังแสดงในภาพที่ 1.5 เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก



ภาพที่ 1.5 เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็ก

1.4.8 ประเมินการกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของโครงสร้างคำนวณโดยการนำที่ได้จากการตรวจสอบมาประเมินกำลัง โดยสมการต่อไปนี้

1.4.8.1 การประเมินกำลังรับโมเมนต์ดัดปลอดภัยของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

$$\phi M_n \geq M_u \text{ โดยที่ } \phi = 0.90 \quad (1.1)$$

1.4.8.2 การตรวจสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน

$$\phi V_n \geq V_u \text{ โดยที่ } \phi = 0.90 \quad (1.2)$$

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

1.5.1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทราบข้อมูลทางวิศวกรรมโยธาในด้านกำลังของโครงสร้างพื้นที่ลาดฟ้าเพื่อที่จะรองรับในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพอย่างคุ้มค่า

1.5.2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทราบข้อมูลการเสื่อมสภาพของพื้นที่ชั้นดาดฟ้าของอาคาร 2/2 19 35 36 48 50 และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษาที่ทำการศึกษา

1.5.3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สามารถวางแผนการบำรุงดูแลรักษาโครงสร้างชั้นดาดฟ้าและสามารถวางแผนการซ่อมแซมได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

1.5.4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพจะประหยัดในด้านค่าใช้จ่ายไฟฟ้าหากมีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ตามพื้นที่ชั้นดาดฟ้าของอาคาร



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ภายในเมืองใหญ่และมีการจราจรที่หนาแน่น ย่อมได้รับผลกระทบจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในอากาศ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตผ่านทางรูพรุนเล็กๆของคอนกรีตและไปทำลายชั้นฟิล์ม (Passivity Film) ที่ป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริม เมื่อเหล็กเสริมไม่ได้รับการป้องกันประกอบกับมีปริมาณน้ำและออกซิเจนเพียงพอ เช่น บริเวณพื้นลาดฟ้า เหล็กเสริมก็จะเกิดการผุกร่อนเป็นผลให้พื้นลาดฟ้าสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ลดลง นอกจากบริเวณพื้นลาดฟ้าวิศวกรมักออกแบบน้ำหนักบรรทุกคงที่ตามแบบสถาปัตยกรรม หากไม่ได้รับบุถึงความต้องการในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ตั้งแต่เบื้องต้นวิศวกรมักไม่ได้คำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่เผื่อไว้ อีกทั้งกฎหมายยังกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรขึ้นต่ำไว้เพียง 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หากเกิดการเสื่อมสภาพพื้นลาดฟ้าย่อมรับน้ำหนักได้น้อยลงกว่าที่วิศวกรออกแบบไว้ และเมื่อต้องการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ก็เท่ากับเพิ่มน้ำหนักบรรทุกให้กับพื้นโดยตรง ยิ่งต้องการพลังงานแสงอาทิตย์ไปทดแทนพลังงานไฟฟ้ามากเท่าใด ยิ่งต้องเพิ่มแผงพลังงานแสงอาทิตย์ให้มากขึ้นพื้นลาดฟ้าก็รับน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้นตามไปด้วย อาจส่งผลให้โครงสร้างเกิดการโก่งตัว แตกร้าว และวิบัติตามมาได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการสำรวจและประเมินการเสื่อมสภาพของพื้นชั้นลาดฟ้า เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของพื้นชั้นลาดฟ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

2.1 คอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้าง

ความคงทนของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากซึ่งหมายถึงความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงจากสภาพแวดล้อมทนต่อการทำลายจากสารเคมีทนต่อแรงกระแทกหรือการกระทำอื่นๆ ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างนั้นคอนกรีตที่คงทนจะต้องคงสภาพได้นานตลอดอายุการใช้งาน สิ่งก่อสร้างคอนกรีตจำนวนมากที่ถูกออกแบบและก่อสร้างโดยไม่คำนึงถึงความคงทนจึงส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมากทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายจำนวนมากหาศาลในการซ่อมแซมรวมทั้งอายุการใช้งานของสิ่งก่อสร้างนั้นลดลงด้วย

โครงสร้างคอนกรีตมีทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินเหนือน้ำใต้ดินและในน้ำทะเลโครงสร้างคอนกรีตดังกล่าว ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะต่างๆของลมฟ้า อากาศทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีทนต่อการเสียดสีและการลื่นไถล ทนต่อการซึมผ่านของน้ำความชื้น หรืออากาศตลอดอายุการใช้งาน

2.1.1 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นเป็นส่วนหนึ่งของอาคารที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก ที่กระทำแผ่นเนื้อที่แล้วทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกให้กับคานที่รองรับ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลายชนิดอาจจำแนกตามลักษณะการถ่ายน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นนั้น ได้แก่ พื้นคอนกรีตแบบเสริมเหล็กทางเดียว (One-Way slab) พื้นคอนกรีตแบบเสริมเหล็กสองทาง (Two-Way slab)

พื้นคอนกรีตแบบเสริมเหล็กทางเดียว (One-Way Slab) พื้นคอนกรีตแบบนี้ ใช้กับพื้นที่มีด้านยาวซึ่งยาวกว่าด้านกว้างตั้งแต่สองเท่าขึ้นไป ($L > 2S$) มีคานรับพื้นทางขอบด้านยาวของพื้นที่ทั้งสองด้าน หลักเกณฑ์ที่ใช้ออกแบบก็เหมือนกับที่ใช้ออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยพิจารณาออกแบบพื้นที่ซึ่งกว้างทุก ๆ หนึ่งเมตรในแนวที่ตั้งฉากกับคานรับพื้น มีความลึกเท่ากับความหนาของพื้น และให้พื้นรับน้ำหนักจรรวมกับน้ำหนักของพื้นเองซึ่งรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุที่มากับพื้น คิดเป็นน้ำหนักแผ่ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร อาจมีช่วงเดียวหรือต่อเนื่องหลายช่วง เหล็กเสริมหลัก (Main Steel) วางในแนวตั้งฉากกับคานรับพื้นเพียงทางเดียว และทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักให้กับคานที่รองรับ ในทิศทางที่ขนานกับคานรับพื้น ต้องมีเหล็กเสริมกันร้าว ในอัตราดังนี้

เหล็กกลมผิวเรียบชั้นคุณภาพ SR24 = 0.0025 เท่าของเนื้อที่หน้าตัดพื้น

เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD30 = 0.0020 เท่าของเนื้อที่หน้าตัดพื้น

เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40 = 0.0018 เท่าของเนื้อที่หน้าตัดพื้น

เหล็กเสริมที่ใช้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร วางห่างกันไม่เกิน 3 เท่า

ความหนาของพื้นการกระจายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กทางเดียวยกบนคานให้คิดครึ่งหนึ่งของความกว้างพื้น เมื่อไม่คิดการโก่งของพื้น พื้นต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าค่าต่าง ๆ ต่อไปนี้

$L/20$ สำหรับพื้นช่วงเดียวธรรมดา

$L/24$ สำหรับพื้นต่อเนื่องข้างเดียว

$L/28$ สำหรับพื้นต่อเนื่องทั้งสองข้าง

$L/10$ สำหรับพื้นยื่น

2.1.2 พื้นคอนกรีตแบบเสริมเหล็กสองทาง (Two-Way Slab) พื้นคอนกรีตแบบนี้ใช้กับพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวเกือบเท่ากัน คือ ด้านยาวไม่มากกว่า 2 เท่าของด้านกว้าง ($L < 2S$) มีเหล็กเสริมทั้งสองทางเพื่อใช้ถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจากพื้นลงสู่คานที่รองรับทั้งสองด้าน ความหนาของพื้นต้องไม่น้อยกว่า 8 ซม. หรือ $\frac{1}{180}$ ของเส้นรอบรูปของพื้นนั้น เหล็กเสริมสำหรับพื้นแบบนี้วางเหล็กเสริมทางช่วงสั้นไว้ล่างเพราะต้องรับน้ำหนักมากกว่า เหล็กทั้งสองทางจะต้องวางห่างกันไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของพื้น การออกแบบพื้นแบบนี้ พิจารณาจากพื้นที่กว้าง 1 เมตร ทั้งทางช่วงสั้นและช่วงยาวสำหรับน้ำหนักแผ่นเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตรก็คิดแบบเดียวกับพื้นที่เสริมเหล็กทางเดียวแต่น้ำหนักแผ่นที่จะใช้ออกแบบทั้งทางช่วงสั้นและทางช่วงยาวจะต้องแปลงค่า เพื่อที่จะให้การโค้งในแนวตั้งของพื้นแต่ละจุดเมื่อคำนวณจากช่วงสั้นกับช่วงยาวต้องมีค่าเท่ากัน นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึงผลที่เกิดจากการต่อเนื่อง และการยึดแน่นกับที่รองรับด้วย

2.1.3 การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทางตามวิธีที่ 2 ของมาตรฐาน ว.ส.ท.(2534)

ข้อบ่งชี้ แผ่นพื้นอาจเป็นแบบคานหรือเป็นครีป และอาจต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง แต่ต้องมีผนังหรือคานรองรับทั้งสองด้าน ซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับพื้น

โมเมนต์ ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นจะได้รับการพิจารณาแบ่งแผ่นพื้นขนาดกว้าง S และยาว L (ค่า S และ L เป็นค่าน้อยของระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างที่รองรับ หรือช่วงว่างบวกกับอีก 2 เท่าของความหนาของพื้น) ให้เป็นแถบต่าง ๆ ในแต่ละทิศทาง

แถบกลาง ให้มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น

แถบเสา ให้มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น ดังนั้นแต่ละซีกในช่วงพื้นเดียวกันจะมีขนาดเท่ากับพื้นที่หนึ่งในสี่ของช่วงพื้นนั้นในกรณีที่ $L > 2S$ แถบกลางมีขนาดเท่ากับด้านสั้นให้มีความกว้างเท่ากับ ผลต่างระหว่างด้านทั้งสอง ที่เหลือเป็นความกว้างของแถบเสา

$$\therefore \text{โมเมนต์ดัดในแถบกลาง } M = CwS^2 \text{ กก.-เมตร/เมตร} \quad (2.1)$$

เมื่อ

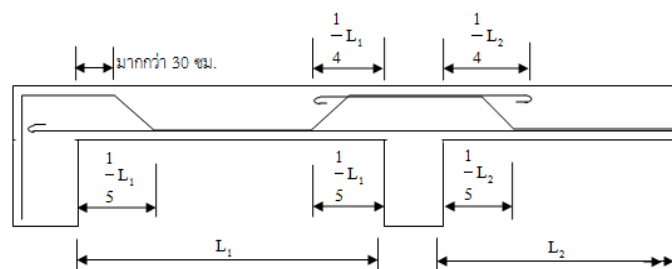
w = น้ำหนักบรรทุกรวมซึ่งแผ่สม่ำเสมอบนแผ่นพื้น กิโลกรัม/ตารางเมตร

C = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ในแต่ละทิศทาง (ช่วงสั้น, ช่วงยาว) สำหรับแผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทาง (ตารางที่ 2.1) ซึ่งขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของแผ่นพื้น (5 กรณี) และอัตราส่วน m ซึ่งเท่ากับ S/L

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์วิธีที่ 2 (วสท.2534)

โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว สำหรับ m ทุกค่า
	ค่าต่าง ๆ ของ m						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5 และ ต่ำกว่า	
กรณีที่ 1 ช่วงพื้นภายใน							
โมเมนต์ลบ-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.083	0.033
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	-	-	-	-	-	-	-
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
กรณีที่ 2 ไม่ต่อเนื่องกันด้านเดียว							
โมเมนต์ลบ-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
กรณีที่ 3 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน							
โมเมนต์ลบ-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.068	0.037
กรณีที่ 4 ไม่ต่อเนื่องกันสามด้าน							
โมเมนต์ลบ-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044
กรณีที่ 5 ไม่ต่อเนื่องกันทั้งสี่ด้าน							
โมเมนต์ลบ-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	-	-	-	-	-	-	-
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050

2.1.4 การจัดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง เหล็กเสริมหลักในแต่ละแถบมีทั้งเหล็กบนและเหล็กล่าง บริเวณกลางช่วงของแผ่นพื้นจะเป็นเหล็กล่าง เพราะรับโมเมนต์บวก ตรงที่รองรับจะเป็นเหล็กบน เพราะรับโมเมนต์ลอบอย่างไรก็ดี เหล็กเสริมที่ขนานกับด้านสั้นจะจัดให้อยู่ด้านล่างกว่า หรืออยู่บนกว่าเหล็กเสริมที่ขนานกับด้านยาวที่กลางช่วงและที่รองรับตามลำดับ เนื่องจากรับโมเมนต์ดัดมากกว่านั่นเอง ภาพที่ 2.1 แสดงตำแหน่งการจัดวางเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต



ภาพที่ 2.1 แสดงตำแหน่งการจัดวางเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต

ที่มา : สวัสดิ์ ศรีเมืองธน , 2556

2.1.5 การคืบและการหดตัวของคอนกรีต การคืบและการหดตัวของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับเวลา ความเครียดมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในคอนกรีตและในเหล็กเสริม ทำให้โมดูลัสในคอนกรีตลดลง มีผลทำให้การแอ่นตัวเพิ่มขึ้นตามเวลา การคืบและการหดตัวของคอนกรีต

การคืบ เป็นคุณสมบัติของคอนกรีตซึ่งวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปมีความสัมพันธ์กับเวลา เมื่อมีแรงถาวรมากระทำก่อให้เกิดหน่วยแรงในช่วงอีลาสติค อัตราเพิ่มของการเปลี่ยนรูปหรือความเครียดเนื่องจากการคืบจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ตั้งแต่เริ่มออกแรงกระทำ จนถึงเวลาประมาณ 5 ปี การเพิ่มของความเครียดนี้อาจมากเป็นหลายเท่าของความเครียด

อีลาสติคเริ่มแรก แสดงลักษณะการเพิ่มของความเครียดเนื่องจากการคืบ ที่เวลา t_1 ถ้าแรงกระทำลดลง แท่งคอนกรีตจะเกิดการยืดตัวทันทีและตามด้วยการยืดตัวเนื่องจากการคืบ แฟกเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดของการคืบได้แก่ สัดส่วนต่างๆของคอนกรีต ความละเอียดของซีเมนต์ ปริมาณของน้ำ อุณหภูมิและความชื้นขณะบ่ม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะใช้งาน อายุของคอนกรีตขณะใช้งาน ระยะเวลาของแรงกระทำ ระดับของหน่วยแรง และอัตราส่วนของผิวต่อปริมาตรขององค์อาคาร

2.1.6 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจสอบด้วยตาเปล่า

การตรวจสอบด้วยตาเปล่าเป็นขั้นตอนที่ถือได้ว่ามีความสำคัญขั้นตอนหนึ่งของการตรวจสอบโครงสร้าง การตรวจสอบด้วยตาเปล่าผู้ตรวจสอบที่มีประสบการณ์จะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของความเสียหายหรือ การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง การตรวจสอบด้วยตาเปล่าผู้ตรวจสอบต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมโครงสร้าง พฤติกรรมของคอนกรีต และเทคนิคการก่อสร้าง เพื่อการรวบรวมข้อมูลที่สมบูรณ์มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากการมีค่าดำเนินการที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับวิธีการ

ตรวจสอบแบบอื่นๆ เช่น การเจาะตัวอย่างทดสอบ ดังนั้นการตรวจสอบพินิจจึงสามารถดำเนินการได้บ่อยกว่าวิธีการตรวจสอบแบบอื่นและมักจะเป็นขั้นตอนแรกๆในการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างคอนกรีต

2.1.7 หลักการของการตรวจพินิจ การตรวจพินิจควรจะเป็นไปตามการวางแผนเบื้องต้นเพื่อให้ได้ข้อมูลการตรวจสอบที่มีคุณภาพและความสมบูรณ์สูงสุด ขั้นตอนโดยทั่วไปของการตรวจพินิจประกอบด้วย

2.1.7.1 การเดินตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของโครงสร้าง และ ศึกษา รูปแบบและลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง

2.1.7.2 การรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น แบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้าง ที่ใช้ ประวัติของโครงสร้าง ลักษณะสภาพแวดล้อม เป็นต้น

2.1.7.3 การตีตารางบนผิวโครงสร้างเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของจุดต่างๆบนโครงสร้าง

2.1.7.4 การตรวจสอบโดยละเอียดและบันทึกผล

2.1.8 ลักษณะความเสียหายที่พบเห็นได้บ่อยในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.1.8.1 รอยร้าว (Cracking) รอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ และสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกช่วงอายุของโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ตรวจสอบต้องบันทึกจำนวนของรอยแตก ร้าว ทิศทางและลักษณะของรอยแตก ร้าว ความลึกของรอยแตก ร้าว ความกว้างของรอยร้าว และอัตราการขยายตัวของรอยร้าวอย่างคร่าวๆ

2.1.8.2 การสูญเสียผิวคอนกรีตเนื่องจากการกัดเซาะ (Erosion)

2.1.8.3 การสึกกร่อน (Abrasion) การสึกกร่อนของคอนกรีตเกิดจากผิวคอนกรีตถูกขัดสีด้วยวัตถุที่มีความแข็ง หรือมีแรงเสียดทานสูงผิวคอนกรีตที่สึกกร่อนสามารถสังเกตเห็นมวลรวมในคอนกรีตได้ และอาจเห็นแนวขูดขีด และเส้นทางของวัตถุที่ขัดสีกับผิวคอนกรีต

2.1.8.4 การกัดเซาะโดยฟองอากาศในของเหลว (Cavitation) การเสื่อมสภาพของคอนกรีตซึ่งเกิดเนื่องจากการกัดเซาะด้วยฟองอากาศในของเหลวที่มีการเคลื่อนที่โดยมีสาเหตุจากแรงกระทำที่เกิดจากการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ ทำให้สูญเสียผิวคอนกรีตความเสียหายลักษณะนี้มักเป็นหลุมขนาดเล็ก และผิวคอนกรีตจะมีความขรุขระมาก โดยทั่วไปการกัดเซาะโดยฟองอากาศในของเหลวนี้เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของน้ำมากกว่า 12 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป

2.1.8.5 การวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ (Joint Sealant Failure) วัสดุอุดรอยต่อมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความชื้นหรือสารอื่นที่อาจมีอันตรายต่อโครงสร้างซึมผ่านรอยต่อได้อย่างไรก็ตามการหลุดร่อนออกของวัสดุอุดรอยต่อเป็นสิ่งที่พบเห็นได้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

2.1.8.6 การหลุดร่อนของคอนกรีต (Spalling) การหลุดร่อนของคอนกรีต คือ คอนกรีตบริเวณผิวโครงสร้างหลุดร่อนออกเนื่องจากความดันภายในโครงสร้าง ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปการหลุดร่อนของคอนกรีต อาจจำแนกได้ตามขนาดของคอนกรีตที่หลุดร่อน เพื่อเป็นข้อมูลบ่งชี้ความรุนแรงของการหลุดร่อน เช่น การหลุดร่อนขนาดเล็ก ลึกไม่เกิน 20 มิลลิเมตร และมีขนาดไม่เกิน 150 มิลลิเมตร หากมีการหลุดร่อนมากกว่าที่ระบุถือว่าเป็นการหลุดร่อนขนาดใหญ่

2.1.8.7 การเกิดรอยร้าวขนานกับผิวเหล็กเสริมในคอนกรีต (Delamination) การเกิดรอยร้าวขนานกับผิวเหล็กเสริมในคอนกรีต เกิดขึ้นในกรณีที่เหล็กเสริมเป็นสนิม และเกิดห่างกันมาก แรงดันที่จากสนิมทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นรอบเหล็กเสริม หากสนิมกระจายตัวเป็นพื้นที่กว้างรอยร้าวรอบเหล็กเสริมจะเชื่อมต่ออยู่ในคอนกรีต ความเสียหายชนิดนี้อาจต้องใช้วิธีการเคาะด้วยของแข็งและสังเกตเสียงที่เกิดขึ้นหรือใช้เครื่องมือในการทดสอบแบบไม่ทำลายจึงจะทราบว่าเกิดการ Delamination

2.1.9 สาเหตุการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็ก (Deterioration) สาเหตุของการเสื่อมสภาพของคอนกรีตสามารถจำแนกได้เป็น 5 ชนิด ดังนี้

2.1.9.1 การเสื่อมสภาพทางกายภาพ (Physical Deterioration) เป็นความเสียหายทางกายภาพที่ส่วนใหญ่ความเสียหายมาจากแรงดึงที่กระทำต่อคอนกรีตแล้วส่งผลให้คอนกรีตแตกร้าว และจะทำให้อายุการใช้งานลดลง เช่น ความเสียหายเนื่องจาก ความร้อน น้ำหนักบรรทุกมากเกินไป เป็นต้น ซึ่งได้แก่ การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) การหดตัวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage) การทรุดตัว (Settlement) การแข็งตัวและละลายของน้ำในคอนกรีต (Freezing and Thawing)

2.1.9.2 การเสื่อมสภาพทางเคมี (Chemical Deterioration) เป็นความเสียหายที่เกิดจากสารเคมี เช่น มีการซึมผ่านของสารเคมีเข้ามากัดกร่อนคอนกรีตและเหล็กเสริม เป็นต้น ซึ่งได้แก่ การคาร์บอนชั่น (Carbonation) การกัดกร่อนโดยกรด (Acid Attack) การกัดกร่อนโดยซัลเฟต (Sulfate Attack) และปฏิกิริยาระหว่างต่างและมวลรวม (Alkaline Aggregate Reaction)

2.1.9.3 การเสื่อมสภาพทางกล (Mechanical Deterioration) เป็นความเสียหายเนื่องจากคอนกรีตถูกการเสียดสีอยู่สม่ำเสมอ เช่น การที่คอนกรีตถูกเสียดสีจนทำให้เกิดการสึกกร่อนโดยของเหลว เป็นต้น ซึ่งได้แก่การขัดสี (Abrasion) การกัดกร่อนด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย (Erosion) การแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ (Cavitations)

2.1.9.4 การเสื่อมสภาพทางชีวภาพ (Biological Deterioration) เป็นความเสียหายที่เกิดจากสารชีวภาพหรือมวลสารของสิ่งมีชีวิต เช่น การที่คอนกรีตสัมผัสกับน้ำเสีย, สัมผัสกับแบคทีเรีย เป็นต้น ซึ่งได้แก่ ตะไคร่ รา หรือแบคทีเรีย

2.1.9.5 การเสื่อมสภาพโดยรวม (Mixed Process) เป็นการเสื่อมสภาพของคอนกรีตที่มี รุพหรุนหรือช่องว่างทำให้เกิดการซึมผ่านของสารต่างๆ เช่น ของเหลวหรือแก๊สที่อยู่ในรูปของไอออน ซึ่ง ได้แก่ การเกิดสนิมในเหล็ก เป็นต้น

2.1.10 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตที่เกิดจากปฏิกิริยาคาร์บอนชั่นในคอนกรีต ปฏิกิริยาคาร์บอนชั่นของคอนกรีต คือ ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซที่มีฤทธิ์เป็นกรดในบรรยากาศ กับผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ในอากาศปกติจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณค่อนข้างต่ำ (0.03 เปอร์เซ็นต์) แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศบริเวณพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมจะมีมากกว่านี้ คาร์บอนไดออกไซด์จะแทรกซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีตผ่านทางรูพรุนเล็กๆของคอนกรีต แล้วทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำในเนื้อคอนกรีตผลที่จะเกิดขึ้นจะทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง จนเมื่อคอนกรีตมีค่าความเป็นกรด - เบส (pH) ลดลงเหลือประมาณ 10 นั่นคือคอนกรีตสูญเสียความสามารถในการป้องกันการผุกร่อนของเหล็กเสริม ชั้นฟิล์ม (Passivity Film) ที่ป้องกันการเหล็กเสริมถูกทำลายไป เมื่อเหล็กเสริมไม่ได้รับการป้องกันและอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดหรือด่างปานกลาง ประกอบกับมีปริมาณน้ำและออกซิเจนเพียงพอ เหล็กเสริมก็จะเกิดการผุกร่อนขึ้นมาได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.2

คาร์บอนชั่นโดยปกติจะเกิดช้ามากในคอนกรีตที่มีคุณภาพดี แต่มีการประมาณว่าคาร์บอนชั่นสามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราสูงถึง 0.04 นิ้ว (1 มิลลิเมตร) ต่อปี กระบวนการนี้จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นที่สลับเปียกและแห้ง และคาร์บอนชั่นนี้จะไม่เกิดกับคอนกรีตที่อยู่ใต้น้ำตลอดเวลา

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนชั่น

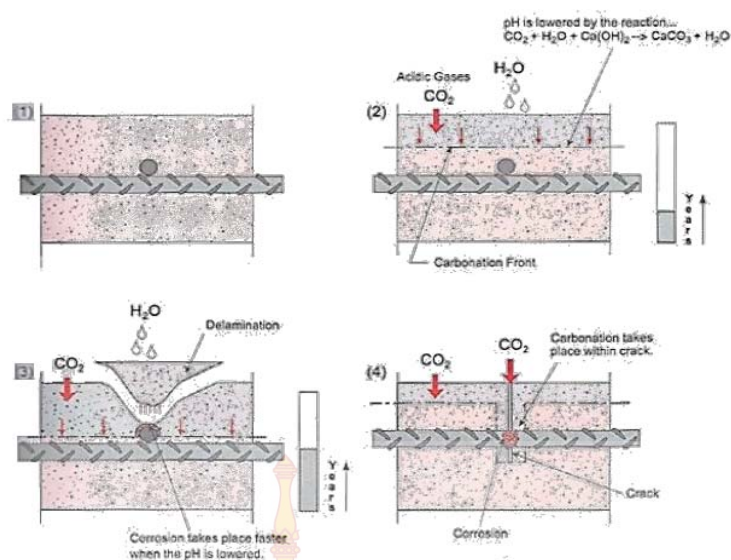
2.1.10.1 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ไม่ชื้นและแห้งเกินไปจะทำให้เกิดคาร์บอนชั่นรุนแรง

2.1.10.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ยิ่งมากก็จะทำให้การเกิดคาร์บอนชั่นรุนแรง

2.1.10.3 อุณหภูมิสูงจะทำให้ปฏิกิริยาคาร์บอนชั่นดำเนินไปเร็ว

2.1.10.4 ความพรุนของคอนกรีต คอนกรีตที่มีความทึบน้ำต่ำจะเกิดคาร์บอนชั่นได้เร็วและมาก

2.1.10.5 การใช้สารปอซโซลานบางชนิดจะทำให้เกิดคาร์บอนชั่นมากขึ้นถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไป



ภาพที่ 2.2 อิทธิพลเนื่องจากเวลาของปฏิกิริยาคาร์บอนชั่น (Peter, H. 2008)

2.2 การเสื่อมสภาพของเหล็กเสริมคอนกรีตมักเกิดจากสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต

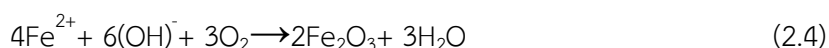
กลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต จะเริ่มด้วยการที่ความเป็นด่างของคอนกรีตในบริเวณที่หุ้มรอบๆ เหล็กเสริมอยู่มีค่าลดลงจนถึงระดับวิกฤต ประกอบกับบริเวณรอบๆ เหล็กเสริมมีความชื้นเพียงพอ ทำให้เหล็กเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ขึ้นดังสมการที่ 2.2



โดยเหล็กจะแตกตัวเป็นไอออน (Fe^{2+}) เข้าสู่สภาพสารละลายและอิเล็กตรอนจะวิ่งไปตามเหล็ก ปฏิกิริยานี้เรียกว่า กระบวนการอะโนดิก (Anodic Process) ต่อจากนั้น 2 อิเล็กตรอน (e^-) ที่เกิดจากกระบวนการอะโนดิกจะไปรวมตัวกับน้ำและออกซิเจน (O_2) ทำให้เกิดเป็นไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า กระบวนการแคโทดิก (Cathodic Process)



หลังจากนั้นปฏิกิริยาการเกิดสนิมจะเกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.4 โดยที่ Fe_2O_3 ก็คือ เฟอริกออกไซด์ หรือสนิมนั่นเอง



ดังนั้นการเพิ่มคุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตที่ดีที่สุดก็คือการทำให้คอนกรีตมีความแน่นเพิ่มขึ้นหรือมีรูพรุนน้อยลง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำหรือแก๊สจากภายนอกแทรกซึมเข้ามาในเนื้อคอนกรีตนั่นเอง

เมื่อเกิดการผุกร่อนหรือเป็นสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตมักเกิดการแตกร้าวของคอนกรีตโดยรอบมีผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีต หากเหล็กเสริมเกิดการผุกร่อนมากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้กำลังรับแรงปฏิกิริยาเริ่มลดลง และเมื่อเหล็กเสริมเกิดการผุกร่อนถึง 4.5 เปอร์เซ็นต์ กำลังรับแรงอัดจะลดลง 12 เปอร์เซ็นต์ การลดลงของกำลังรับแรงนี้มีสาเหตุมาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่ลดลงไป ในชั้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงอัดถ้าหากคอนกรีตเกิดการแตกร้าวและบิ่นกะเทาะ จะทำให้หน้าตัดประสิทธิภาพของโครงสร้างลดลง และทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดปฏิกิริยาลดลงด้วย

2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยของเราต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศปีละมหาศาล ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีแหล่งพลังงานเป็นของตนเองเพียงพอ และความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการพัฒนาประเทศก็มี แนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ในสถานะที่ประเทศไทยต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ ดังนั้นความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy Security) จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญ การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการประโยชน์ของการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ มีดังต่อไปนี้

พิมลมาศ วรรณคณาพล เอนก สุวรรณชัยสกุล ปาริณี ศรีสุวรรณ และเฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดี (2554) ได้ศึกษาประโยชน์ของการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา : กรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยต้นทุนต่ำ พบว่า การติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ครอบคลุมร้อยละ 81 ของพื้นที่หลังคาสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องพักอาศัยที่อยู่ในชั้นใต้หลังคาได้สูงสุด 4 องศาเซลเซียส ในด้านการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า สามารถลดได้ 44.91-718.61 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งเทียบได้กับการใช้รถยนต์ 107 คัน ทั้งนี้ขึ้นกับรูปแบบการบริหารจัดการระบบบำบัดน้ำเสียที่มีรูปแบบเปิด 15 นาที แบบเปิด 3 ชั่วโมงและแบบเปิด 24 ชั่วโมง สำหรับด้านการใช้งานเมื่อยามเกิดภัยพิบัติพบว่า การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ ให้สามารถรองรับการใช้

พลังงานในระบบบำบัดน้ำเสียรูปแบบเปิด 24 ชั่วโมง จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 33.60 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน ซึ่งมากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ส่วนกลางยามปกติถึง 1.4 เท่าจึงมีความเป็นไปได้สูงในการใช้งาน เมื่อยามเกิดภัยพิบัติในด้านความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อขาย ไฟฟ้าคืนมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 21 ปีเร็วกว่าการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในอาคารเพียงอย่างเดียว อีกทั้ง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบหลังคา (โซลาร์รูฟ) กับแบบเพื่อการ ผลิตไฟฟ้าอย่างเดียวบนที่ดินขนาดใหญ่ (โซลาร์ฟาร์ม) สำหรับพื้นที่ โครงการบ้านเอื้ออาทรบึงกลุ่ม พบว่า ระบบโซลาร์รูฟมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยมีระยะการคืนทุนที่เร็วกว่าการลงทุนในระบบโซลาร์ ฟาร์มบนเนื้อที่เดียวกันถึง 5.82 เท่า

ปรีดา จันทพงษ์ (2556) ศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไป กับปล่องหลังคาโซลาร์ เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติ ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต พบว่า บ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งหลังคา ทั่วไปประมาณ 0.2 – 6 °C ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน ผ่านหลังคาเข้าสู่บ้านทางด้านทิศใต้จะลดลง จะช่วยระบายอากาศภายในห้องและห้องใต้หลังคาทำให้มีการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านดีขึ้น และ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC และ หลังคาทั่วไป ซึ่งจะมีระยะเวลาการคืนทุน 32.7 ปี และ 61.8 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน ร้อยละ 37 และ 34 ต่อปี ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในการอนุรักษ์พลังงาน ช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมและคุ้มค่าสำหรับการลงทุน

ธีรวิษณุ เถาว์หิรัญ และ วิทยา ยงเจริญ (2555) ศึกษาสมรรถนะของระบบแผงผลิตไฟฟ้าและ ความร้อนชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อนที่มีขนาด 0.79 ตารางเมตร ซึ่งต่อเข้ากับถังน้ำร้อนที่มี ปริมาณน้ำ 120 ลิตร โดยทดสอบในกรณีหมุนเวียนน้ำด้วยปั๊มขนาดเล็ก และกรณีหมุนเวียนน้ำตาม ธรรมชาติ แผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนติดตั้งบนดาดฟ้าของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่า พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าที่ได้มีค่าเท่ากับ 1,023 เมกะจูล และ 127 เมกะจูล ตามลำดับ

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผลต่อการรับกำลัง ขององค์อาคาร และการประเมินกำลังรับน้ำหนักที่เหลืออยู่ของโครงสร้างอาคาร ทางผู้ศึกษาได้รวบรวม วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

สทริฐ พุทธวรรณะ ศิริส เคนพะนานและวิชัย เคนชมพู (2543) ได้ทำการศึกษาความ น่าเชื่อถือของการตรวจสอบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีไม่ทำลาย เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความ ถูกต้อง ความแน่นอน รวมทั้งวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ของการตรวจสอบกำลังของ ชิ้นส่วนโครงสร้างเสา และคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ 1.

การใช้ค้อนกระแทกแบบชมิทท์ (Schmidt Hammer) 2. วัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity Test) 3. ทั้งสองวิธีแรกทดสอบร่วมกัน (Combined Method) หลังจากทดสอบแบบไม่ทำลายแล้วตัวอย่างทั้งหมดจะถูกทดสอบโดยวิธีทำลาย (Destructive Test, Load Test) นำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน

นักวิจัยสรุปว่า การทดสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีการใช้ค้อนกระแทกแบบชมิทท์ (Schmidt Hammer) มาใช้ตรวจสอบกำลังของโครงสร้างคานจะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดและกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดที่มีค่าต่ำ

ธวัชวีร์ ลีละวัฒน์ และประวิณ ชมปรีดา (2553) ได้ศึกษาการตรวจสอบอาคารคอนกรีตที่เกิดสนิมเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นของสะพานลอยในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากการสำรวจเบื้องต้นโดยใช้วิธีตรวจสอบด้วยสายตา พบว่าปัญหาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมส่วนใหญ่มักเกิดบริเวณชั้นใต้คานฟ้าของอาคารและบริเวณใต้กันสาดหรือชั้นลอยซึ่งสัมผัสกับความชื้นโดยตรง และพบว่า หากนำการตรวจสอบแบบวิธีการใช้ค้อนกระแทกแบบชมิทท์ (Schmidt Hammer) มาใช้วัดค่าความแข็งของผิวคอนกรีตจะสามารถทราบถึงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตได้และหากนำการตรวจสอบความลึกเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น (Carbonation Depth) มาตรวจสอบ ทำให้ทราบถึงโอกาสที่เหล็กจะถูกทำลาย

Lawaniset,W.et al. (2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือและวิเคราะห์ความไวการผุกร่อนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยความปลอดภัยของคอนกรีตลดลงตามเวลา ปัจจัยสำคัญของการผุกร่อนจากสภาพแวดล้อมที่รุนแรง กระบวนการเสื่อมสภาพที่สำคัญคือคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีต ไอออนคลอไรด์ การกัดกร่อนของสนิมในเหล็กเสริมใช้รูปแบบความลึกคาร์บอนเนชั่น (Carbonation Depth) ที่ขึ้นกับเวลาของคอนกรีตธรรมดา การคำนวณจะขึ้นอยู่กับการอนุรักษ์มวลของคาร์บอนไดออกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์และ ใช้แคลเซียมซัลเฟตไฮเดรตในการควบคุมปริมาณใดๆ ของเนื้อคอนกรีต สูตรง่ายๆในการหาความลึกคาร์บอนเนชั่น ของคอนกรีตล้วนในการประมาณค่าของความลึกคาร์บอนเนชั่นกับเวลาวัตุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองความลึกคาร์บอนเนชั่น เพื่อประเมินเวลาที่ความลึกคาร์บอนเนชั่น (Carbonation Depth) ถึงผิวคอนกรีต ผลที่ได้คือสมการที่นักวิจัยเสนอสามารถประมาณค่าความลึกคาร์บอนเนชั่น และนำมาวิเคราะห์ความไวในการผุกร่อนมาสามารถประเมินอิทธิพลของการผุกร่อนต่อโอกาสที่น่าจะเกิดการวิบัติของโครงสร้างได้

วิชญ์ สันทัดและ อัญชลี ตูมภูเขียว (2553) ทำการศึกษาการประเมินกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีศึกษาอาคารเก่าในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย จากผลการศึกษาพบว่า การที่คอนกรีตเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น จะส่งผลให้เหล็กเสริมเกิดสนิมมากขึ้น ซึ่งเมื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักขององค์อาคารและ

ตรวจสอบความปลอดภัยตามมาตรฐาน วสท. พบว่าอาคารเกิดการเสียหายแต่ยังอยู่ในสภาวะที่ปลอดภัย โดยส่วนใหญ่อาคารจะมีความเสียหายภายนอกอาคาร

วีรยุทธ คชนทร (2556) ทำการศึกษาการประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากการเกิดคาร์บอนเตชัน กรณีศึกษาอาคารเรียนและสะพานลอยคน ข้ามในจังหวัดสมุทรปราการ จากผลการศึกษาพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตและระยะหุ้มเหล็กเสริม โครงสร้างมีค่ามากกว่าที่ออกแบบไว้และความลึกของคาร์บอนเตชันเฉลี่ยที่วัดได้จากโครงสร้างจริงมีค่า มากกว่าค่าคาร์บอนเตชันที่คำนวณได้จากมาตรฐานของกรมโยธาและผังเมือง

ปรัชญา สังข์สมบูรณ์ (2554) ได้ศึกษาการพัฒนาวิธีประเมินลำดับความสำคัญในการซ่อม บำรุงอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยผลการศึกษาพบว่า การจัดการซ่อมบำรุงอาคารสถานที่ของมหาวิทยาลัย ยังเป็นแบบการซ่อมบำรุงเมื่อวิบัติและยังมิได้พัฒนาระบบข้อมูลการซ่อมบำรุงอาคารผลการวิจัยส่วน ต่อมา คือการสร้างแผนงานการตัดสินใจ ซ่อมบำรุงของมหาวิทยาลัยจากลำดับความสำคัญของผลกระทบ จากความเสียหายขององค์อาคารจาก การประยุกต์แบบจำลองของ Horner และคณะ (1997) โดยแยก องค์อาคารออกเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ ส่วนที่มีผลกระทบต่อความปลอดภัย ส่วนที่จะมีผลกระทบมากและส่วน ที่จะมีผลกระทบน้อย จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ ว่าแต่ละส่วนควรใช้ระบบการจัดการซ่อมบำรุงแบบใด ระหว่าง 1) การซ่อมเมื่อวิบัติ 2) การซ่อมตามช่วงเวลา และ 3) การตรวจซ่อมตามสภาพ แล้วทดสอบ แบบจำลองการตัดสินใจที่ได้กับแบบจำลองการประเมิน ความสำคัญอีก 3 รูปแบบ ผลที่ได้เป็นลำดับการ ซ่อมบำรุงอาคารที่ให้ผลการประเมินสอดคล้องกับการสำรวจองค์อาคารจริง



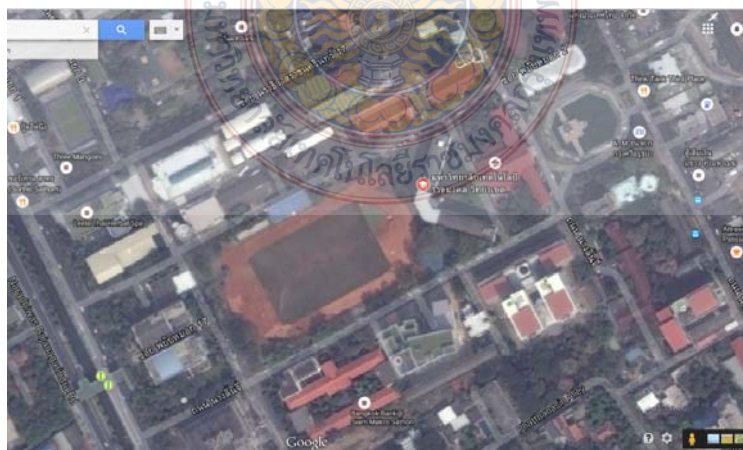
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

หลักการวิจัยเป็นการศึกษาในรูปแบบการวิจัยเชิงประยุกต์ โดยการตั้งสมมติฐานการวิจัย มีการศึกษาหาข้อมูลจากเอกสารและการทบทวนวรรณกรรม การทดสอบเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้มามาคำนวณน้ำหนักบรรทุกทางวิศวกรรมโยธา ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไป

ในการดำเนินงานเพื่อศึกษาหาความเหมาะสมในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและประเมินประสิทธิภาพพื้นดาดฟ้าอาคารจำนวน 7 หลัง ประกอบไปด้วยอาคาร 19,35,38,48,58,80 และตึกศิลปศาสตร์(ห้องสมุดเดิม) งานวิจัยนี้เริ่มจากการสำรวจเบื้องต้นด้วยตาเปล่า หลังจากนั้นจะกำหนดกลุ่มเป้าหมายและทำการทดสอบแบบไม่ทำลาย เช่น การทดสอบกำลังอัดประลัย ความสมบูรณ์ของคอนกรีต และอัตราการเกิดสนิม นอกจากนี้ยังทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำกลับมาทดสอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความลึกของคาร์บอนเนชั่น เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ของมูลทางสถิติ และประเมินกำลังของพื้นที่ต่อไปเพื่อรองรับการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ภาพถ่ายดาวเทียมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ

ที่มา www.google.com

3.1.1 การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ทำการตรวจสอบการเสื่อมสภาพเบื้องต้น จดบันทึกลักษณะความเสียหายรวมถึงตำแหน่งที่เกิดขึ้น เช่นการหลุดล่อนของคอนกรีต การแตกร้าว และทำการวัดขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้น

3.1.2 รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบโครงสร้าง วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

3.1.3 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบต่อไป

3.2 การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์

อาคารที่ตั้งอยู่ในเมืองใหญ่และมีการจราจรที่หนาแน่นย่อมมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงตามมา ก๊าซดังกล่าวเมื่อรวมตัวกับความชื้นส่งผลให้โครงสร้างเสื่อมสภาพตามที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว ดังนั้นงานวิจัยจึงได้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำการเก็บข้อมูลเป็น 2 ช่วงเวลา 8.00-9.30 น. และ 17.00-18.30 น. ของทุกวัน เป็นเวลา 1 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์

3.3 การทดสอบแบบไม่ทำลาย

3.3.1. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer) การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่สะดวกและส่งผลกระทบกับโครงสร้างเดิมน้อยที่สุดคือการทดสอบด้วยค้อนกระแทก เครื่องมือชนิดนี้เป็นการวัดแรงสะท้อนกลับคอนกรีตว่ามีค่าเท่าไร จากนั้น

จึงทำการแปลผลค่าที่ได้เป็นกำลังอัดของคอนกรีต งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลด้วยค้อนกระแทกจำนวน 5 จุด แต่ละจุดจะเก็บข้อมูล 16 จุดย่อยในลักษณะตารางกริดโดยแต่ละจุดจะห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ค้อนกระแทก (Schmidt Hammer)

3.3.2 การทดสอบคุณภาพคอนกรีตด้วยคลื่น (Ultrasonic Test) การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบโดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิม โดยใช้หัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse) ผ่านเข้าภายในเนื้อคอนกรีตและรับสัญญาณด้วยหัวรับสัญญาณ (Receiver) หากคอนกรีตมีคุณภาพดีคลื่นจะเดินทางผ่านได้เร็ว จากนั้นนำความความเร็วคลื่นที่ได้มาแปรผลเป็นกำลังอัดของคอนกรีต การทดสอบนี้อ้างอิง ASTM C597 งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลด้วยคลื่นจำนวน 5 จุดต่อหนึ่งอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 3.4

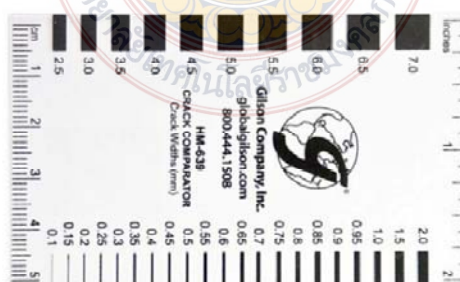


ภาพที่ 3.4 Ultrasonic Velocity

3.3.3 การตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริม (Reinforcing Rebar Location Determination) เป็นการตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมและหาระยะหุ้มเหล็กด้วยเครื่อง Profometer ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่จะใช้บอกตำแหน่งวัตถุที่สามารถเห็นด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ เช่น เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การตรวจสอบหาตำแหน่งหาตำแหน่งของเหล็กเสริมเลือกทำทดสอบกับอาคารที่มีการเสื่อมสภาพมากที่สุด โดยพิจารณาจากผลการสำรวจด้วยตาเปล่า การวัดขนาดความกว้างของรอยร้าว ความสมบูรณ์ และกำลังอัดของคอนกรีต แผ่นวัดความกว้างรอยร้าวดังภาพที่ 3.5 และ 3.6 โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นการสำรวจทางกายภาพด้วยสายตา เพื่อตรวจสอบสภาพการชำรุดและการประเมินโครงสร้าง การสำรวจทางกายภาพด้วยสายตานี้ถือเป็นขั้นตอนแรก



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กและหาตำแหน่งเหล็กเสริม



ภาพที่ 3.6 แผ่นวัดความกว้างรอยร้าว

3.4. การประเมินกำลังรับน้ำหนัก

การประเมินกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของโครงสร้างคำนวณโดยการนำค่าที่ได้จากการตรวจสอบมาประเมินกำลัง โดยสมการต่อไปนี้

3.4.1 การประเมินกำลังรับโมเมนต์ดัดปลอดภัยของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

$$\phi M_n \geq M_u \text{ โดยที่ } \phi = 0.90 \quad (3.1)$$

3.4.2 การตรวจสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน

$$\phi V_n \geq V_u \text{ โดยที่ } \phi = 0.90 \quad (3.2)$$

3.5 วิเคราะห์ผลการเก็บข้อมูล

3.5.1 วิเคราะห์ผลการสำรวจด้วยตาเปล่า และความกว้างของรอยร้าว

3.5.2 วิเคราะห์ผลกำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบแบบค้อนกระแทก

3.5.3 ตรวจสอบความสมบูรณ์ของคอนกรีตด้วย Ultrasonic test

3.5.4 พิจารณาผลการทดสอบแบบไม่ทำลายว่าอาคารใดเกิดการเสื่อมสภาพมากที่สุด และนำมาตรวจหาตำแหน่งของเหล็กเสริม

3.5.5 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการรับน้ำหนักเพื่อหาความเหมาะสมในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ประวัติอาคารที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเหมาะสมในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยทำการมุ่งเน้นกลุ่มอาคารที่มีชั้นดาดฟ้าเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ในพื้นที่วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ โดยอาคารที่ทำการศึกษาก่อประกอบไปด้วย อาคาร 2/2 19 35 36 48 50 และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา

4.1.1 อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2) เดิมใช้อาคารห้องสมุดและวิทยบริการ ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 6 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 1,620 ตารางเมตร ใช้งบประมาณในการก่อสร้าง 5,731,560.00 บาท ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2519 อายุ 39 ปีจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)

4.1.2 อาคารสาขาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19) เดิมเป็นอาคารเรียนและโรงฝึกงานของแผนกวิชาช่างก่อสร้าง ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 41,180 ตารางเมตร ใช้งบประมาณในการก่อสร้าง 800,000.00 บาท ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2496 อายุ 62 ปีจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)

4.1.3 อาคารสาขาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35) เป็นอาคารเรียนของแผนกวิชาช่างสำรวจ และแผนกประเมินราคาทรัพย์สิน ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 9,568 ตารางเมตร งบประมาณ 5,087,120.00 บาท ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2529 อายุ 29 ปีจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)

4.1.4 อาคารเรียนรวม (อาคาร 36) ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 2,070 ตารางเมตร งบประมาณ 22,110,000.00 บาท ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2510 อายุ 48 ปีจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 อาคารเรียนรวม (อาคาร 36)

4.1.5 อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) เป็นอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 10 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 7,480 ตารางเมตร งบประมาณ 72,100,000.00 บาท ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2540 อายุ 18 ปีจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)

4.1.6 อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50) เป็นอาคารเรียนคณะบริหารธุรกิจ ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 10 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 11,880 ตารางเมตร งบประมาณ 69,000,000.00 บาท ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2541 อายุ 17 ปีจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)

4.1.7 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา (อาคาร 52) เป็นอาคารอเนกประสงค์และอาคารเรียนรวม ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 10 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 58,650.40 ตารางเมตร งบประมาณ 314,843,500.63 บาท ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2553 อายุ 6 ปีจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 4.7

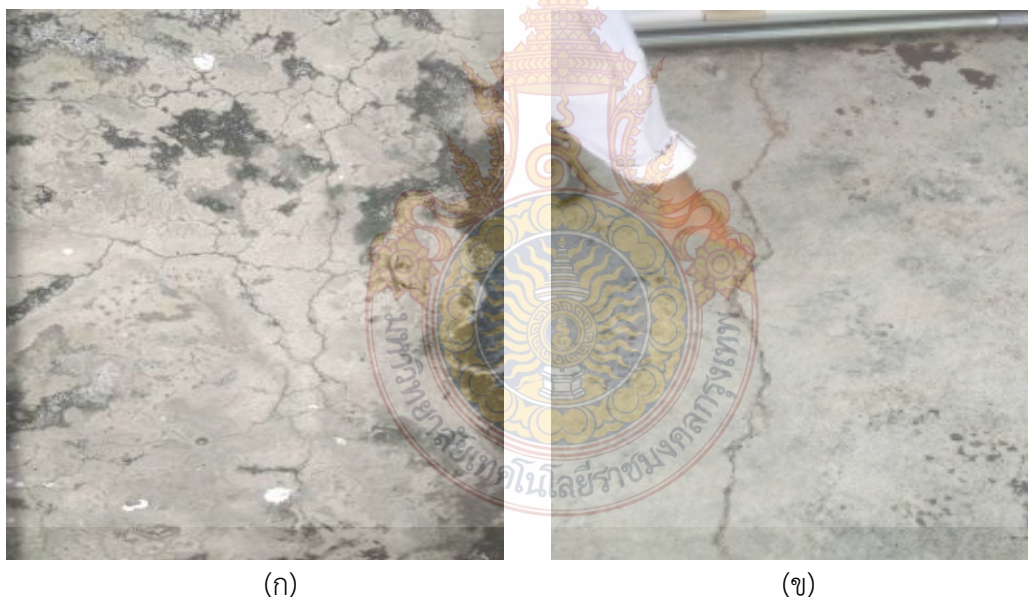


ภาพที่ 4.7 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา (อาคาร 52)

4.2 การตรวจสอบโครงสร้างด้วยตาเปล่า (Visual Inspection)

การสำรวจโครงสร้างด้วยตาเปล่า เป็นการตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์การเสื่อมสภาพและความเสียหายโดยรวมของโครงสร้างชั้นดาดฟ้าอาคาร เพื่อที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดสอบวิธีอื่นต่อไป ในงานวิจัยนี้ทุกอาคารที่กล่าวมาข้างต้นได้ทำการสำรวจเบื้องต้น โดยสังเกตลักษณะและมีรูปแบบการแตกร้าว จากนั้นยังได้ทำการวัดความกว้างของรอยร้าวด้วยแผ่น Comparator Card

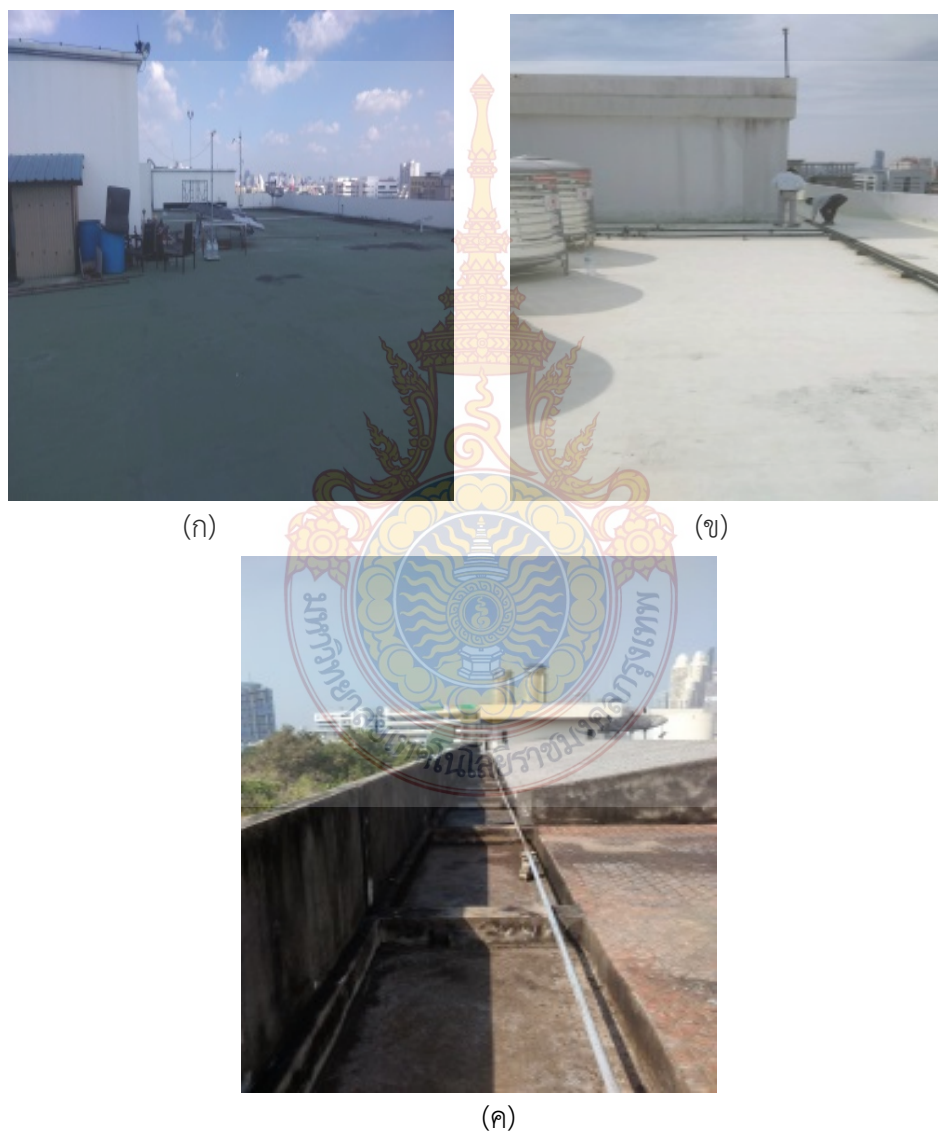
ความเสียหายที่พบจากการตรวจสอบพื้นดาดฟ้าอาคาร จากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าพบว่า มีรอยร้าวเกิดขึ้น 2 รูปแบบ คือ การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตซึ่งลักษณะของรอยร้าวจะมีลักษณะแบบแตกรายงา และอีกรูปแบบคือ รอยร้าวที่เกิดจากแรงดึงที่บริเวณฐานรองรับ (คานชั้นหลังคา) ซึ่งเกิดจากการแอ่นตัวของพื้นส่งผลให้เกิดแรงดึงที่บริเวณฐานรองรับ รอยร้าวลักษณะนี้จะเกิดเป็นแนวยาวต่อเนื่องกันอย่างเห็นได้ชัดเรียกรอยร้าวลักษณะนี้ว่า รอยร้าวที่เกิดจากแรงคด ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การแตกร้าวของพื้นชั้นดาดฟ้า
(ก) รอยร้าวที่เกิดจากการหดตัว (ข) รอยร้าวเนื่องจากแรงคด

จากการสำรวจพบว่า มีอาคารคณะศิลปศาสตร์เพียงอาคารเดียวที่เกิดรอยร้าวทั้งสองแบบร่วมกัน อาคารที่เหลื่อมักเกิดรอยร้าวเนื่องจากแรงคด และมีอาคารที่มีการปูกันซึมก่อนหน้าที่จะทำงานวิจัยไม่นานทำให้ไม่สามารถเห็นรอยร้าวได้จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าการแตกร้าวในลักษณะใด

อาคารดังกล่าวประกอบไปด้วย อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา ดังภาพที่ 4.9 อีกทั้งยังพบว่าอาคารวิศวกรรมสำรวจใช้ระบบโครงสร้างพื้นสำเร็จรูปวางบนคานหลังคาจากนั้นเทคอนกรีตทับหน้า ดังนั้นรอยร้าวที่เกิดขึ้นจึงเกิดแค่เพียงบริเวณคอนกรีตที่เททับหน้าพื้นสำเร็จรูปเท่านั้น อีกทั้งยังพบอีกว่าอาคาร 36 ผิวคอนกรีตพื้นจะมีความพรุนที่ผิวสูงกว่าทุกอาคารสาเหตุมาจากคานของพื้นดาดฟ้ามีลักษณะเป็นคานหยาบ (Upstand Beam) ดังภาพที่ 4.9 (ค) คานดังกล่าวมักขวางทางระบายน้ำเมื่อฝนตก ผู้ออกแบบจึงมักเจาะช่องระบายให้สามารถผ่านคานหยาบไปได้แต่เมื่อเวลาผ่านไป ช่องระบายน้ำเกิดการอุดตันส่งผลให้เกิดน้ำท่วมซึ่งเป็นเวลานานกว่าอาคารอื่น ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสำรวจรอยร้าวด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.9 ภาพชั้นดาดฟ้าของอาคาร (ก) อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ข) อาคารอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา (ค) อาคาร 36

ตารางที่ 4.1 ผลการสำรวจรอยร้าวด้วยตาเปล่า

ลำดับที่	อาคาร	ลักษณะการเกิดรอยร้าว	ลักษณะโครงสร้างพื้น ดาดฟ้า
1	อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)	รอยร้าวจากแรงดัด	พื้นหล่อในที่วางบนคาน
2	อาคารสาขาวิชาวิศวกรรม สำรวจ (อาคาร 35)	รอยร้าวจากแรงดัด	พื้นสำเร็จรูปวางบนคาน
3	อาคาร 36	รอยร้าวจากแรงดัด	พื้นหล่อในที่วางบนคาน
4	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)	มีกันซึม	พื้นหล่อในที่วางบนคาน
5	อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)	รอยร้าวจากแรงดัด	พื้นหล่อในที่วางบนคาน
6	อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	มีกันซึม	พื้นคอนกรีตอัดแรง
7	อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)	รอยร้าวจากการหดตัว และแรงดัด	พื้นหล่อในที่วางบนคาน

หลังจากทำการสำรวจด้วยตาเปล่าแล้ว นักวิจัยได้ทำการวัดความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้น โดยใช้แผ่น Comparator Card ดังแสดงในภาพที่ 3.6 การวัดความกว้างของรอยร้าวในแต่ละอาคาร จะทำการวัดความกว้างทุกรอย แล้วจากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนความกว้างของพื้น ดาดฟ้าแต่ละอาคาร ต่อจากนั้นนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ ACI 224R-01 มาตรฐานนี้ เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพงานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะกำหนดความกว้างของรอย ร้าวที่ยอมให้ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 สำหรับงานวิจัยนี้โครงสร้างที่ ทำการศึกษาคือพื้นดาดฟ้าซึ่งต้องเผชิญกับความชื้นจากฝนตามฤดูกาล ดังนั้นความกว้างของรอยร้าว ที่ยอมให้คือ 0.3 มิลลิเมตร อีกทั้งยังได้ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผัง เมือง ซึ่งกำหนดโดยกำหนดความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้เมื่อโครงสร้างที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิด สนิมไว้ดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดสอบระยะหุ้มคอนกรีตของทุกอาคารมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55 มิลลิเมตรหรือ5.5เซนติเมตร และพื้นดาดฟ้าอยู่ในสภาวะทั่วไปดังนั้นค่าความกว้างของรอยร้าวที่ยอม ให้มีค่าเท่ากับ 0.275 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 ความกว้างรอยร้าวที่มากที่สุด

ความรุนแรงของสภาพแวดล้อม	เหล็กเสริมทั่วไป (มม.)	เหล็กเสริมอัดแรง (มม.)
สภาวะทั่วไป	0.0050 $\times$ ระยะหุ้มคอนกรีต	0.0040 $\times$ C
สภาวะเสี่ยงต่อการเกิดสนิม	0.0040 $\times$ ระยะหุ้มคอนกรีต	ห้ามมีรอยร้าว
สภาวะเสี่ยงต่อการเกิดสนิมรุนแรง	0.0035 $\times$ ระยะหุ้มคอนกรีต	ห้ามมีรอยร้าว

(ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2550)

ตารางที่ 4.3 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 224R-01

ประเภทโครงสร้าง	ความกว้างของรอยร้าว	
	นิ้ว	มิลลิเมตร
โครงสร้างที่สัมผัสอากาศแห้ง	0.016	0.41
โครงสร้างที่สัมผัสอากาศชื้น, ความชื้นและดิน	0.012	0.30
โครงสร้างที่สัมผัสกับสารเคมี	0.007	0.18
โครงสร้างใต้ทะเล	0.006	0.15
โครงสร้างที่มีกันซึม	0.004	0.10

ผลจากการวัดความกว้างของรอยร้าวพบว่าทุกอาคารที่ทำการสำรวจมีค่าเกินกว่าที่ยอมให้ทั้งสองมาตรฐานกำหนดดังแสดงในตารางที่ 4.4 และอาคารที่มีความกว้างรอยร้าวของรอยร้าวเฉลี่ยมากที่สุดคือ อาคารวิศวกรรมโยธาซึ่งเป็นอาคารที่มีอายุการใช้งานมานานถึง 62 ปี มีความกว้างของรอยร้าวเฉลี่ย 0.85 มิลลิเมตรและอาคารคณะศิลปศาสตร์มีความกว้างของรอยร้าว 0.70 มิลลิเมตร สำหรับอาคารวิศวกรรมสำรวจแม้ว่าจะมีรอยร้าวกว้างเฉลี่ย 0.80 มิลลิเมตร ซึ่งรองลงมาจากอาคารวิศวกรรมโยธาแต่รอยร้าวดังกล่าวเป็นเพียงรอยร้าวของคอนกรีตทับหน้าเท่านั้น จึงไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างแต่อาจส่งผลให้เกิดการร้าวซึมเมื่อเกิดฝนหรือมีน้ำขัง และมี 2 อาคารที่ไม่สามารถวัดความกว้างของรอยร้าวได้เนื่องจากมีการใช้น้ำยากันซึมคือ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา และอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

ตารางที่ 4.4 สรุปผลรอยร้าวที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร

ลำดับที่	อาคาร	รอยร้าวเฉลี่ย (มม.)	รอยร้าวที่ยอมให้ (มม.)	
			(ACI)	กรมโยธาฯ
1	อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)	0.85	0.30	0.50
2	อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)	0.8	0.30	0.50
3	อาคาร 36	0.6	0.30	0.50
4	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)	มีกันซึม		
5	อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)	0.75	0.30	0.50
6	อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	มีกันซึม		
7	อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)	0.7	0.30	0.50

4.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วย Schmidt Hammer

4.3.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วย Schmidt Hammer ในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบหาลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่สะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งยังครอบคลุมโครงสร้างเดิมน้อยที่สุด งานวิจัยนี้ได้ทำการหาลังอัดของคอนกรีตด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Schmidt Hammer เป็นเครื่องมือที่อาศัยค่าสะท้อนกลับของสปริงที่อยู่ภายใน อย่างไรก็ตามถูกต้องของข้อมูลที่ได้ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้เป็นสำคัญ ดังนั้นก่อนนำเครื่องมือไปใช้ทดสอบในสนามจำเป็นต้องมีการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจถึงผลลัพธ์ที่ได้ ดังนั้นจึงใช้ Schmidt Hammer หาค่าสะท้อนกลับเฉลี่ย (RN) ของแท่งคอนกรีตแล้วนำมาคำนวณหาลังอัดโดยใช้สมการของ JSCE G504 2007 หลังจากนั้นนำค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายมาเปรียบเทียบกับค่าการทดสอบแบบทำลายในห้องปฏิบัติการดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกกับสมการของ JSCE G504 2007 ผลการเปรียบเทียบพบว่าค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบโดยใช้ Schmidt Hammer คลาดเคลื่อนจากการทดสอบแบบทำลายประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ สามารถนำเครื่องมือที่ได้ไปใช้ในการทดสอบหาลำดับของคอนกรีตพื้นดาดฟ้าต่อไป

ตารางที่ 4.5 ตารางสรุปค่ากำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง	ค่าการสะท้อน เฉลี่ย RN	กำลังอัดประลัย กก./ซม. ²	กำลังอัดจาก สมการของ JSCE กก./ซม. ²	ความคลาด เคลื่อน %
1	34	207.10	246.76	16.07
2	30	166.10	196.98	15.67
3	32	201.19	221.87	9.32
4	27	175.14	159.64	-9.70
5	37	191.94	271.60	29.34
6	32	262.71	221.87	-18.40
7	32	180.98	221.87	18.42
8	31	179.94	209.42	14.07
9	31	180.48	209.4	13.81
10	33	207.10	234.31	11.61
เฉลี่ย				15.64

4.3.2 การทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วย Schmidt Hammer ในสนาม

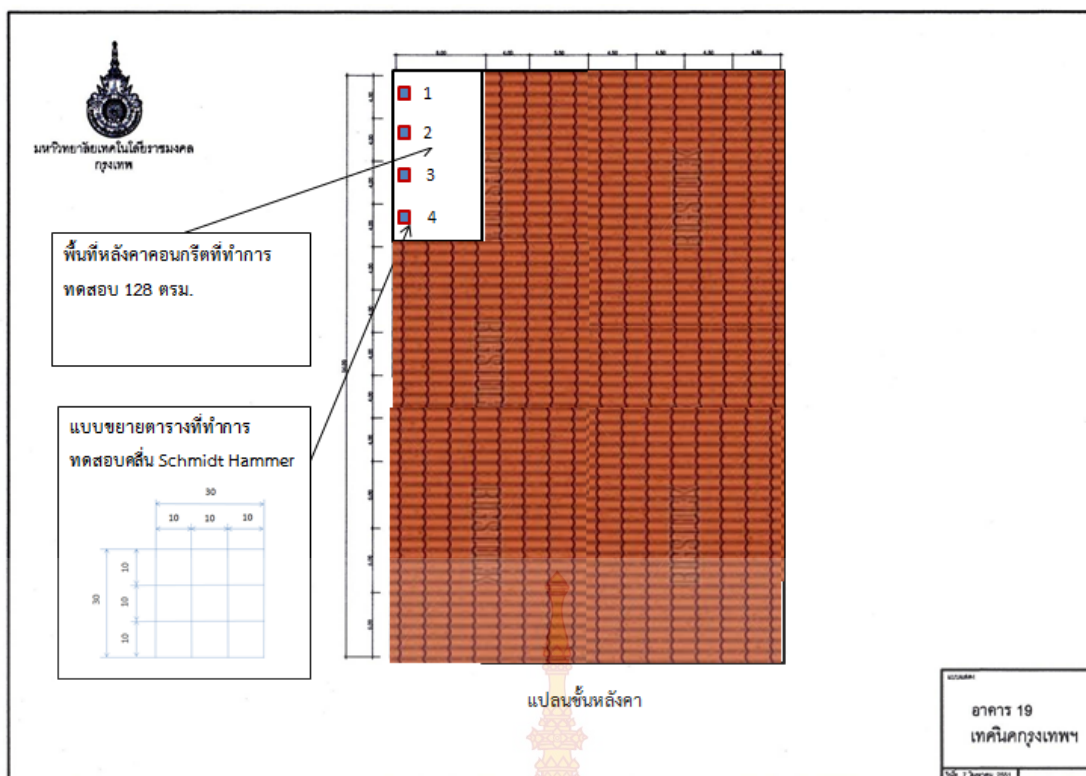
การทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตในสนามด้วย Schmidt Hammer จำเป็นต้องตรวจสอบสภาพผิวของพื้นคอนกรีตที่จะทำการทดสอบให้เรียบด้วยหินเจียเสียก่อน เพราะถ้าผิวโค้งงอหรือผิวเว้าจะมีผลต่อการสะท้อนกลับของ Rebound Hammer เนื่องจากผิวที่โค้งงอจะทำให้ค่าที่อ่านได้ต่ำกว่าค่าความเป็นจริง ส่วนผิวที่เว้าจะทำให้ค่าที่อ่านได้สูงกว่าค่าความเป็นจริง และบริเวณที่ทำการทดสอบแบ่งออกเป็น 16 จุดในลักษณะของตารางกริดแต่ละจุดห่างกัน 5 เซนติเมตรดังภาพที่ 4.11 เมื่อทำการทดสอบแล้วเสร็จนำค่า Rebound Number ทั้งหมด มาหาค่าเฉลี่ย แล้วตรวจสอบว่าค่า Rebound Number ที่ตำแหน่งใดมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเกิน 6 หน่วย ถ้ามีให้ทำการทดสอบตำแหน่งนั้นใหม่ ถ้าทดสอบแล้วยังไม่ได้ให้ตัดค่าที่ตำแหน่งนั้นทิ้งแล้วหาค่าเฉลี่ยใหม่ นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต



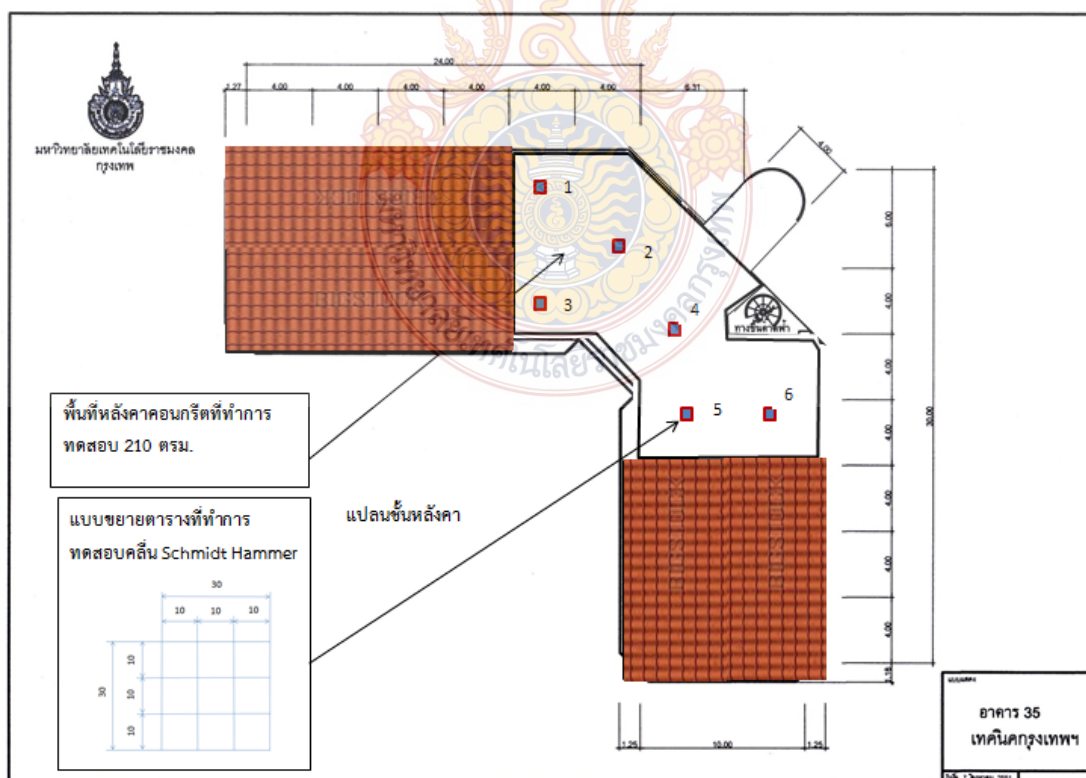
ภาพที่ 4.11 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพื้นดาดฟ้า

4.3.3 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบของแต่ละอาคาร

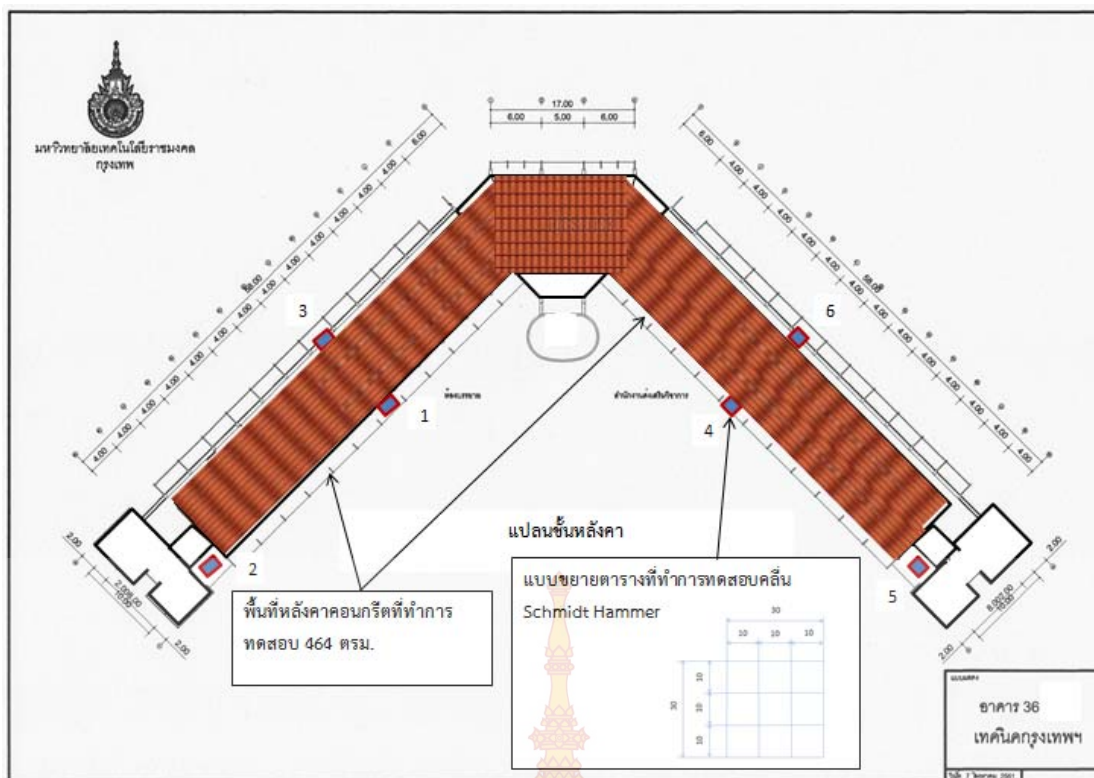
เพื่อให้ข้อมูลกำลังอัดที่ได้จากการทดสอบสามารถครอบคลุมเป็นตัวแทนของพื้นดาดฟ้าทั้งชั้นได้นั้น จำเป็นต้องมีการสุ่มทดสอบให้ทั่วพื้นที่ดาดฟ้า ซึ่งดาดฟ้าที่มีพื้นที่กว้างก็จะมีจำนวนจุดที่ใช้ในการทดสอบมากกว่าดาดฟ้าที่มีพื้นที่น้อย โดยจำนวนจุดที่ทำการทดสอบต่ออาคาร 1 หลังจะมีอย่างน้อย 4 จุด และแต่ละจุดจะมีจุดย่อย 16 จุด ตามที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละอาคารแสดงดังภาพที่ 4.12 ถึง 4.18



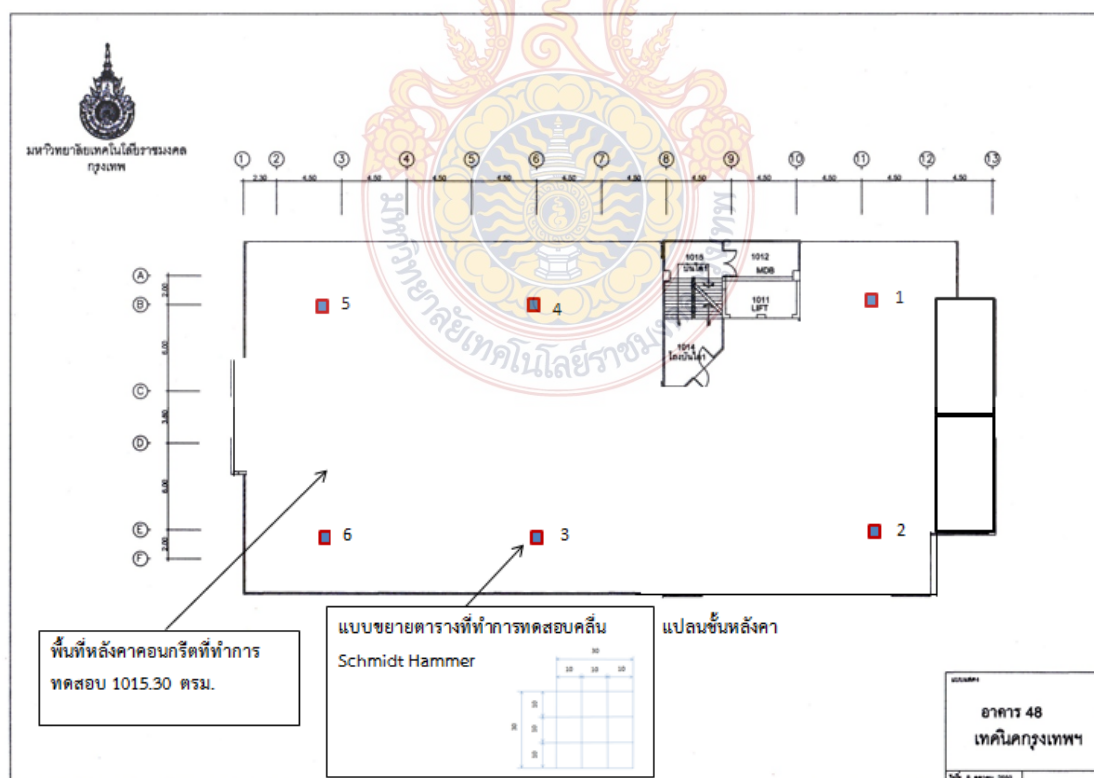
ภาพที่ 4.12 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)



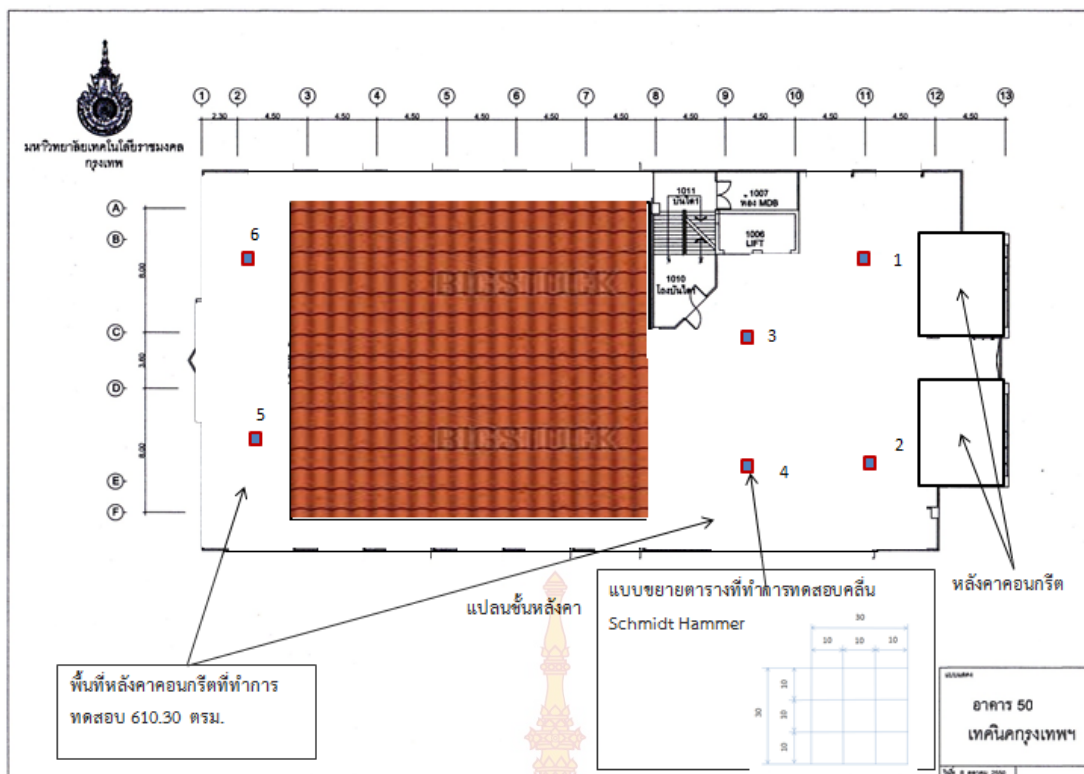
ภาพที่ 4.13 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)



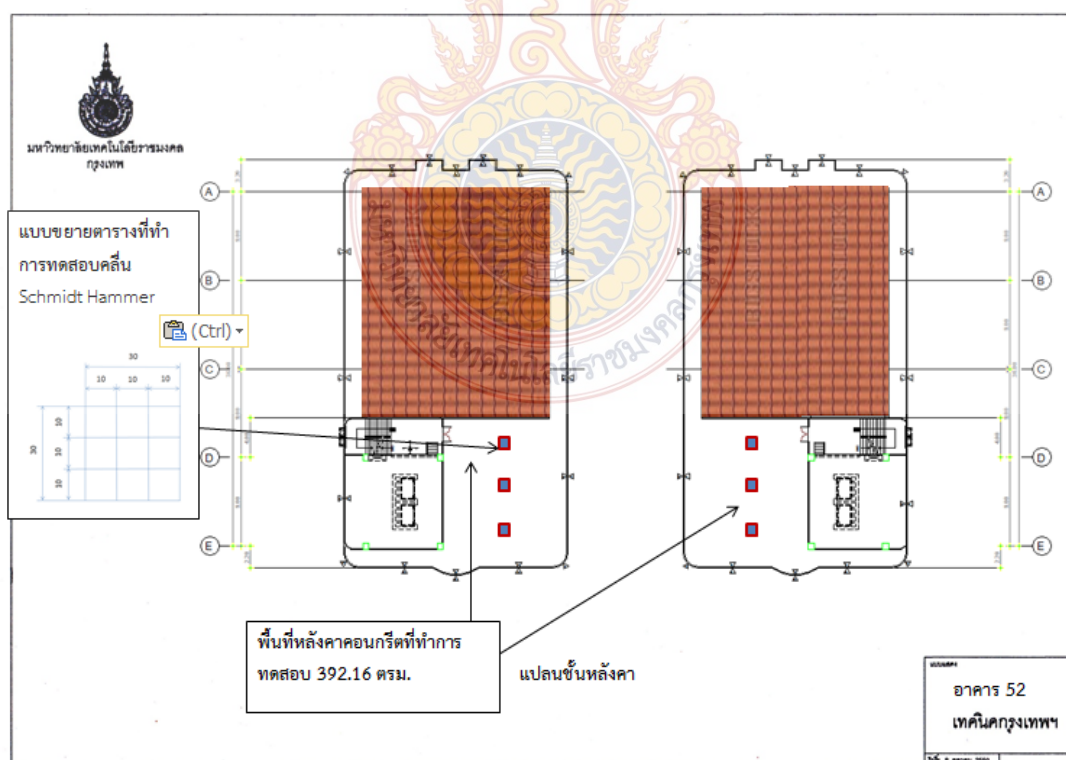
ภาพที่ 4.14 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคาร 36



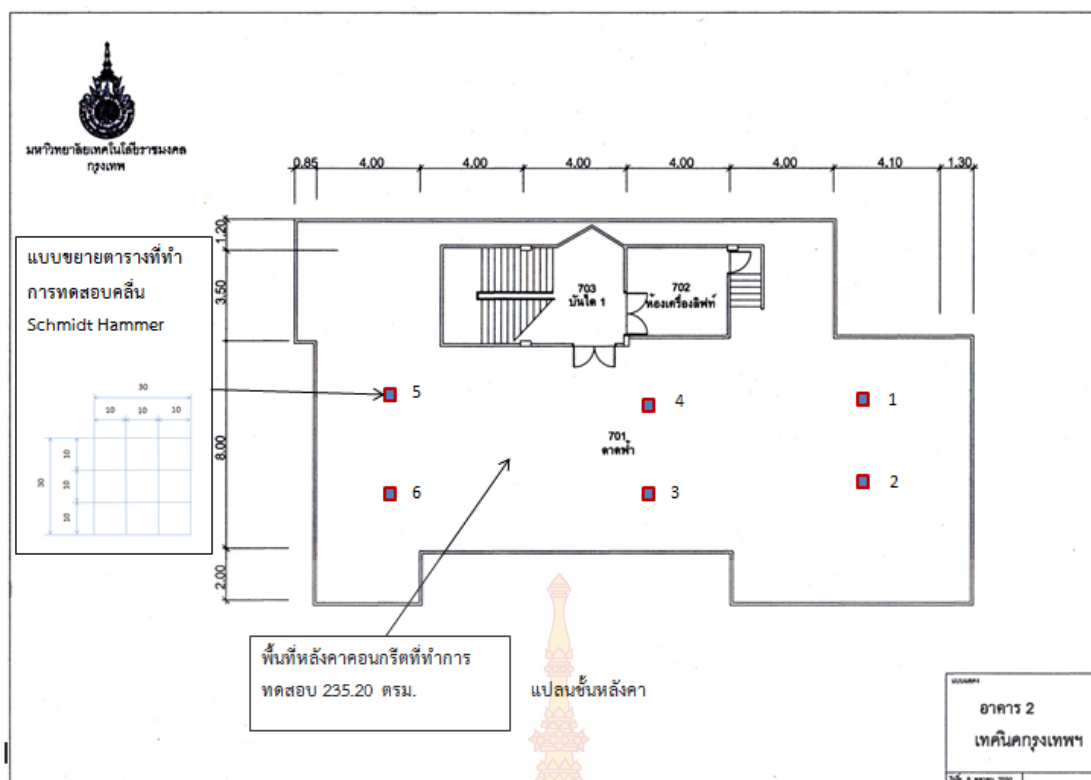
ภาพที่ 4.15 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)



ภาพที่ 4.16 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)



ภาพที่ 4.17 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคาร 80 พรรษา



ภาพที่ 4.18 ตำแหน่งที่ทดสอบอาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)

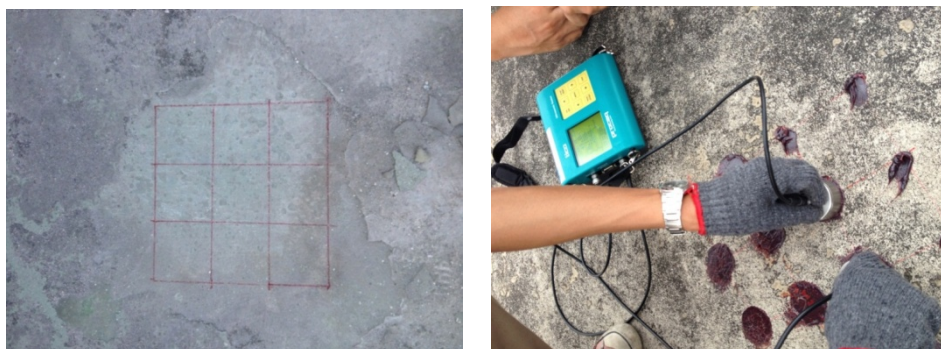
ผลการคำนวณกำลังอัดของพื้นดาดฟ้าทุกอาคารแสดงในตารางที่ 4.6 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอาคารสาขาวิศวกรรมโยธามีกำลังอัดของคอนกรีตต่ำที่สุดคือมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 225.19 กก./ชม.² และอาคารที่มีกำลังอัดของคอนกรีตมากที่สุดคืออาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50) 355.79 กก./ชม.² เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับอายุของอาคารแต่ละหลังพบว่าข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกับอายุการใช้งานของอาคารเห็นได้ว่าอาคารสาขาวิศวกรรมโยธาเป็นอาคารที่มีอายุการใช้งานมานานมากที่สุดคือ 64 ปี กำลังอัดของคอนกรีตจึงมีค่าต่ำที่สุด ในทางกลับกันอาคารคณะบริหารธุรกิจผ่านการใช้งานมาน้อยกว่าทุกอาคารที่สามารถเก็บข้อมูลได้ผลของกำลังอัดของคอนกรีตก็มีค่ามากที่สุด และมีอาคารที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้คืออาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา เพราะมีการปูกันซึมไว้ก่อนหน้า เนื่องจากการสำรวจด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องมือยิงไปที่เนื้อคอนกรีตโดยตรงโดยไม่มีสิ่งใดกั้นขวางระหว่างเครื่องมือกับคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ

ตารางที่ 4.6 สรุปค่ากำลังอัดของโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร

อาคาร	กำลังอัดจากค้อนกระแทก Schmidt Hammer	
	ค่าการสะท้อน เฉลี่ย (RN)	กำลังอัดเฉลี่ย กก./ซม. ²
อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)	32.26	225.19
อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)	39.72	317.98
อาคาร 36	37.95	295.94
อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)	มีกันซึม	
อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)	42.76	355.79
อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	มีกันซึม	
อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)	35.43	264.58

4.4 การทดสอบความสมบูรณ์ของคอนกรีต

การทดสอบคุณภาพคอนกรีตด้วยคลื่น Ultrasonic เป็นการทดสอบด้วยโดยใช้หัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse) ผ่านเข้าภายในเนื้อคอนกรีตและรับสัญญาณด้วยหัวรับสัญญาณ (Receiver) หากคอนกรีตมีคุณภาพดีคลื่นจะเดินทางผ่านได้เร็ว และหากคุณภาพคอนกรีตต่ำคลื่นจะเดินทางได้ช้า งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลด้วยคลื่นจำนวน 4 -5 จุดต่อหนึ่งอาคาร ตำแหน่งที่ทำการทดสอบแสดงในภาพที่ 4.20 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Schmidt Hammer แตกต่างกันเพียงความห่างของตารางกริดจาก 5 เซนติเมตร เป็น 10 เซนติเมตร ก่อนที่ทำการทดสอบที่หัวส่งและรับสัญญาณจำเป็นต้องใช้จาระบีเพื่อทำให้หัวส่งสัญญาณสัมผัสกับพื้นคอนกรีตให้สม่ำเสมอ ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของคอนกรีตแสดงในตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.19 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบความเร็วคลื่นบนโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าความเร็วคลื่นเฉลี่ยของโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร

อาคาร	ความเร็วคลื่น (m/s)
อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)	2,759.32
อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)	2,914.69
อาคาร 36	3,045.63
อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)	2,953.61 (มีกันซึม)
อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)	3,554.86
อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	2,664.97 (มีกันซึม)
อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)	3,012.68

คุณภาพของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วยคลื่น Ultrasonic คุณภาพของคอนกรีตสามารถหาได้จากการนำความเร็วคลื่นที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าความเสื่อมสภาพของคอนกรีตได้ โดยอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM C579 – 02 ตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงคุณภาพของคอนกรีต

ความเร็วคลื่น Ultrasonic Test	คุณภาพคอนกรีต
> 4,000 m/s	ดีมากถึงดีเยี่ยม
3,500 – 4,000 m/s	ดีถึงดีมากอาจมีความพรุนเล็กน้อย
3,000 – 3,500 m/s	เป็นที่น่าพอใจ,อาจมีความพรุนเล็กน้อย
< 3,000 m/s	ต่ำและมีความพรุนสูง

จากการทดสอบความเร็วคลื่นสรุปได้ว่า อาคารที่ทำการทดสอบทั้งหมดมีความเร็วคลื่นอยู่ในช่วงต่ำกว่า 3,000 m/s ไปจนถึง 3,500 m/s ซึ่งอาคารที่มีความเร็วคลื่นสูงสุดคืออาคารคณะบริหารธุรกิจมีความเร็วคลื่นอยู่ในช่วง 3,500 – 4,000 m/s คุณภาพคอนกรีตอยู่ในช่วงดีถึงดีมากอาจมีความพรุนเล็กน้อยและอาคารคณะศิลปศาสตร์ และอาคาร 36 เป็นอาคารที่มีความเร็วคลื่นอยู่ในช่วง 3,000 – 3,500 m/s คุณภาพคอนกรีตอยู่ในช่วงเป็นที่น่าพอใจ,อาจมีความพรุนเล็กน้อย และอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มีความเร็วคลื่นต่ำกว่า 3,000 m/s แสดงว่าคอนกรีตมีความพรุนสูงสำหรับอาคารที่มีการปูกันซึมเช่น อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา ผลให้ค่าความเร็วคลื่นไม่น่าเชื่อถือเนื่องจากเป็นอาคารที่เพิ่งก่อสร้างมาไม่นาน แต่ความเร็วคลื่นบ่งบอกว่าคอนกรีตมีความพรุนสูง และสำหรับอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ความเร็วคลื่นที่ได้จะเป็นความเร็วที่คลื่นเดินทางผ่านตัวกลางสองตัวที่แตกต่างกันคือ คอนกรีตทับหน้าและแผ่นพื้นสำเร็จรูป ดังนั้นผลที่ได้จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร เมื่อนำผลของความเร็วคลื่นมาเปรียบเทียบกับผลของกำลังอัดที่ได้จากเครื่อง Schmidt Hammer แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของทั้งสองเครื่องมือมีความสอดคล้องกัน อาคารที่มีกำลังอัดต่ำความเร็วคลื่นก็จะต่ำตามไปด้วย

4.5 ระยะหุ้มของคอนกรีต

ระยะหุ้มของคอนกรีต คือ ระยะที่คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไว้ซึ่งระยะหุ้มของคอนกรีตวัดจากผิวของคอนกรีตไปถึงผิวของเหล็กเสริม ระยะหุ้มของคอนกรีตทำหน้าที่ป้องกันเหล็กเสริมเพื่อไม่ให้เกิดสนิมเมื่อต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมต่างๆ มาตรฐาน ACI Code และกรมโยธาธิการและผังเมืองระบุเมื่อผิวคอนกรีตต้องสัมผัสกับความชื้นควรมีระยะหุ้มคอนกรีตดังสมการที่ 4.1 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบหาระยะหุ้มของคอนกรีตเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ทำการทดสอบหาลำกำลังอัด ผลการหาระยะหุ้มของคอนกรีตแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่าระยะเหล็กหุ้มคอนกรีตเฉลี่ยที่ได้มากกว่า 50 มิลลิเมตร ทุกอาคาร (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) ซึ่งมีความมากกว่าระยะหุ้มของคอนกรีตหุ้มที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ACI และ วสท.

$$C_{\min} = \alpha C_0 \quad (4.1)$$

โดยที่ $C_{\min}$ คือ ระยะหุ้มเหล็กเสริม หน่วยเป็น มิลลิเมตร

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มของคอนกรีต = 1 (ดูตารางที่ 4.9)

C_0 คือ ระยะหุ้มของคอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมเท่ากับ 50 มิลลิเมตร (ดูตารางที่ 4.10)

โดยค่าระยะหุ้มของคอนกรีตตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง สำหรับโครงสร้างที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมมีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็ก (α)

ค่าอัตราส่วนน้ำหนักต่อวัสดุประสาน (w/b) หรือ กำลังอัดประลัย (f_c') ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน	ค่าสัมประสิทธิ์ระยะหุ้มเหล็กเสริม
(w/b) > 0.65 หรือ (f_c') < 20 MPa	1.2
$0.45 \leq (w/b) \leq 0.65$ หรือ $20 \text{ MPa} \leq (f_c') \leq 40 \text{ MPa}$	1.0
(w/b) < 0.45 หรือ > 40 MPa	0.9*

(ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2550)

ตารางที่ 4.10 ระยะเหล็กเสริมทั่วไป (C_p) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

ลักษณะของงานก่อสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด (มม.)
1) คอนกรีตหล่อในที่ทั้งอัดแรงและไม่อัดแรง	
- แผ่นพื้น และผนัง	50
- องค์กรอาคารอื่น	65
2) คอนกรีตหล่อสำเร็จ (ควบคุมคุณภาพจากโรงงาน) ทั้งอัดแรงและไม่อัดแรง	
- แผ่นพื้น และผนัง	40
- องค์กรอาคารอื่น	50

(ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2550)

ตารางที่ 4.11 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กของพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร

อาคาร	ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก เฉลี่ย (มม.)	ระยะหุ้มคอนกรีต ที่ยอมให้ (มม.)
อาคารสาขาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)	60	50
อาคารสาขาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)	55	50
อาคาร 36	55	50
อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)	55	50
อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)	55	50
อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	55	50
อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)	50	50

จากการรวบรวมข้อมูลของอาคาร และจากผลการทดสอบแบบไม่ทำลายซึ่งประกอบไปด้วย การสำรวจด้วยตาเปล่า ความกว้างของรอยร้าว คุณภาพและกำลังอัดของคอนกรีต พบอาคารที่มีการเสื่อมสภาพมากที่สุดคือ อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19) รองลงมาคืออาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2) ซึ่งอาคารทั้งสองหลังหากต้องการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักให้พื้นดาดฟ้าจำเป็นต้องมีการตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของพื้น ดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลอาคารทั้งสองเพิ่มเติมอีก 2 วิธี คือ การตรวจสอบตำแหน่งและปริมาณของเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต และความหาความหนาพื้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคำนวณหา กำลังรับน้ำหนัก เพื่อให้แน่ใจว่าอาคารสามารถรับน้ำหนักของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างปลอดภัย

4.6 การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้น

การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ อาคารที่ตั้งอยู่ในเมืองใหญ่และมีการจราจรที่หนาแน่นย่อมมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงตามมา ก๊าซดังกล่าวเมื่อรวมตัวกับความชื้นส่งผลให้โครงสร้างเสื่อมสภาพ ดังนั้นงานวิจัยจึงได้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำการเก็บข้อมูลเป็น 2 ช่วงเวลา 8.00-9.30 น. และ 17.00-18.30 น. ของทุกวัน เป็นเวลา 1 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 แสดงการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของอาคาร

การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้จะทำการวัดในช่วงเช้าและช่วงเย็นแล้วนำค่ามาเฉลี่ยใช้ในการวิเคราะห์ จากการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะได้ค่าที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่า อาคารคณะบริหารธุรกิจมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด

เนื่องจากอยู่ติดกับถนนราธิวาสราชนครินทร์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รองลงมาคือคณะวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งอยู่ติดถนนราธิวาสราชนครินทร์เช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาคาร 36 มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดเนื่องจากอยู่ห่างจากถนน ทั้งนี้หากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณมากจะส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตในระยะยาวทำให้เกิดความเสียหายที่ผิวคอนกรีตซึ่งจะนำไปสู่ความเสียหายในชั้นของเหล็กเสริมได้ ความชื้นจากคอนกรีตที่ระเหยขึ้นมาจะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำบนผิวหน้าของคอนกรีตได้ ทำให้วัสดุปิดผิวบวมหรือถึงกับหลุดร่อนออกมาจากการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในระยะเวลา 1 เดือน ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้เฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) มีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุด

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นสัมพัทธ์ของอาคาร

อาคาร	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)
อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)	59	281
อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)	60	286
อาคาร 36	58	277
อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)	62	287
อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50)	60	290
อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	58	281
อาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)	59	282

4.7 การตรวจสอบตำแหน่งและปริมาณของเหล็กเสริมพื้นดาดฟ้า

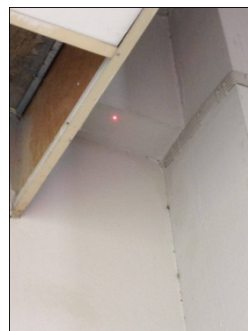
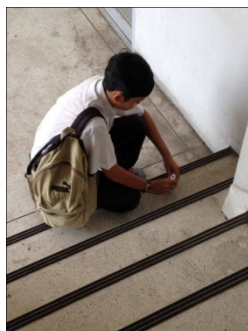
ในการวัดขนาดของเหล็กเสริมของพื้นดาดฟ้า ใช้เครื่องตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริม (Profometer) การทำงานของเครื่องอาศัยหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องมือจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นรอบเหล็กเสริมและเหนี่ยวนำเป็นช่วงๆ เพื่อตรวจสอบหาตำแหน่งของเหล็กเสริม การตรวจสอบตำแหน่งและหาปริมาณของเหล็กเสริมแสดงในภาพที่ 4.22



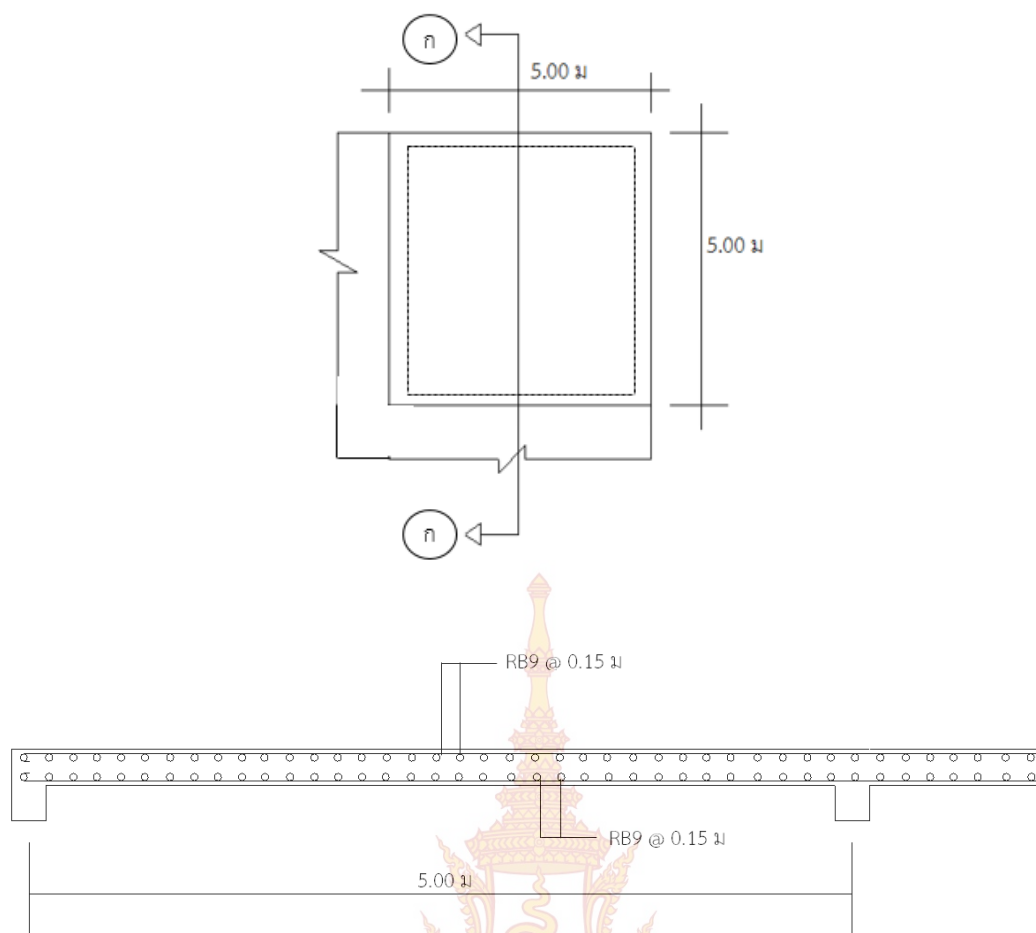
ภาพที่ 4.21 การวัดขนาดเหล็กเสริมพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร

การตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมพื้นดาดฟ้าแต่ละอาคารจะเลือกพื้นที่ที่มีความกว้าง และยาวมากที่สุดเป็นตัวแทนของพื้นชั้นดาดฟ้าทั้งชั้น สำหรับอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาพื้นที่เลือกทำการทดสอบมีความขนาด 5x5 เมตร จากการตรวจสอบเหล็กเสริมพบว่าเหล็กเสริมพื้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 9 มิลลิเมตร ระยะห่างของเหล็กเท่ากับ 15 เซนติเมตรจัดวางในลักษณะตะแกรง และพื้นมีความหนาเท่ากับ 20 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.23 อาคารคณะศิลปศาสตร์พื้นที่เลือกทำการทดสอบมีขนาด 4x8 เมตร ใช้เหล็กเสริมขนาด 9 มิลลิเมตร ระยะห่างของเหล็กเท่ากับ 15 เซนติเมตร จัดวางในลักษณะตะแกรง และพื้นมีความหนาเท่ากับ 20 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.24

ข้อมูลที่สำคัญอีกประการสำหรับการใช้ในการประเมินกำลังรับน้ำหนักคือความหนาของพื้นดาดฟ้าอาคาร ในการวัดความหนาพื้นใช้เลเซอร์ในการวัดระยะความสูงของท้องพื้นและหลังพื้นของพื้นดาดฟ้าอาคารดังภาพที่ 4.22 แล้วนำมาหาความหนาของพื้นดาดฟ้าอาคาร จากผลการวัดความหนาพบว่าทั้งอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและอาคารคณะศิลปศาสตร์ได้ความหนาเท่ากันคือ 20 เซนติเมตร

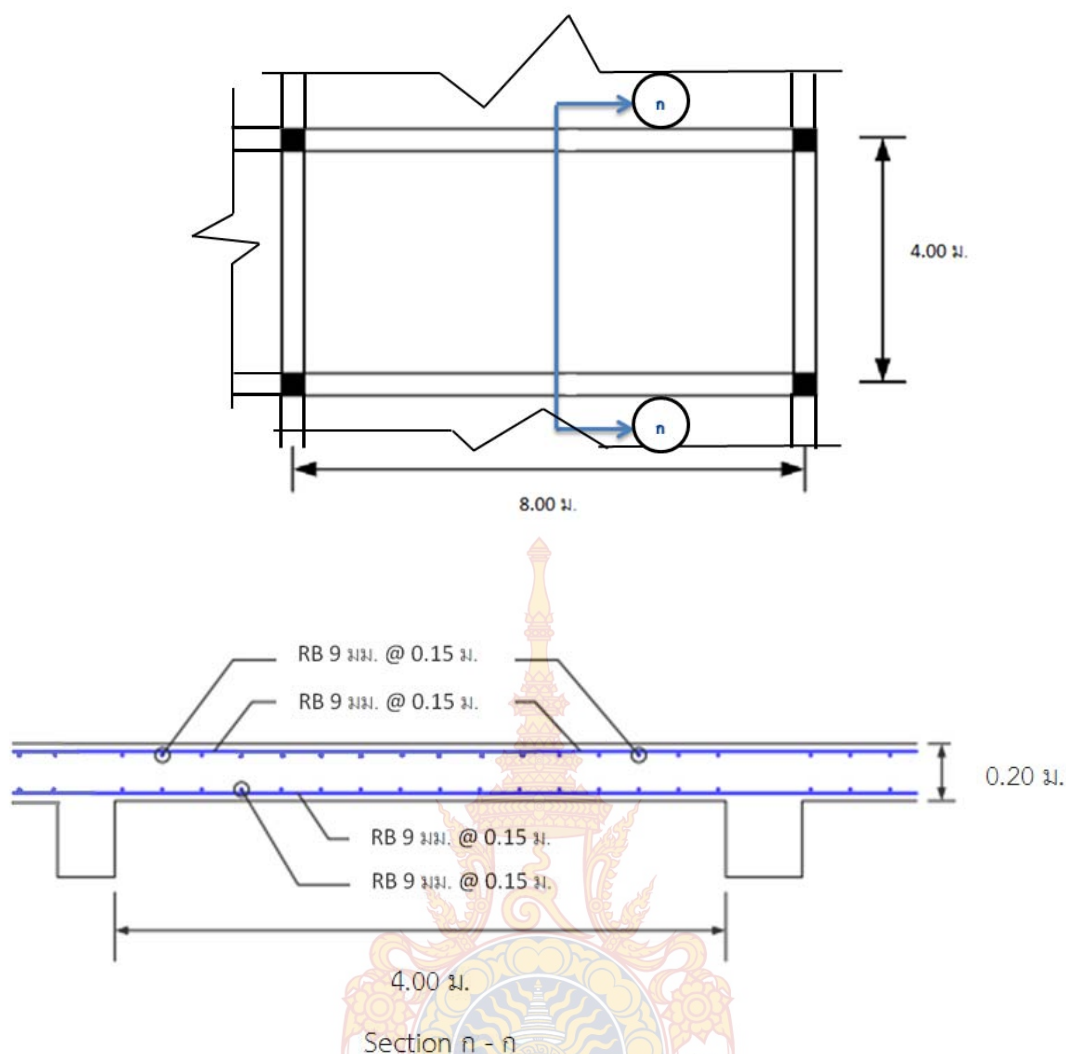


ภาพที่ 4.22 การวัดความหนาโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร



Section ก - ก

ภาพที่ 4.23 รายละเอียดหลักโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)



ภาพที่ 4.24 รายละเอียดหลักโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าอาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)

4.8 การประเมินกำลังรับน้ำหนักของพื้นชั้นดาดฟ้า

หลังจากวิเคราะห์กำลังรับแรงอัดของโครงสร้างอาคารชั้นดาดฟ้า ทั้ง 7 อาคาร งานวิจัยนี้ได้เลือกอาคาร 19 มาประเมินกำลังรับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าเพื่อรองรับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากอาคารดังกล่าวมีอายุมากและมีรอยร้าวเฉื่อยมากที่สุด ซึ่งผู้จัดทำได้เลือกพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเป็นตัวแทนของพื้นอาคารทั้ง 7 อาคาร

การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของพื้นอาศัยการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามวิธีที่ 2 ของวสท. ผลจากการทดสอบแบบไม่ทำลายแสดงให้เห็นว่าอาคารที่มีการเสื่อมสภาพ และหากต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกให้พื้นดาดฟ้าจำเป็นต้องมีการตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ คือ

อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และอาคารคณะศิลปศาสตร์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเลือกประเมินกำลังรับน้ำหนักของอาคารทั้งสองหลังเพื่อให้แน่ใจว่า หากต้องติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ บนพื้นดาดฟ้าอาคารจะไม่ส่งผลกระทบใดๆ กับโครงสร้างพื้น

คุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายประกอบไปด้วย กำลังอัดของคอนกรีต 225.19 และ 264.58 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และคณะศิลปศาสตร์ ตามลำดับ ทั้งสองอาคารมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม 9 มิลลิเมตร มีระยะห่าง 15 เซนติเมตร คำนวณพื้นที่หน้าตัดได้เท่ากับ 4.24 ตารางเซนติเมตรต่อเมตร เหล็กเสริมรับแรงดึงเลือกใช้กำลังดึงที่จุดครากเท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และความหนาพื้น 20 เซนติเมตร ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

ตัวอย่างรายการคำนวณพื้นดาดฟ้าอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)

กำลังอัดเฉลี่ย = 225.19 กก./ซม.^2 เลือกใช้กำลังจุดครากเท่ากับ $2,400 \text{ กก./ซม.}^2$
เหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. $A_s = 4.24 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$ และความหนาพื้น = 20 ซม.

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 WD &= 1.4 \times 0.20 \times 2,400 = 672 \text{ กก./ม.}^2 \\
 WD(\text{แผงพลังงาน}) &= 1.4 \times 50 = 70 \text{ กก./ม.}^2 \\
 WL &= 1.7 \times 100 = 170 \text{ กก./ม.}^2 \\
 Wu &= WD + WD(\text{แผงพลังงาน}) + WL = 672 + 70 + 170 = 912 \text{ กก./ม.}^2 \\
 d &= 20 - 5 - (0.09/2) = 14.95 \text{ ซม.} \\
 \rho &= A_s / b d = 4.24 / (100 \times 14.95) = 0.002 \\
 R_u &= \rho f_y ((1 - 0.59 \rho (f_y / f_c')) \\
 &= 0.002 \times 2,400 ((1 - 0.59 \times 0.002 \times (2400 / 225.19)) \\
 &= 4.74 \\
 m &= S / L \\
 &= 5 / 5 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ดัด C

$$\text{โมเมนต์ลบด้านต่อเนื่อง} = 0.041$$

$$\text{โมเมนต์ลบด้านไม่ต่อเนื่อง} = 0.021$$

$$\text{โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง} = 0.031$$

$$M_u = R_u b d^2 = 4.74 \times 1 \times 14.95^2 = 1,059.40 \text{ กก.-ม./ม.}$$

$$W_u^- \text{ (ด้านต่อเนื่อง)} = 1,059.40 / (0.041 \times 5^2) = 1,033.56 \text{ กก./ม.}^2$$

$$W_u^- \text{ (ด้านไม่ต่อเนื่อง)} = 1,059.40 / (0.041 \times 5^2) = 2,017.90 \text{ กก./ม.}^2$$

$$W_u^+ \text{ (กึ่งกลางช่วง)} = 1,059.40 / (0.031 \times 5^2) = 1,366.96 \text{ กก./ม.}^2$$

$$V_c = ((912 \times 5) / 3) ((3 - 1^2) / 2) = 1,520 \text{ กก.}$$

$$V_c = V_u = 0.53 f_c'^{0.5} = 0.53 \times 225.19^{0.5} \times 100 \times 14.9 = 11,885.25 \text{ กก./ม.}$$

$$W = (11,885.25 \times 3) / 5 = 7,131.15 \text{ กก./ม.}^2$$

พื้นดาดฟ้าอาคารสามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด จากการทดสอบ 1,033.56 กก./ม.²

ตารางที่ 4.13 น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของพื้น

อาคาร	น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (กก./ม. ²)	น้ำหนักของแผงพลังงาน แสงอาทิตย์รวมกับโครงสร้าง พื้น (กก./ม. ²)
อาคารสาขาวิชาวิศวกรรม โยธา	1,033.56	912
อาคารคณะศิลปศาสตร์	1,122.44	912

หมายเหตุ

น้ำหนักของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ประเภท Monocrystalline Silicon Solar Cell เท่ากับ 14.10 กก./ม.² (ไม่รวมโครงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์)

ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าอาคารทั้งสองหลังสามารถรับน้ำหนักแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างปลอดภัย อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และอาคารคณะศิลปศาสตร์รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้เท่ากับ 1,033.56 และ 1,122.44 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ประเภท Monocrystalline Silicon Solar Cell รวมกับ

น้ำหนักจระและน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ของพื้นดาดฟ้ามีค่าเท่ากับ 912 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แสดงว่าอาคารทั้งสองสามารถรับน้ำหนักของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างปลอดภัย

เมื่อติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งดาดฟ้า โดยอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธามีพื้นที่ที่สามารถติดตั้งได้ทั้งหมดเท่ากับ 128 ตารางเมตร จะได้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 112.5 กิโลวัตต์ต่อวัน หรือทดแทนพลังงานของเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU ที่เปิดตลอด 8 ชั่วโมงได้ 3 เครื่องต่อวัน และสำหรับอาคารคณะศิลปศาสตร์มีพื้นที่ที่สามารถติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 238 ตารางเมตร เมื่อติดตั้งเต็มพื้นที่จะได้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 175.5 กิโลวัตต์ต่อวันหรือทดแทนพลังงานของเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU ที่เปิดตลอด 8 ชั่วโมงได้ 4 เครื่องต่อวัน

สำหรับการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์รุ่น Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ Monocrystalline Silicon Solar Cell โดยการเลือกใช้แผงขนาด 300 วัตต์ (ขนาด 2.00 x 1.00 เมตร) และใช้อินเวอร์เตอร์ 1 ตัว โดยที่แผงพลังงานแสงอาทิตย์ไปรับแสงแดดปกติ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ไฟฟ้า 300 วัตต์ ใน 1 วัน ได้รับแสงแดดเต็มที่ เฉลี่ยประมาณ 5 ชั่วโมง ก็จะได้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,500 วัตต์ ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จากการติดตั้งบนพื้นที่ดาดฟ้าและจำนวนเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU ภายในอาคาร โดยคิดการใช้เครื่องปรับอากาศที่ 8 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะใช้ไฟฟ้า 42,184 วัตต์ หรือเดือนละ 1,265,520 วัตต์ ซึ่งจะคิดเป็น 1,266 หน่วยการไฟฟ้า โดยคิด 1,000 วัตต์เท่ากับ 1 หน่วย ถ้าคิดค่าการใช้ไฟฟ้าที่หน่วยละ 4.20 บาท จะสามารถคิดเป็นราคาค่าไฟฟ้าในการใช้เครื่องปรับอากาศ 1 ตัวเท่ากับ 5,313 บาท/เดือน โดยผลจากการวิจัยหากใช้เครื่องปรับอากาศทั้งหมดในอาคารทั้ง 7 อาคารจะใช้เครื่องปรับอากาศทั้งหมด 55 เครื่อง ซึ่งสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าได้ทั้งหมด 292,215 บาท โดยประมาณ



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผล

จากการวิจัยที่ได้ทำการตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างพื้นดาดฟ้าภายในอาคารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ จำนวน 7 อาคาร ได้แก่ อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19) อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35) อาคารงานทะเบียน (อาคาร 36) อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50) อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา (อาคาร 52) และอาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2) พบว่าความเสียหายของโครงสร้างพื้นดาดฟ้าภายนอกเกิดจากการเสื่อมสภาพทางกายภาพ ส่งผลให้เกิดการแตกร้าว 2 แบบ รอยแตกลายงาและรอยแตกร้าวบริเวณแนวคานเกิดจากการแอ่นตัวของพื้นดาดฟ้าอาคาร อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทำการเลือกอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19) และอาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2) เนื่องจากกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตที่มีค่าน้อยที่สุดและมีรอยร้าวเฉลี่ยที่สูงซึ่งอาจเกิดอันตรายในการเพิ่มน้ำหนักให้กับโครงสร้างพื้นดาดฟ้าได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าเมื่อนำแผงพลังงานแสงอาทิตย์มาติดตั้งเต็มพื้นที่ โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ ขนาดเหล็กเสริม ระยะหุ้มคอนกรีต ความหนาของแผ่นพื้น ระยะห่างเหล็กเสริม ความกว้างและความยาวช่วงแผ่นพื้น นำค่ามาประเมินกำลังรับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าตามมาตรฐานของ วสท. ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

1. ความกว้างรอยร้าวแต่ละอาคารมีค่าเฉลี่ยดังนี้ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19) มีค่าเท่ากับ 0.85 มิลลิเมตร สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35) มีค่าเท่ากับ 0.80 มิลลิเมตร งานทะเบียน (อาคาร 36) มีค่าเท่ากับ 0.60 มิลลิเมตร คณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50) มีค่าเท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร คณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2) มีค่าเท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร รอยร้าวของอาคารดังกล่าวมีค่ารอยร้าวมากกว่าค่ามาตรฐานของ ACI 224R-01 และค่ารอยร้าวมากกว่าค่ามาตรฐานของ วสท. เช่นกัน ส่วนคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา (อาคาร 52)

ไม่สามารถมองเห็นรอยร้าวได้ เนื่องจากมีชั้นวัสดุกันซึมห่อหุ้มผิวหน้าของพื้นคอนกรีต ทำให้ไม่สามารถมองเห็นผิวคอนกรีตได้

2. จากการทดสอบกำลังอัดของโครงสร้างพื้นชั้นดาดฟ้าของอาคารโดยใช้เครื่องมือ Schmidt Hammer จากการวิจัยพบว่าอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19) มีค่ากำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 225.19 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35) มีค่ากำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 317.98 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาคารงานทะเบียน (อาคาร 36) มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 295.94 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาคารคณะบริหารธุรกิจ (อาคาร 50) มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 355.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาคารศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2) มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 264.58 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) และอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา (อาคาร 52) ไม่สามารถสำรวจกำลังอัดของพื้นดาดฟ้าอาคารได้เนื่องจากมีกันซึม

3. การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กพบว่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมเฉลี่ยได้มากกว่า 50 มิลลิเมตรทุกอาคารซึ่งมีค่ามากกว่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานของ วสท. คือคอนกรีตที่สัมผัสกับดินหรือถูกแดดถูกฝนต้องมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กอยู่ที่ 50 มิลลิเมตร

4. การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้ พบว่า อาคารคณะบริหารธุรกิจ มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเนื่องจากอยู่ติดกับถนนนราธิวาสฯ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รองลงมาคือคณะวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งอยู่ติดถนนนราธิวาสฯ เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ อาคาร 36 มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดเนื่องจากอยู่ห่างจากถนน หากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณมากจะส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตในระยะยาวทำให้เกิดความเสียหายที่ผิวคอนกรีตซึ่งจะนำไปสู่ความเสียหายในชั้นของเหล็กเสริมได้

5. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48) มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ซึ่งทำให้วัสดุปิดผิวบวมหรือถึงกับหลุดร่อน

6. โดยอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19) สามารถที่จะรับน้ำหนักของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ได้อย่างปลอดภัยเมื่อติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ สำหรับการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์รุ่น Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ Monocrystalline

Silicon Solar Cell โดยการเลือกใช้แผงขนาด 300 วัตต์ (ขนาด 2.00 x 1.00 เมตร) และใช้อินเวอร์เตอร์ 1 ตัว โดยที่แผงพลังงานแสงอาทิตย์ไปรับแสงแดดปกติ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะได้ไฟฟ้า 300 วัตต์ ใน 1 วัน ได้รับแสงแดดเต็มที่ เฉลี่ยประมาณ 5 ชั่วโมง ก็จะได้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,500 วัตต์ ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จากการติดตั้งบนพื้นที่ดาดฟ้าและจำนวนเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU ภายในอาคาร โดยคิดการใช้เครื่องปรับอากาศที่ 8 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะใช้ไฟฟ้า 42,184 วัตต์ หรือเดือนละ 1,265,520 วัตต์ ซึ่งจะคิดเป็น 1,266 หน่วยการไฟฟ้า โดยคิด 1,000 วัตต์เท่ากับ 1 หน่วย ถ้าคิดค่าการใช้ไฟฟ้าที่หน่วยละ 4.20 บาท จะสามารถคิดเป็นราคาค่าไฟฟ้าในการใช้เครื่องปรับอากาศ 1 ตัวเท่ากับ 5,313 บาท/เดือน โดยที่ผลจากการวิจัยหากเราใช้เครื่องปรับอากาศทั้งหมดในอาคารทั้ง 7 อาคารจะใช้เครื่องปรับอากาศทั้งหมด 55 เครื่อง ซึ่งสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าได้ทั้งหมด 292,215 บาท โดยประมาณ

ตารางที่ 5.1 กำลังไฟฟ้าได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จากการติดตั้งบนพื้นที่ดาดฟ้า

ลำดับ ที่	อาคาร	พื้นที่ (ตร.ม.)	กำลังไฟฟ้าจากแผง พลังงานแสงอาทิตย์ (วัตต์/วัน)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ
1	อาคารสาขาวิชา วิศวกรรมโยธา	150	112,500	3
2	อาคารสาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ	210	157,500	4
3	อาคาร 36	464	348,000	8
4	อาคารคณะ วิศวกรรมศาสตร์	1,015.3	761,475	18
5	อาคารคณะ บริหารธุรกิจ	610.3	457,725	11
6	อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	392.16	294,120	7
7	อาคารคณะศิลปศาสตร์	235.2	176,400	4

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดสอบ Schmidt Hammer การยิงที่เนื้อคอนกรีต ในการเลือกจุดยิงควร หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีหินเพราะจะทำให้อ่านค่าได้มากกว่าความเป็นจริง

5.2.2 ควรมีการทดสอบการเสื่อมสภาพเนื่องจากคาร์บอนขึ้น

5.2.3 ควรมีการทดสอบโอกาสที่จะเกิดสนิม



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

รูปภาพการทดสอบ





ภาพที่ ก.1 การทดสอบกำลังอัดด้วย Schmidt Hammer พื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ ก.1 (ต่อ) การทดสอบกำลังอัดด้วย Schmidt Hammer พื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ ก.1 (ต่อ) การทดสอบกำลังอัดด้วย Schmidt Hammer พื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ ก.1 (ต่อ) การทดสอบกำลังอัดด้วย Schmidt Hammer พื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ ก.2 การวัดขนาดเหล็กเสริมพื้นชั้นดาดฟ้าอาคาร



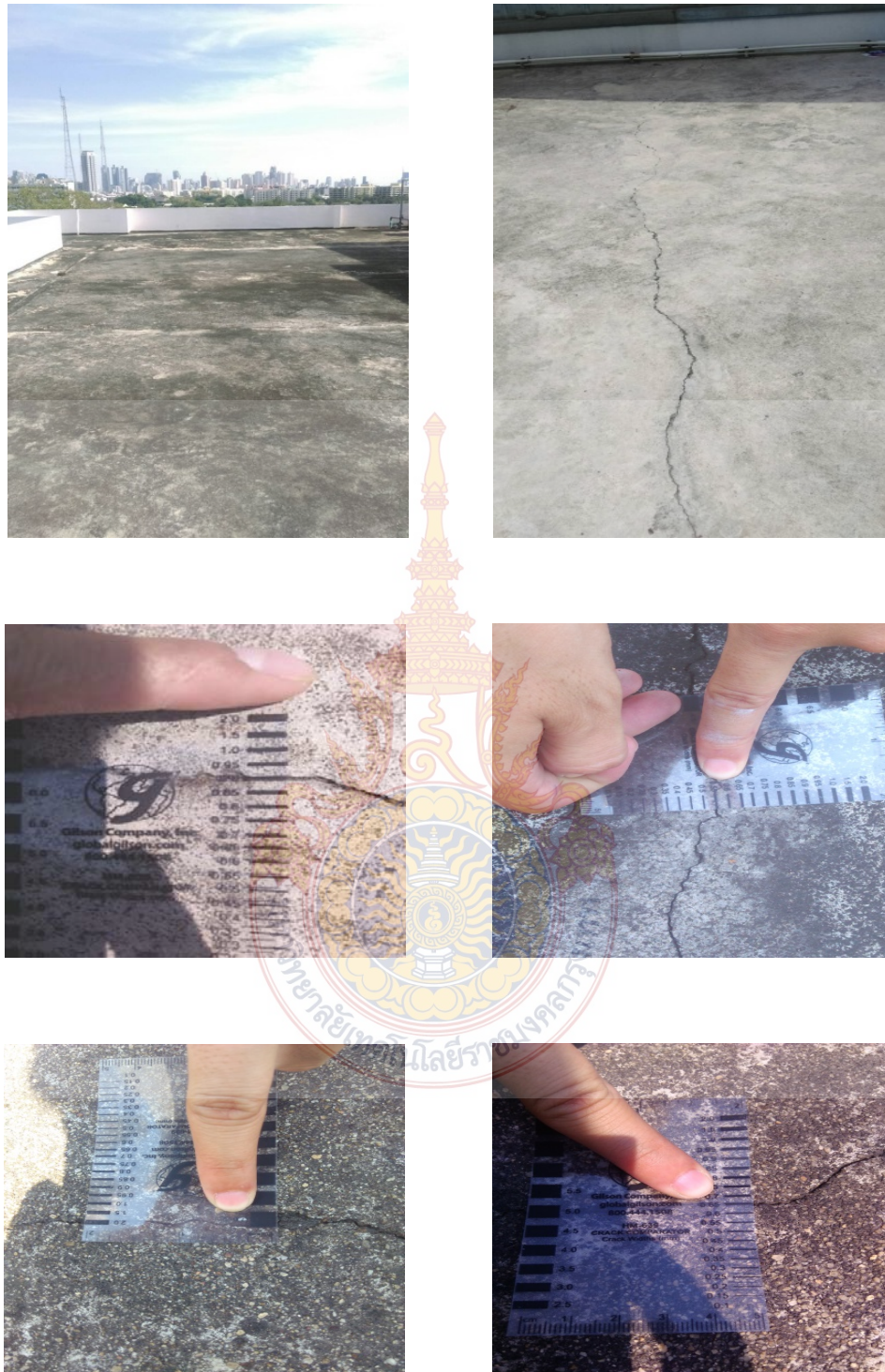
ภาพที่ ก.3 การวัดรอยร้าวของพื้นดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ ก.3 (ต่อ) การวัดรอยร้าวของพื้นดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ ก.3 (ต่อ) การวัดรอยร้าวของพื้นดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ ก.4 ทำการทดสอบอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)



ภาพที่ ก.5 ทำการทดสอบอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (อาคาร 19)



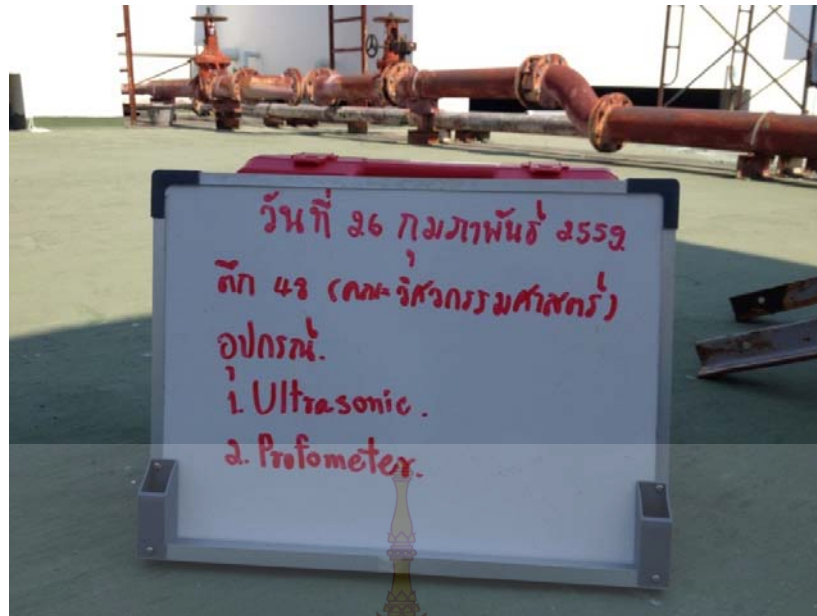
ภาพที่ ก.6 ทำการทดสอบอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)



ภาพที่ ก.7 ทำการทดสอบอาคารสาขาวิศวกรรมสำรวจ (อาคาร 35)



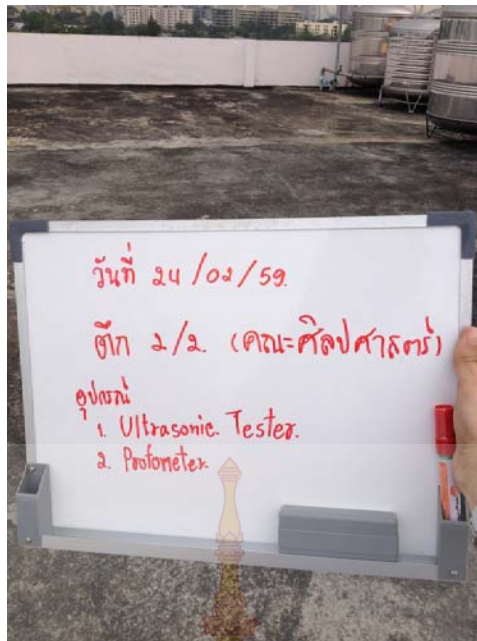
ภาพที่ ก.8 ทำการทดสอบอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)



ภาพที่ ก.9 ทำการทดสอบอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)



ภาพที่ ก.10 ทำการทดสอบอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (อาคาร 48)



ภาพที่ ก.11 ทำการทดสอบอาคารคณะศิลปศาสตร์ (อาคาร 2/2)



ภาพที่ ก.12 ทำการทดสอบอาคารงานทะเบียน (อาคาร 36)