

การสำรวจความเสียหายและวิธีการบูรณะอาคารโบราณ กรณีศึกษากลุ่มเรือน้ำ โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา

Damages Survey and Renovation Method of Ancient Building Case Study a Group of Houses on the Water, Queen SavangVadhana Memorial Hospital

บัญชา บรรเทาพงษ์

เศรษฐพงษ์ มั่นตะ

โครงการทางวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีการศึกษา 2560

Damages Survey and Renovation Method of Ancient Building Case Study a Group of
Houses on the Water, Queen SavangVadhana Memorial Hospital

BANCHA BANTAOWONG
SRETTTHAPONG MAHANTA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BURAPHA UNIVERSITY 2017

ปริญญานิพนธ์	การสำรวจความเสียหายและวิธีการบูรณะอาคารโบราณ กรณีศึกษากลุ่มเรือน น้ำ โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา
โดย	นาย บัญชา บรรเทาวงษ์ นาย เศรษฐพงษ์ มหันตะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สิทธิภัทร์ เอื้ออภิวัชร
ปีการศึกษา	2560

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติปริญญานิพนธ์นี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

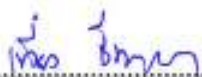

.....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
(อาจารย์ ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สิทธิภัทร์ เอื้ออภิวัชร)

คณะกรรมการสอบโครงการ


.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. สิทธิภัทร์ เอื้ออภิวัชร)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เพชรรัตน์ ลิ้มสุปรียรัตน์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เพียง ชิวเกตุ)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นประเมินความเสียหาย และ หาแนวทางการบูรณะอาคารกลุ่มเรือนน้ำ โรงพยาบาล สมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชาสภากาชาดไทย ซึ่งเป็นกลุ่มอาคารที่อยู่ในสภาพแวดล้อมทะเล ขั้นตอนการศึกษาได้ทำการตรวจสอบสภาพของอาคารในปัจจุบัน และประเมินเสถียรภาพของอาคารอาคารกลุ่มเรือนน้ำ โดยวิธีการตรวจพินิจ และตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธีไม่ทำลาย (Rebound Hammer, มยผ. 1502-51) อีกทั้งยังมีการศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมในการบูรณะอาคาร พร้อมทั้งจัดทำแบบก่อสร้าง อาคารกลุ่มเรือนน้ำ ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างอาคารมีความเสียหายเป็นอย่างมาก กำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานสำหรับคอนกรีตในสภาพแวดล้อมทะเล คณะผู้ศึกษาแนะนำให้ทำการบูรณะด้วยการเปลี่ยนเสาใหม่ เสริมความแข็งแรงของคาน และ ยกอาคารขึ้นอีก 50 เซนติเมตร เพื่อลดผลกระทบจากสภาพแวดล้อมทะเล

Abstract

This study was conducted to assess damages of stilt house in Queen Savang Vadhana Memorial Hospital, Sriracha, Chonburi and house lifting technique was recommended to improve the stability of these houses. Damages assessment was performed following the visual inspection technique and compressive strength of concrete column was measured by rebound hammer. The results found severe damages of these houses and compressive strength of concrete column was lower than the value recommended for marine concrete. New concrete columns were strongly recommended to install for all houses and at the same time, the houses can be lifted for 50 cm to protect the super structure from marine environment.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยได้รับคำปรึกษาจาก ดร. สิทธิภัทร์ เอื้ออภิวรรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำ เสนอแนะ และการแก้ปัญหาต่างๆตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำทดลอง

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณท่านอาจารย์และเจ้าหน้าที่รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำโครงการนี้ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาของท่าน คณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบซึ่งเป็นอย่างดี จึงใคร่ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

บทที่	หน้า
ใบรับรองโครงการปริญญาโท	ค
บทคัดย่อ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง	ฅ
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย	1
ขอบเขตการวิจัย	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
คุณสมบัติและหน้าที่ของคอนกรีต	3
คอนกรีตสำหรับสิ่งแวดล้อมทะเล	4
กลไกการทำลายของสภาวะแวดล้อมทะเลต่อคอนกรีตเสริมเหล็ก	5
การแทรกซึมของคลอไรด์	6
แหล่งที่มาของคลอไรด์	8
ประเภทของคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีต	9
อิทธิพลที่มีผลต่อการกัดกร่อน	11
หลักทฤษฎีการอนุรักษ์อาคาร	12
แนวคิดการประเมินคุณค่าอาคาร	13

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
การตรวจสอบอาคาร	15
การซ่อมแซมอาคาร	19
กรณีศึกษา	27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45
3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	47
สถานที่ดำเนินการวิจัย	47
การตรวจสอบสภาพความเสียหายอาคารเบื้องต้น	48
การตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีต	49
การหาแนวทางการซ่อมแซม	52
แผนการดำเนินงาน	53
4 การวิเคราะห์ และ อภิปรายผล	54
ผลการสำรวจความเสียหาย	54
การลงพื้นที่เพื่อทำแบบแปลน	57
การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย rebound hammer	60
การหาวิธีในการบูรณะซ่อมแซมอาคาร	66
ขั้นตอนการบูรณะอาคาร	67
5 สรุปผล	85
สรุปผลการทดลอง	85
ข้อเสนอแนะ	86
บรรณานุกรม	87
ภาคผนวก	88

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สภาพแวดล้อมทะเล 5 บริเวณ	6
2.2 ความรุนแรงของคลอไรต์ในบริเวณสภาพแวดล้อมทะเล	7
2.3 โครงสร้างบ้านที่ต้องตรวจสอบ	15
2.4 แสดงเสาเข็มสั้นเกินไปจนไม่ถึงชั้นดินแข็ง	20
2.5 แสดงเสาเข็มบกพร่อง	21
2.6 แสดงเสาเข็มที่อยู่บนดินต่างชนิดกัน	22
2.7 แสดงการเกิดการเคลื่อนตัวของดิน	22
2.8 ตัวอย่างการยกอาคาร	25
2.9 การยกอาคารโดยการยกปรับระดับขึ้น	26
2.10 การยกอาคารโดยการยกปรับระดับลง	26
2.11 การยกอาคารโดยการยกปรับระดับขึ้นและลงพร้อมกัน	27
2.12 ลักษณะอาคารวังมะลิวัลย์	29
2.13 ฐานรากแผ่ของอาคารรองรับตลอดแนวผนัง	29
2.14 ฐานรากแผ่ และ โครงสร้างส่วนบน	30
2.15 ผลสำรวจค่าระดับการทรุดเอียง	31
2.16 ตำแหน่งซ้อนทับของอาคารกับป้อมอิสินธร	32
2.17 แนวป้อมอิสินธร	33
2.18 แนวป้อมอิสินธรตามแนวเส้นประ	33
2.19 ลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดิน	34

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.20 แสดงการวิเคราะห์หาระยะห่างเสาเข็มเสริม	35
2.21 ตำแหน่งเสาเข็ม และรูปแบบการจัดวางแนวคาน	36
2.22 ลักษณะคานเหล็กวางเสริมตลอดใต้ผนัง	36
2.23 กำหนดระยะยกเพื่อยกด้านซ้ายให้เสมอด้านขวา	37
2.24 กำหนดระยะยกเพื่อยกด้านหน้าให้เสมอด้านหลัง	37
2.25 แสดงอาคารก่อนและหลังทำการยก	38
2.26 อาคารเรียน ยวง เดอ ลาซาน เกิดการทรุดตัวเอียงมาด้านหน้า	39
2.27 เสาเข็มไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และยาว 6 เมตร	40
2.28 ตำแหน่งฐานรากเสาเข็มไม้ 49 ต้น	40
2.29 การทดสอบกำลังของคอนกรีตแบบ ไม่ทำลาย (UPV)	41
2.30 การเสริมความแข็งแรงของฐานรากอาคารด้วยเสาเข็ม Micropile แนวด้านหน้าอาคาร	43
2.31 แบบจำลองการเสริมฐานรากแนวด้านหน้าอาคารแล้วเสร็จก่อนการตอกเสาเข็มอาคารใหม่	43
2.32 แบบจำลองการเสริมฐานรากอาคารทั้งแนวด้านหน้าและหลังอาคารพร้อมยกปรับระดับ และก่อสร้างอาคารใหม่	44
2.33 การยกปรับระดับอาคารทั้งหมด 230 เซนติเมตร	44
2.34 อาคารได้ทรุดตัวต่างระดับ	45
3.1 ที่ตั้งโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา	47
3.2 กลุ่มเรือนน้ำโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา	47
3.3 การแตกตัวของเสาคอนกรีตที่เรือนรัฐธรรมนูญ	48

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4 แผนโครงสร้างของเรือนรัฐธรรมนูญ	49
3.5 เครื่องมือ Schmidt Hammer ที่ใช้ในการทดสอบ	50
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number และค่ากำลังอัดของคอนกรีต	51
3.7 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของเสาเบื้องต้น ณ สถานที่ดำเนินการวิจัย	52
4.1 ความเสียหายของเสา(รอยร้าว)	55
4.2 ความเสียหายของเสา(การหลุดร่อน)	56
4.3 ความเสียหายของเสาและคาน	56
4.4 แผนคานเสาเรือนรัฐธรรมนูญ	57
4.5 แผนคานเสาเรือนเจริญโชติสวัสดิ์	58
4.6 แผนคานเสาเรือนสายปราโมท	58
4.7 แผนคานเสาเรือนเล็กกลาง	59
4.8 แผนคานเสาเรือนเล็กริม	59
4.9 แบบจำลองเรือนรัฐธรรมนูญ	68
4.10 แบบจำลองการติดตั้งโครงสร้างรับแรงก่อนตัดเสาเรือนรัฐธรรมนูญ	68
4.11 แบบจำลองหลังจากตัดเสาและติดแผ่นเพลท	69
4.12 แบบจำลองเรือนรัฐธรรมนูญหลังจากยกอาคารและติดตั้งเสาเหล็กรับแรง	69
4.13 แบบจำลองเรือนรัฐธรรมนูญหลังทำการเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร	70
4.14 แบบจำลองเรือนเจริญโชติสวัสดิ์	70
4.15 รูปแบบจำลองเรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน	71

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากตัดเสา	71
4.17 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากยกอาคาร	72
4.18 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากเสริมเสาเหล็ก	72
4.19 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากหล่อเสาใหม่	73
4.20 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์ หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร	73
4.21 แบบจำลองเรือนสายปรางโมท	74
4.22 รูปแบบจำลองเรือนสายปรางโมทหลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน	74
4.23 เรือนสายปรางโมทหลังจากตัดเสา	75
4.24 เรือนสายปรางโมทหลังจากยกอาคาร	75
4.25 เรือนสายปรางโมทหลังจากเสริมเสาเหล็ก	76
4.26 เรือนสายปรางโมทหลังจากหล่อเสาใหม่	76
4.27 เรือนสายปรางโมท หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร	77
4.28 แบบจำลองเรือนเล็กกลาง	77
4.29 แบบจำลองเรือนเล็กกลางหลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน	78
4.30 เรือนเล็กกลางหลังจากตัดเสา	78
4.31 เรือนเล็กกลางหลังจากยกอาคาร	79
4.32 เรือนเล็กกลางหลังจากเสริมเสาเหล็ก	79
4.33 เรือนเล็กกลางหลังจากหล่อเสาใหม่	80
4.34 เรือนเล็กกลาง หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร	80

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.35 แบบจำลองเรือนเล็กirim	81
4.36 แบบจำลองเรือนเล็กirimหลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน	81
4.37 เรือนเล็กirimหลังจากตัดเสา	82
4.38 เรือนเล็กirimหลังจากยกอาคาร	82
4.39 เรือนเล็กirimหลังจากเสริมเสาเหล็ก	83
4.40 เรือนเล็กirimหลังจากหล่อเสาใหม่	83
4.41 เรือนเล็กirim หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดสูงสุดในคอนกรีตมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ	10
2.2 ปริมาณคลอไรด์อิสระสูงสุดในคอนกรีตจากข้อกำหนดต่างๆ	10
2.3 การจำแนกลักษณะความเสียหาย	19
3.1 มาตรฐาน และ รายละเอียดของระดับความเสียหาย	48
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	53
4.1 ตารางผลการสำรวจความเสียหายด้วยตาเปล่า	54
4.2 กำลังรับแรงอัดของเสาเรื่อนรัฐธรรมนูญ	60
4.3 กำลังรับแรงอัดของเสาเรื่อนเจริญโชติสวัสดิ์	62
4.4 กำลังรับแรงอัดของเสาเรื่อนสายปราโมท	63
4.5 กำลังรับแรงอัดของเสาเรื่อนเล็กกลาง	64
4.6 กำลังรับแรงอัดของเสาเรื่อนเล็กริม	65
4.7 สรุปค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดกลุ่มเรื่อนน้ำ	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป คู่กับการเสริมเหล็กไว้ภายใน ซึ่งจะทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถรับทั้งแรงอัดและแรงดึงได้ดี ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปนั้น มักจะถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 50 ปี หรือมากกว่า แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กลับลดลงเร็วกว่าความเป็นจริงโดยเฉพาะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียวมักจะพบปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเป็นจำนวนมาก อันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านกายภาพอย่างเช่น อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น พร้อมกับปัจจัยทางด้านเคมี ซึ่งเกิดจากสารประกอบที่ปะปนอยู่ในน้ำทะเลแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก อย่างเช่น ซัลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น

กลุ่มเรือนน้ำ โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา สภากาชาดไทย มีลักษณะเป็นกลุ่มอาคาร ๒ ชั้นอยู่ในทะเล เสาของกลุ่มเรือนน้ำเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยในปัจจุบันเสาคอนกรีตเกิดความเสียหายขึ้นอันเนื่องมาจากการแทรกซึมของคลอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำทะเล แทรกซึมเข้าสู่เนื้อของคอนกรีตเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมภายในจนเกิดสนิมขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมทำให้เหล็กขยายตัวจนดันเนื้อคอนกรีตให้แตกแล้วหลุดออกทำให้ความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและอายุการใช้งานลดลงการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาหาวิธีบูรณะกลุ่มเรือนน้ำที่เหมาะสม เพื่อให้โครงสร้างมีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัยต่อการใช้งานนอกจากนี้ยังเป็นการอนุรักษ์อาคารเก่าแก่ซึ่งอยู่คู่กับโรงพยาบาลมาเป็นเวลาช้านาน

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสำรวจความเสียหายของเสาคอนกรีตของกลุ่มเรือนน้ำ ด้วยวิธีตรวจพินิจ
- 1.2.2 เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตเมื่อเหล็กเสริมหลักและเหล็กปลอกเกิดสนิม
- 1.2.3 หาแนวทางที่เหมาะสมในการบูรณะกลุ่มเรือนน้ำ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ดำเนินการสำรวจความเสียหายของเสาคอนกรีตของกลุ่มเรือนน้ำ โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา สภากาชาดไทย ด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Inspection Method, มยพ.1501-51)ทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยวิธีไม่ทำลาย ด้วย Rebound Hammer Test (Schmidt Hammer Test) ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจัดทำแบบแปลนของกลุ่มเรือนน้ำ และหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการบูรณะกลุ่มเรือนน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบข้อมูลสภาพความเสียหายของกลุ่มเรือนน้ำ
- 1.4.2 ทราบความแข็งแรงของโครงสร้างปัจจุบันของกลุ่มเรือนน้ำ
- 1.4.3 ทราบแนวทางที่เหมาะสมในการบูรณะกลุ่มเรือนน้ำ

บทที่ 2

2.1 คุณสมบัติและหน้าที่ของคอนกรีต

คอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความนิยมใช้งาน ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความเหมาะสมกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ทั้งด้านราคาและด้านคุณสมบัติต่างๆ เมื่อแยกพิจารณาคอนกรีตออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นตัวประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต และส่วนที่เป็นมวลรวม ได้แก่ ทรายหิน หรือกรวด เมื่อนำ วัสดุต่างๆ ของมาผสมกัน คอนกรีตจะเป็นของเหลวที่มีความหนืดเวลาหนึ่งซึ่งสามารถนำไปเทลงแบบหล่อตามต้องการได้ เมื่ออายุมากขึ้นคอนกรีตก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็ง และในเวลาต่อมาก็จะเป็นของแข็งในที่สุดซึ่งสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน

ปูนซีเมนต์จะทำหน้าที่ให้กำลังของคอนกรีตโดยทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำเกิดเป็นของเหลวหนืดซึ่งทำหน้าที่หล่อลื่นคอนกรีตให้สามารถเทได้และยึดประสานมวลรวมเข้าด้วยกันเมื่อแข็งตัวจะให้กำลังกับคอนกรีตคุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคมีและความละเอียดของเม็ดปูนซีเมนต์

วัสดุผสมย่อยอย่างละเอียด การก่อสร้างในประเทศไทยวัสดุผสมย่อยอย่างละเอียดจะใช้ทรายเป็นตัวแทรกประสานที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทนและปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงมากทรายที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติที่สะอาดแข็งแรง ทนทาน ไม่มีสารเคมีหรืออินทรีย์วัตถุเจือปน เพราะจะทำให้การยึดเหนี่ยวของปูนซีเมนต์เสียกำลัง

วัสดุผสมย่อยอย่างหยาบ ใช้หินย่อยขนาดที่เหมาะสมกับการผสมคอนกรีตคือต้องไม่ใหญ่เกินไปเพราะทำให้ไม่สามารถเทเข้าไปในระหว่างแบบหล่อกับเหล็กเสริมของคานหรือเสาได้ในกรณีที่ทำคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับหินย่อยที่ใช้ผสมควรมีขนาดที่คละกัน เช่น หินเบอร์ 2 และหินเบอร์ 1 เพื่อลดช่องว่างระหว่างหินให้น้อยลงทำให้คอนกรีตแข็งแรง แน่นและทนทาน

น้ำจะทำหน้าที่ผสมกับปูนซีเมนต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและยังช่วยหล่อลื่นให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทลงในแบบหล่อได้ น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องเป็นน้ำที่สะอาด ซึ่งในการก่อสร้างส่วนมากมักจะพบว่าต้องเป็นน้ำสะอาดที่ใช้ดื่มเช่น น้ำ ประปาเพราะน้ำที่มีสารปนเปื้อนหรือไม่สะอาดอาจจะทำให้วัสดุผสมในคอนกรีตผุกร่อนคอนกรีตแข็งตัวช้าหรือกำลังลดลงถ้าหากงานก่อสร้างนั้นอยู่ใกล้ทะเลและมีความจำเป็นต้องใช้น้ำทะเลมาผสม สามารถใช้น้ำยาผสมกันซัลเฟตผสมเพิ่ม อุณหภูมิที่ดีที่สุดของน้ำที่นำมาผสมคอนกรีตคือ 20 องศาเซลเซียสน้ำยาผสมคอนกรีตจะทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน อาทิเช่น เวลาการก่อตัว ความสามารถในการเทได้ กำลังอัด เป็นต้น

คอนกรีตที่มีคุณภาพ คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติต่างๆ เหมาะสมตรงตามลักษณะของการใช้งานในประเภทนั้นๆ คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการโดยทั่วๆ ไปคือในสภาพเหลวต้องมีความสามารถเทได้ (Workability), ไม่มีการแยกตัว (Segregation), ใช้พลังงานในการทำงานน้อย ในสภาพที่แข็งตัวแล้วจะต้องมี

กำลัง (Strength) สูงพอ, ทึบน้ำ (Impermeability), หดตัวน้อย ปราศจากรอยแตกร้าวภายในไม่มีโพรงหรือช่องว่างจากการเท

คุณสมบัติหลักของคอนกรีตคือการรับแรงอัด ในขณะที่ความสามารถรับแรงดึงได้ค่าประมาณ 10% ของแรงอัดแต่ถ้าต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้ต้องเพิ่มเหล็กเสริมเข้าไปในคอนกรีตเพื่อเหล็กจะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต และคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตในคอนกรีตสด ได้แก่ความสามารถเทได้ (workability), การยึดเกาะ (cohesion), ความชื้นเหลว (consistency), การแยกตัว (segregation), การเยิ้ม (bleeding) ส่วนในคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ได้แก่ กำลังอัด (compressive strength), ความหนาแน่น (density), ความทึบน้ำ (impermeability), ความคงทน (durability), ต้านทานการขัดสี (resistance to abrasion)

นอกจากคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ก็ยังอาจต้องการคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากนี้ไปตามลักษณะของการนำไปใช้งาน เช่น ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (heat of hydration), ระยะเวลาการก่อตัว (setting time), การยืหดตัว (shrinkage), การต้านทานซัลเฟต (sulfate resistance) ฯลฯ ถึงแม้ว่าคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการแล้ว ก็ยังต้องคำนึงถึงด้านราคาของคอนกรีตให้มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์อีกด้วย

2.2 คอนกรีตสำหรับสิ่งแวดล้อมทะเล (Marine concrete)

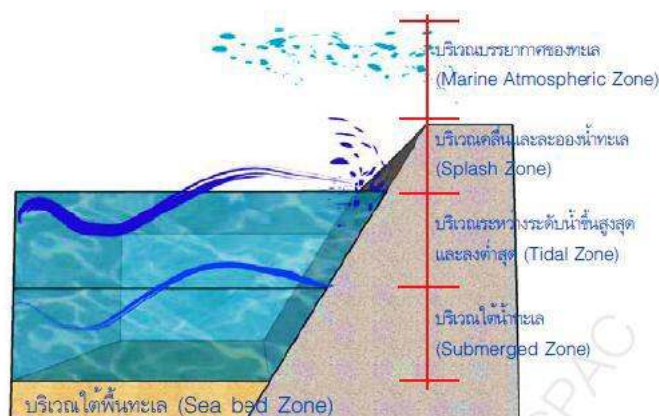
สิ่งก่อสร้างประเภทโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในทะเลหรือในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล อย่างบริเวณชายฝั่งทะเลหรือห่างจากทะเลไม่มากนัก มักพบปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเร็วกว่าที่ควรเป็นจำนวนมาก ทำให้โครงสร้างมีอายุการใช้งาน (Service life) ที่ลดลง ซึ่งโดยมากมักเกิดขึ้นเนื่องจากเหล็กเสริมภายในคอนกรีตเกิดสนิม แล้วดันให้เนื้อของคอนกรีตที่หุ้มอยู่นั้นเกิดการแตกร้าวหลุดร่อนเสียหาย ทำให้ต้องสูญเสียงบประมาณในการซ่อมแซมบำรุงรักษาเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ ที่โครงสร้างดังกล่าวก็ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (Sulfate resisting Portland cement) ซึ่งมีความสามารถต้านทานซัลเฟตได้ในการก่อสร้าง สาเหตุที่ทำให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานที่ลดลง ส่วนหนึ่งเป็นเพราะว่าผู้ที่เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างยังขาดความรู้ความเข้าใจในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องเผชิญกับสภาพการทำลายที่รุนแรงของน้ำทะเล ทั้งนี้ในน้ำทะเลจะมีเกลือหลักๆ อยู่สองชนิดคือ เกลือคลอไรด์ และเกลือซัลเฟต ซึ่งแต่เดิมวิศวกรมีความเข้าใจว่าคอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลต้องใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ซึ่งต้านทานซัลเฟตเท่านั้นเป็นส่วนผสมจึงจะป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้างคอนกรีตได้ แต่ความจริงแล้วปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 จะเหมาะสมกับการใช้งานคอนกรีตที่ต้องเผชิญเกลือซัลเฟตเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จะเห็นได้จากในปูนซีเมนต์จะมีปริมาณสารประกอบไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อลดการเกิดสารแคลเซียมซัลโฟอัลูมิเนตไฮเดรต หรือเอททริงไกต์ (Ettringite) ซึ่งก่อให้เกิดการขยายตัวของคอนกรีต และลดการสูญเสียความสามารถยึดประสานของคอนกรีตเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนจากสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate : C-S-H) ให้เป็นสารแมกนีเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Magnesium Silicate Hydrate : M-S-H) ที่ไม่มีความสามารถยึดประสาน แต่เรายังสามารถใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ในโครงสร้างคอนกรีต

เสริมเหล็กที่ต้องสัมผัสกับน้ำเสียในชุมชนหรือในโครงสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานซึ่งมีเกลือซัลเฟต แต่ไม่มีเกลือคลอไรด์ละลายอยู่หรืออาจใช้ในงานคอนกรีตล่วนที่ต้องเผชิญทั้งเกลือซัลเฟตและเกลือคลอไรด์ก็ได้ แต่ไม่มีเหล็กเสริมอยู่ในคอนกรีต เช่น พื้นคอนกรีตล่วนที่ไม่มีเหล็กเสริมแต่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมทะเล เป็นต้น การที่จะใช้คอนกรีตให้เหมาะสมกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลที่มีทั้งเกลือคลอไรด์และเกลือซัลเฟตนั้น มีได้หลายแนวทางด้วยกัน ทั้งการปรับปรุงที่รายละเอียดของแบบก่อสร้าง หรือปรับปรุงที่คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ก็ได้ หรืออาจใช้หลายๆ แนวทางประกอบกันเพื่อให้ได้โครงสร้างคอนกรีตที่มีอายุการใช้งานยาวนานตามที่ต้องการ ซึ่งแนวทางเหล่านี้ ได้แก่ การเพิ่มระยะหุ้มเหล็กเสริม (Covering depth) ของคอนกรีตในแบบก่อสร้างให้มากขึ้น เพื่อให้ระยะทางที่เกลือคลอไรด์จะแทรกซึมเข้าไปถึงผิวเหล็กมีค่ามากขึ้น เป็นการยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างให้เพิ่มขึ้น หรือการลดอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณวัสดุประสาน (Water to binder ratio) ในคอนกรีตให้ต่ำลงมากๆ เพื่อให้เนื้อคอนกรีตมีความพรุนน้อยลง ซึ่งจะทำให้ทั้งเกลือซัลเฟตและเกลือคลอไรด์แทรกซึมเข้าไปได้ยากขึ้น หรือจะใช้การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตด้วยการเลือกใช้วัสดุประสานที่ต้านทานทั้งการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากเกลือซัลเฟตและการเกิดสนิมของเหล็กเสริมภายในคอนกรีตเนื่องจากเกลือคลอไรด์ร่วมกัน ซึ่งวัสดุประสานดังกล่าวคงไม่ใช่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ต้านทานเฉพาะเกลือซัลเฟตเพียงเท่านั้น แต่เราอาจใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement) ผสมกับเถ้าลอย (Fly ash) โดยใช้เถ้าลอยแทนที่บางส่วนของวัสดุประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้ได้คอนกรีตมีความพรุนต่ำเนื่องจากผลผลิตจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าลอยไปเติมเต็มช่องว่างในคอนกรีต และเพิ่มความสามารถยึดจับเกลือคลอไรด์ที่แทรกซึมเข้ามาในคอนกรีตไม่ให้เคลื่อนที่สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เถ้าลอยในประเทศไทยนั้นก็มีหลายชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน (มอก 2135-2545) ซึ่งวิศวกรจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานด้วย สรุปได้ว่าการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับสิ่งแวดล้อมทะเลจะต้องพิจารณาป้องกันทั้งปัญหาการทำลายคอนกรีตโดยเกลือซัลเฟตและปัญหาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมโดยเกลือคลอไรด์ควบคู่ไปพร้อมกัน

2.3 กลไกการทำลายของสภาวะแวดล้อมทะเลต่อคอนกรีตเสริมเหล็ก

ลักษณะความเสียหายที่อาจเกิดกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแวดล้อมทะเล มาจากสาเหตุทางกายภาพโดยได้รับแรงกระทำจากคลื่น ทราบ กรวด ซึ่งส่งผลให้เกิดการสึกกร่อนบริเวณผิวหน้าของคอนกรีต รวมไปถึงความแปรปรวนของระดับน้ำทะเล ความแรงและการพัดพาของคลื่น ส่วนสาเหตุจากกระบวนการทางเคมีจะเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากสารประกอบเคมีต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล ซึ่งจะมีความรุนแรงแตกต่างกันไปตามประเภทของสารเคมีนั้น โดยความรุนแรงของการกัดกร่อนต่อคอนกรีตในแต่ละบริเวณอาจไม่เท่ากันตลอดทั้งโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะเปียกสลับแห้งจะมีความเสียหายสูง เพราะบริเวณดังกล่าวมีการขัดสีของน้ำทะเลต่อคอนกรีตทั้งจากแรงกระทำของคลื่น ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น ระยะเวลาที่โครงสร้างอยู่ในสภาวะเปียกสลับแห้งการไหลเวียนของน้ำทะเล นอกจากนี้ คอนกรีตที่สภาวะเปียกสลับแห้งมีการสะสมสารเคมีทั้งซัลเฟตคลอไรด์ และเกลือต่างๆในช่องว่างของคอนกรีต ทำให้มีความเข้มข้นสูง

กว่าปกติจึงเกิดการกัดกร่อนที่รวดเร็ว ในกรณีที่มีรอยแตกร้าวเล็กๆซึ่งเกิดจากการหดตัวเนื่องจากความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะยิ่งทำให้คอนกรีตมีความเสียหายรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยทั่วไปลักษณะของโครงสร้างที่อยู่ในสภาพแวดล้อมทะเล สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 บริเวณ แสดงดังรูปที่ 2.1 และ ความรุนแรงของคลอไรด์ในบริเวณสภาพแวดล้อมทะเล แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 สภาพแวดล้อมทะเล 5 บริเวณ

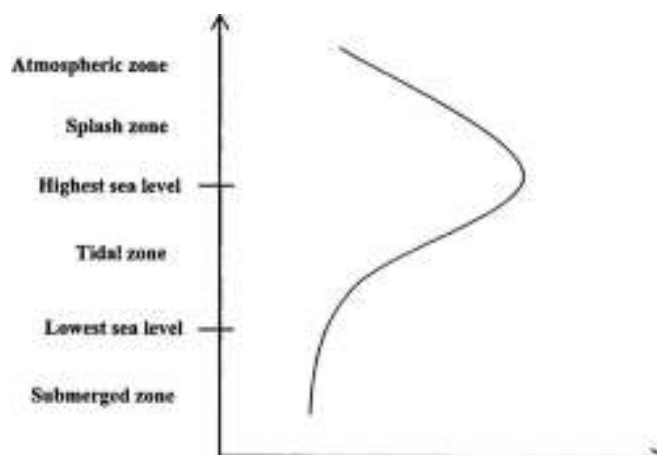
บริเวณที่ 1.บริเวณบรรยากาศทะเล (Atmospheric zone) คอนกรีตบริเวณนี้ไม่ได้สัมผัสน้ำทะเลโดยตรง แต่จะสัมผัสกับละอองน้ำทะเลที่พัดมา อากาศที่มีไอเกลือจากน้ำทะเลเจือปน ความเข้มข้นของเกลือจะลดลงตามระยะห่างจากน้ำทะเล โดยขึ้นอยู่กับสภาพทางธรรมชาติของชายฝั่งทะเลทิศทางและความแรงของกระแสลมที่พัดพาละอองไอเกลือ แม้โครงสร้างจะอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลเข้ามาหลายกิโลเมตรก็ยังมีโอกาสได้รับเกลือจากน้ำทะเลได้ ความเสียหายของคอนกรีตในบริเวณนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการกัดกร่อนของคลอไรด์ ซึ่งทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม การผุกร่อนจากการตกผลึกของเกลือ โดยอาจเริ่มจากรอยแตกร้าวขนาดเล็กเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้คลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าสู่เหล็กเสริมได้ง่ายขึ้น

บริเวณที่ 2.บริเวณคลื่นและละอองน้ำทะเล (Splash zone) บริเวณนี้เป็นบริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำขึ้นสูงสุด คอนกรีตบริเวณนี้จะเปียกน้ำเมื่อสัมผัสกับคลื่นและละอองน้ำทะเล เมื่ออยู่ในสภาพแห้งในช่วงน้ำลง ความเสียหายของคอนกรีตบริเวณนี้จะเกิดการกัดกร่อนของคลอไรด์ค่อนข้างรุนแรงเนื่องจากในสภาพที่คอนกรีตเปียกสลับแห้งทำให้คลอไรด์แทรกซึมเข้าสู่เหล็กเสริมได้เร็วขึ้น ประกอบกับความชื้นและก๊าซออกซิเจนในช่องว่างที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เหล็กเสริมภายในของคอนกรีตเกิดสนิมได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้คอนกรีตยังเกิดความเสียหายได้จากการผุกร่อนเนื่องจากการตกผลึกของเกลือการสึกกร่อนจากการกัดเซาะเนื่องจากแรงกระแทกของคลื่น ซึ่งจะทำให้คอนกรีตในบริเวณนี้เกิดความเสียหายรุนแรงกว่าบริเวณอื่นๆ

บริเวณที่ 3.บริเวณน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal zone) บริเวณนี้เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด คอนกรีตบริเวณนี้จะจมอยู่ใต้น้ำในช่วงเวลาน้ำขึ้น แต่ในช่วงเวลาน้ำลงคอนกรีตจะสัมผัสกับคลื่นและละอองน้ำ และบางส่วนจะแห้งคล้ายกับบริเวณคลื่นและละอองน้ำทะเล (Splash Zone) ความเสียหายของคอนกรีตเกิดได้จากการเกิดสนิมในเหล็กเสริม การผุกร่อนจากการตกผลึกของเกลือ การกัดเซาะจากคลื่นและกระแสน้ำ การขัดสีจากทรายหรือกรวดที่ลอยอยู่ในน้ำทะเล การกัดกร่อนจากพืชและสิ่งมีชีวิต

บริเวณที่ 4. บริเวณใต้น้ำทะเล (Submerged zone) เป็นบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลต่ำสุด คอนกรีตในบริเวณนี้จะแช่อยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลา ความเสียหายของคอนกรีตบริเวณนี้เกิดจากการกัดกร่อนของซัลเฟต การกัดกร่อนจากพืชและสิ่งมีชีวิตบางชนิด การเน่าเปื่อยทางชีวภาพ การเกิดสนิมในเหล็กเสริมจะพบได้น้อยมาก เนื่องจากไม่มีก๊าซออกซิเจนเพียงพอที่ทำให้เกิดสนิม

บริเวณที่ 5. บริเวณใต้พื้นทะเล (Seabed zone) เป็นบริเวณใต้พื้นทรายหรือพื้นดินใต้น้ำทะเล ความเสียหายของคอนกรีตเกิดได้จากการกัดกร่อนโดยซัลเฟต การเน่าเปื่อยทางชีวภาพ การกัดกร่อนจากพืชและสิ่งมีชีวิตบางชนิด



รูปที่ 2.2 ความรุนแรงของคลอไรด์ในบริเวณสภาพแวดล้อมทะเล

2.4 การแทรกซึมของคลอไรด์

การเคลื่อนที่ของเกลือคลอไรด์เข้าสู่เนื้อคอนกรีตนั้น ถือว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญทำโครงสร้างเสื่อมสภาพ เนื่องจากคลอไรด์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอนกรีตได้ ซึ่งจะมีผลต่อความคงทนของคอนกรีตทั้งทางตรงและทางอ้อม และนำไปสู่การเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วการเคลื่อนที่ของคลอไรด์เรียกว่า การแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ (Chloride penetration) ซึ่งเกิดขึ้นจากกลไกต่างๆ เช่น ความแตกต่างของความเข้มข้นเกลือคลอไรด์ ประจุไฟฟ้า และแรงดันน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นยังอาจเกิดขึ้นจากแรงขับเคลื่อนของกลไกธรรมชาติของสารที่เคลื่อนที่ผ่านด้วย ดังนั้นกลไกสำคัญของการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์เข้าไปในเนื้อคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลไกหลักๆ ดังนี้

2.4.1 การแพร่ (Diffusion)

กลไกนี้มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเกลือคลอไรด์เข้าไปยังโพรงคอนกรีตที่อิ่มตัวแรงขับเคลื่อนของเกลือคลอไรด์ในกลไกนี้เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์ กล่าวคือเกลือคลอไรด์จะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกฎการแพร่ข้อสองของฟิคส์ (Fick's second law of diffusion) ที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือคลอไรด์ในคอนกรีตเทียบกับระยะทางและเวลา

2.4.2 การดึงดูดไอออน (Ion adsorption)

ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ใต้น้ำทะเลตลอดเวลาพบว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่อยู่บริเวณใกล้กับผิวของคอนกรีตจะมีความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่สลายละลายโดยรอบของน้ำทะเล ปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถอธิบายได้โดยกลไกการแพร่ เพราะการแพร่จะยุติเมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์ในคอนกรีตเท่ากับความเข้มข้นของคลอไรด์ในสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่กลไกการดึงดูดไอออนจะเกิดขึ้นเนื่องจาก บริเวณผิวของโพรงในคอนกรีตที่มีประจุไฟฟ้าบวกบริเวณที่ผิวของโพรงช่องว่างในคอนกรีตจะดึงดูดคลอไรด์ไอออนซึ่งมีประจุลบจากสิ่งแวดล้อมและสะสมอยู่ในบริเวณนั้นสูงขึ้นได้

2.4.3 การดึงดูดคาพิลลารี (Capillary suction)

สามารถดึงน้ำเกลือคลอไรด์ผ่านเข้าไปยังโพรงที่แห้งเล็กๆ บริเวณผิวหน้าของคอนกรีตได้ โดยทั่วไปโครงสร้างส่วนมากจะอยู่ในสภาพเปียกสลับแห้งเมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาพแห้งถูกทำให้เปียกด้วยน้ำทะเล น้ำทะเลจะถูกดึงดูดเข้าไปยังโพรงที่แห้งเล็กๆ ด้วยกลไกการดึงดูดคาพิลลารี ซึ่งกลไกนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและใช้เวลาสั้น

2.4.4 แรงดันน้ำ (Hydraulic pressure)

สำหรับโครงสร้างที่อยู่ภายใต้แรงดันน้ำ เช่น กำแพงกันดิน เขื่อน อุโมงค์ เป็นต้น ความแตกต่างของความดันน้ำ (Hydraulic head) สามารถทำให้น้ำเกลือซึ่งมีเกลือคลอไรด์เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังคอนกรีตจากบริเวณที่มีความดันน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันน้ำต่ำกว่าได้

2.5 แหล่งที่มาของคลอไรด์

เกลือคลอไรด์ (Chloride) อาจมีอยู่ในเนื้อคอนกรีตตั้งแต่แรกเริ่ม โดยมีอยู่ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหินและทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทรายที่มาจากในแหล่งใกล้ทะเล หรือน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น สารเร่งการก่อตัวจำพวกแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เป็นต้น แต่ปัญหาของเกลือคลอไรด์ที่ส่งผลกระทบต่อความคงทนของโครงสร้าง ส่วนมากจะเข้ามาจากภายนอกคอนกรีตในช่วงที่ใช้งานโครงสร้างไปแล้วด้วยวิธีเช่น การซึมผ่านคอนกรีตที่แห้งของน้ำที่มีคลอไรด์ การแพร่ของไอออนคลอไรด์จากภายนอกที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่าภายในของคอนกรีต และการซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตของน้ำที่มีคลอไรด์โดยแรงดันน้ำ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วแหล่งของคลอไรด์ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมาจากน้ำทะเล ซึ่งในน้ำทะเลนั้นจะมีเกลือคลอไรด์ถือเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล โดยทั่วไปมีประมาณร้อยละ 1.8 โดยน้ำหนักของน้ำทะเล สำหรับคอนกรีตที่แช่อยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลา นั้น ถึงแม้ว่าคลอไรด์จะซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้ดี แต่ถ้าไม่มีออกซิเจนที่เพียงพอการเกิดสนิมของเหล็กเสริมก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้จึงไม่เป็นปัญหาต่อโครงสร้างมากนัก ส่วนบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมมากที่สุด มักพบในบริเวณคลื่นและละอองน้ำ รองลงจะเป็นบริเวณบรรยากาศทะเลและบริเวณน้ำขึ้นน้ำลงโดยสภาวะเปียกสลับแห้งนั้น น้ำทะเลจะเข้าสู่คอนกรีตที่แห้งได้โดยการดึงดูดไอออนหรือการดึงดูดคาพิลลารี จนกระทั่งคอนกรีตอยู่ในสภาพ

ที่อิมตัว เมื่อสภาพภายนอกเปลี่ยนเป็นแห้ง น้ำที่ผิวคอนกรีตจะระเหยออกไปเหลือไว้แต่แต่คราบเกลือ เมื่ออยู่ในสภาพเปียกอีกครั้งความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ผิวก็จะสูงขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของไอออนคลอไรด์จึงมีความเข้มข้นสูงบริเวณผิวคอนกรีต และจะทำให้คลอไรด์บริเวณใกล้เคียงผิวมีความเข้มข้นสูงขึ้นและจะเข้าสู่คอนกรีตมากขึ้นเรื่อยๆซึ่งภายในคอนกรีตนั้นไม่สามารถทำให้แห้งได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้น การแพร่ของไอออนคลอไรด์เข้าไปในคอนกรีตแบบที่สภาวะเปียกสลับแห้งจะใช้เวลาเร็วกว่าคอนกรีตที่แช่น้ำทะเลตลอดเวลา การเคลื่อนตัวของไอออนคลอไรด์ไปในคอนกรีตนั้น ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของสภาวะเปียกสลับแห้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานที่และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการใช้งานของโครงสร้างเป็นต้น โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตที่สภาพแห้งนานกว่าสภาพเปียกมักจะเร่งไอออนของคลอไรด์ให้เข้าสู่คอนกรีตได้เร็วขึ้น ดังนั้นคอนกรีตที่ถูกกลายน้ำทะเลเป็นบางครั้งก็เวลาช่วงแห้งนานๆ จะมีโอกาสเกิดปัญหาการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้มากกว่าคอนกรีตที่ถูกน้ำทะเลเป็นบางครั้งแต่เวลาช่วงแห้งสั้นๆ การกัดกร่อนของคลอไรด์จะเกิดขึ้นต่อเมื่อปริมาณไอออนของคลอไรด์มีมากเพียงพอที่ผิวของเหล็กเสริม ซึ่งทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตบริเวณผิวเหล็กเสริมลดต่ำลงจนถึงระดับวิกฤต(ค่า pHของเนื้อคอนกรีตจะต้องลดลงต่ำกว่า 9)

2.6 ประเภทของคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีต

การที่คลอไรด์ไอออนสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้นั้น จะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ สภาพการบ่มคอนกรีต อุณหภูมิ ความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์ ชนิดของแคทไอออน (Cation) และสภาพแวดล้อมที่โครงสร้างนั้นๆเผชิญ เป็นต้นโดยปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่อยู่ในเนื้อของคอนกรีต (Total chloride) นั้น เป็นผลรวมของคลอไรด์ 2ประเภท ได้แก่

2.6.1 คลอไรด์ที่ถูกจับยึด (Fixed chloride)

คลอไรด์เมื่ออยู่ในคอนกรีตจะถูกจับยึดโดยกลไกดังต่อไปนี้ คือการยึดจับทางเคมี (Chemical binding) คลอไรด์บางส่วนถูกจับยึดโดยผลผลิตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์กับน้ำ (Hydration product) เช่น ผลผลิตของ C_3A และ C_4AF ในรูปของ $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ (Friedel's salt)ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของ $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ (Calcium Chloroferrite) หรือแม้แต่ออยู่ในโครงสร้างของผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่วนการยึดจับทางกายภาพ (Physical binding) คลอไรด์บางส่วนจะสามารถถูกยึดจับด้วยแรงทางกายภาพ (Surface force) อยู่บนผิวของผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น C-S-H และ C-A-H เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถถูกยึดจับอยู่บนผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งที่ไม่มีปฏิกิริยาอย่างทราย หิน หรือผงฝุ่นหินได้ด้วย ถึงแม้จะเป็นปริมาณน้อยมากก็ตาม

2.6.2 คลอไรด์อิสระ (Free chloride)

คลอไรด์อิสระ (Free chloride) คือคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำภายในโพรงช่องว่างของคอนกรีต (Pore solution) โดยคลอไรด์นี้เป็นส่วนหนึ่งของคลอไรด์ที่สามารถแพร่เข้าไปยังคอนกรีตที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์อิสระต่ำกว่า ดังนั้น ถ้าสามารถยึดจับคลอไรด์อิสระนี้ไว้ได้ก็จะสามารถยืดระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็ก

เสริมของโครงสร้างคอนกรีตออกไปได้อย่างไรก็ตาม มีการกำหนดปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ยอมรับในงานคอนกรีตประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดสูงสุดในคอนกรีตมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ

ประเภทของโครงสร้าง	ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดสูงสุด (ร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์)			
	BS 8110	ACI 201	ACI 357	ACI 222
คอนกรีตอัดแรง	0.10	-	0.06	0.08
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะเผชิญกับเกลือคลอไรด์	0.20	0.10	0.10	0.20
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแห้งหรือไม่มีความชื้น	0.4	-	-	-
คอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ	-	0.15	-	-

หมายเหตุ:

BS 8110: British Standard for the design and construction of reinforced and prestressed concrete structures

ACI 201: American Concrete Institute for guide for durable concrete

ACI 357: American Concrete Institute for guide for design and construction of fixed concrete offshore structures

ACI 222: American Concrete Institute for corrosion of metals concrete

ตารางที่ 2.2 ปริมาณคลอไรด์อิสระสูงสุดในคอนกรีตจากข้อกำหนดต่างๆ

ประเภทของโครงสร้าง	ปริมาณคลอไรด์อิสระสูงสุด (ร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์)	
	ACI 318	ACI 222
คอนกรีตอัดแรง	0.06	0.06
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะเผชิญกับเกลือคลอไรด์	0.15	0.15
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแห้งหรือไม่มีความชื้น	1.00	-
คอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ	0.30	-

หมายเหตุ:

ACI 318: American Concrete Institute for building code requirements for structural concrete and commentary

ACI 222: American Concrete Institute for corrosion of metals concrete

2.7 อิทธิพลที่มีผลต่อการกัดกร่อน

2.7.1.ความเป็นกรด-ด่าง

น้ำทะเลปกติมีค่า pH ประมาณ 7.8 ถึง 8.1 แต่ถ้าในอ่าวหรือท่าเทียบเรือ น้ำทะเลจะมี ค่า pH เหลือประมาณ 7 เนื่องจากบริเวณนี้มักมีสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนสูงที่ pH > 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือ Reduction of Oxygen ความเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเร็วของการแพร่ของออกซิเจน ซึ่งเป็นไปอย่างช้าๆ ที่ pH < 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือ Reduction of Hydrogen Ion ผลของ ปฏิกิริยาคือก๊าซไฮโดรเจน ไฮโดรเจนอ็อกไซด์อยู่มากเนื่องจากเป็นกรด ดังนั้นปฏิกิริยาการกัดกร่อน จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ที่ pH > 9 ปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะช้าลงมากเนื่องจากมีฟิล์มไฮดรอกไซด์ที่ผิวเหล็ก

2.7.2ปริมาณออกซิเจน

การกัดกร่อนบริเวณที่ทะเลราบเรียบจะกัดกร่อนเสียหายน้อยกว่าบริเวณทะเลที่มีคลื่นเนื่องจากทะเลที่มีคลื่นเป็นการเติมออกซิเจนตลอดเวลาทำให้ในน้ำมีออกซิเจนมาก อัตราการกัดกร่อนจึงสูง

2.7.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่มีปริมาณคลอไรด์ต่ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนละลายในน้ำน้อยลง ทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง น้ำที่มีปริมาณคลอไรด์สูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการกัดกร่อนไม่ลดลงแม้ออกซิเจนในน้ำจะลดลงก็ตาม

2.7.4ปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล

ปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลในทะเลที่มีเกลือละลายอยู่อย่างอิมิตัวจะกัดกร่อนน้อย เนื่องจากออกซิเจนอิสระจะละลายในน้ำนั้นได้น้อยลง

2.7.5ระยะหุ้มเหล็ก

คอนกรีตที่ดีต้องมีความทึบแน่นและมีระยะหุ้มเหล็กเสริมที่เหมาะสม จึงสามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้

2.7.6ความทึบน้ำอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่ำ

ความทึบน้ำอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่ำ และใช้วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุผสมเพิ่มจะช่วยให้ช่องว่างที่เชื่อมต่อกัน (Interconnected void) ลดลง คอนกรีตมีความทึบน้ำมากขึ้น การซึมผ่านของคลอไรด์ซัลเฟต ความชื้นและออกซิเจนลดน้อยลง

2.8 หลักทฤษฎีการอนุรักษ์อาคาร

2.8.1 ความหมายของการอนุรักษ์อาคาร

จากการศึกษาคำจำกัดความและความหมายของการอนุรักษ์อาคารพบว่า การอนุรักษ์อาคารมีความหมายที่หลากหลาย โดยพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน (2542) ได้ให้ความหมายของการอนุรักษ์อาคารว่า เป็นการรักษาให้คงเดิมโดยมีความหมายที่มีแนวโน้มไปในทางด้านการต้านทานการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการอนุรักษ์ที่เกี่ยวข้องกับมรดกทางวัฒนธรรม คือ การรู้จักรักษามรดกเหล่านั้นไว้มิให้สูญหายไปหรือให้อยู่ในสภาพที่คงเดิม (วิฑูรย์, 2552) เช่นเดียวกัน การอนุรักษ์เป็นการกระทำเพื่อเป็นการป้องกันการเสื่อมลง และรวมถึงการยืดอายุทางวัฒนธรรมและธรรมชาติ โดยเตชา บุญคำ ได้กล่าวถึงการอนุรักษ์ไว้ว่า เป็นการรักษาหรือปกป้องสิ่งแวดล้อมภูมิทัศน์หรือสถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ไว้มิให้สูญหาย หรือถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยการใช้สอยหรือบริโภคที่ไม่เหมาะสม เพื่อการรักษาสภาพและเอกลักษณ์เดิมไว้ การอนุรักษ์อาคารมีความหมายที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับแนวคิดและหลักการกำหนดความหมายของบุคคลนั้นๆ ซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับเวลา หรือสถานที่ที่ติดอนุรักษ์ แต่ที่น่าสนใจ คือ การอนุรักษ์อาคารย่อมแตกต่างกัน เมื่ออาคารที่ได้รับการอนุรักษ์มีลักษณะและความสำคัญต่อพื้นที่แตกต่างกัน

2.8.2 หลักการและลักษณะของการอนุรักษ์

หลักการอนุรักษ์ซึ่งกล่าวโดย Peter Shephered จากรายงานของ Middleton (1972) ในการสัมมนาเกี่ยวกับ Civic Trust ที่ Royal Festival Hall ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การอนุรักษ์มีหลักการเพื่อการเก็บรักษาส่วนที่ดีของเมืองและสร้างส่วนที่ไม่ดี ใหม่ ให้สอดคล้องกับของเก่าที่เหลืออยู่ให้ดีขึ้น
2. เพื่อการอนุรักษ์อาคารและกลุ่มอาคารรวมทั้งบริเวณใกล้เคียง
3. เพื่อการคิดหาประโยชน์ใช้สอยใหม่ๆ ให้กับอาคาร โดยจะต้องพิสูจน์ได้อย่างแน่แล้วว่าที่นั้นๆ ที่ จะทำการอนุรักษ์มีความสำคัญแก่ การอนุรักษ์จริงอย่างไม่มีข้อสงสัย
4. จะต้องทำให้ประชาชนหันมาให้ความสนใจกับอาคารต่าง ๆ เหล่านั้นด้วย จากหลักการข้างต้น ทำให้เห็นว่าการอนุรักษ์ มีเงื่อนไขและหลักการอยู่ ไม่ใช่ว่า อยากจะอนุรักษ์ก็ลงมืออนุรักษ์ได้เลย ซึ่งในหลักการอนุรักษ์นั้น เราต้องมีพื้นที่ที่มีความพร้อม เพียงพอ ที่จะอนุรักษ์อาคารหรือสถานที่นั้น ๆ ได้ โดยได้รับการพิจารณาไตร่ตรองเรื่องความสำคัญ ก่อนที่จะทำการอนุรักษ์ ขณะเดียวกันเมื่อลงมืออนุรักษ์ก็ต้องทำควบคู่ไปกับหลักการ การ เปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่จะเกิดขึ้น ควรได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบและได้รับความเห็นชอบจาก ผู้เชี่ยวชาญด้านการอนุรักษ์หรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเป็นอย่างดีแล้วและการอนุรักษ์ที่เหมาะสมนั้น มีขีดจำกัดหรือตัววัดอะไรที่จะบ่งบอกว่า เราอนุรักษ์หรือเปลี่ยนแปลงภายใต้ขีดจำกัดหรือเกิน ขีดจำกัดของการอนุรักษ์นั้น ๆ ไปแล้ว

การอนุรักษ์จึงมีลักษณะของการอนุรักษ์ที่ใช้เพื่อการพิจารณาอาคารก่อนลงมือ เปลี่ยนแปลง โดยวิธีการอนุรักษ์อาคาร มีดังนี้

- 1.การป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคาร (Protection) โดยการกำจัดปัญหาที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของอาคารนั้น ๆ เช่น การป้องกัน ความชื้นที่ก่อให้เกิดเชื้อรา หรือตัวทำลายเนื้อวัสดุ การป้องกันมลภาวะทางอากาศ ที่อาจมีผลต่อ สภาพของอาคาร
- 2.การคงสภาพอาคาร (Preservation) เป็นการรักษาสภาพอาคารให้คงอยู่ในสภาพเดิมด้วยเทคนิค และวิธีการต่าง ๆ เป็น วิธีการที่ช่วยลดปัญหาการเสื่อมสภาพของอาคาร
- 3.การเสริมสภาพอาคาร (Consolidation) เป็นการเพิ่มวัสดุหรือโครงสร้างให้มั่นคง โดยการใช้การและวัสดุก่อสร้างแบบดั้งเดิม
4. การปฏิสังขรณ์ (Restoration) การทำให้อาคารกลับไปอยู่ในสภาพที่เหมือนกับสภาพดั้งเดิมของอาคาร ทั้งนี้จะต้อง อยู่บนพื้นฐานของการใช้วัสดุดั้งเดิม การปฏิสังขรณ์โดยใช้หลักฐานทางประวัติศาสตร์
- 5.การปรับปรุงอาคารเก่ามาใช้ใหม่ (Rehabilitation) เป็นการซ่อมแซมปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงอาคารเก่า เพื่อตอบสนองประโยชน์ใช้สอย ในปัจจุบัน โดยอาคารยังคงประโยชน์ใช้สอยเดิม หรืออาจเป็นประโยชน์ใช้สอยใหม่ก็ได้
- 6.การสร้างองค์ประกอบเลียนแบบของเดิม (Reproduction) เป็นการสร้างองค์ประกอบที่สำคัญของอาคารหรือส่วนที่ผู้พึงไปของอาคารขึ้นมาใหม่ เพื่อให้อาคารนั้นยังคงมีความสวยงามอย่างเดิม ซึ่งองค์ประกอบเหล่านั้นอาจเสื่อมสลายด้วย มลภาวะ หรือปัญหาสภาพแวดล้อมต่าง ๆ
- 7.การสร้างขึ้นมาใหม่ (Reconstruction) เกิดขึ้นในกรณีที่อาคารเสื่อมสลายลงจากอุบัติเหตุทางธรรมชาติ ก็อาจมีการสร้างขึ้นมาใหม่ โดยหลักในการสร้างนั้นจะต้องสร้างขึ้นตามหลักฐานเดิมที่มีอยู่ หรืออาจมีการสร้างในพื้นที่หรือ ตำแหน่งใหม่ โดยวิธีการสร้างใหม่นี้อาจทำให้คุณค่าสำคัญ ๆ ของอาคารเสียหายได้

2.9แนวคิดการประเมินคุณค่าอาคาร

ในการออกแบบปรับปรุงอาคารไม่ว่าในกรณีใดก็ตาม คุณค่าของอาคารถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งคุณค่าต่าง ๆ นั้นเป็นเสมือนแนวทางเพื่อกำหนดวิธีการและขอบเขตของการอนุรักษ์ อาคาร นั้นหมายถึงก่อนที่จะทำการอนุรักษ์อาคารประวัติศาสตร์ใด ๆ ต้องมีการประเมินคุณค่า ของอาคาร เพื่อใช้ในการพิจารณากำหนดวิธีการอนุรักษ์อาคาร ดังนี้

2.9.1 คุณค่า

คุณค่า คือ สิ่งที่เป็นประโยชน์ทั้งต่อร่างกายและจิตใจของมนุษย์ โดยคุณค่าต่าง ๆ นั้น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับลักษณะคุณค่าของสังคมในขณะนั้น ซึ่งในการอนุรักษ์ สถาปัตยกรรม มีขั้นตอน คือ พิจารณาและประเมินคุณค่าทางสถาปัตยกรรม ก่อนที่จะมีการ อนุรักษ์ โดยมีคุณค่าดังต่อไปนี้ (ปิ่นรัชฎ์, 2552)

1) คุณค่าทางด้านจิตใจ เป็นคุณค่าที่เกี่ยวข้องกับอารมณ์ความรู้สึกของคนในสังคม ที่มีต่ออาคารหรือสถานที่นั้น ๆ ซึ่งสิ่งที่บ่งชี้ถึงคุณค่าด้านจิตใจ คือ อายุของอาคาร ความต่อเนื่อง ของประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม ความทรงจำที่เกี่ยวข้องกับอาคารของคนในสังคมนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การที่อาคารมีคุณค่าทางด้านนี้มาก จะส่งผลให้เกิดความหวงแหนและต้องการอนุรักษ์ไว้ อย่างมาก

2) คุณค่าทางด้านวัฒนธรรม เป็นคุณค่าทางด้านความงามและความเป็น สัญลักษณ์ ขณะเดียวกันก็หมายรวมถึงคุณค่าทางสถาปัตยกรรมและคุณค่าทางด้านเทคโนโลยี การก่อสร้างของอาคารนั้น ๆ

3) คุณค่าด้านประโยชน์ใช้สอย เป็นคุณค่าที่เกี่ยวข้องกับสังคมและสภาพ เศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งไม่ได้หมายถึงผลตอบแทนในรูปของเงินเท่านั้น แต่อาจเป็นสิ่งที่ดีที่ เกิดขึ้นจากการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมนั้น ๆ หรือการนำมรดกทางวัฒนธรรมมาใช้ จนก่อให้เกิดประโยชน์ต่อวิถีชีวิตและสภาพแวดล้อม

2.9.2 อายุอาคาร

ลักษณะอายุของอาคาร มีหลายลักษณะดังต่อไปนี้

1) อายุทางกายภาพเป็นอายุที่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อาคารสามารถใช้งานได้ซึ่งอายุ ทางกายภาพของอาคารมีตั้งแต่ 50 – 100 ปี ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เป็นหลัก

2) อายุทางเศรษฐกิจ เป็นระยะเวลาที่อาคารสามารถให้ผลประโยชน์หรือผลตอบแทน ที่วัดได้ด้วยผลทางการเงิน

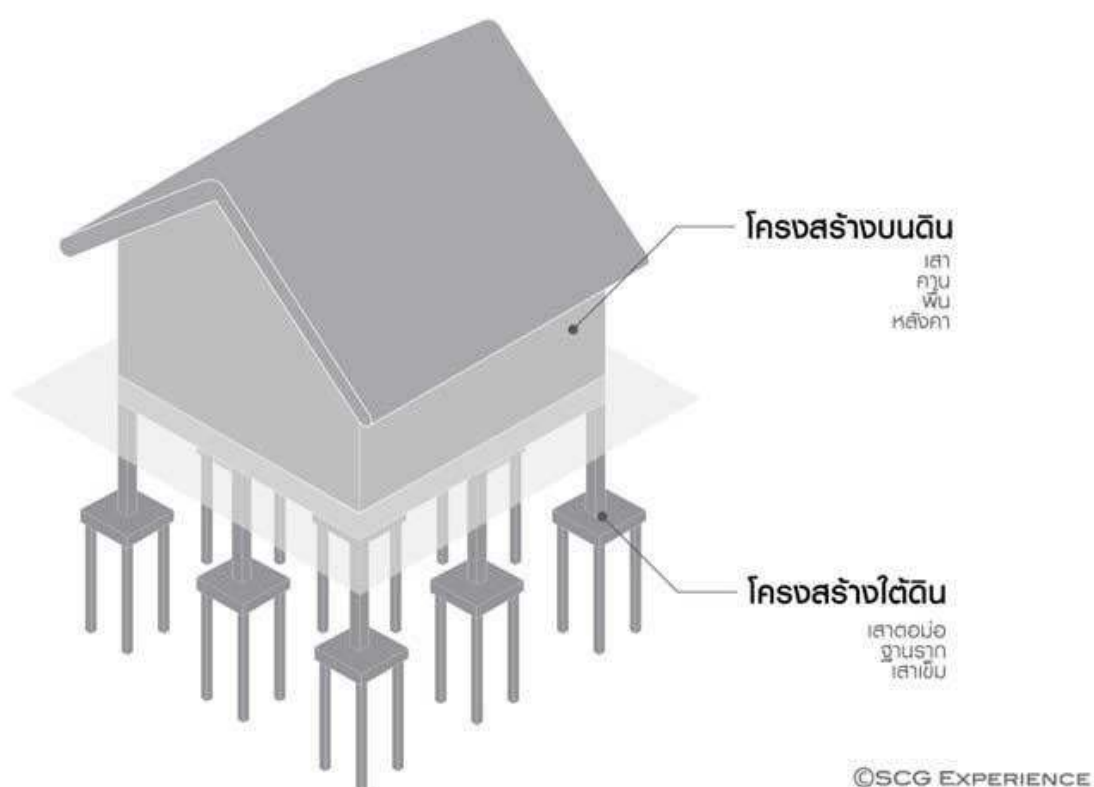
3) อายุทางประโยชน์ใช้สอย เป็นอายุที่อาคารสามารถตอบสนองความต้องการการ ใช้งานของเจ้าของอาคารได้

4) อายุทางเทคโนโลยี เป็นระยะเวลาที่อาคารมีเทคโนโลยีตอบสนองและทันสมัย ตามความต้องการของผู้ใช้อาคาร (เสรีชัย, 2544)

2.10 การตรวจสอบอาคาร

เป็นการตรวจสอบสภาพโครงสร้างที่บกพร่อง เช่น โครงสร้างเสียหายจากการทรุดตัว ไฟไหม้ การเสื่อมสภาพของวัสดุ หรือต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้งาน เพิ่มน้ำหนักบรรทุกทุกเป็นต้น เพื่อตรวจดูว่าโครงสร้างจะยังคงมีความสามารถในการใช้งานได้หรือไม่

โครงสร้างบ้านที่ต้องตรวจสอบ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างบ้านที่ต้องตรวจสอบ

(ที่มา <http://www.scgbuildingmaterials.com/th/HomeConsult/Blog/improve-care/>)

2.10.1 รายละเอียดการตรวจสอบ

รายละเอียดวิธีการตรวจสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การตรวจสอบสภาพทางกายภาพ (Geometry Assessment)
 - 1.1 การตรวจสอบโครงสร้างอาคารเบื้องต้นด้วยสายตา (Visual Inspection)
 - 1.2 การตรวจหารอยแตกร้าวของโครงสร้างอาคารที่มองเห็น (Visual Cracks)
 - 1.3 การตรวจวัดค่าระยะเบี่ยงเบนการทรุดตัวของอาคาร (Leveling Survey)

2. การตรวจสอบสภาพโครงสร้างอาคารในเชิงลึก (Details Structural Inspection)
 - 2.1 การเจาะสำรวจสภาพชั้นดินบริเวณโครงการ (Soil Boring)
 - 2.2 การขุดตรวจสอบฐานราก (Foundation Inspection)
 - 2.3 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Seismic Test)
 - 2.4 การตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength)
 - 2.5 การตรวจสอบการแทรกซึมของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น (Carbonation Test)
 - 2.6 การตรวจสอบตำแหน่งของเหล็กเสริมโครงสร้างด้วย FerroScan (Rebar Location Test)
 - 2.7 การทดสอบประเมินค่าความแข็งของผิวเหล็กเสริม (Hardness Test)
 - 2.8 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของโครงสร้างในสถานที่จริง (Load Test)
 - 2.9 การตรวจสอบแนวตั้ง ระดับและสภาพการทรุดตัวของอาคาร (Vertical Settlement and Elevation Survey)
 - 2.10 การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างทางทฤษฎี (Structural Analysis)

2.10.2 การจำแนกลักษณะความเสียหาย ในคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.10.2.1. จุดบกพร่องจากโครงสร้าง

ตัวอย่างของจุดบกพร่องจากโครงสร้าง คือ รอยต่อระหว่างการเทคอนกรีต เหล็กเสริมที่ยื่นออกมาจากโครงสร้าง รูป รุนแบบรวงผึ้งในเนื้อคอนกรีต หลุมขนาดเหล็กที่เกิดจากฟองอากาศ ผิวเสียรูปเนื่องจากแบบไม่ดี เป็นต้น ความเสียหายเหล่านี้ เป็นความเสียหายอันเนื่องมาจาก การควบคุมการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน และ มีส่วนทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง เป็นไปได้เร็วมากขึ้น

2.10.2.2. รอยร้าว

รอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดได้จากหลายสาเหตุ และ สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกช่วงอายุของโครงสร้าง การวิเคราะห์สาเหตุของรอยร้าวมีส่วนช่วยให้ซ่อมแซม โครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ตรวจสอบต้องบันทึก จำนวนของรอยแตก ร้าว ทิศทาง และ ลักษณะ ความลึก ความกว้าง และ อัตราการขยายตัวของรอยร้าว

2.10.2.2.1 ทิศทางและ ลักษณะของรอยร้าว

ลักษณะของรอยร้าวที่สังเกตได้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่บ่งบอกสาเหตุของการเกิดรอยร้าว เช่น รอยแตกลายงา เกิดจากการยัดรังผึ้งคอนกรีต ด้วยคอนกรีตด้านในโครงสร้าง หรือมีการขยายตัวของคอนกรีตด้านในโครงสร้าง รอยร้าวที่อยู่ในทิศทางเดียวจะเกิดจากแรงดึงในคอนกรีต ซึ่งอาจเกิดจากการทรุดตัว หรือแรงดัด

2.10.2.2.2 ความลึกของรอยร้าว

แบ่งได้ 4 ระดับคือ (1)รอยร้าวเฉพาะที่ผิว (2)รอยร้าวตื้น (3)รอยร้าวลึก และ (4) รอยร้าวทะลุโครงสร้าง รอยร้าวเฉพาะที่ผิวหมายถึง รอยร้าวที่มีความลึกเข้าไปในโครงสร้างไม่มาก หรือ เกิดรอยร้าวในชั้นของปูนฉาบ รอยร้าวตื้น คือ รอยร้าวภายในเนื้อคอนกรีตที่มีระยะไม่ลึกมาก เมื่อเทียบกับระยะหุ้มเหล็กของ

คอนกรีต รอยร้าวลึกคือ รอยร้าวที่มีระดับความลึกที่ทำให้เหล็กผุกร่อนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรอยร้าวมีความลึกมากกว่าระยะหุ้มเหล็กเสริม และ รอยร้าวทะลุ คือ รอยร้าวที่บ่งบอกถึงความเสียหายที่ค่อนข้างรุนแรง และ มีการกระจายตัวของ แรงดึงที่กระทำในคอนกรีตค่อนข้างคงที่

2.10.2.2.3 ความกว้างรอยร้าว

ความกว้างของรอยแตกกว้างเป็นปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในการตรวจพินิจ ความกว้างรอยแตกกว้าง แบ่งได้ 3 ระดับได้แก่ (1) รอยร้าวขนาดเล็ก (2) รอยร้าวขนาดกลาง (3) รอยแตกกว้างขนาดใหญ่

(ข้อแนะนำ : ระดับความกว้างนั้น ควรต้องถูกจำแนก(โดยคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน สภาพแวดล้อม และ อายุ การใช้งานของแต่ละโครงสร้างประกอบกันไปด้วย ยกตัวอย่างเช่นรอยร้าวขนาด 0.1 มิลลิเมตรอาจถูกจำแนกเป็นรอยร้าวขนาดเล็กในโครงสร้างขนาดใหญ่ ในสภาวะแวดล้อมธรรมดา ในขณะที่รอยร้าวขนาดเดียวกัน ในโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทะเล อาจถูกจำแนกเป็นรอยร้าวขนาดใหญ่)

2.10.2.2.4 อัตราการขยายตัวของรอยร้าว

อัตราการขยายตัวของรอยร้าวเป็นข้อบ่งชี้ว่าสาเหตุของรอยแตกกว้างนั้นยังคงดำเนินการอยู่อย่างต่อเนื่อง หรือ มีความรุนแรงมากขึ้นหรือไม่ ทั้งนี้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการขยายตัวของรอยร้าวที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต แบ่งได้ 2 ประเภทคือ รอยร้าวที่มีสภาพคงที่ และ รอยร้าวที่มีความกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ

2.10.2.2.5 การจำแนกรอยร้าวที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง

(1)การจำแนกรอยร้าวที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเสริมเหล็กมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาสาเหตุของการเกิดรอยร้าว ข้อมูลของช่วงอายุคอนกรีตระหว่างที่รอยร้าวเริ่มปรากฏเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบระบุสาเหตุของรอยแตกกว้างได้ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายในโครงสร้างในสภาวะคอนกรีตสด

(2)ผู้ตรวจสอบโครงสร้างอาจจะจำแนกรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมทางโครงสร้าง และ การรับแรงออกจากรอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมของคอนกรีตเพื่อความชัดเจนในการวิเคราะห์รอยร้าวโดยทั่วไป รอยร้าวที่เกิดจากพฤติกรรมจากโครงสร้างมักมีขนาดใหญ่ และ ความกว้างจะเพิ่มขึ้นจากการล้าของคอนกรีต

2.10.2.3 การสูญเสียผิวเนื่องจากการกัดเซาะ

(1)การสึกกร่อน การสึกกร่อนของคอนกรีตเกิดจากผิวของคอนกรีตถูกกัดเซาะด้วยของแข็ง หรือ มีแรงเสียดทานสูง ซึ่งคอนกรีตที่สึกกร่อนสามารถมองเห็นมวลรวมในคอนกรีตได้

(2) การกัดเซาะโดยฟองอากาศในของเหลว

การเสื่อมสภาพโดยการกัดเซาะเนื่องจากฟองอากาศในของเหลวที่มีการเคลื่อนที่โดยมีสาเหตุจากแรงกระทำที่เกิดจากการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ ทำให้สูญเสียผิวคอนกรีต ความเสียหายในลักษณะนี้มักเป็นหลุมขนาดเล็ก และ ผิวของคอนกรีตจะมีความขรุขระมาก โดยทั่วไปเกิดขึ้นเมื่อความเร็วของน้ำมากกว่า 12 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป

2.10.2.4 การสลายตัวของคอนกรีต

การสลายตัวของคอนกรีตเกิดจากการที่ คอนกรีตสลายตัวกลับไปเป็นส่วนประกอบเดิม หรือเป็นส่วนเล็กๆ เนื่องมาจากการสูญเสียความสามารถในการยึดเกาะของซีเมนต์เพสต์ เป็นการสูญเสียผิวของคอนกรีตที่ละเล็กทีละน้อย พบเห็นมากคือการเสื่อมสภาพเนื่องจากซัลเฟต หรือ เนื่องจากกรด

2.10.2.5 การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

การบิดเบี้ยวหรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง คือการสูญเสียตำแหน่งค่าอาคารในโครงสร้าง ตัวอย่างที่พบเห็นได้บ่อยคือการทรุดตัวไม่เท่ากันของเสา หรือ กำแพง เป็นต้นอาจเกิดการวิบัติของอาคารแบบฉับพลันได้

2.10.2.6 การวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ

การหลุดร่อนออกของวัสดุอุดรอยต่อเป็นสิ่งที่พบเห็นได้ในโครงสร้างทั่วไป ซึ่งอาจเกิดความชื้นหรือสารที่เป็นอันตรายซึมผ่านรอยต่อได้

2.10.2.7 การรั่วซึมของน้ำ

การรั่วซึมของน้ำในคอนกรีตได้แก่ การรั่วซึมของน้ำหรือของเหลวอื่นผ่านช่องว่างในคอนกรีต ซึ่งเกิดจากแรงดันน้ำภายนอก และ อาจเกิดขึ้นได้โดยทั่วไปในโครงสร้างที่มีความดันน้ำระหว่างแต่ละด้านไม่เท่ากัน การรั่วซึมของน้ำนี้มีโอกาสทำให้อัตราการเกิดสนิมในโครงสร้างเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

2.10.2.8 การหลุดร่อนของคอนกรีต

การหลุดร่อนของคอนกรีต คือ บริเวณผิวโครงสร้างหลุดร่อนออกเนื่องจากความดันภายในโครงสร้าง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยทั่วไปการหลุดร่อนของคอนกรีต อาจจำแนกได้ตามคอนกรีตที่หลุดร่อน เพื่อเป็นข้อมูลบ่งชี้ความรุนแรงของความเสียหาย

(1)การหลุดร่อนขนาดเล็กไม่เกิน 20 เซนติเมตร และ มีขนาดไม่เกิน 150 มิลลิเมตร ทุกด้าน

(2)การหลุดร่อนขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินกว่าขนาดของการหลุดร่อนขนาดเล็ก

2.10.2.9การเกิดรอยร้าวขนานกับผิวเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็ก

เกิดในกรณีที่เหล็กเสริมเป็นสนิม และ เกิด ณ ตำแหน่งที่ไม่ห่างกันมาก แรงดันจากสนิมทำให้เกิดรอยร้าวที่ขึ้นรอบเหล็กเสริม และ หากสนิมกระจายตัวเป็นวงกว้าง รอยร้าวจะเชื่อมต่อกันเป็นรอยร้าวขนานกับเหล็กเสริมในผิวคอนกรีต

2.10.3 การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบ

จากการตรวจสอบ ผู้ตรวจสอบจะต้องระบุได้ว่าโครงสร้างที่ตรวจสอบ จัดอยู่ในกลุ่มใด จากลักษณะ 5 กลุ่มดังต่อไปนี้

ระดับความเสียหาย	คำอธิบาย
1	โครงสร้างที่ไม่มีจุดบกพร่องจากการก่อสร้าง และ ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ และ ยังไม่จำเป็นต้องได้รับ การตรวจสอบอย่างละเอียด
2	โครงสร้างที่มีจุดบกพร่องต่อการเสื่อมสภาพ และ ส่งผลกระทบต่อความคงทน แต่ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ จุดบกพร่องดังกล่าวควรได้รับการแก้ไข
3	โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพที่สังเกตได้ชัดในบางจุด แต่ยังไม่ถึงระดับที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และ จำเป็นต้องได้รับ การตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อการบำรุงรักษา
4	โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพเป็นวงกว้าง และ สูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ควรต้องมีการบำรุงรักษา อย่างทันที่
5	โครงสร้างที่เกิดความเสียหาย และ เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานอย่างชัดเจน และ จำเป็นต้องออกมาตรการสำหรับรักษา ความปลอดภัยในการใช้งาน และ ได้รับการซ่อมบำรุงโดยด่วน

ตารางที่ 2.3 การจำแนกลักษณะความเสียหาย

2.11 การซ่อมแซมอาคาร

2.11.1 ลักษณะการทรุดตัวของอาคาร

เมื่อเสาเข็มไม่สามารถรับน้ำหนักได้จะเกิดการทรุดตัวจมลง เป็นผลให้อาคารเกิดการแตกร้าวเสียรูปไปจากเดิมเท่าที่พบเห็นอาคารจะเกิดการทรุดตัวเป็นสองแบบคือ

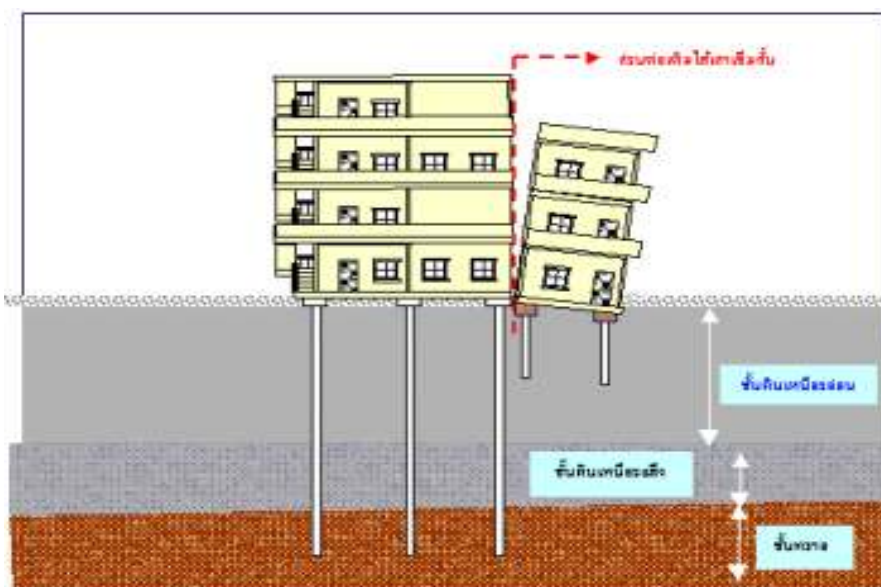
1)ฐานรากทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) ลักษณะการทรุดตัวเช่นนี้มีสาเหตุจากเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกต่างกันมาก เสาเข็มบกพร่อง ฐานรากบางฐานเกิดการโยกศูนย์หรือปลายเสาเข็มอยู่บนดินต่างชนิดกัน เมื่อฐานรากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันจะทำให้โครงสร้างบิดตัวแตก ร้าว มักจะพบว่าอาคารที่มีปัญหาเช่นนี้ผนังจะแตกร้าวเป็นแนวเฉียง

2) อาคารทรุดเอียง ลักษณะการทรุดตัวของอาคารแบบนี้เกิดจากฐานรากส่วนใหญ่ของอาคารเอียงศูนย์ และเอียงศูนย์ไปในทิศทางเดียวกันซึ่งมักจะเกิดขึ้นจากการก่อสร้างที่มีการวางตำแหน่งเสาเข็มผิดพลาดหรือเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุก ไม่ได้และ มีน้ำหนักบรรทุกลงฐานรากกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมากเกินไปทำให้อาคารทรุดจมลงด้านเดียว เมื่ออาคารทรุดจมลงด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งของอาคารจะถูกดึงขึ้น การทรุดตัวของอาคารแบบนี้จะไม่พบการแตกร้าวของโครงสร้างส่วนบน แม้แต่รอยแตกร้าวที่ผนังก็พบเห็นน้อยมาก รอยแตกร้าวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ฐานราก เสาเข็ม หรือ ตอม่อ บริเวณด้านของอาคารที่ถูกดึง

2.11.2 สาเหตุการทรุดตัว

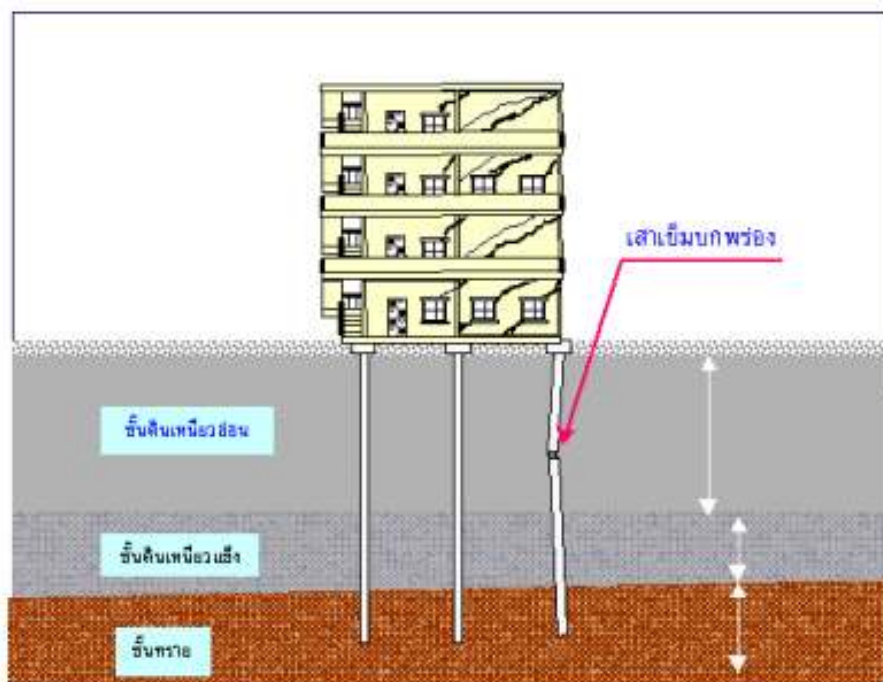
การทรุดตัวของฐานรากส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจาก

1) เสาเข็มสั้นเกินไป ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินอ่อนซึ่งรับแรงแบกทานได้น้อย และยังเป็นดินที่ยุบตัวได้ง่าย



รูปที่ 2.4 แสดงเสาเข็มสั้นเกินไปจนไม่ถึงชั้นดินแข็ง

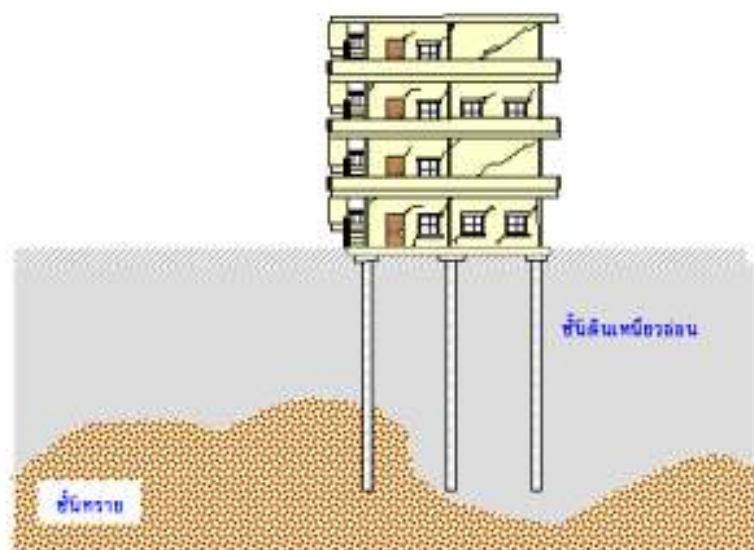
2) เสาเข็มบกพร่อง เช่นเสาเข็มแตกหักหรือขาดจากกันขณะติดตั้ง เป็นสาเหตุที่ทำให้เสาเข็มไม่สามารถส่งผ่านน้ำหนักลงไปยังชั้นดินแข็งที่ลึกลงไปได้



รูปที่ 2.5 แสดงเสาเข็มบดพร่อง

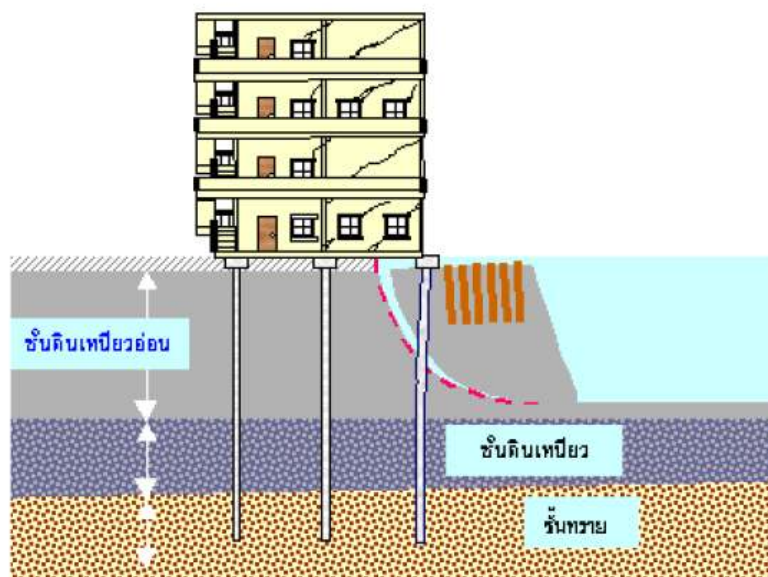
3)ฐานรากเอียงศูนย์ จุดศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มไม่ตรงกับตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ กรณีเช่นนี้จะพบเห็นมากกับอาคารที่ใช้เสาเข็มเดี่ยว ซึ่งการติดตั้งเสาเข็มอาจคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไปมาก และไม่ได้ทำการแก้ไขหรือแก้ไขไม่ถูกต้อง

4)เสาเข็มอยู่บนดินต่างชนิดกัน ส่วนมากเกิดขึ้นเพราะไม่มีการเจาะสำรวจดินก่อนการก่อสร้าง ทำให้ไม่ทราบลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดิน นอกจากนั้นการกำหนดให้เสาเข็มยาวเท่ากันทั้งหมดนั้นยังไม่ถูกต้องนัก เพราะการกำหนดเช่นนั้นปลายเสาเข็มของอาคารด้านหนึ่งอาจวางอยู่ในดินเหนียวแข็ง หรือชั้นทรายแน่น ในขณะที่อีกด้านหนึ่งยังอยู่ในชั้นดินที่อ่อนกว่า



รูปที่ 2.6 แสดงเสาเข็มที่อยู่บนดินต่างชนิดกัน

5) เกิดการเคลื่อนตัวของดิน มักจะเป็นการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นหลังจากการการติดตั้งเสาเข็ม และก่อสร้างอาคารเรียบร้อยแล้ว ความเสียหายในภายหลังนี้จะเกิดขึ้นจากแรงกระทำภายนอกเช่นมีการขุดดิน บริเวณข้างเคียง ทำให้ดินเคลื่อนตัวดันเสาเข็มให้เคลื่อนจากตำแหน่งเดิม อาคารเกิดการทรุดตัวและแตกร้าวได้เช่นกัน



รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดการเคลื่อนตัวของดิน

6) เสาเข็มรับน้ำหนักได้ไม่เพียงพอ ไม่มีการเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน อาศัยข้อมูลจากการบอกเล่าหรือ อาศัยข้อมูลจากอาคารข้างเคียง บางครั้งก็อาจเกิดข้อผิดพลาดได้
อีกกรณีหนึ่งที่พบเห็นบ่อยครั้งคือการเปลี่ยนเสาเข็มตอกเป็นเสา เข็มเจาะ

2.11.3 การแก้ไขอาคารทรุด

เมื่อพบว่าอาคารเกิดการทรุดตัวไม่ว่าจะเป็นเพราะฐานรากทรุดตัวแตกต่างกันหรืออาคารเกิดการทรุดเอียงควรรับดำเนินการแก้ไขให้อาคารหยุดการทรุดตัวเป็นอันดับแรกก่อนต่อจากนั้นจึงค่อยแก้ไขโครงสร้างที่แตกร้าวหรือทำการยกอาคารเป็นลำดับถัดไปด้วยการเสริมเสาเข็มหรือเสริมกำลังฐานรากโดยทั่วไปก่อนจะดำเนินการแก้ไขควรศึกษาข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบดังนี้

1. ศึกษาแบบแปลนรายละเอียดของอาคารชนิดฐานรากขนาดและระดับปลายเสาเข็มที่ใช้
2. คำนวณน้ำหนักที่ลงฐานรากแต่ละฐาน
3. สำรวจสภาพชั้นดิน
4. คำนวณกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มเดิมจากผลข้อมูลดินที่สำรวจ
5. สำรวจการทรุดตัวของอาคาร
6. เลือกชนิดและขนาดของเสาเข็มพร้อมทั้งคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จะนำมาใช้เสริมฐานราก

2.11.4 เสาเข็มที่ใช้เสริมฐานราก

1. ควรเป็นเสาเข็มที่ไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนขณะติดตั้งมิฉะนั้นอาคารจะเกิดการทรุดตัวมากขึ้นจนอาจพังทลายขณะทำเสาเข็ม
2. ควรเป็นเสาเข็มที่ใช้รับน้ำหนักได้ทันทีเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จและสามารถทำค้ำยัน(Shoring)กับตัวอาคารได้ง่าย
3. เป็นเสาเข็มที่ทำได้ในสถานที่คับแคบมีพื้นที่ทำงานจำกัด
4. เป็นเสาเข็มที่สามารถทราบกำลังรับน้ำหนักที่แท้จริงได้

คุณสมบัติของเสาเข็มที่กล่าวถึงนี้เหมาะสำหรับอาคารที่เกิดการทรุดตัวมากอยู่ในภาวะที่ต้องรีบแก้ไขซึ่งได้แก่เสาเข็มที่กดลงดินด้วยแม่แรงไฮดรอลิกเช่นเสาเข็มเหล็ก H-Beam เสาเข็มเหล็ก Pipe หรือ

เสาเข็ม FN-Pile (Segmented composite pile) เป็นต้นสำหรับอาคารที่เกิดการทรุดตัวไม่มากนักก็มีพื้นที่ในการทำงานกว้างเพียงพอและอาคารยังพอรับแรงสั่นสะเทือนได้อาจนำเสาเข็มเจาะมาใช้เสริมได้

2.11.5 ขั้นตอนการเสริมฐานราก

ลำดับขั้นตอนต่อไปนี้เป็นขั้นตอนการเสริมฐานรากที่เกิดการทรุดตัวด้วยเสาเข็มใหม่

1. เตรียมเสาเข็มชนิดที่จะใช้กดลงดินด้วยแม่แรงไฮดรอลิก
2. ขุดดินบริเวณฐานรากที่กำลังจะเสริม เพื่อกำหนดตำแหน่งของเสาเข็ม ให้ใกล้เคียงตำแหน่งของเสาเข็มเดิมมากที่สุด
3. กดเสาเข็มลงดินโดยใช้อาคารเป็น reaction load
4. เมื่อกดเสาเข็มจนได้ความยาวตามต้องการแล้ว ทำ transfer Beam เพื่อถ่ายน้ำหนักของอาคารลงเสาเข็มใหม่
5. Preloading ให้เสาเข็มใหม่รับน้ำหนัก
6. ในกรณีที่น้ำหนักอาคารไม่มากนัก Transfer Beam สามารถรับน้ำหนักได้เพียงพออาจไม่จำเป็นต้องทำฐานรากใหม่เพราะนอกจากคอนกรีตที่เทปิดผิวจะไม่ช่วยรับน้ำหนักแล้วยังเป็นการเพิ่มน้ำหนักลงเสาเข็มอีกด้วยแต่ถ้าน้ำหนักของอาคารมากและต้องเสริมเสาเข็มจำนวนหลายต้นควรทำฐานรากใหม่เพื่อยึดหัวเสาเข็มที่เสริมและเป็นตัวถ่ายน้ำหนักให้ลงเสาเข็มได้สม่ำเสมอ

2.11.6 การยกอาคาร

เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขความต่างระดับของอาคาร ซึ่งจะกระทำหลังจากการเสริมเสาเข็มแล้ว เพราะจะต้องมีการตัดต่อม่อของอาคารเดิมออก โดยจะมีการถ่ายน้ำหนักของอาคารลงสู่เสาเข็มใหม่ในขณะที่ทำการยกอาคาร มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งแม่แรงไฮดรอลิกให้ตรงตำแหน่งเสาเข็มใหม่ทำการเสริม โดยติดตั้งให้แม่แรงให้ครบทุกตำแหน่ง

2. ตัดต่อม่ออาคารเดิมออก ให้หมด
3. ตรวจสอบระดับด้วยกล้องวัดระดับ และทำการยกอาคารด้วยแม่แรงไฮดรอลิกให้ได้ระดับ โดยต้องทำการยกให้เท่ากันและพร้อมกัน จนถึงระดับที่ต้องการ
4. ติดตั้งเสาต่อม่อใหม่ ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเหล็กรูปพรรณขึ้นอยู่กับการออกแบบ
5. เก็บงาน แต่งผิวฐานรากใหม่ให้เรียบร้อย



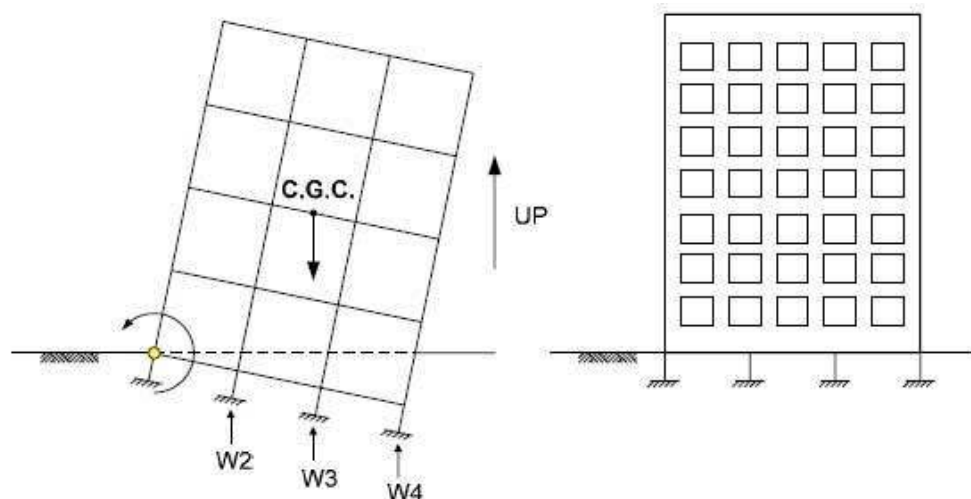
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการยกอาคาร

2.11.7 เทคนิคและหลักการยกอาคาร

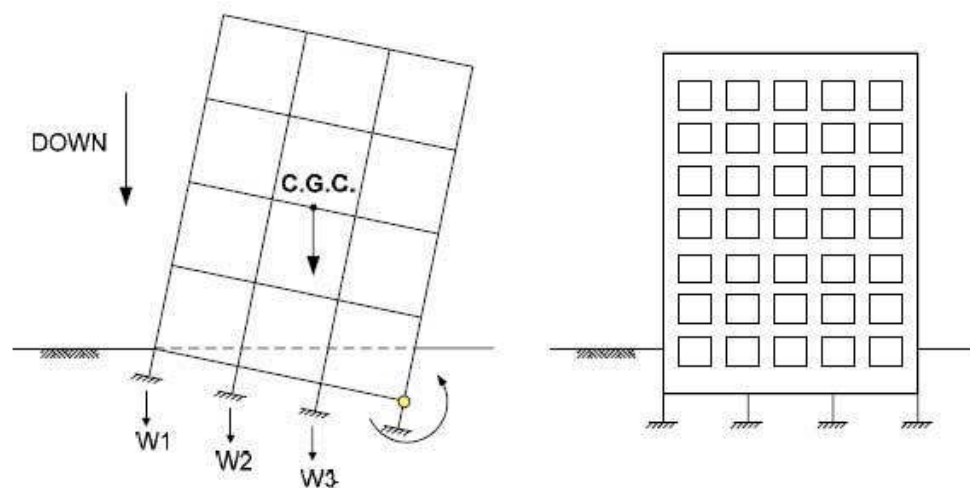
1. ใช้ Displacement Control ควบคุมการยกอาคาร โดยควบคุมมุมบิดไม่ให้เกินค่าที่กำหนด ($L/360$) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกร้าวของอาคาร
2. ก่อนการยกต้อง Preload แม่แรงให้เท่ากับน้ำหนักของอาคารในตอนนั้น
3. การควบคุมมุมบิด ใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเพื่อความถูกต้องและรวดเร็ว
4. กรณีที่อาคารทรุดเอียงหลายทิศทาง ยกปรับระดับให้อยู่ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่ย่างที่สุดก่อน
5. ไม่แนะนำให้ใช้การยกโดยวิธีพวงแม่แรง
6. ในการยกอาคารควรติดตั้งแม่แรงให้อยู่ใต้ต่อม่อ เพื่อลดโมเมนต์และแรงเฉือน
7. ในกรณีที่คานไม่สามารถรับแรงเฉือนได้ ให้ถ่ายแรงเฉือนไปยังชั้นที่ 2,3 โดยค้ำยันต่อขึ้นไป
8. ในการวัดตรวจวัดค่าระดับเพื่อนำมาใช้คำนวณหามุมบิด อาจใช้สายน้ำช่างไม้ในการวัดระดับได้

รูปแบบที่ใช้ในการยกอาคาร

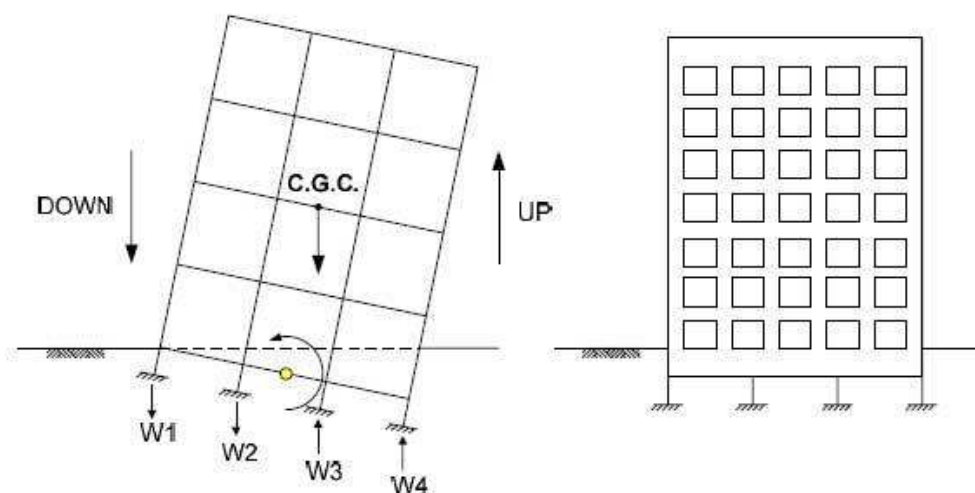
- 1.การยกปรับระดับขึ้น สามารถควบคุมมุมบิดได้ง่าย ใช้เวลาน้อย มีข้อเสีย คือ ต้องใช้กำลังของแม่แรงในการยกมาก จะส่งผลให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้
- 2.การยกปรับระดับลง มักใช้ในอาคารที่ไม่มีปัญหาเรื่องระดับความสูง หรือในกรณีที่มีอาคารมีน้ำหนักมาก
- 3.การยกปรับระดับขึ้นและลงพร้อมกัน สามารถทำได้โดยการหาจุดศูนย์ถ่วงของอาคาร แล้วใช้จุดนี้เป็นจุดหมุน เพื่อลดโมเมนต์และแรงในการยกลงได้มาก



รูปที่ 2.9 การยกอาคารโดยการยกปรับระดับขึ้น



รูปที่ 2.10 การยกอาคารโดยการยกปรับระดับลง



รูปที่ 2.11 การยกอาคารโดยการยกปรับระดับขึ้นและลงพร้อมกัน

2.12 กรณีศึกษา

กรณีศึกษา1. อาคารวังมะลิวัลย์ ถนนพระอาทิตย์ กรุงเทพมหานคร

ประวัติอาคาร

อาคารวังมะลิวัลย์ เดิมเป็นวังที่ประทับของพระเจ้าบรมวงศ์เธอพระองค์เจ้ากฤษฏาภินิหาร กรมพระนเรศวรฤทธิ์ ต้นราชสกุล กฤดากร พระองค์ท่านเป็นพระเจ้าลูกเธอลำดับที่ 17 หรือพระราชโอรสลำดับที่ 8 ในพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว กับเจ้าจอมมารดากลิ่น ถูกสร้างขึ้นเมื่อกรมพระนเรศวรฤทธิ์เจริญพระชนมายุ 60 พรรษา และได้รับพระราชทานทรัพย์สินส่วนพระองค์จากรัชกาลที่ 6 โดยมีนายเออโคล มั่นเฟรติ (เอกฤทธิ์ หมั่นเฟินดี) สถาปนิกชาวอิตาเลียน สังกัดกระทรวงโยธาธิการ เป็นผู้ออกแบบ และควบคุมการก่อสร้างถวายจนแล้วเสร็จ ใน พ.ศ. 2460 ซึ่งอาคารวังมะลิวัลย์นี้ถูกสร้างขึ้นหลังจากที่มีการรื้อป้อมอัมรินทร์ออก พื้นที่บางส่วนของอาคารสร้างทับบนบริเวณที่เคยเป็นป้อม และมีการเจาะทะลุกำแพงเมืองเพื่อเปิดทางเข้าออกเพิ่มสำหรับรถยนต์

ตำหนักหลังนี้ได้ใช้รับเสด็จพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวในการเสด็จมาพระราชทานน้ำสงกรานต์หรือในงานนักขัตฤกษ์สำคัญต่าง ๆ มีการใช้พื้นที่ในท้องพระโรงเป็นหลัก กระทั่งเมื่อกรมพระนเรศวรฤทธิ์สิ้นพระชนม์ด้วยพระโรคพระอัมตะ (ลำไส้ใหญ่) ในปี พ.ศ. 2468 ได้ใช้ท้องพระโรงในการตั้งพระศพคู่กับเจ้า

จอมมารดาคลั่นซึ่งถึงอสัญกรรมเวลาถัดมาในปีเดียวกัน พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวเสด็จพระราชดำเนินมาทรงนำพระศพที่ท้องพระโรง นับเป็นงานพิธีครั้งใหญ่ครั้งสุดท้ายที่จัดในวังกรมพระนครสวรรค์วรพินิต ก่อนที่วังจะถูกขายให้แก่กรมพระคลังข้างที่ในปีถัดมาอาคารวังมะลิวัลย์จึงตกเป็นกรรมสิทธิ์ของกรมพระคลังข้างที่ และสำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ได้รับมอบมาดูแล และจัดประโยชน์นับตั้งแต่ พ.ศ. 2480 เป็นต้นมา

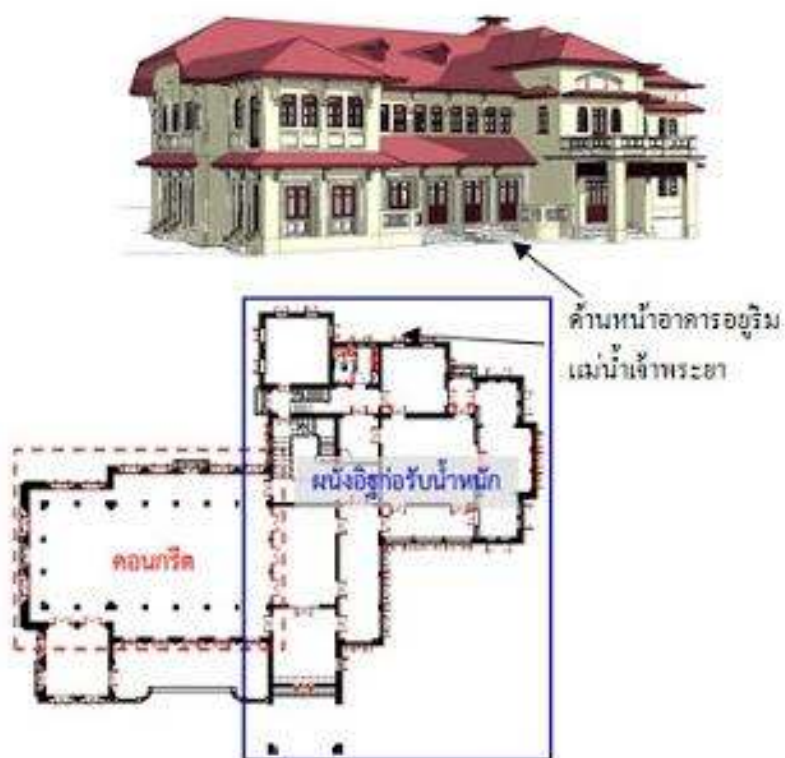
ในตอนต้นรัชสมัยของสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวอานันทมหิดล บ้านมะลิวัลย์ได้ใช้เป็นที่พักอาศัยของสำเร็จราชการแทนพระองค์ และได้กลายเป็นโรงเรียนสืบราชการลับตามที่กรมเสนาธิการทหารบกได้จัดตั้งขึ้น ต่อมาช่วงระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง (พ.ศ. 2484-2488) นายปรีดี พนมยงค์ ผู้สำเร็จราชการฯ ผู้เป็นหัวหน้าขบวนการเสรีไทย ได้ใช้บ้านหลังนี้เป็นศูนย์บัญชาการงานใต้ดิน ของฝ่ายสัมพันธมิตร และขบวนการเสรีไทยกลางพระนคร ต่อมาชาวบ้านแถวถนนพระอาทิตย์เริ่มรู้ว่บ้านมะลิวัลย์เป็นที่ปฏิบัติงานใต้ดิน นายปรีดี พนมยงค์ จึงย้ายฝ่ายข่าวของไอเอสเอสไป

ในปี พ.ศ. 2499 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้ขอเช่าอาคารบ้านมะลิวัลย์ จากสำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ เพื่อใช้เป็นที่พักทำการของสำนักงานองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และเดิมที่ได้ใช้พระตำหนักเดิมของกรมพระนครสวรรค์วรพินิตเป็นที่พักทำการ ต่อมาได้สร้างตึกที่ทำการ 4 ชั้นขึ้นใหม่ทางด้านเหนือ และตึกงานโครงการทางด้านใต้ ส่วนพระตำหนักเดิมได้กลายเป็นอาคารห้องสมุด โดยคงลักษณะเดิมไว้ทุกประการ

ลักษณะอาคาร

อาคารบ้านมะลิวัลย์เป็นอาคาร 2 ชั้น มีขนาดความกว้าง 31.73 เมตร ยาว 38.76 เมตร สูง 12.70 เมตร พื้นที่การใช้งานทั้งหมดประมาณ 1,230 ตารางเมตร โครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กผสมผนังอิฐก่อรับน้ำหนัก หลังคาโรงปั้นยา

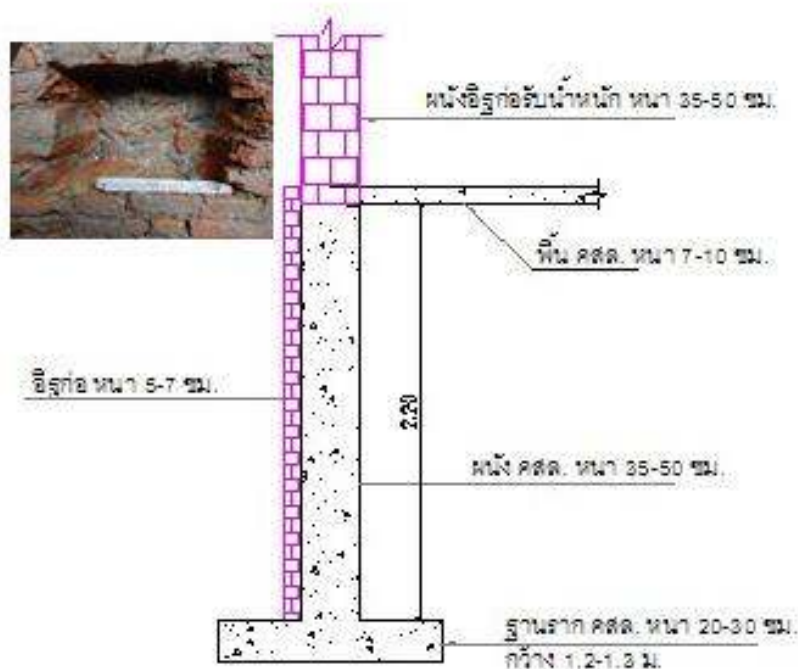
ลักษณะโครงสร้างอาคาร ด้านบนเหนือฐานรากขึ้นมาเป็นโครงสร้างผนังอิฐก่อรับน้ำหนัก (load – bearing wall building) มีรายละเอียดดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.12 ลักษณะอาคารวังมะลิวัลย์



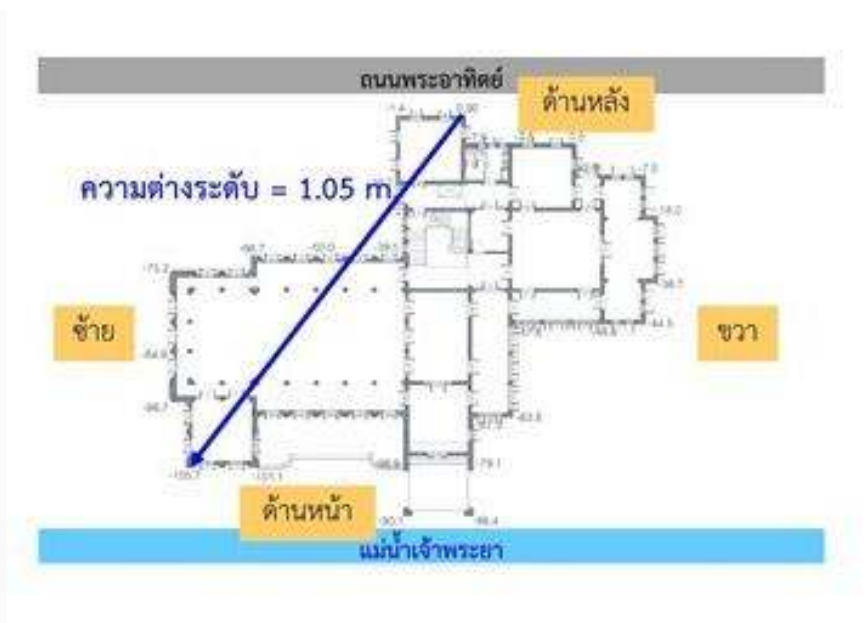
รูปที่ 2.13 ฐานรากแผ่ของอาคารรองรับตลอดแนวผนัง



รูปที่ 2.14 ฐานรากแผ่ และ โครงสร้างส่วนบน

ลักษณะปัญหา

อาคารบ้านมะลิวัลย์ประสบปัญหาความทรุดโทรมจากการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน อีกทั้งจากการใช้ประโยชน์อาคารที่ไม่เหมาะสมได้แก่ การใช้เป็นห้องสมุด และสำนักงาน ที่รับน้ำหนักมาก ทำให้เกิดปัญหาการทรุดเอียงของอาคาร ซึ่งความต่างระดับของการทรุดเอียงทแยงไปในทิศทางหนึ่งเท่ากับ 1.05 เมตรจึงเป็นที่มาของการบูรณะอาคาร



รูปที่ 2.15 ผลสำรวจค่าระดับการทรุดเอียง

การตรวจสอบปัญหา

แรกเริ่มผู้ใช้อาคารสันนิษฐานว่าอาคารทรุดเอียงน่าจะเป็นผลมาจากดินที่อยู่ริมแม่น้ำเจ้าพระยาเกิดการเคลื่อนตัว อาคารจึงทรุดเอียงลงด้านริมน้ำ แต่จากการตรวจพินิจ (visual inspection) อาคารทั้งหลังไม่ได้โน้มเอียงเข้าหาแม่น้ำในทิศทางตรง แต่กลับทรุดเอียงทแยงมุมไปในทิศทางหนึ่ง ดังนั้นจึงได้จัดให้มีการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลแล้วทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการทรุดตัวที่ชัดเจน ประกอบด้วยการสำรวจการทรุดตัว การเก็บรายละเอียดลักษณะโครงสร้างเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกทุกलगฐานราก ลักษณะฐานราก รวมถึงประวัติการก่อสร้างด้วยการขุดค้นทางโบราณคดี ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นปัจจัยหลักในการวิเคราะห์

ก่อนทำการสำรวจทางโบราณคดี และทางด้านวิศวกรรม ได้มีการค้นหาประวัติของอาคาร และรูปแบบแผนผังอาคารในหอสมุดจดหมายเหตุต่างๆ บริษัท สโตนเฮนจ์ จำกัดซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาของสำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ด้านการบูรณะซ่อมแซมอาคารได้ค้นคว้าข้อมูลหลักฐานทางประวัติศาสตร์พบว่า บริเวณที่ตั้งของอาคารวังมะลิวัลย์เคยเป็นป้อมมาก่อน ป้อมดังกล่าวมีชื่อว่าป้อมอิสินธร ภายหลังที่มีความขัดแย้งกับฝรั่งเศสแล้วรัชกาลที่ 5 ท่านทรงให้รื้อถอนป้อมหลายป้อมรวมทั้งป้อมนี้ด้วย การรื้อถอนส่วนใหญ่เป็นเฉพาะช่วงบน ส่วนด้านล่างที่อยู่ในดินไม่ได้ทำการรื้อถอนออกไป

ด้วยเหตุนี้ในการสำรวจจึงต้องทำการขุดสำรวจทางโบราณคดีเพื่อหาแนวป้อมว่าอยู่ในบริเวณช่วงใดของอาคาร จากการวางทาบแผนผังแนวกำแพงป้อมอิสินธกับแผนผังอาคารวังมะลิวัลย์ทำให้ทราบในเบื้องต้นว่าแนวของป้อมอยู่บริเวณด้านหลัง และชิดไปทางด้านขวาของอาคาร (เมื่อหันหน้าเข้าอาคาร)

การขุดสำรวจโบราณคดี ผลสำรวจทางโบราณคดีพบว่าแนวป้อมอยู่ด้านหลังอาคารเอียงไปทางด้านขวาตรงกับที่ทาบแผนผังก่อนดำเนินการสำรวจ (รูปที่ 5 และ 6) แนวของกำแพงป้อมวางผ่านใต้ตัวอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 7 ส่วนบนสุดของป้อมอยู่ต่ำกว่าฐานรากแผ่ของอาคารประมาณ 1.20 เมตร

การขุดสำรวจฐานราก ทำการขุดสำรวจฐานรากของอาคารทั้งด้านที่อยู่เหนือป้อม และด้านที่อยู่ริมแม่น้ำเจ้าพระยา ผลสำรวจพบว่าฐานรากของอาคารเป็นฐานรากแผ่ที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กวางอยู่บนอิฐที่วางถมอยู่ในดิน (รูปที่ 8)

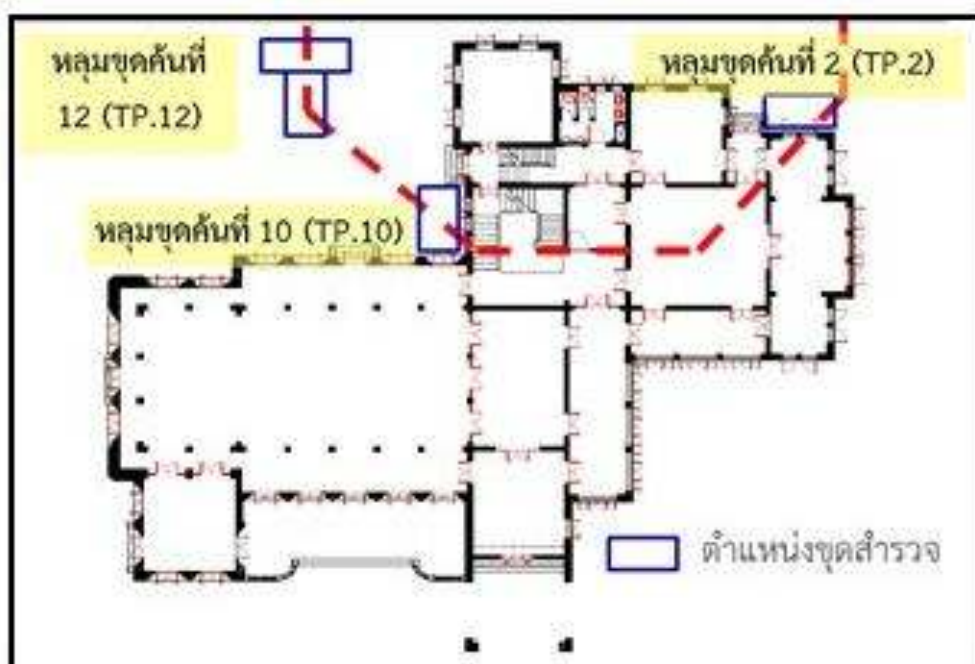
เจาะสำรวจดิน เจาะสำรวจดินจำนวน 1 หลุม เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลกับผลสำรวจดินที่มีอยู่เดิมจำนวน 2 หลุม ตำแหน่งเจาะสำรวจอยู่ใกล้ฐานป้อม สภาพชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนมากถึงอ่อน (very soft to soft clay) จากระดับผิวดินถึงความลึก 14 เมตร ถัดลงไปเป็นดินเหนียวแข็งมาก (very stiff lean clay) ถึงระดับความลึก 18.50 เมตร ชั้นดินต่ำลงไปเป็นดินเหนียวปนดินตะกอนแข็งมาก (very stiff, silty clay) จนถึงความลึก 20 เมตร



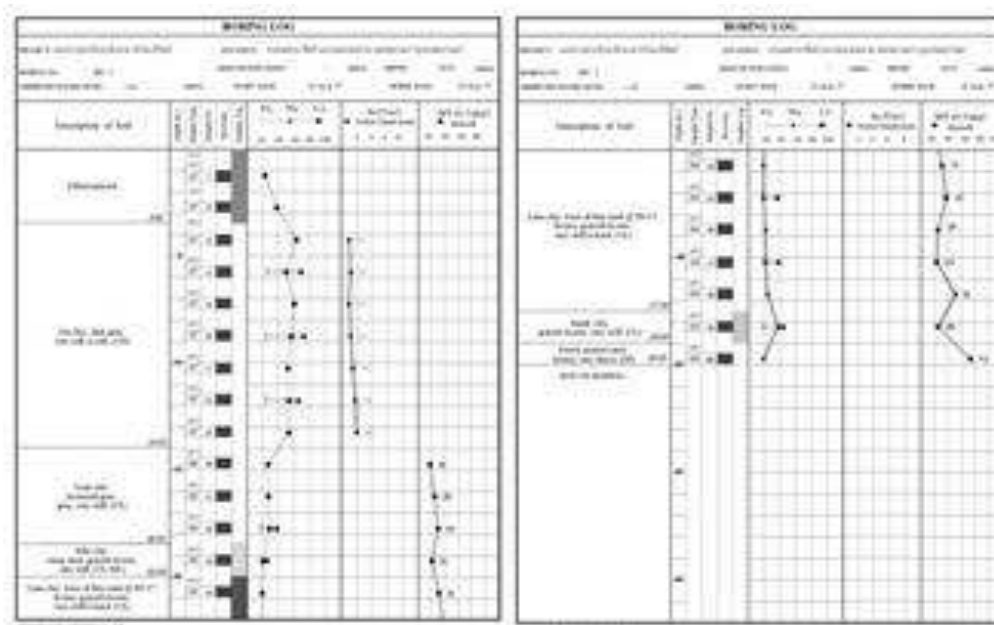
รูปที่ 2.16 ตำแหน่งซ้อนทับของอาคารกับป้อมอิศิธร



รูปที่ 2.17 แนวป้อมอิสินธร



รูปที่ 2.18 แนวป้อมอิสินธรตามแนวเส้นประ



รูปที่ 2.19 ลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดิน

การวิเคราะห์สาเหตุการทรุดตัว

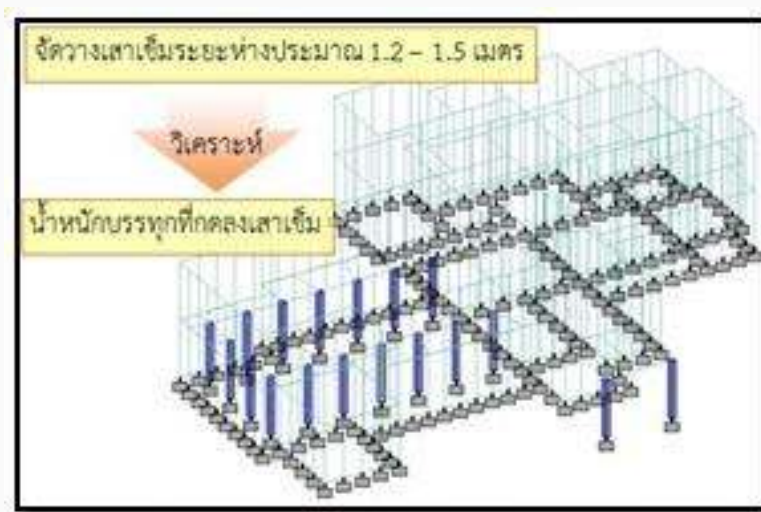
ผลสำรวจการทรุดตัวของอาคาร ทำให้สามารถวิเคราะห์สาเหตุการทรุดตัวได้ว่าอาคารเกิดการทรุดเอียงตัวเป็นผลจากการพยุ่งของฐานป้อมอิฐนรที่คงค้างอยู่ในดิน ฐานป้อมรวมถึงแนวกำแพงของป้อมที่อยู่ด้านล่างใต้อาคารบริเวณด้านหลังเอียงไปทางขวา (เมื่อมองเข้าจากด้านริมน้ำ) ด้านการทรุดตัวของอาคารบริเวณดังกล่าวให้ทรุดตัวน้อยกว่าฐานรากบริเวณอื่น ฐานรากของอาคารซึ่งเป็นฐานรากแผ่ปกติจะมีการทรุดตัวตามการยุบตัวของดินอย่างต่อเนื่อง แต่ควรเป็นการทรุดตัวที่มีระดับการทรุดใกล้เคียงกันทั้งหลัง เมื่อมีแนวของป้อมมาเป็นตัวต้านทาน หรือแบกทานน้ำหนักบรรทุกของอาคารในบางส่วนเช่นนี้จึงทำให้เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันระหว่างฐานรากตัวอื่นกับฐานรากที่วางบนแนวป้อม อาคารวังมะลิวัลย์จึงทรุดเอียงลงด้านทแยงมุมในทิศทางตรงข้ามกับตำแหน่งของป้อม

การแก้ไขซ่อมแซม

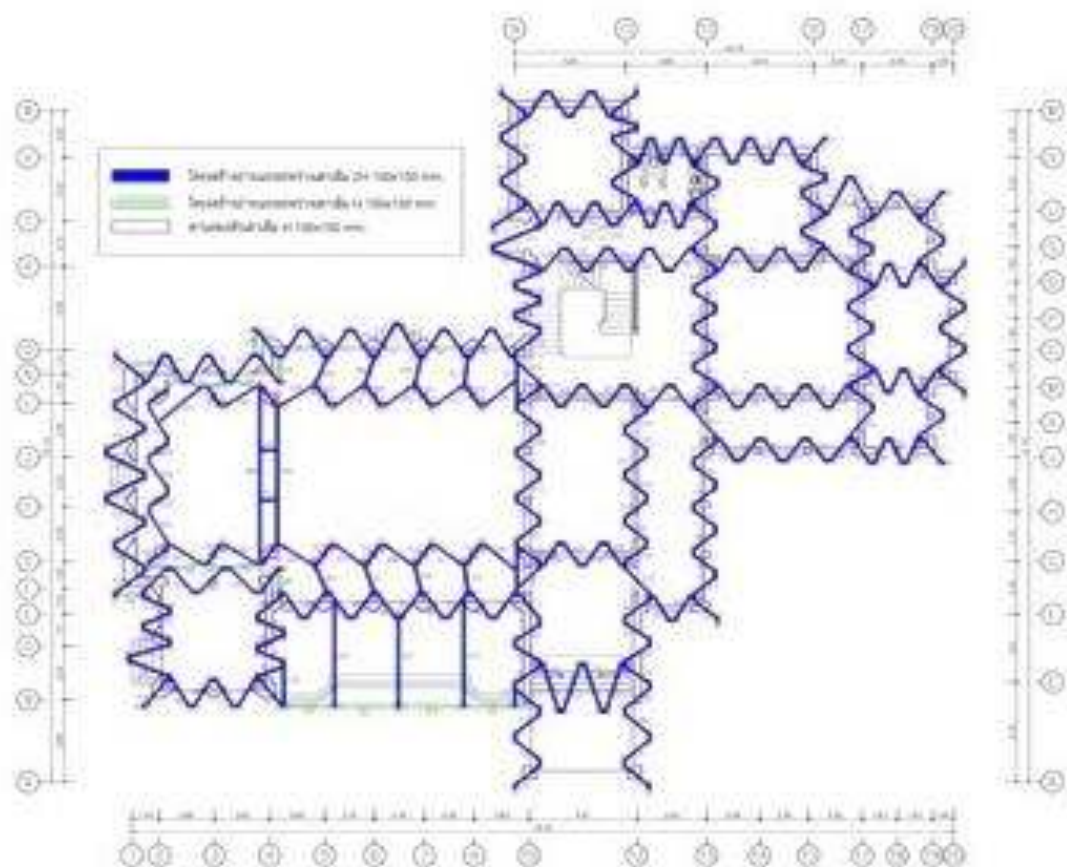
เมื่อพบสาเหตุว่าอาคารทรุดเอียงเกิดจากการพยุ่งของป้อม แนวทางการแก้ไขจึงกำหนดให้ใช้เสาเข็มยาวมารองรับอาคารทั้งหลังเพื่อเป็นการตัดแรงพยุ่งที่เกิดจากแนวป้อม ให้น้ำหนักอาคารส่งผ่านลงสู่ดินด้านล่างที่ลึกลงไปมากกว่าฐานรากของป้อม และหลังจากติดตั้งเสาเข็มแล้วเสร็จจะทำการยกปรับระดับอาคารให้กลับมาตั้งตรงดังเดิม เสาเข็มที่ใช้เสริมฐานรากนั้นเลือกใช้เสาเข็มเหล็กหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 และ 20 เซนติเมตร ปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับความลึก 18 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกทุกพลอดภัย 15 ตันต่อต้น มีอัตราส่วนความปลอดภัย 2.5

ตำแหน่งจัดวางเสาเข็มเสริมกำหนดให้เป็นเสาเข็มประกบผนังแล้วทำคานถ่ายแรงตัดผ่านใต้แนวผนังของอาคาร การที่ไม่เลือกใช้เสาเข็มรองใต้แนวผนังโดยตรงเพราะผนังของอาคารมีความบางมากเมื่อเทียบกับความสูงของอาคาร สภาพที่เป็นผนังบางอาจเกิดการบิดตัวขณะยกอาคารได้จึงหลีกเลี่ยงโดยใช้เสาเข็มประกบแนวผนังแล้วใช้วิธีสอดคานรองรับผนัง การกำหนดเสาเข็มว่าควรวางห่างกันเป็นระยะเท่าใดนั้นใช้หลักการวิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกทุกलगฐานรากด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามหลักการวิเคราะห์โครงสร้างทั่วไป

เสาเข็มที่ใช้เสริมอาคารเป็นเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร จำนวน 36 ต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร จำนวน 231 ต้น รวมทั้งสิ้น 267 ต้น การติดตั้งเสาเข็มมีทั้งติดตั้งด้วยระบบไฮดรอลิก และตอกด้วยปั้นจั่น ตำแหน่งเสาเข็ม และรูปแบบการจัดวางแนวคาน



รูปที่ 2.20 แสดงการวิเคราะห์หาระยะห่างเสาเข็มเสริมทุกช่วง 2.00 - 2.50 เมตร



รูปที่ 2.21 ตำแหน่งเสาเข็ม และรูปแบบการจัดวางแนวคาน



รูปที่ 2.22 ลักษณะคานเหล็กวางเสริมตลอดใต้ผนัง

การยกอาคาร

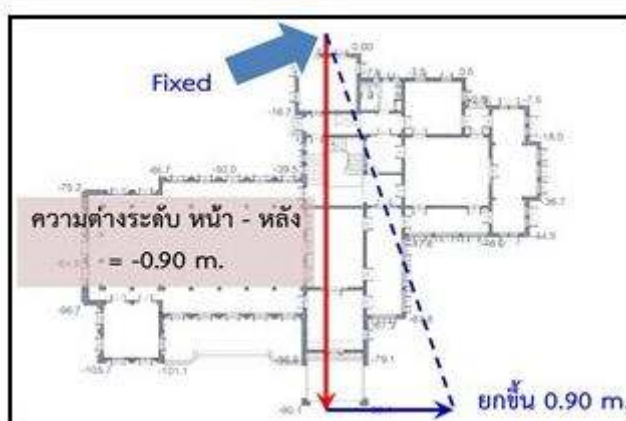
ภายหลังติดตั้งเสาเข็ม และวางคานลอดใต้แนวมุขทั้งหมดยังแล้ว จะถึงขั้นตอนการยกปรับระดับอาคารให้ตั้งตรง ซึ่งเริ่มต้นด้วยการถ่ายน้ำหนักอาคารลงเสาเข็มใหม่ทั้งหมด ก่อนยกอาคารจะทำการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงอีกครั้งพร้อมทั้งติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดระดับที่ตำแหน่งต่าง ๆ เครื่องมือที่ใช้ในการยกอาคารวังมะลิวัลย์คือแม่แรงไฮดรอลิกชนิดควบคุมด้วยมือ แม่แรงที่ใช้ในการยกอาคารมีกำลังยก 50 ตัน ตำแหน่งติดตั้งแม่แรงทั้งหมด 311 ตำแหน่ง

เนื่องจากอาคารทรุดเอียงในแนวทแยงมุม ดังนั้นการยกอาคารจึงต้องแบ่งเป็นการยกสองทิศทาง โดยควบคุมระยะยกที่ตำแหน่งต่าง ๆ ให้คงความเป็นระนาบ (Plane remain plane) เพื่อไม่ให้โครงสร้างเกิดการบิดตัวแตกร้าว ต้องมีการกำหนดจุดหมุนที่ตำแหน่งแตกต่างกันในแต่ละแกน

เริ่มยกอาคารวังมะลิวัลย์วันที่ 23 มีนาคม 2558 แล้วเสร็จวันที่ 25 มีนาคม 2558 รวมเวลาที่ใช้ในการยก 3 วัน หลังจากยกอาคารแล้วเสร็จขั้นตอนต่อไป คือต่อเสาตอม่อลงเสาเข็ม ซึ่งในที่นี้ทำเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กต่อลงคานเหล็กถ่ายแรงที่วางบนเสาเข็มเหล็กอีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 2.23 กำหนดระยะยกเพื่อยกด้านซ้ายให้เสมอด้านขวา



รูปที่ 2.24 กำหนดระยะยกเพื่อยกด้านหน้าให้เสมอด้านหลัง



รูปที่ 2.25 แสดงอาคารก่อนและหลังทำการยก

สรุป

การวิเคราะห์หาสาเหตุการทรุดตัวของอาคารโบราณสถานมีความจำเป็นต้องศึกษาประวัติทางโบราณคดีด้วย เพราะจะทำให้ทราบข้อมูลความเป็นมาทั้งหมด ทำให้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงได้แน่นอน ดังเช่นอาคารวังมะลิวัลย์นี้หากไม่ได้ศึกษาประวัติย้อนหลังไปในอดีตจะไม่ทราบเลยว่าเคยมีป้อมอยู่ รวมถึงไม่สามารถสันนิษฐานได้เลยว่าได้ดินยังมีโครงสร้างค้ำ หากต้องการทราบอาจต้องขุดดินเป็นบริเวณกว้างมากจึงจะพบสาเหตุการทรุดเอียงของอาคารได้

อาคารที่เป็นโบราณสถานส่วนใหญ่เป็นอาคารชนิดผนังอิฐก่อรับน้ำหนัก เมื่อมีปัญหาเรื่องทรุดตัว หรือทรุดเอียง และมีความจำเป็นต้องยกขึ้นนั้น ข้อที่ควรให้ความสนใจมากเป็นพิเศษ คือการถ่ายแรงภายในโครงสร้างขณะทำการยก เพราะการบิดตัวเพียงเล็กน้อยจะทำให้อาคารเกิดการแตกร้าว อิฐก่อที่เรียงซ้อนกัน

อยู่เดิมนั้นไม่ได้ประสานกันอย่างแข็งแรงเพียงพอ ก่อนทำการยกอาคารโดยเฉพาะอาคารโบราณสถานที่ทรุดเอียงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์แรง หรือความเค้นที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องจากแรงดันย้อนทิศทางขณะยก หลักการรักษาระนาบขององค์อาคารเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วยเสมอ

กรณีศึกษา 2. งานเสริมฐานรากอาคารทรุดตัวเอียงใน อาคารเรียนยวงเดอลาซานโรงเรียนลาซานกรุงเทพมหานคร

ลักษณะอาคาร

อาคารเรียนยวงเดอลาซานโรงเรียนลาซานเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้นความกว้าง 9.75 เมตรความยาว 104 เมตร(หรือเทียบเท่ากับอาคารพาณิชย์ 4 ชั้น 26 คูหาติดกัน)ก่อสร้างเสร็จและเปิดใช้งานเมื่อปีพ.ศ. 2504 (ค.ศ. 1961) ต่อมาในปี 2543 (ค.ศ. 2000) พบว่าอาคารดังกล่าวมีการทรุดตัวเอียง เห็นได้ชัดเจนและมีแนวโน้มทรุดตัวมากขึ้นเรื่อยๆจากการติดตามการทรุดตัวประมาณ 3 ปีพบว่าแต่ละปีมีการทรุดตัวของอาคารเพิ่มขึ้นประมาณ 12 เซนติเมตรต่อปีดังนั้นเพื่อหาสาเหตุการทรุดตัวของอาคารโดยที่ไม่มีแบบก่อสร้างของอาคารเดิมและไม่พบรอยแตกร้าวของโครงสร้างหลักแต่อย่างใด



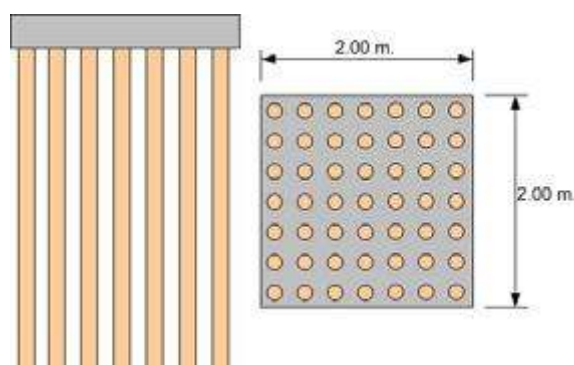
รูปที่ 2.26 อาคารเรียนยวงเดอลาซานเกิดการทรุดตัวเอียงมาด้านหน้า

การตรวจสอบปัญหา

การชุดตรวจสอบฐานรากพบว่าอาคารดังกล่าวก่อสร้างฐานรากอาคารด้วยเสาเข็มไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรยาว 6 เมตรและแต่ละฐานรากของอาคารจะมีเสาเข็มไม้จำนวน 49 ต้นเหมือนกันทุกฐานราก



รูปที่ 2.27 เสาเข็มไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรและยาว 6 เมตร



รูปที่ 2.28 ตำแหน่งฐานรากเสาเข็มไม้ 49 ต้น

การตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโครงสร้างด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย Ultrasonic Pulse Velocity Test เป็นการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตโครงสร้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse) โดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิมซึ่งความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในตัวกลางคอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตและจากการวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกสามารถบอกถึงการรับกำลังอัดของคอนกรีตได้ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 3.1 และการทดสอบด้วยความแข็งแรงของคอนกรีตโครงสร้างด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายอีกวิธีหนึ่งคือ Impact – Echo Test เป็นการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตโดยยึดหลักของการทำให้เกิดกระทบของคลื่นความเค้น (คลื่นเสียง) ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งจากการทดสอบทั้งสองวิธีได้นำผลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบพบว่าการรับกำลังของคอนกรีตอยู่ในคุณภาพที่ดี

Point	Location	Speed (m/s)	Quality
1	beam	3,760	Good
2	column	3,716	Good

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบ Ultrasonic Pulse Velocity Test

Location	Actual wide Thickne s (cm)	Main IE Frequency Peak(Hz)	Apparent Concrete Velocity (m/s)	Note
Beam	20	8932.2	3572.88	No Discontinuity
Column	25	6988.1	3491.67	No Discontinuity

ตารางที่ 2.4 ผลการทดสอบ Impact-Echo test.



รูปที่ 2.29 การทดสอบกำลังของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย (UPV)

จากการคำนวณการทรุดตัวของอาคารพบว่าอาคารมีการทรุดตัวของฐานรากแตกต่างกันประมาณ 30.5 เซนติเมตรโดยฐานรากแนวด้านหน้าของอาคารมีการทรุดตัว 140.2 เซนติเมตร (Grid Line A) และฐานรากแนวด้านหลังของอาคารมีการทรุดตัว 109.7 เซนติเมตร (Grid Line B) ซึ่งณปัจจุบันที่ 42 ปี (2003) การคำนวณการทรุดตัวของอาคารดังกล่าวมีค่าดัชนีการอัดตัวคายน้ำ 87% (Degree of Consolidation) และการทรุดตัวของชั้นดินบริเวณกรุงเทพ (Subsidence of Soil) ประมาณ 50 เซนติเมตรตลอดระยะเวลา 42 ปีที่ผ่านมา ดังนั้นอาคารดังกล่าวมีการทรุดตัวของฐานรากแนวด้านหน้าอาคารประมาณ 190.2 เซนติเมตร ฐานรากด้านหลังอาคารประมาณ 159.7 เซนติเมตร และมีค่า Angular distortion ประมาณ 1:300

สาเหตุการทรุดตัวของอาคาร

จากการตรวจสอบอาคารพบว่าฐานรากของอาคารได้ก่อสร้างบนเสาเข็มไม้และปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน (เสาเข็มสั้น) ซึ่งผู้ออกแบบขาดความรู้เรื่องการออกแบบฐานรากบนดินอ่อนหรือสมัยก่อนความรู้ทางวิศวกรรมในการก่อสร้างอาคารบนชั้นดินอ่อนยังไม่มีมีการพัฒนามากนักซึ่งจากการที่ผู้ออกแบบให้ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน (เสาเข็มสั้น) ทำให้ดินเหนียวอ่อนเกิดการยุบตัวคายน้ำหรือที่เรียกว่า กระบวนการ Consolidation ของดินเหนียวอ่อนซึ่งการยุบตัวคายน้ำของดินเหนียวอ่อนอยู่ในช่วง Primary Consolidation. และจากน้ำหนักที่ถ่ายลงฐานรากพบว่าน้ำหนักของอาคารที่ลงฐานรากอาคารแนวด้านหน้า (Grid Line A) มากกว่าฐานรากอาคารแนวด้านหลัง (Grid Line B) เกือบ 2 เท่า ส่งผลให้หน่วยแรงที่กระจายน้ำหนักของเสาเข็มแนวด้านหน้ามากกว่าแนวด้านหลังของฐานรากมีผลให้ดินเหนียวอ่อนบริเวณแนวด้านหน้าอาคารเกิดการเร่งการยุบตัวคายน้ำมากกว่าแนวด้านหลังอาคารจึงส่งผลให้อาคารดังกล่าวเกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันเนื่องมาจากน้ำหนักของอาคารที่ถ่ายลงฐานรากต่างกัน

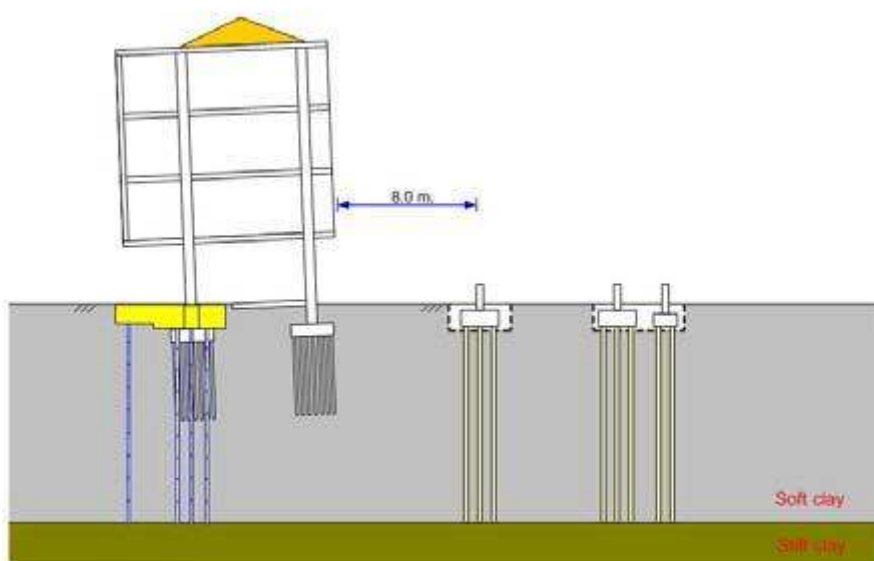
แนวทางแก้ไขและซ่อมแซมอาคาร

จากการทรุดตัวของอาคารที่เกิดขึ้นมีหลายวิธีและหลายแนวทางในการแก้ไขแต่มีแนวทางหนึ่งที่จะแก้ไขการทรุดตัวของอาคารเพื่อให้หยุดการทรุดตัวโดยใช้วิธีการเสริมฐานรากอาคารหรือที่เรียกว่า Underpinning โดยใช้เสาเข็ม Micro Pile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรสามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ 20 ตันต่อต้นโดยใช้ Hydraulic Jack แล้วใช้น้ำหนักของตัวอาคารเป็นน้ำหนักถ่วงกดเสาเข็ม Micro Pile ลงไปจนถึงชั้นดินแข็งในการเสริมฐานรากอาคารใช้เสาเข็ม Micro pile ทั้งหมด 261 ต้น และประกอบฐานรากใหม่จำนวน 64 ฐานในการซ่อมแซมอาคารดังกล่าวมีข้อกำหนดเรื่องเวลาเนื่องจากอาคารเป็นอาคารเรียนที่มีการเรียนการสอนตั้งแต่วันจันทร์ถึงศุกร์และงานอาคารที่กำลังจะก่อสร้างอาคารเรียนใหม่ที่อยู่ใกล้กับอาคารที่กำลังจะซ่อมแซมซึ่งจะมีต้องควบคุมเวลาการทำงานและควบคุมป้องกันการสั่นสะเทือนเนื่องมาจากการตอกเสาเข็มของอาคารใหม่ที่จะก่อสร้างอาจทำให้เกิดความการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้นได้ต่ออาคารที่กำลังซ่อมแซมและเมื่อเสริมฐานรากอาคารแล้วเสร็จทำการยกปรับระดับอาคาร 230 เซนติเมตรยกปรับอาคารให้อยู่ในระดับเดิมประมาณ 60 เซนติเมตรและยกปรับระดับอาคารเพิ่มขึ้นอีก 180 เซนติเมตรรวมการ

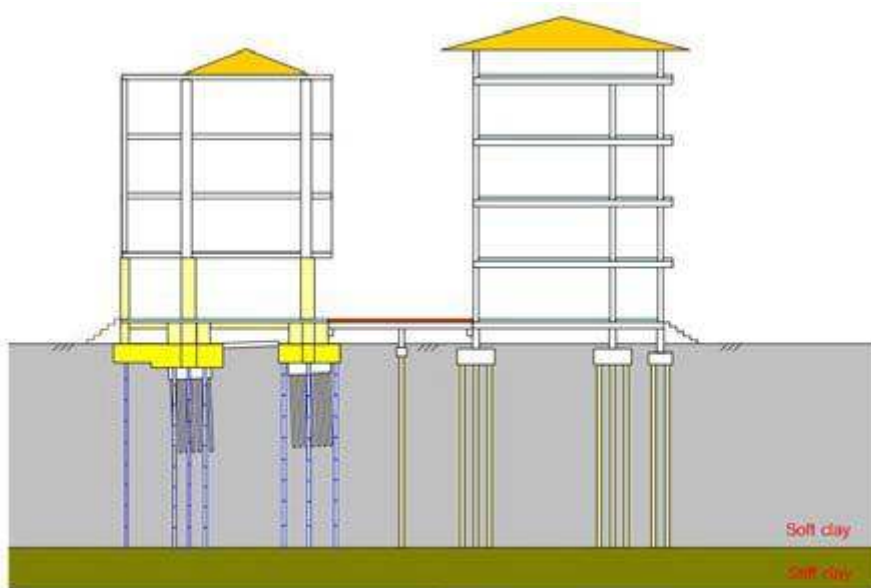
ยกปรับระดับอาคารทั้งหมด 230 เซนติเมตรโดยใช้ Hydraulic Jack ขนาด 100ตันจำนวน 81 ตัวและควบคุมการบิดเชิงมุม (Distortion Angle) ของอาคารทุกๆระยะการยกเพื่อป้องกันการแตกร้าวของอาคาร



ภาพที่ 2.30 การเสริมความแข็งแรงของฐานรากอาคารด้วยเสาเข็ม Micropile แนวด้านหน้าอาคาร



รูปที่ 2.31 แบบจำลองการเสริมฐานรากแนวด้านหน้าอาคารแล้วเสร็จก่อนการตอกเสาเข็มอาคารใหม่



รูปที่ 2.32แบบจำลองการเสริมฐานรากอาคารทั้งแนวด้านหน้าและหลังอาคารพร้อมยกปรับระดับและก่อสร้างอาคารใหม่



รูปที่ 2.33การยกปรับระดับอาคารทั้งหมด 230 เซนติเมตร

กรณีศึกษา 3.งานเสริมฐานราก จ.เพชรบูรณ์



รูปที่ 2.34 อาคารได้ทรุดตัวต่างระดับ

เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้น จำนวนหลายสิบหลังในพื้นที่ลาดเชิงเขา ใช้ฐานรากแบบฐานรากแผ่ที่มีขนาด 0.80, 1.50 และ 1.80 เมตร ตามลำดับ ในระหว่างการก่อสร้าง อาคารหนึ่งเกิดการทรุดตัวแตกร้าวทั่วทั้งอาคารเนื่องจากธรุดดินที่ทำงานอยู่บริเวณใกล้เคียงกัน อาคารได้ทรุดตัวต่างระดับถึง 0.80 เมตร ได้ทำการแก้ไขโดยการขยายฐานราก มีขั้นตอนคือ ค้ำยันโครงสร้างเพื่อขุดดินฐานราก แล้วขยายฐานรากให้สัมพันธ์กับน้ำหนักที่กระทำ ทำการยกระดับอาคารโดยใช้แม่แรงไฮดรอลิกขนาด 150 ตัน จำนวน 19 ตัวด้วยกัน ขั้นตอนสุดท้ายก็ทำการหล่อคอนกรีตเพื่อพอกขนาดเสาตอม่อแล้วซ่อมแซมการแตกร้าวโดยใช้ Nonshrink Material

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มณเฑียรและคณะ (2005) ได้ทำการแช่ตัวอย่างคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมทะเลในสภาพเปียกสลับแห้งเป็นเวลา 3 ปีพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินสามารถพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่องขณะที่คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ 5 เป็นวัสดุประสานมีกำลังอัดต่ำลงแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตควบคุมมีปัญหาการสูญเสียกำลังอัดเมื่อแช่ในสภาวะแวดล้อมทะเลเป็นระยะเวลานาน

ทวีชัย (2547) ได้ทำการศึกษาปริมาณเกลือคลอไรด์วิกฤตของการเกิดสนิมในคอนกรีตเหล็กเสริมที่ผสมเถ้าลอยและหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ดีโดยได้ทำการหล่อตัวอย่าง

คอนกรีตและมีเหล็กเสริมแทรกอยู่ตรงกลาง โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50, 0.55 และ 0.60 และมีสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ 0.20, 0.40 และ 0.60 ของปูนซีเมนต์และมีการใช้ปูนซีเมนต์จำนวน 2 ประเภท คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ ประเภทที่ 5 ทำการบ่มในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาแช่น้ำเกลือคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 ของเกลือคลอไรด์เมื่อค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์เปลี่ยนแปลงมาก ทำการเก็บก้อนตัวอย่างมาผ่าและนำคอนกรีตบริเวณที่ผิวของเหล็กเสริมมาบดเป็นผงเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ เกลือคลอไรด์จากการทดลองและวิเคราะห์พบว่า ค่าปริมาณเกลือคลอไรด์วิกฤตของเหล็กเสริมในคอนกรีตมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.10 ถึง 0.25 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานที่ใช้ในส่วนผสม โดยเมื่อสัดส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) ที่ต่ำค่าปริมาณเกลือคลอไรด์วิกฤตของ 16 เหล็กเสริมจะมีค่าสูงขึ้น และ เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย (f/b) ร้อยละ 20 และ 40 ค่า ปริมาณเกลือคลอไรด์วิกฤตของเหล็กเสริมจะมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อแทนที่ปริมาณเถ้าลอยถึงร้อยละ 60 จะพบว่าค่าปริมาณเกลือคลอไรด์วิกฤตของเหล็กเสริมจะมีค่าต่ำลง ซึ่งลักษณะเช่นนี้พบว่ามีแนวโน้มเดียวกันทั้งกรณีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50, 0.55 และ 0.60 และพบว่าที่สัดส่วนผสมคอนกรีต เดียวกันคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีค่าปริมาณเกลือคลอไรด์วิกฤตของเหล็ก เสริมในคอนกรีตที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

พิพัฒน์และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรก ซึมของเกลือคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลของไทยในเขตพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรีโดยได้ทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ผิวหน้าและภายในเนื้อคอนกรีตของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างโครงสร้างสะพานกำแพงกันคลื่น ท่าเทียบเรือ เป็นต้น มาทดสอบหาปริมาณเกลือคลอไรด์ทั้งหมดด้วยวิธีการไตเตรทที่หาจุดยุติด้วยการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้า ซึ่งพบว่าปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของโครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็กระยะเวลาที่เผชิญสิ่งแวดล้อมทางทะเลและระยะห่างจากฝั่งทะเลซึ่งผลการทดสอบที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายอายุการใช้งานที่ปลอดภัยการบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในสิ่งแวดล้อมทะเลได้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาหาวิธีบูรณะกลุ่มเรือนน้ำโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี เพื่อให้โครงสร้างมีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัยต่อการใช้งานและยังเป็นการอนุรักษ์อาคารเก่าแก่ซึ่งอยู่คู่กับโรงพยาบาลที่ตั้งสถานที่ดำเนินการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 โดยกลุ่มเรือนน้ำประกอบไปด้วยอาคารจำนวน 5 หลัง ได้แก่ เรือนรัฐธรรมนุญ เรือนสายปราโมช เรือนเจริญ โชติกสวัสดิ์ เรือนเล็กกลางและเรือนเล็กริม ปัจจุบันเป็นเรือนรับรองข้าราชการ และนักท่องเที่ยว มีรูปแบบสถาปัตยกรรมไทยพื้นถิ่น เรียบง่าย ให้ความรู้สึกเป็นบ้านพักตากอากาศชายทะเล



รูปที่ 3.1 ที่ตั้งโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา



รูปที่ 3.2 กลุ่มเรือนน้ำโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา

3.2 การตรวจสอบสภาพความเสียหายอาคารเบื้องต้น

3.2.1 การสำรวจทางกายภาพ (Geometry Assessment)

เป็นการสำรวจมิติต่างๆ สภาพภายนอก ภายใน ที่สามารถมองเห็นได้ สำรวจสภาพการใช้พื้นที่อาคาร ตรวจวัดความยาว ความกว้าง ตำแหน่งขนาดและหน้าตัดโครงสร้างของอาคาร เช่นคานเสา เป็นต้นจากนั้นทำบันทึกสภาพการแตกร้าว ของอาคารที่มองเห็น ความชำรุดเสียหายตามสภาพของอาคาร เพื่อนเป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงต่อไปสภาพความเสียหายของเรือนรัฐธรรมนูญแสดงดังรูปที่

3.3



รูปที่ 3.3 การแตกร้าวของเสาคอนกรีตที่เรือนรัฐธรรมนูญ

จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยตาเปล่า สามารถนำความเสียหายที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.1

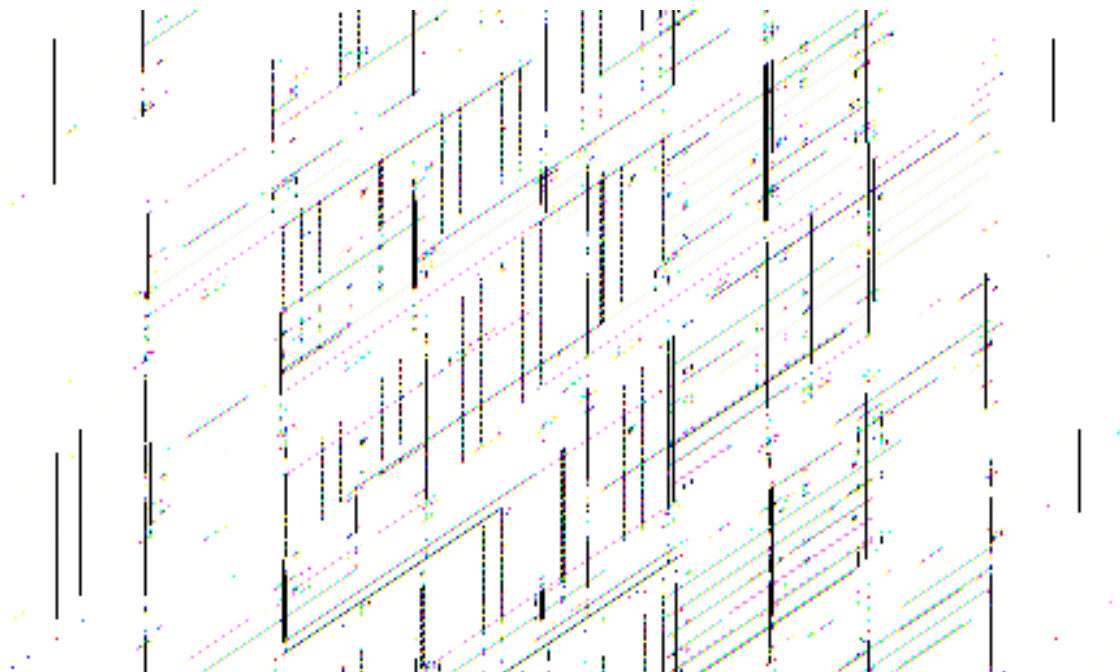
ระดับความเสียหาย	คำอธิบาย
1	โครงสร้างที่ไม่มีจุดบกพร่องจากการก่อสร้าง และ ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ และ ยังไม่จำเป็นต้องได้รับ การตรวจสอบอย่างละเอียด
2	โครงสร้างที่มีจุดบกพร่องต่อการเสื่อมสภาพ และ ส่งผลกระทบต่อความคงทน แต่ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ จุดบกพร่องดังกล่าวควรได้รับการแก้ไข
3	โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพที่สังเกตได้ชัดในบางจุด แต่ยังไม่ถึงระดับที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และ จำเป็นต้องได้รับ การตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อการบำรุงรักษา

4	โครงสร้างที่มีการเชื่อมสภาพเป็นวงกว้าง และ สูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ควรต้องมีการบำรุงรักษา อย่างทันทั่วถึง
5	โครงสร้างที่เกิดความเสียหาย และ เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานอย่างชัดเจน และ จำเป็นต้องออกมาตราการสำหรับรักษา ความปลอดภัยในการใช้งาน และ ได้รับการซ่อมบำรุงโดยด่วน

ตารางที่ 3.1 มาตรฐาน และ รายละเอียดของระดับความเสียหาย(ที่มา กรมโยธาธิการ และผังเมือง)

3.2.2 การสำรวจตามมาตรฐาน มยผ. 1501-51 มีขั้นตอนการสำรวจดังนี้

การสำรวจตามมาตรฐาน มยผ. 1501-51 มีขั้นตอนการสำรวจคือทำการเดินตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของโครงสร้าง และ ศึกษารูปแบบและลักษณะการใช้งานของโครงสร้างจากนั้นทำการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น แบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้างที่ใช้ ประวัติของโครงสร้าง ลักษณะแวดล้อม ในเบื้องต้นได้มีการลงพื้นที่เพื่อทำการสำรวจเพื่อจัดทำแบบแปลนของกลุ่มเรือนน้ำ โดยตัวอย่างแปลนโครงสร้าง เสา คาน ของเรือนรัฐธรรมนูญแสดงดังรูปที่ 3.4 เมื่อดำเนินการในส่วนนี้เสร็จสิ้น ต้องทำการวางแผนการตรวจพินิจโดยละเอียด จากนั้นทำการตีตารางบนผิวโครงสร้างเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของจุดต่างๆบนโครงสร้างและบันทึกผล



รูปที่ 3.4 แพลนโครงสร้างของเรือนรัฐธรรมนูญ

3.3 การตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีต

การตรวจสอบเพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดย Rebound Hammer เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test) โดยอาศัยหลักการกระแทกและกระดอนกลับของมวลสปริง (Spring Mass) ค่า Rebound Number ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความแข็งของผิวที่ถูกกระแทก ทั้งนี้คอนกรีตที่จะทำการทดสอบด้วย Rebound Hammer ต้องมีผิวเรียบสม่ำเสมอและมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 cm. การทดสอบด้วยวิธีการนี้นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเพราะสะดวก รวดเร็ว และสามารถนำผลการทดสอบมาประเมินกำลังรับแรงอัดของวัสดุในเบื้องต้นได้ทันที เพื่อกำหนดวิธีการทดสอบอื่นเพิ่มเติมในภายหลังการทดสอบด้วยวิธีนี้จะต้องทำตามข้อกำหนดมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) C 805 โดยกำหนดให้นำหัวPlunger ของ Rebound Hammer สัมผัสกับพื้นผิวของคอนกรีตและกดแท่งแกนเหล็กจนสุด

ปลายของPlungerกระแทกเกิดเสียงกระแทกภายใน Rebound Hammer และอ่านค่า Rebound Number ซึ่งค่าที่อ่านได้จะมีความสัมพันธ์กับค่า Compressive Strength ของคอนกรีต

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเครื่องมือทดสอบประกอบด้วย Digital Concrete Test Hammer แสดงในรูปที่ 3.5พลังงานในการกระแทก (Impact Energy) ต่อครั้ง เท่ากับ 0.225 m.kg สามารถตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีตได้ระหว่าง 100 ถึง 600 kgf/cm² (ksc)



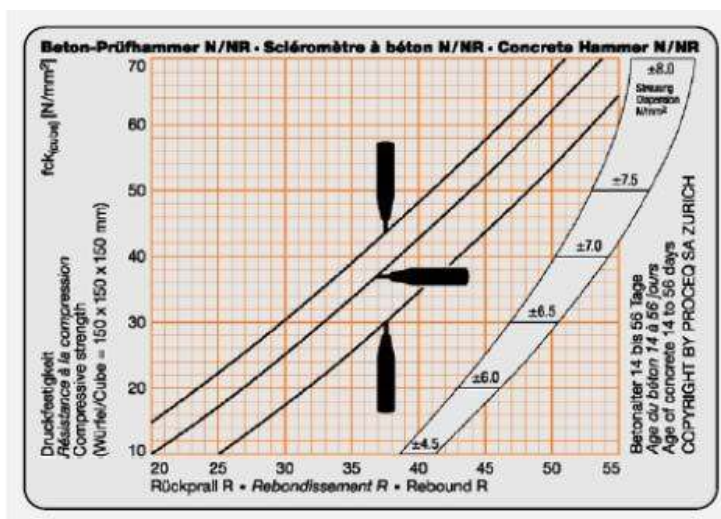
รูปที่ 3.5เครื่องมือ Schmidt Hammer ที่ใช้ในการทดสอบ

โดยขั้นตอนในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1.ตรวจสอบสภาพพื้นผิวที่จะทำการตรวจสอบโดยพื้นผิวที่ทำการทดสอบต้องจัดให้เรียบเนื่องจากพื้นผิวที่โค้งนูนจะให้ค่า Rebound Number ต่ำกว่าและพื้นผิวที่เว้าจะให้ค่า Rebound Number สูงกว่า
- 2.กำหนดตำแหน่งทดสอบ 16 จุดซึ่งแต่ละจุดต้องห่างกันอย่างน้อย 15 มิลลิเมตร
- 3.ทำการทดสอบด้วย Rebound Hammer ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวที่ทำการทดสอบพร้อมบันทึกค่า Rebound Number และทิศทางที่ใช้ในการกดโดยใช้ทิศทางกดในแนวราบทั้ง 4 ด้านของเสาในการทดสอบจะต้องกดให้หัว Plunger ของ Rebound Hammer กระแทกกับพื้นผิวของคอนกรีตทดสอบจนสุดปลาย Plunger กระแทกเกิดเสียงกระแทกภายใน Rebound Hammer และปรากฏค่า Rebound Number ขึ้น
- 4.เฉลี่ยค่า Rebound Number ทั้ง 16 ค่าและตรวจสอบค่า Rebound Number ทุกค่าต้องแตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกินกว่า ± 7 หากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมีค่า Rebound Number แตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า ± 7 จะถือว่าข้อมูลของค่า Rebound Number ที่ได้จากการทดสอบครั้งนั้นไม่สามารถนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลได้ต้องทำการทดสอบใหม่เพิ่มเติมโดยต้องเปลี่ยนพื้นผิวที่ทำ

การทดสอบใหม่และห่างจากตำแหน่งที่ได้ทำการทดสอบไปแล้วอย่างน้อย 30 มม. จนกว่าทุกค่ามีค่าไม่เกินกว่าค่าเฉลี่ย ± 7

5. นำค่าเฉลี่ยของ Rebound Number และทิศทางที่ใช้ในการทดสอบมาแปลงเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number และค่ากำลังอัดของคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 3.6 ส่วนรูปที่ 3.7 แสดงการทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของเสาเบื้องต้น ณ สถานที่ดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number และค่ากำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ 3.7 การทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของเสาเบื้องต้น ณ สถานที่ดำเนินการวิจัย

3.4 การหาแนวทางการซ่อมแซม

3.4.1 การลำดับความเสียหาย

จากข้อมูลการสำรวจ ทำให้ทราบปัญหาของอาคารในแง่ความชำรุดเสียหายที่จำเป็นต้องได้รับการซ่อมแซม เพื่อพิจารณาความเร่งด่วนในการบูรณะซ่อมแซม โดยพิจารณาให้ความเร่งด่วนในส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารเป็นอันดับต้น การสรุปแนวทางและขั้นตอนการบูรณะจำเป็นต้องมีขั้นตอนที่ลำดับความสำคัญตามความจำเป็นเร่งด่วนเพื่อความมั่นคงแข็งแรง ก่อนทำการอนุรักษ์ในส่วนรายละเอียดตกแต่ง หรือการปรับปรุงอาคารต่อไป

3.4.2 การหาวิธีในการบูรณะซ่อมแซมอาคาร

เมื่อรวบรวมข้อมูลต่างๆได้ครบถ้วนตลอดจนขั้นตอนหรือลำดับความจำเป็นในการซ่อมแซมอาคาร และพื้นที่มาแล้ว ก็นำมาวิเคราะห์ตามลักษณะเฉพาะของเพื่อสรุปเป็นแนวทางในการอนุรักษ์อาคารนั้น โดยคำนึงถึงความมั่นคงแข็งแรง ความถูกต้องของรายละเอียดอาคาร สภาพแวดล้อม สอดคล้องกับหลักสากลตามกฎบัตรนานาชาติในการอนุรักษ์ และเป็นไปตามกฎหมาย

3.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานการศึกษาวิธีการบูรณะอาคารโบราณ กรณีศึกษากลุ่มเรือน้ำ โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	ต.ค. 2560	พ.ศ. 2560	ธ.ค. 2560	ม.ค. 2561	ก.พ. 2561	มี.ค. 2561	เม.ย. 2561	พ.ค. 2561
ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง								
สำรวจความเสียหายของกลุ่มเรือนน้ำด้วยวิธีตรวจพินิจ								
ทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีต								
หาแนวทางที่เหมาะสมในการบูรณะกลุ่มเรือนน้ำ								
วิเคราะห์สรุปผลงานวิจัย								

บทที่ 4

การวิเคราะห์ และ อภิปรายผล

4.1 ผลการสำรวจความเสียหาย

4.1.1. การสำรวจทางกายภาพ

จากข้อมูลการสำรวจโครงสร้างของอาคารกลุ่มเรือนน้ำ ซึ่งนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานมยผ 1501-51 และ ในตารางที่ 3.1 ความเสียหาย ได้ข้อมูลดังแสดง ในตารางที่ 4.1

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	โครงสร้าง	ระดับความเสียหาย
1	เรือนรัฐธรรมนูญ	เสา	4
2		คาน	4
3		เรือนไม้	3
4	เรือนเจริญโชติสวัสดิ์	เสา	4
5		คาน	4
6		เรือนไม้	3
7	เรือนสายปรางโมท	เสา	4
8		คาน	4
9		เรือนไม้	3
10	เรือนเล็กกลาง	เสา	4
11		คาน	4
12		เรือนไม้	3
13	เรือนเล็กริม	เสา	4
14		คาน	4
15		เรือนไม้	3

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการสำรวจความเสียหายด้วยตาเปล่า

ซึ่งความเสียหายนี้ได้ประเมินจาก (1) ขนาดของรอยร้าว ซึ่งรอยร้าวมีขนาดมากกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งระดับความกว้างของรอยร้าว นั้น จะถูกพิจารณาโดยคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน โดยรอยร้าวขนาด 1 มิลลิเมตร-3 มิลลิเมตร ในโครงสร้างสภาพแวดล้อมทะเล อาจถูกจำแนกได้ว่าเป็นรอยร้าวขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้เหล็กเสริมเกิดการผุกร่อนได้อย่างรวดเร็ว (2) การหลุดร่อนของคอนกรีต จากการสำรวจพบว่า เสา มีการหลุดร่อนของคอนกรีต จนเห็นเหล็กเสริมด้านในเป็นสนิมได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีขนาดลึกเกิน 20 มิลลิเมตร ซึ่งประเมินได้ว่า เป็นการหลุดร่อนขนาดใหญ่

โดยลักษณะของความเสียหายที่พบคือ

1.เสา มีการเกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ และ การหลุดร่อน ของเนื้อคอนกรีต เนื่องจาก เกิดสนิมในเหล็กเสริม ผิวเกิดความเสียหายทางชีวภาพ เนื่องจาก หอยนางรม และ ตะไคร่น้ำมาเกาะ และสูญเสียผิว เนื่องจากการกัดเซาะโดยฟองอากาศจากคลื่นน้ำทะเล ทำให้ผิวของเสาเสียรูปร่าง เกิดรูพรุน



รูป 4.1 ความเสียหายของเสา(รอยร้าว)



รูป 4.2 ความเสียหายของเสา(การหลุดร่อน)

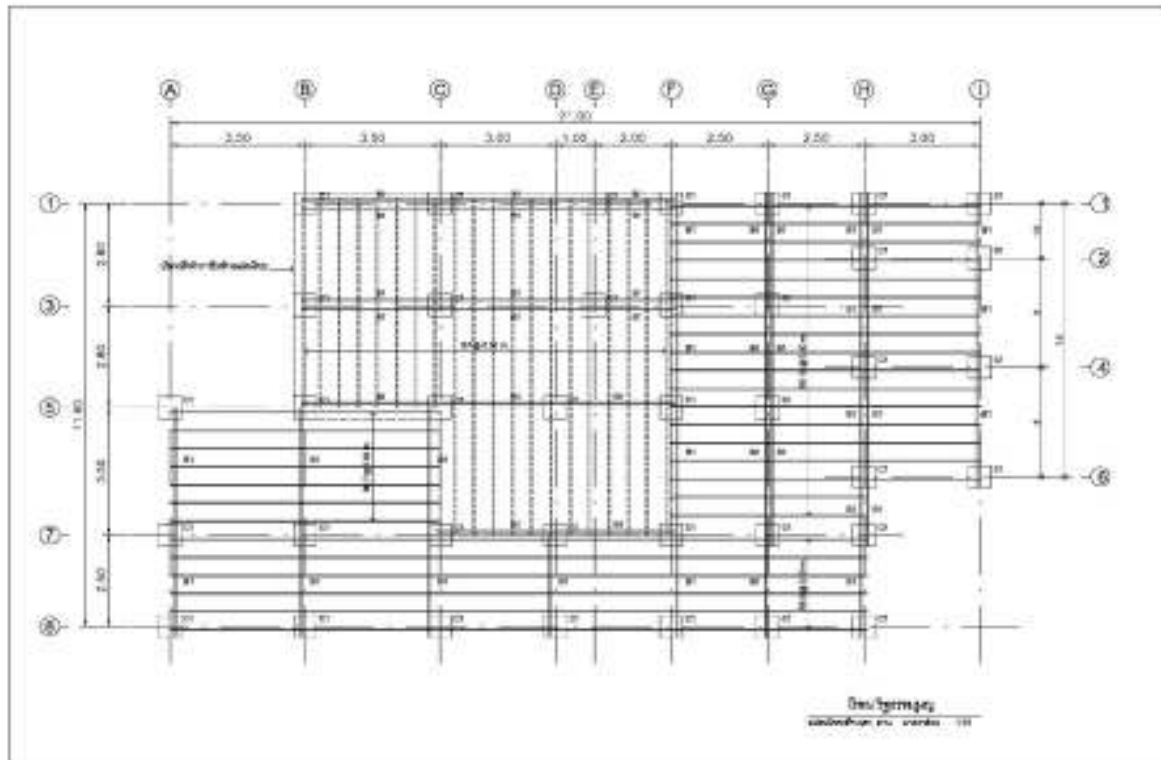
2.คาน เกิดการเปื่อยยุ่ย เนื่องจาก มีความชื้น ในเนื้อไม้อยู่เกือบจะตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ โครงสร้างไม้ไม้ผุเปื่อย ผิวของไม้เป็นขลุ่ย ทำให้หน้าตัดการรับแรงลดลง



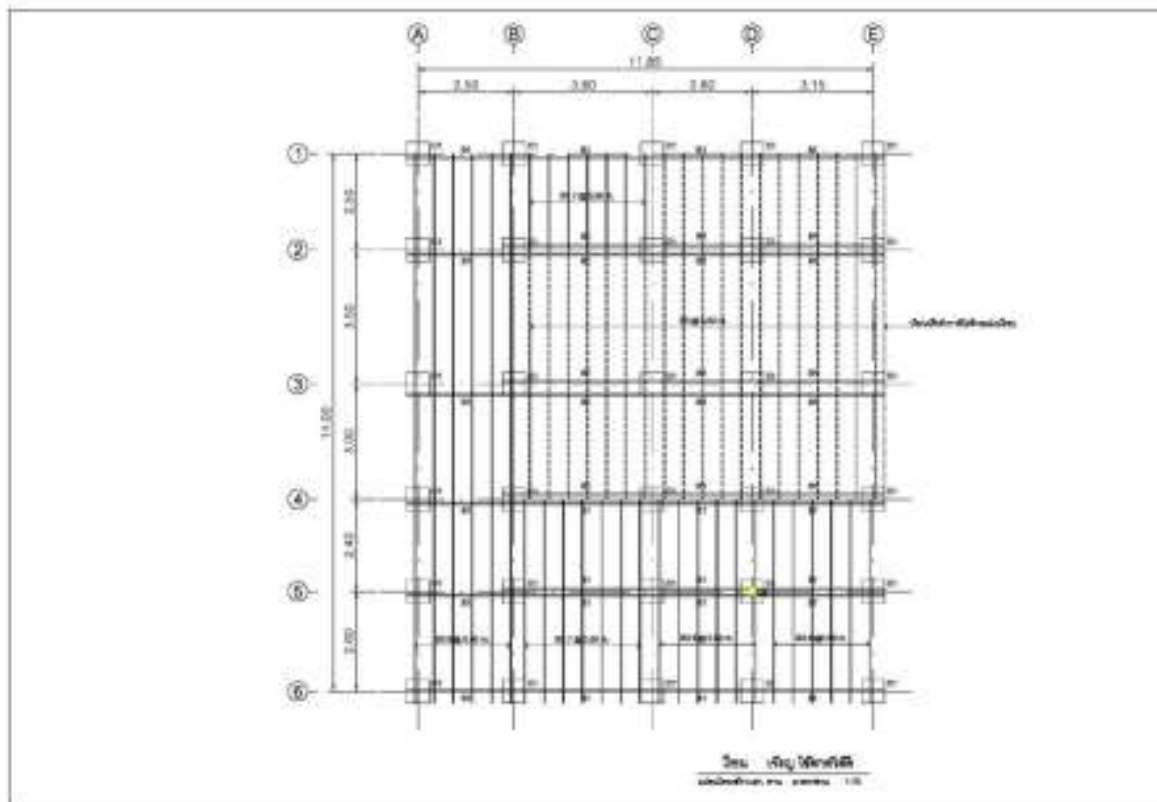
รูป 4.3 ความเสียหายของเสาและคาน

4.2.การลงพื้นที่เพื่อทำแบบแปลน

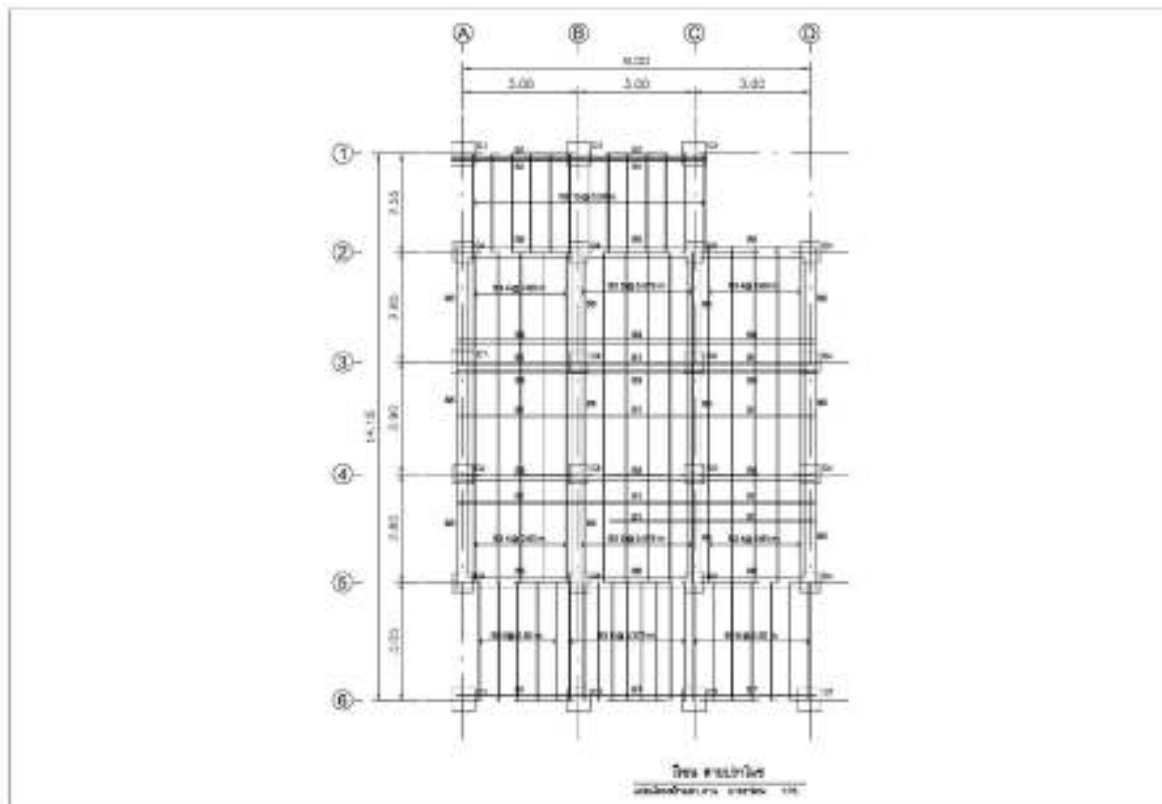
จากการสำรวจเบื้องต้น ได้จัดทำแบบแปลนเสา และ คาน เพื่อกำหนดตำแหน่ง เสา และ คาน ดังนี้



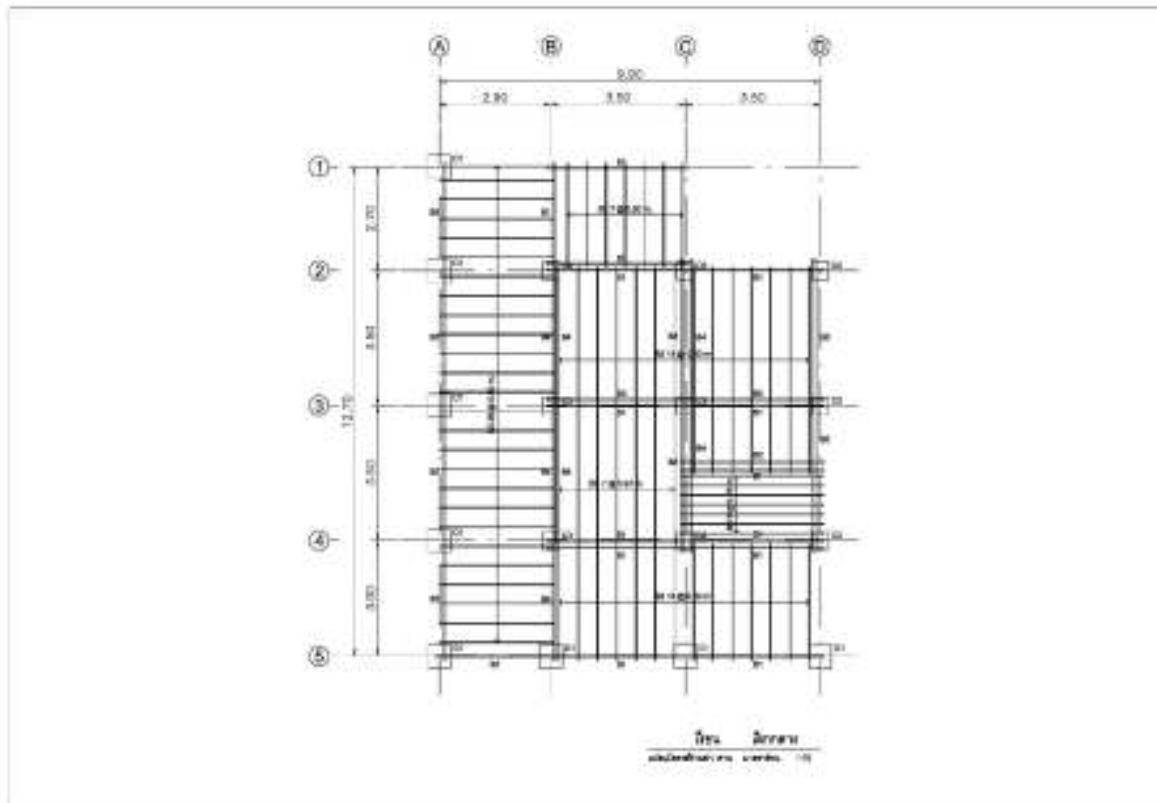
รูป 4.4 แปลนคานเสาเรือนรัฐธรรมนุญ



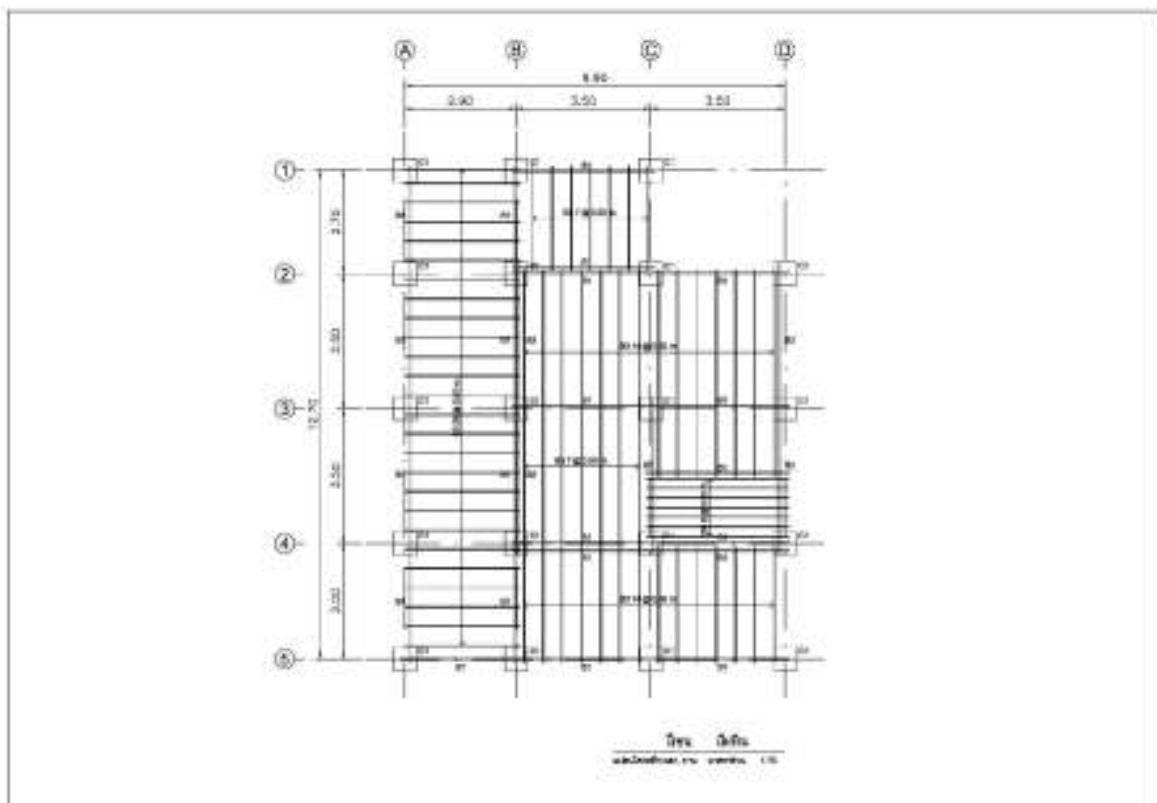
รูป 4.5 แปลนคานเสาเข็มเรือนเจริญโชติสวัสดิ์



รูป 4.6 แปลนคานเสาเข็มเรือนสายปราชญ์



รูป 4.7 แปลนคานเสาเรือนเล็กกลาง



รูป 4.8 แปลนคานเสาเรือนเล็กริม

4.3.การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย rebound hammer

การหาค่ารับแรงอัดของเสา ด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้ทำการทดสอบโดยใช้ rebound hammer ซึ่งวิธีนี้สะดวก และ รวดเร็ว แต่ก็มีข้อจำกัดกีด และ ผลกระทบจากตัวแปรหลายประการ เช่น การเกิดคาร์บอนขึ้น การขรุขระ และ การแตกของผิวทดสอบ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าน้อยกว่าความเป็นจริง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อน จึงได้ทำการทดสอบทั้ง 4 ด้านของเสา โดยได้ข้อมูลดังตาราง ภาคผนวก ก. จากนั้นนำมาเฉลี่ยได้ค่า rebound number และ นำไปหาค่า Compressive Strength ตามวิธีการตามมาตรฐาน มยผ1502-51 ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3 ได้ ดังนี้

1.เรื่อนรัฐธรรมนญ

ลำดับที่	หมายเลขเสา	Compressive Strength(Ksc)
1	A5	140
2	A7	165
3	A8	140
4	B1	195
5	B3	159
6	B5	159
7	B7	110
8	B8	193
9	C1	230
10	C3	200
11	C5	180
12	C7	160
13	C8	159
14	D5	140
15	D7	220
16	D8	205
17	E1	223
18	E3	158
19	F1	260
20	F3	310

21	F5	242
22	F7	220
23	F8	158
24	G1	235
25	G3	135
26	G5	258
27	G7	185
28	G8	205
29	H1	260
30	H2	310
31	H4	190
32	H6	220
33	H7	240
34	H8	220
35	I1	315
36	I2	300
37	I4	320
38	I6	260
Average		209.9

ตารางที่ 4.2 กำลังรับแรงอัดของเสาเรื่อนรัฐธรรมนูญ

เรือนเจริญโชติสวัสดิ์

ลำดับที่	หมายเลขเสา	Compressive Strength(Ksc)
1	A1	240
2	A2	320
3	A3	220
4	A4	270
5	A5	205
6	A6	225
7	B1	180
8	B2	160
9	B3	225
10	B4	290
11	B5	265
12	B6	265
13	C1	160
14	C2	190
15	C3	318
16	C4	330
17	C5	290
18	C6	380
19	D1	140
20	D2	350
21	D3	210
22	D4	239
23	D5	300
24	D6	325
25	E1	200
26	E2	220
27	E3	200
28	E4	100
29	E5	310

30	E6	330
Average		248.56

ตารางที่ 4.3 กำลังรับแรงอัดของเสาเรือนเจริญโชติสวัสดิ์

เรือนสายปราโมท

ลำดับที่	หมายเลขเสา	Compressive Strength(Ksc)
1	A1	102
2	A2	205
3	A3	225
4	A4	200
5	A5	195
6	A6	163
7	B1	150
8	B2	195
9	B3	215
10	B4	255
11	B5	175
12	B6	210
13	C1	140
14	C2	245
15	C3	213
16	C4	245
17	C5	130
18	C6	190
19	D2	200
20	D3	120
21	D4	180

22	D5	230
23	D6	145
Average		188.17

ตารางที่ 4.4 กำลังรับแรงอัดของเสาเรือนสายปราโมท

เรือนเล็กกลาง

ลำดับที่	หมายเลขเสา	Compressive Strength(Ksc)
1	A1	195
2	A2	229
3	A3	158
4	A4	183
5	A5	180
6	B1	300
7	B2	112
8	B3	190
9	B4	240
10	B5	190
11	C1	260
12	C2	289
13	C3	260
14	C4	165
15	C5	225
16	D2	175
17	D3	205
18	D4	305
19	D5	200
Average		213.74

ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงอัดของเสาเรือนเล็กกลาง

เรื่อนเล็กกริม

ลำดับที่	หมายเลขเสา	Compressive Strength(Ksc)
1	A1	223
2	A2	215
3	A3	259
4	A4	196
5	A5	158
6	B1	203
7	B2	198
8	B3	235
9	B4	210
10	B5	204
11	C1	210
12	C2	235
13	C3	205
14	C4	205
15	C5	222
16	D2	208
17	D3	222
18	D4	193
19	D5	190
Average		210.05

ตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของเสาเรื่อนเล็กกริม

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	กำลังรับแรงอัด(ksc)				
		Max	ตำแหน่ง	Min	ตำแหน่ง	Average
1.	เรือนรัฐธรรมนูญ	320	I4	110	B7	209.90
2.	เรือนเจริญโชติสวัสดิ์	380	C6	100	E4	248.56
3.	เรือนสายปราชโมท	255	B4	102	A1	188.17
4.	เรือนเล็กกลาง	305	D4	112	B2	213.74
5.	เรือนเล็กริม	235	C2	158	A5	210.05
Total		380		100		216.40

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดกลุ่มเรือนน้ำ

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของเสาที่มากที่สุดคือ 380 ksc และ น้อยที่สุดคือ 100 ksc จะพบว่า มีค่าแตกต่างกันมาก แสดงให้เห็นว่า เสาบางต้นสูญเสียกำลังรับน้ำหนักบรรทุกลงไปมาก ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดทั้งหมด = 216.4 ksc ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเมื่อเทียบกับมาตรฐานทั่วไป

จากทั้งการสำรวจความเสียหายพบว่า อาคารส่วนล่าง ที่เป็นโครงสร้างเสา และ คาน โดยโครงสร้างสูญเสียกำลังรับน้ำหนักบรรทุก เนื่องจากเกิดรอยร้าว และ หลุดร่อน สาเหตุมาจากการเกิดสนิมในเหล็กเสริมจากคลอไรด์ในน้ำทะเล คานไม่เกิดการเปื่อยยุ่ย เนื่องจากความชื้น โครงสร้างส่วนล่าง เกิดความเสียหายในระดับที่เป็นวงกว้าง และ ต้องมีการบำรุงรักษาอย่างทันท่วงทีโดยพิจารณาให้ความเร่งด่วนในส่วนโครงสร้างอาคารเป็นอันดับต้น ก่อนทำการอนุรักษ์ในส่วนรายละเอียดตกแต่ง หรือการปรับปรุงอาคารต่อไป

4.4 การหาวิธีในการบูรณะซ่อมแซมอาคาร

จากข้อมูลต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์ตามลักษณะเฉพาะของเพื่อสรุปเป็นแนวทางในการอนุรักษ์อาคารนั้น โดยคำนึงถึงความมั่นคงแข็งแรง ความถูกต้องของรายละเอียดอาคาร สภาพแวดล้อม สอดคล้องกับหลักสากล ตามกฎบัตรนานาชาติในการอนุรักษ์ และเป็นไปตามกฎหมายจึงได้หาแนวทางในการซ่อมแซมโดย

1. เปลี่ยนเสาทั้งหมด โดยให้เสาอยู่ในตำแหน่งเดิม โดยใช้ปูนทนซัลเฟต เพื่อป้องกันความเสียหายจากน้ำทะเล
2. เสริมคานเหล็ก เพื่อเสริมความแข็งแรงจากคานไม้ที่เสื่อมสภาพ
3. ยกอาคารขึ้น เพื่อป้องกันความเสียหายของตัวอาคาร จากละอองน้ำทะเล และ น้ำทะเลที่จะสูงขึ้นในอนาคต
4. อนุรักษ์ในส่วนรายละเอียดตกแต่ง หรือการปรับปรุงอาคาร โดยคงลักษณะอาคารเดิมที่มีคุณค่าเอาไว้

4.5.ขั้นตอนการบูรณะอาคาร

การบูรณะอาคารจะทำได้โดยการตัดเสาเดิมออก หลังจากนั้นจึงทำการยกอาคาร ติดตั้งเสาใหม่ และเสริมคาน ซึ่งมีขั้นตอนโดยละเอียดดังนี้

1. ติดตั้งโครงสร้างเหล็ก เพื่อรับแรงแทนเสาเดิมที่จะทำการเปลี่ยน โดยติดตั้งเป็นเหล็กแฉนวนอน 2 อัน ขนาดกับเสาทุกต้น โดยมีเหล็กแนวตั้งค้ำยันระหว่างเหล็กแฉนวนอน และ เหล็กที่ยึดกับคานเดิม เพื่อถ่ายน้ำหนักจากคานลงโครงสร้างเหล็กสู่ฐานรากเดิมแทนเสาเดิมโดยต้องทำการวิเคราะห์แรงก่อน

2. ติดตั้งเหล็กเพื่อรัดตัวบ้าน เพื่อป้องกันการขยับ หรือ ไถล ของบ้านขณะทำการยกบ้าน หรือตัดเสาเดิมออก ทำการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงอีกครั้ง

3. ตัดเสาเดิมออก ด้วยเครื่องตัดแบบโซ่เพชร(Wire Saw) โดยเครื่องตัดเสาแบบโซ่เพชรจะมีผลกระทบจากการสั่นสะเทือนต่ออาคารน้อยกว่าการใช้วิธีอื่นในการตัดเสาออก โดยก่อนตัดเสาต้องทำการเปิดหน้าต่าง และ ประตู เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นจากการยึดติดกันของส่วนประกอบอาคาร ซึ่งจะสามารถลดความเสียหายจากการสั่นสะเทือนได้ หลังจากนั้นติดแผ่นเหล็กลงบนต่อม่อของเสาที่ตัดออก แล้วทำการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงอีกครั้ง

4. ติดตั้งแม่แรง โดยใช้แม่แรงขนาด 20 ต่เสา 1 ต้น โดยติดตั้งตำแหน่งเสา บนแผ่นเหล็กแฉนวนอน ที่ติดตั้งในขั้นตอนแรก

5. ยกอาคารขึ้น 50 เซนติเมตร โดยมีผู้ให้จังหวะ และ ใช้คนโยกแม่แรงพร้อมกันตามจังหวะ เมื่อยกจนถึงระดับที่ต้องการ ก็ทำการสอดแผ่นเหล็กอุดช่องว่างที่ทำการยก เพื่อรับแรงจากอาคารด้านบนชั่วคราว ระวาง คือการถ่ายแรงภายในโครงสร้างขณะทำการยก เพราะอาจเกิดการบิดตัว ซึ่งต้องพิจารณาความเค้นที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องจากแรงดันย้อนทิศทางขณะยก

6. ติดตั้งคานเหล็กเพื่อเสริมความแข็งแรงของคานไม้ โดยใช้เหล็ก H15x15 เป็นคานเสริมรอบตัวบ้าน จากนั้น ใช้เหล็กคาน H15x15 ติดตั้งเป็นเสา เพื่อเป็นส่วนที่รับน้ำหนักบรรทุกหลักแทนเสาต้นเก่า โดยยึดติดกับคาน และ แผ่นเหล็กที่ติดตั้งในขั้นตอนที่ 3.

7. ติดเหล็กเสริมรอบเสาเหล็กในขั้นตอนที่ 6. โดยใช้เหล็ก DB16 เป็นเหล็กเสริม

8. หล่อเสาใหม่ขนาด 40x40 เซนติเมตร แทนที่เสาเดิมที่มีขนาด 60x60 เซนติเมตร โดยใช้ปูนซีเมนต์ทนซัลเฟตเพื่อป้องกันการทำลายจากสภาพแวดล้อมทะเลต่อเสาเหล็ก H15x15 ที่เป็นส่วนหลักในการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร

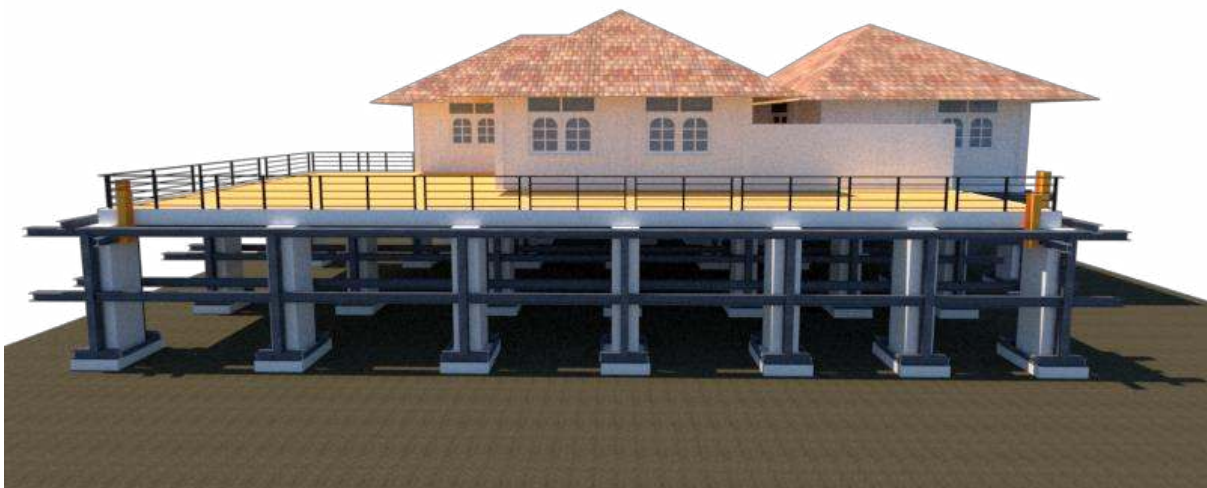
9. ถอดโครงสร้างเหล็กออก จากนั้นตกแต่งผิวของเสาคอนกรีตใหม่

แบบจำลองการยกอาคารและเปลี่ยนเสา

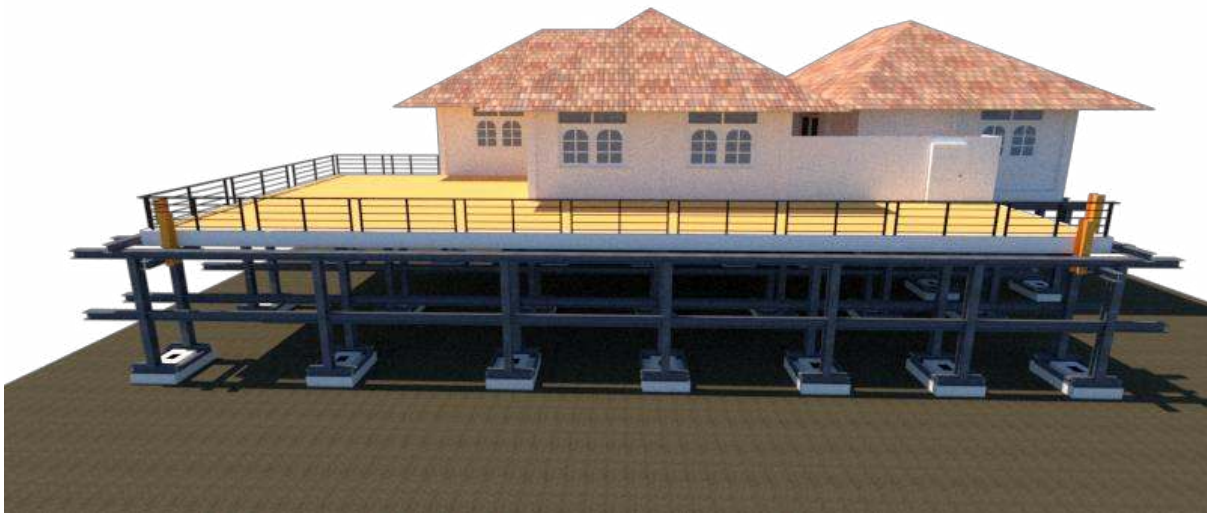
1. เรือนรัฐธรรมนูญ



รูป 4.9 แบบจำลองเรือนรัฐธรรมนูญ



รูป 4.10 แบบจำลองการติดตั้งโครงสร้างรับแรงก่อนตัดเสาเรือนรัฐธรรมนูญ



รูป 4.11 แบบจำลองหลังจากตัดเสาและตีแผ่นเพลา



รูป 4.12 แบบจำลองเรือนรัฐธรรมนูญหลังจากยกอาคารและติดตั้งเสาเหล็กรับแรง



รูป4.13 แบบจำลองเรือนรัฐธรรมนูญหลังทำการเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร

เรือนเจริญโชติสวัสดิ์



รูป4.14 แบบจำลองเรือนเจริญโชติสวัสดิ์



รูป 4.15 รูปแบบจำลองเรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน



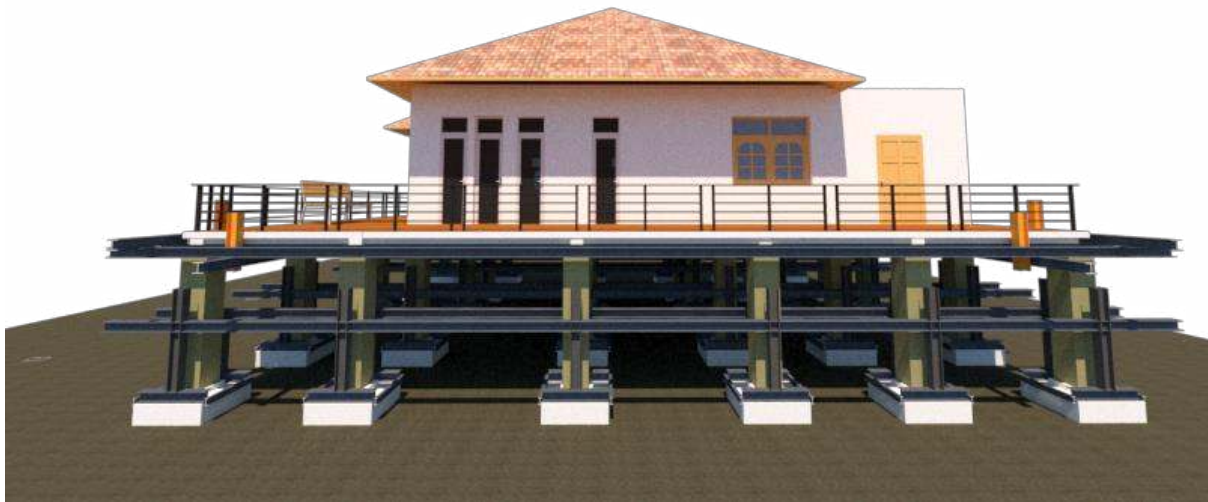
รูป 4.16 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากตัดเสา



รูป 4.17 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากยกอาคาร



รูป4.18 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากเสริมเสาเหล็ก



รูป 4.19 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์หลังจากหล่อเสาใหม่



รูป 4.20 เรือนเจริญโชติสวัสดิ์ หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร

3. เรือนสายปรางโมท



รูป 4.21 แบบจำลองเรือนสายปรางโมท



รูป 4.22 รูปแบบจำลองเรือนสายปรางโมทหลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน



รูป 4.23 เรือนสายปราโมทหลังจากตัดเสา



รูป 4.24 เรือนสายปราโมทหลังจากยกอาคาร



รูป 4.25 เรือนสายปรางโมทหลังจากเสริมเสาเหล็ก



รูป 4.26 เรือนสายปรางโมทหลังจากหล่อเสาใหม่



รูป4.27เรือนสายปรางโมท หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร

เรือนเล็กกลาง



รูป4.28แบบจำลองเรือนเล็กกลาง



รูป 4.29 แบบจำลองเรือนเล็กกลางหลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน



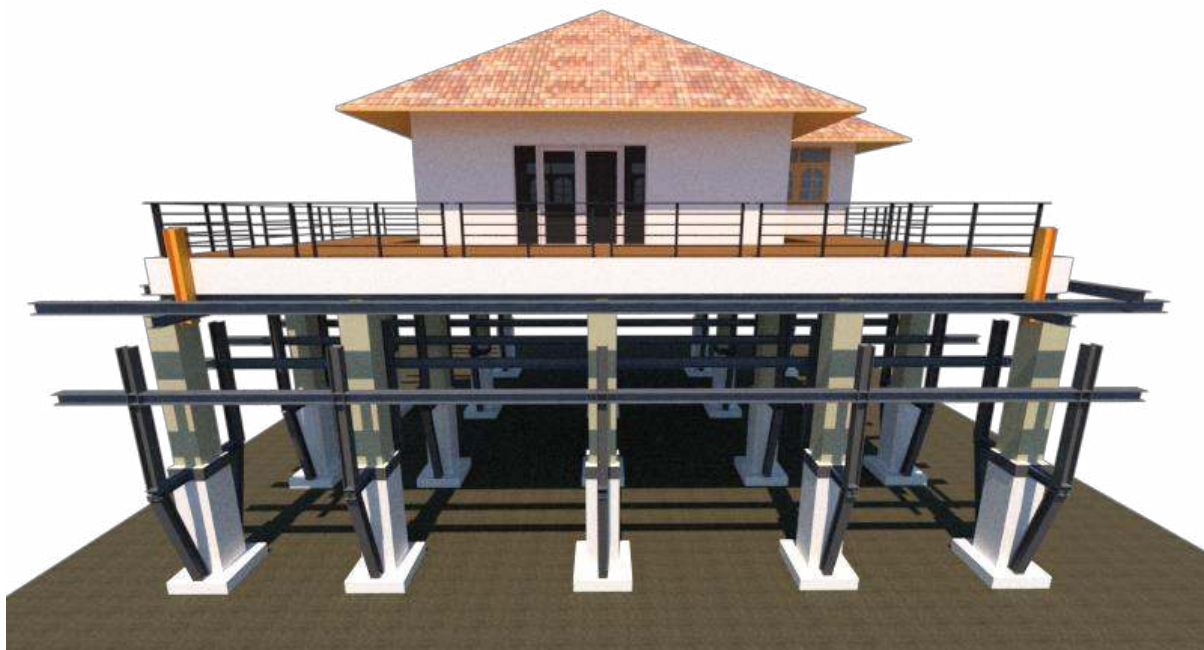
รูป 4.30 เรือนเล็กกลางหลังจากตัดเสา



รูป 4.31 เรือนเล็กกลางหลังจากยกอาคาร



รูป 4.32 เรือนเล็กกลางหลังจากเสริมเสาเหล็ก



รูป 4.33 เรือนเล็กกลางหลังจากหล่อเสาใหม่



รูป 4.34 เรือนเล็กกลาง หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร

เรือนเล็กirim



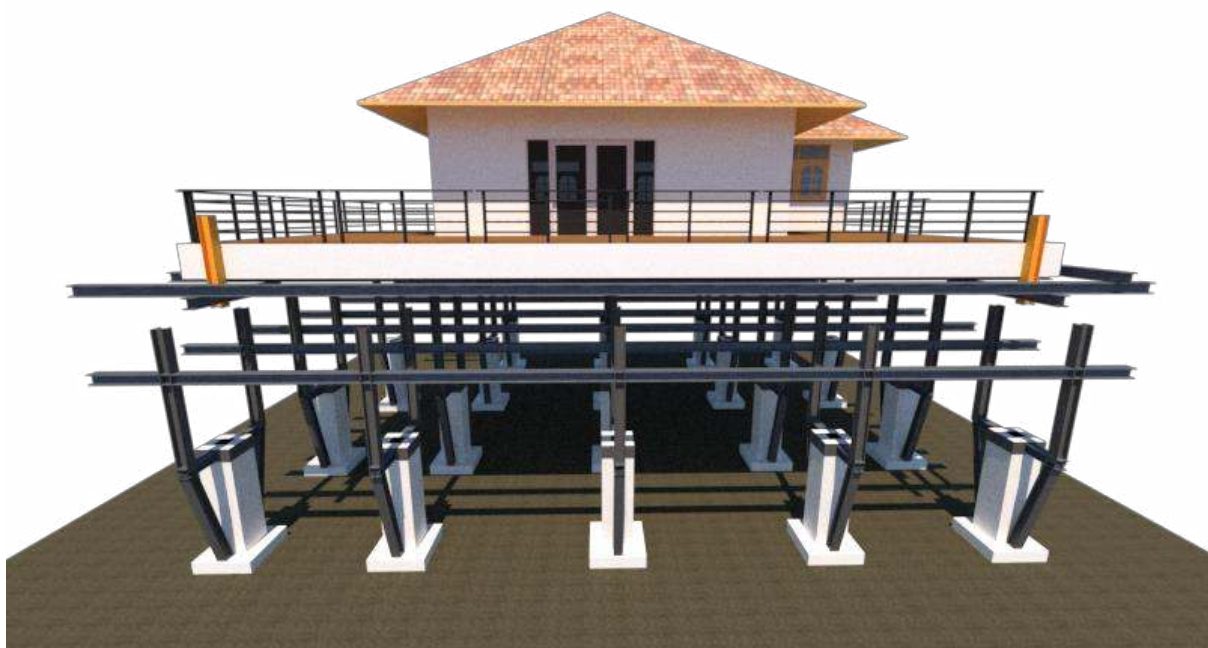
รูป4.35แบบจำลองเรือนเล็กirim



รูป4.36แบบจำลองเรือนเล็กirimหลังติดตั้งโครงสร้างรับแรงจากอาคารด้านบน



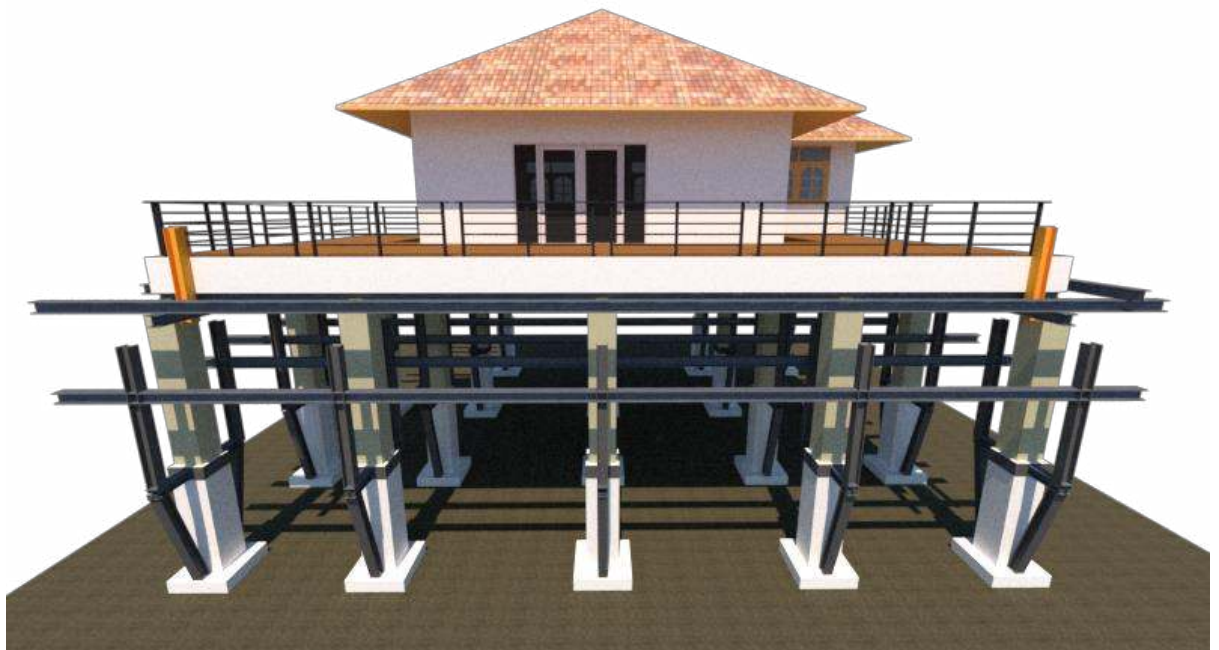
รูป 4.37 เรือนเล็กริมหลังจากตัดเสา



รูป 4.38 เรือนเล็กริมหลังจากยกอาคาร



รูป 4.39 เรือนเล็กริมหลังจากเสริมเสาเหล็ก



รูป 4.40 เรือนเล็กริมหลังจากหล่อเสาใหม่



รูป4.41 เรือนเล็กกริม หลังจากเปลี่ยนเสา และ ยกอาคาร

บทที่ 5

สรุปผล

5.1สรุปผลการทดลอง

จากการสำรวจความเสียหายของกลุ่มเรือนน้ำ โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา จำนวน 5 อาคารได้แก่ เรือนรัฐธรรมนุญ เรือนสายปรางโมช เรือนเจริญโชติสวัสดิ์ เรือนเล็กกลางและเรือนเล็กริมซึ่งเป็นอาคารที่ได้รับความเสียหายจากสิ่งแวดล้อมทะเล พบว่าทั้ง 5 อาคาร มีความเสียหายของโครงสร้างส่วนล่างอยู่ในระดับที่ 4 คือ โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพเป็นวงกว้าง และ สูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดเสาโดยเฉลี่ยของอาคารทั้ง 5 ที่เกิดสนิมเหล็กเสริม เท่ากับ 216.40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 380 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยผิวของคอนกรีตเกิดรอยร้าวถึงเนื้อเหล็ก และ เนื้อคอนกรีตหลุดร่อน เนื่องจากการเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์ และ ซัลเฟต ในเหล็กเสริม คานไม้ผูกเปีย ซึ่งควรต้องมีการบำรุงรักษา อย่างทันท่วงที

โดยแนวทางในการบูรณะอาคารนั้นจะพิจารณาให้ความเร่งด่วนในส่วนของโครงสร้างอาคารเป็นอันดับต้นเพื่อให้โครงสร้างมีอายุการใช้งาน และ มั่นคงแข็งแรง ก่อนทำการอนุรักษ์ในส่วนรายละเอียดตกแต่งหรือการปรับปรุงอาคารต่อไป ซึ่งอาคารส่วนบนนั้น จะคงไว้ซึ่งสถาปัตยกรรมแบบเดิม เพราะ เป็นอาคารเก่าแก่ที่มีคุณค่า และ อยู่คู่โรงพยาบาลมาเป็นเวลานาน

ซึ่งในการซ่อมแซมบูรณะอาคารนั้น เลือกใช้วิธีการเปลี่ยนเสา โดยใช้เสาที่มีหน้าตัดขนาดเล็กลงจาก 60x60 ตารางเซนติเมตร เป็นขนาด 40x40ตารางเซนติเมตร มีเสา H15x15 เป็นเสาเหล็กตรงกลาง เพื่อเป็นส่วนหลักในการรับน้ำหนักบรรทุกจากอาคารแทนที่เสาเดิมที่ใช้เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้เหล็ก DB16 เป็นเหล็กเสริม และ ใช้ปูนซีเมนต์ทนซัลเฟตหล่อเสาใหม่ เป็นส่วนช่วยลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมทะเลต่อเสาเหล็กด้านในและ ช่วยเพิ่มความแข็งแรง จากนั้นเสริมความแข็งแรงของคานโดยไม่ได้เปลี่ยนคานเก่าออก แต่ใช้ คานเหล็ก H15x15 ติดตั้งเพิ่ม เพื่อเสริมความแข็งแรง และ ยกอาคารขึ้น 50 เซนติเมตร โดยใช้แม่แรงขนาด 20 ตัน เพื่อลดผลกระทบของละอองน้ำทะเลที่มีต่อคานไม้ และ อาคารส่วนบน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการทดสอบกำลังรับแรงเสาคอนกรีตในรูปแบบอื่นๆ เพราะ การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตด้วย Rebound hammer มีข้อจำกัดที่มีผลกระทบจากตัวแปรหลายประการ ได้แก่ความขรุขระของผิว ขนาด และ ความแข็งแรงของโครงสร้าง ประเภทของมวลรวม และ คาร์บอนชั้น ของผิวคอนกรีต

2.ควรมีการเก็บตัวอย่างเป็นรูปทรงกระบอก และ ลูกบาศก์ เพื่อนำมาทดสอบ และ เปรียบเทียบกับมาตรฐานต่างๆ ตามรูปทรงของคอนกรีต

3.ควรเก็บตัวอย่างของคอนกรีต มาทำการหาความรุนแรงของคลอไรด์ และ ซัลเฟต ตอนคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อใช้ในการออกแบบส่วนผสมที่ถูกต้อง เหมาะสมที่สุด

4.ควรศึกษาด้านความแข็งแรง และ ผลกระทบจากน้ำทะเล ของโครงสร้างที่เป็นไม้ เพิ่มเติม เพราะอาคารส่วนด้านบน เป็นอาคารที่สร้างด้วยไม้เป็นส่วนใหญ่

บรรณานุกรม

ผศ.ดร. ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ ,ศุภชัย ไทยพุ่ม.2559. การแทรกซึมของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมทะเล กรณีศึกษา อำเภอหัวหิน และ อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

<http://repository.rmutr.ac.th/bitstream/handle/123456789/491/Fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ดร. ธเนศ วีระศิริ 2558. การแก้ไขอาคารโบราณสถานที่ทรุดเอียงด้วยการยกปรับระดับ กรณีศึกษา: อาคารวังมะลิวัลย์ ถนนพระอาทิตย์กรุงเทพมหานคร

<http://eitprblog.blogspot.com/2016/03/blog-post.html>

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย

http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/1501_0.pdf

สำนักส่งเสริมบริการวิชาการ กรุงเทพมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. การทดสอบหากล้างรับแรงอัดของคอนกรีตโดย Rebound Hammer

<http://pirun.kps.ku.ac.th/~b5024005/Rebound%20Hammer.pdf>

ธเนศ วีระศิริ บริษัท ฟิเนสส์ ซอยล์ เทสติ้ง จำกัด.2544. การแก้ไขอาคารทรุด และเทคนิคการยกอาคารที่ทรุดเอียง http://www.tumcivil.com/engfanatic/media/Tanes/foundation_repair.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ก.ตารางผลการทดสอบเสาด้วย Rebound hammer

เรือนรัฐธรรมนูญ

เสาA5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	46	43	33	39
2	40	41	34	37
3	49	40	38	35
4	47	35	43	38
5	45	41	32	39
6	51	37	27	35
7	40	39	30	33
8	40	37	32	29
9	45	37	31	35
10	40	38	31	37
11	41	42	30	31
12	45	37	35	31
13	42	38	31	40
14	40	35	35	38
15	39	39	31	35
16	42	39	37	37

เสาA7

ลำดับที่	N	W	S	E
1	41	37	33	38
2	35	29	28	29
3	40	37	31	34
4	40	39	34	41
5	43	39	37	37
6	41	37	34	27
7	40	38	39	42
8	41	31	36	39
9	34	37	29	36
10	40	36	30	39
11	29	32	42	39
12	40	38	35	39
13	41	39	37	27
14	29	33	33	35
15	47	27	35	30
16	39	28	31	40

เสาA8

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	37	39	35
2	42	36	37	35
3	40	46	33	31
4	42	33	32	42
5	38	48	51	35
6	38	40	29	37
7	38	42	31	34
8	43	44	36	44
9	39	40	33	40

10	41	41	35	36
11	37	50	35	42
12	40	38	35	39
13	37	37	33	38
14	40	40	34	39
15	39	42	37	36
16	39	42	31	36

เสา B1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	30	24	30	36
2	34	35	33	29
3	39	41	30	44
4	37	37	32	38
5	36	34	30	28
6	34	34	29	23
7	39	35	26	40
8	36	34	33	39
9	36	36	27	38
10	33	37	25	34
11	30	36	32	42
12	29	35	28	37
13	39	28	27	24
14	35	37	27	39
15	33	35	27	34
16	35	29	34	38

เสา B3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	46	34	34
2	44	33	20	32
3	40	39	30	33
4	28	32	20	34
5	49	40	34	33
6	37	36	32	32
7	35	36	40	22
8	38	30	32	24
9	42	38	32	30
10	34	42	44	36
11	43	36	32	28
12	30	34	26	30
13	40	38	36	36
14	38	39	32	33
15	46	34	33	28
16	19	40	31	20

เสา B5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	39	36	39	41
2	42	39	35	40
3	28	36	31	41
4	38	34	34	42
5	40	38	39	34
6	40	35	31	40
7	37	37	39	35
8	40	37	35	38
9	40	31	39	32

10	45	29	35	42
11	31	36	40	40
12	44	38	35	40
13	39	37	35	24
14	37	36	40	35
15	26	35	33	20
16	35	38	35	35

เสา B7

ลำดับที่	N	W	S	E
1	28	26	21	32
2	25	34	27	34
3	28	29	27	33
4	27	32	29	30
5	23	34	28	31
6	26	33	34	30
7	29	29	28	31
8	20	34	32	31
9	26	27	27	31
10	26	37	28	30
11	28	32	28	31
12	22	25	29	24
13	22	36	22	30
14	28	33	28	34
15	33	26	26	28
16	34	32	21	25

เสา B8

ลำดับที่	N	W	S	E
1	18	35	25	28
2	20	39	29	29
3	22	36	25	29
4	30	32	22	31
5	21	47	28	34
6	45	48	33	27
7	29	46	27	31
8	27	39	30	29
9	18	40	23	24
10	28	50	30	18
11	34	40	29	36
12	30	32	23	32
13	25	50	27	18
14	44	45	24	16
15	48	46	21	25
16	38	49	21	29

เสา C1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	38	31	25	22
2	33	41	35	26
3	28	35	29	33
4	31	36	29	31
5	23	22	28	27
6	28	40	26	27
7	18	36	25	28
8	38	29	30	33
9	21	38	30	27

10	26	35	23	37
11	24	33	26	36
12	36	52	22	26
13	28	18	22	24
14	24	31	22	26
15	31	28	28	26
16	35	39	30	28

เสา C3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	26	26	20	30
2	20	35	23	37
3	39	40	33	31
4	48	28	26	33
5	23	28	24	25
6	35	35	24	31
7	28	28	28	32
8	29	38	27	30
9	31	39	24	31
10	30	40	22	32
11	35	39	24	28
12	38	30	24	33
13	28	37	26	35
14	29	49	26	31
15	38	38	27	33
16	33	33	26	32

เสา C5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	22	43	34	29
2	18	28	34	28
3	28	31	24	32
4	33	28	32	28
5	31	32	40	34
6	26	37	34	35
7	25	34	34	33
8	25	36	31	31
9	35	37	26	36
10	28	41	32	35
11	29	33	33	21
12	30	32	39	36
13	26	33	34	35
14	28	34	39	31
15	33	35	34	33
16	24	37	34	38

เสา C7

ลำดับที่	N	W	S	E
1	22	28	26	18
2	22	24	24	22
3	21	21	26	25
4	16	23	25	26
5	18	23	28	25
6	17	24	27	21

7	25	26	28	23
8	36	32	27	26
9	21	24	27	26
10	34	22	23	22
11	35	23	25	19
12	25	30	25	26
13	22	22	24	22
14	28	28	28	19
15	35	29	29	22
16	39	26	28	22

เสา C8

ลำดับที่	N	W	S	E
1	38	20	33	41
2	36	21	29	43
3	43	33	24	30
4	28	25	30	35
5	42	31	33	43
6	36	27	34	35
7	38	28	36	32
8	41	36	39	36
9	43	29	30	41
10	35	33	33	35
11	36	19	31	34
12	36	22	32	35
13	36	31	30	36
14	35	29	31	33
15	39	33	35	31
16	37	25	33	36

เสา D5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	33	25	23	34
2	39	24	24	29
3	38	26	27	33
4	39	20	21	21
5	28	22	25	24
6	34	24	22	28
7	42	26	29	31
8	34	22	31	29
9	36	21	26	30
10	23	28	29	29
11	39	25	33	31
12	28	21	24	33
13	32	21	35	33
14	28	24	26	34
15	27	23	31	28
16	34	23	25	30

เสา D7

ลำดับที่	N	W	S	E
1	42	30	30	30
2	35	35	28	34
3	34	31	28	31
4	33	36	28	22
5	34	30	31	33
6	30	26	26	34
7	30	33	26	33
8	34	30	27	30

9	31	34	27	32
10	30	34	28	34
11	30	39	25	32
12	31	32	29	31
13	31	30	29	30
14	34	34	24	31
15	30	34	31	26
16	28	34	30	28

เสา D8

ลำดับที่	N	W	S	E
1	34	45	33	22
2	38	41	33	20
3	48	35	33	25
4	37	42	25	30
5	25	36	30	20
6	25	41	31	15
7	38	41	32	18
8	36	41	30	30
9	35	40	34	20
10	40	43	32	30
11	35	46	34	22
12	35	45	34	25
13	43	44	35	32
14	36	43	31	29
15	43	35	34	30
16	36	45	35	31

เสา E1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	26	28	32
2	35	25	31	34
3	36	31	32	30
4	32	33	36	31
5	30	30	34	40
6	35	31	28	35
7	40	34	30	30
8	36	40	31	20
9	33	41	24	33
10	31	40	35	31
11	32	38	30	30
12	33	31	33	20
13	29	25	28	32
14	40	24	36	32
15	29	42	29	20
16	40	35	32	25

เสา E3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	33	31	28	30
2	36	33	30	31
3	37	30	31	35
4	31	35	30	16
5	38	34	31	30
6	35	34	29	33
7	40	38	36	27
8	35	40	31	17

9	36	41	28	20
10	35	38	31	26
11	42	36	27	20
12	31	39	27	15
13	36	42	25	27
14	37	40	33	30
15	42	31	30	32
16	42	30	30	32

เสา F1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	32	30	22	24
2	33	33	21	25
3	32	35	27	31
4	35	37	25	33
5	40	36	24	28
6	40	31	30	29
7	42	30	33	33
8	36	35	25	35
9	33	31	25	35
10	37	33	24	24
11	37	32	27	27
12	40	31	34	28
13	40	30	30	25
14	39	32	28	34
15	38	42	30	36
16	44	45	22	31

เสา F3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	28	31	20	22
2	27	30	24	19
3	27	28	17	27
4	29	27	19	20
5	31	36	23	21
6	32	30	25	23
7	33	33	28	24
8	29	36	20	22
9	30	34	22	20
10	30	24	26	21
11	35	28	27	20
12	30	35	18	20
13	30	35	20	22
14	25	24	19	19
15	28	33	24	24
16	29	34	29	24

เสา F5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	33	30	26	28
2	34	35	27	26
3	31	34	33	25
4	35	36	31	28
5	34	36	29	26
6	20	38	30	24

7	36	40	30	20
8	29	43	25	22
9	38	38	24	23
10	36	44	38	24
11	34	37	33	29
12	29	38	31	28
13	31	38	25	30
14	33	40	25	29
15	36	40	27	26
16	35	33	24	25

เสา F7

ลำดับที่	N	W	S	E
1	25	24	22	23
2	30	28	25	27
3	20	25	21	25
4	28	28	26	22
5	27	30	30	24
6	26	24	28	32
7	25	26	24	30
8	25	27	26	31
9	26	29	27	26
10	24	32	25	31
11	20	31	30	25
12	25	32	21	30
13	26	30	25	29
14	27	28	26	26
15	30	24	23	27
16	20	26	22	28

เสา F8

ลำดับที่	N	W	S	E
1	22	32	18	22
2	21	32	20	24
3	23	32	21	23
4	22	32	20	31
5	25	26	18	29
6	31	24	19	28
7	30	25	21	26
8	25	31	20	25
9	26	30	22	24
10	31	25	18	25
11	30	26	17	26
12	28	27	18	31
13	24	28	19	32
14	29	24	19	25
15	26	21	21	30
16	25	25	20	31

เสา G1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	30	34	28	30
2	32	32	31	30
3	31	31	25	35
4	34	32	32	31
5	32	30	30	29
6	36	29	30	28
7	35	35	29	35
8	32	34	26	31

9	30	32	28	30
10	31	31	25	32
11	34	32	27	30
12	32	35	28	31
13	36	29	29	29
14	35	30	30	28
15	32	28	32	29
16	31	28	31	30

เสา G3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	36	28	28	32
2	36	28	29	22
3	36	29	28	24
4	36	28	30	29
5	26	26	31	22
6	34	34	31	25
7	35	35	35	32
8	34	32	32	34
9	30	31	30	25
10	31	31	35	24
11	31	30	35	24
12	35	29	31	25
13	34	35	35	24
14	30	34	32	25
15	32	36	30	32
16	31	35	29	31

เสา G5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	31	30	34	30
2	35	29	32	32
3	40	35	34	32
4	29	30	31	31
5	34	30	30	32
6	35	27	32	30
7	36	29	36	31
8	35	28	35	34
9	31	32	32	32
10	32	30	29	29
11	44	31	30	30
12	32	25	31	30
13	35	39	31	32
14	34	36	32	31
15	40	6	36	30
16	31	32	33	32

เสา G7

ลำดับที่	N	W	S	E
1	28	25	28	32
2	30	29	28	30
3	20	26	27	31
4	26	28	32	32
5	25	32	31	32
6	31	31	32	32
7	30	32	30	30
8	32	32	33	35

9	19	32	35	40
10	29	30	31	29
11	28	29	26	27
12	27	30	32	26
13	41	30	30	25
14	29	31	36	28
15	26	25	33	29
16	25	26	18	25

เสา G8

ลำดับที่	N	W	S	E
1	24	25	33	26
2	24	25	38	24
3	30	24	40	25
4	32	27	41	24
5	31	21	31	27
6	25	28	31	28
7	26	26	37	27
8	25	29	35	30
9	27	23	32	42
10	41	25	29	26
11	26	24	33	28
12	32	26	25	26
13	30	31	35	25
14	31	20	34	24
15	30	28	28	26
16	29	26	29	25

เสา H1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	28	25	30
2	28	27	26	35
3	29	26	24	25
4	30	28	27	29
5	30	22	28	26
6	29	25	29	24
7	28	22	25	34
8	26	26	25	29
9	25	29	24	34
10	25	24	32	34
11	26	25	25	25
12	27	24	19	29
13	28	27	16	28
14	27	26	20	25
15	26	25	25	28
16	27	24	26	29

เสา H2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	24	29	28	22
2	25	31	27	25
3	24	25	27	21
4	26	25	31	25
5	26	34	31	26
6	25	25	32	25
7	25	30	29	22
8	26	25	31	26

9	31	28	29	22
10	30	28	35	25
11	31	27	25	23
12	29	20	24	20
13	30	32	28	25
14	42	26	26	21
15	31	25	25	23
16	28	33	20	25

เสา H4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	24	28	29
2	35	25	26	32
3	29	24	27	30
4	28	29	28	30
5	30	35	40	28
6	35	30	32	34
7	31	28	30	28
8	35	24	31	29
9	30	26	32	28
10	31	31	35	25
11	29	35	34	24
12	28	29	32	22
13	29	26	29	29
14	28	25	28	28
15	32	30	29	28
16	35	34	29	28

เสา H6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	19	30	26	40
2	25	29	31	25
3	24	29	41	28
4	18	28	29	32
5	26	29	28	30
6	19	29	31	31
7	20	30	28	25
8	22	25	32	33
9	18	25	34	33
10	16	27	28	30
11	18	25	26	29
12	18	22	35	28
13	16	29	34	27
14	20	27	25	31
15	18	27	25	25
16	20	30	34	26

เสา H7

ลำดับที่	N	W	S	E
1	32	30	18	24
2	31	28	24	31
3	25	20	24	30
4	31	34	24	28
5	25	28	22	27
6	31	32	25	17
7	25	28	25	29
8	20	28	22	27

9	34	32	22	19
10	30	24	25	27
11	31	28	28	30
12	28	25	25	22
13	22	25	24	24
14	29	28	26	27
15	22	24	24	26
16	25	25	25	25

เสา H8

ลำดับที่	N	W	S	E
1	16	27	22	18
2	14	32	15	22
3	15	32	24	25
4	24	27	30	28
5	30	30	15	25
6	16	29	16	24
7	14	27	23	22
8	17	26	27	21
9	23	29	22	22
10	24	28	20	24
11	22	25	30	21
12	15	24	27	22
13	17	27	25	23
14	26	22	24	22
15	27	25	22	22
16	22	23	24	21

เสา I1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	26	35	25	25
2	27	25	35	28
3	30	31	32	32
4	28	30	28	30
5	29	34	25	28
6	30	32	25	28
7	28	15	26	24
8	30	35	25	26
9	32	15	32	40
10	32	16	34	35
11	30	24	35	35
12	30	32	25	30
13	29	30	32	25
14	30	18	34	29
15	26	20	31	28
16	24	24	30	28

เสา I2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	18	30	36	19
2	22	24	20	28
3	24	23	25	27
4	18	24	33	24
5	29	31	34	27
6	25	34	33	30
7	18	18	19	29
8	21	20	28	27

9	24	34	25	29
10	15	25	23	24
11	19	25	24	34
12	24	20	28	28
13	21	24	25	33
14	20	30	22	27
15	24	30	22	31
16	23	29	22	31

เส้า 14

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	25	30	21
2	22	24	34	28
3	30	2	24	30
4	25	26	30	28
5	30	25	35	25
6	33	30	35	31
7	25	24	25	29
8	24	23	32	27
9	30	20	34	26
10	24	25	18	31
11	16	27	24	35
12	25	31	25	32
13	32	29	28	25
14	26	32	20	31
15	25	34	21	30
16	16	50	25	31

เสา 16

ลำดับที่	N	W	S	E
1	18	30	36	15
2	22	24	20	28
3	24	23	25	27
4	18	24	33	24
5	29	31	34	27
6	25	34	18	30
7	18	19	28	29
8	21	24	25	27
9	24	32	23	29
10	15	22	24	24
11	19	25	28	34
12	24	20	25	28
13	21	24	22	33
14	20	30	22	27
15	23	30	22	31
16	25	29	25	30

เรือนเจริญโชติสวัสดิ์

เสา A1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	21	39	35
2	21	27	38	27
3	27	35	23	21
4	29	37	17	21
5	33	13	17	31
6	13	30	20	27
7	21	27	13	25
8	39	37	15	33
9	30	25	25	33
10	25	27	30	36
11	21	34	35	29
12	29	33	35	34
13	25	34	20	24
14	22	28	35	33
15	20	30	37	34
16	37	30	38	36

เสา A2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	11	11	31	38
2	0	27	31	30
3	21	15	14	18
4	0	15	34	36
5	15	19	37	32
6	45	10	30	37

7	13	25	29	20
8	25	17	33	35
9	37	28	22	32
10	21	22	27	30
11	19	29	28	25
12	26	18	30	33
13	24	19	21	30
14	30	21	25	33
15	21	15	30	27
16	15	13	26	33

เสา A3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	27	28	38	33
2	0	31	33	29
3	17	27	30	24
4	23	26	31	16
5	18	33	30	39
6	11	25	35	38
7	20	24	35	27
8	29	25	37	15
9	17	30	34	37
10	14	33	35	25
11	15	10	35	17
12	13	13	35	37
13	19	23	34	15
14	27	35	31	26
15	22	31	30	33
16	29	27	29	27

เสา A4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	25	31	31	35
2	30	41	32	31
3	35	29	35	18
4	28	43	35	29
5	31	25	33	32
6	24	24	31	25
7	24	19	33	37
8	21	29	35	29
9	18	27	31	39
10	0	25	31	27
11	20	18	36	17
12	17	15	30	38
13	23	23	34	39
14	27	32	38	27
15	28	30	37	17
16	15	15	35	18

เสา A5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	26	40	33	33
2	18	40	37	39
3	11	41	37	39
4	17	38	39	40
5	13	42	35	39
6	15	27	31	40
7	10	27	39	40
8	19	38	35	33

9	31	40	37	38
10	27	39	25	37
11	20	28	15	43
12	19	17	38	40
13	22	40	38	38
14	20	40	28	42
15	15	33	35	38
16	17	10	38	39

เสา A6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	42	35	37	31
2	0	40	37	30
3	23	37	39	32
4	19	31	33	25
5	40	35	37	23
6	0	38	37	29
7	25	40	43	25
8	21	40	40	29
9	43	41	39	25
10	17	41	40	29
11	15	38	25	25
12	27	33	38	32
13	41	38	40	28
14	22	41	32	30
15	14	35	51	25
16	15	41	39	29

เสา B1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	11	45	48	43
2	25	15	38	37
3	17	25	49	45
4	21	39	36	41
5	15	25	41	39
6	10	31	47	33
7	20	32	47	39
8	37	40	47	21
9	27	21	40	36
10	11	21	45	28
11	29	39	39	27
12	27	42	37	39
13	18	39	43	33
14	19	21	45	22
15	13	35	39	33
16	17	36	36	38

เสา B2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	43	33	36	39
2	44	33	33	28
3	37	19	31	35
4	10	22	29	31
5	45	10	33	31
6	33	14	21	35
7	17	21	30	39
8	11	21	21	28

9	44	13	32	29
10	39	25	25	31
11	31	40	34	22
12	22	28	24	40
13	37	27	29	20
14	30	14	27	23
15	15	31	25	30
16	18	29	25	30

เสา B3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	23	39	31	38
2	20	30	31	37
3	10	18	29	28
4	5	10	34	35
5	18	15	34	27
6	11	25	30	25
7	14	29	33	29
8	22	23	38	10
9	26	40	34	27
10	20	35	35	10
11	19	25	32	32
12	15	20	37	21
13	17	38	30	27
14	22	20	32	29
15	25	23	28	32
16	17	27	30	37

เสา B4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	35	39	30
2	11	33	40	11
3	28	34	39	23
4	29	43	21	25
5	33	36	36	28
6	34	39	38	35
7	38	39	42	11
8	10	39	35	25
9	10	31	31	20
10	28	35	42	23
11	42	33	45	40
12	32	43	36	32
13	25	33	39	25
14	28	38	45	26
15	21	39	37	31
16	39	46	39	30

เสา B5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	37	28	25	30
2	37	31	25	32
3	41	29	24	28
4	35	29	32	34
5	34	33	19	29
6	38	31	14	26
7	22	22	17	29
8	37	25	15	32

9	28	35	13	29
10	37	39	16	29
11	39	36	19	30
12	35	22	22	22
13	32	28	18	32
14	36	35	22	35
15	39	39	22	20
16	35	34	20	25

เสา B6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	24	35	37
2	52	28	32	23
3	33	25	28	18
4	20	39	30	28
5	33	19	36	25
6	52	23	35	32
7	33	20	31	25
8	41	19	37	31
9	49	24	34	24
10	8	19	33	26
11	57	15	24	31
12	16	26	35	34
13	56	30	28	34
14	42	31	27	27
15	20	25	26	35
16	21	28	33	33

เสา C1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	38	40	38
2	52	35	46	39
3	33	33	43	34
4	20	40	41	38
5	33	39	37	40
6	52	40	40	23
7	33	24	41	24
8	41	40	48	41
9	49	29	42	39
10	8	42	38	27
11	57	45	32	39
12	16	39	36	36
13	56	22	41	30
14	42	40	37	35
15	20	35	43	27
16	21	31	46	36

เสา C2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	27	35	35	32
2	28	26	42	33
3	11	34	33	31
4	12	28	38	37
5	17	26	34	35
6	40	28	37	46
7	22	32	31	34
8	39	30	39	33

9	38	27	37	27
10	25	28	39	39
11	17	30	39	38
12	11	30	40	40
13	30	30	39	24
14	20	25	35	42
15	27	30	37	28
16	13	40	42	34

เสา C3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	14	31	21	35
2	38	30	32	38
3	11	32	26	41
4	12	35	30	36
5	37	25	24	38
6	28	30	30	31
7	53	48	35	35
8	38	36	28	28
9	40	35	30	43
10	27	20	26	35
11	48	37	22	31
12	8	34	28	41
13	32	36	34	28
14	14	24	31	38
15	29	25	34	22
16	18	26	25	37

เสา C4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	19	18	15	23
2	20	17	14	21
3	11	20	12	17
4	18	12	12	14
5	23	18	17	22
6	24	17	25	24
7	11	19	13	19
8	22	20	10	15
9	18	22	13	20
10	11	20	10	15
11	21	18	12	16
12	11	15	28	22
13	14	25	17	18
14	16	12	24	25
15	22	14	17	23
16	20	14	15	28

เสา C5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	23	20	31	38
2	25	19	43	32
3	23	22	25	37
4	40	23	32	28
5	35	14	22	22
6	25	11	18	30
7	15	17	23	33
8	32	19	20	34

9	35	16	30	32
10	25	25	23	28
11	30	21	55	40
12	28	28	25	35
13	33	29	25	33
14	32	38	58	27
15	23	50	32	22
16	27	38	29	37

เสา C6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	43	38	43	29
2	39	45	42	36
3	30	44	38	35
4	45	38	29	27
5	40	43	39	33
6	38	44	41	23
7	42	39	51	33
8	50	42	38	38
9	40	42	25	39
10	38	41	40	31
11	38	49	44	32
12	42	33	48	22
13	45	40	46	31
14	38	38	40	39
15	40	40	31	37
16	42	41	44	36

เสา D1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	33	28	43	33
2	43	35	50	11
3	46	28	39	39
4	35	36	40	47
5	41	35	39	23
6	37	39	38	28
7	44	36	43	31
8	47	21	39	37
9	11	33	51	20
10	38	28	41	31
11	39	35	35	35
12	46	30	39	43
13	40	30	37	25
14	41	34	40	22
15	40	31	40	30
16	40	40	41	43

เสา D2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	25	38	35	53
2	19	35	36	48
3	19	33	35	51
4	23	32	34	54
5	18	33	38	38
6	18	37	37	43
7	18	35	35	54
8	11	31	27	53

9	19	32	37	51
10	21	28	33	52
11	18	29	29	53
12	15	33	31	52
13	25	35	36	52
14	10	30	30	55
15	41	27	31	51
16	31	28	29	49

เสา D3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	35	33	45
2	33	35	34	35
3	35	36	37	38
4	34	45	45	42
5	35	35	38	35
6	40	36	40	39
7	36	35	37	39
8	37	35	39	46
9	37	33	37	41
10	33	35	38	42
11	35	36	33	40
12	36	33	40	45
13	35	37	40	44
14	31	32	34	39
15	33	35	36	45
16	33	33	42	45

เสา D4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	38	41	30	34
2	35	55	34	35
3	36	42	34	35
4	38	44	35	24
5	36	44	36	26
6	40	44	34	36
7	38	41	34	25
8	43	41	32	35
9	35	43	39	38
10	36	49	36	22
11	38	46	36	28
12	37	45	31	27
13	36	48	31	31
14	35	41	38	34
15	42	51	40	32
16	40	40	35	31

เสา D5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	46	33	35	37
2	38	29	35	34
3	40	31	34	33
4	40	35	35	35
5	37	38	35	38
6	39	37	38	31
7	34	35	38	29
8	37	34	34	35

9	38	34	37	36
10	36	32	34	34
11	30	37	35	34
12	38	38	34	35
13	34	35	38	37
14	24	33	37	39
15	45	33	36	44
16	40	35	38	35

เสา D6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	36	30	26	
2	34	28	28	34
3	38	30	29	34
4	37	27	25	33
5	34	29	30	31
6	32	32	31	32
7	37	31	27	35
8	34	30	28	41
9	32	24	34	32
10	33	25	33	32
11	31	30	31	35
12	29	26	28	35
13	24	34	27	33
14	23	33	35	36
15	35	30	34	37
16	23	31	34	39

เสา E1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	34	25	37	24
2	38	28	18	25
3	28	33	32	22
4	34	31	27	23
5	34	35	32	20
6	36	30	24	25
7	32	33	32	28
8	33	36	33	24
9	33	35	24	26
10	30	25	30	28
11	34	36	22	30
12	36	27	25	27
13	35	22	34	25
14	28	25	38	26
15	22	30	28	27
16	35	32	30	36

เสา E2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	38	30	49	32
2	32	35	40	34
3	38	35	33	30
4	34	34	41	35
5	42	27	46	34
6	42	31	43	32
7	38	37	43	33
8	41	38	41	34

9	41	29	44	40
10	43	34	38	38
11	31	32	49	35
12	37	35	42	34
13	40	37	44	41
14	43	40	42	42
15	48	30	41	34
16	45	34	44	40

เสา E3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	37	40	38
2	44	30	41	39
3	38	32	40	40
4	37	36	45	36
5	45	34	35	45
6	43	36	35	42
7	40	34	42	35
8	41	38	45	32
9	42	39	42	41
10	37	35	38	34
11	42	35	41	35
12	41	35	35	43
13	41	36	41	39
14	40	37	42	39
15	38	35	41	44
16	38	35	41	45

เสา E4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	44	38	40	40
2	46	37	37	37
3	50	37	35	35
4	48	44	40	40
5	45	38	32	32
6	44	42	38	38
7	44	40	44	44
8	44	44	45	45
9	45	45	35	35
10	50	40	38	38
11	52	38	40	40
12	45	50	44	44
13	44	51	44	44
14	45	45	35	35
15	45	52	47	47
16	47	50	38	38

เสา E5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	34	36	44
2	35	35	36	39
3	38	25	35	34
4	34	30	32	32
5	35	34	33	36
6	40	34	34	34
7	34	35	40	45
8	35	30	25	35

9	35	33	30	32
10	39	34	32	35
11	39	35	31	37
12	25	37	35	35
13	36	34	32	32
14	32	35	40	25
15	34	35	30	35
16	42	35	32	38

เสา E6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	28	28	26	40
2	25	25	28	28
3	26	20	33	33
4	33	30	18	39
5	35	35	34	31
6	34	34	36	35
7	38	29	18	31
8	40	32	28	34
9	35	20	28	36
10	33	32	22	30
11	20	32	30	40
12	33	33	25	36
13	25	25	34	35
14	33	33	26	34
15	32	32	28	35
16	35	35	33	40

เรือนสายปรางค์

เสา A1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	24	21	12	25
2	21	32	15	28
3	15	18	11	25
4	17	17	10	20
5	22	17	13	24
6	23	21	10	20
7	21	17	10	24
8	19	11	17	28
9	22	10	15	24
10	18	25	16	26
11	24	20	20	28
12	23	11	15	28
13	29	10	17	20
14	30	19	18	20
15	18	22	23	20
16	24	17	15	28

เสา A2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	30	30	20
2	27	31	30	18
3	28	34	30	15
4	27	30	25	20
5	23	33	26	15
6	24	35	32	18

7	31	32	28	20
8	25	35	28	21
9	15	30	31	18
10	11	34	31	15
11	24	32	27	20
12	20	30	25	24
13	31	31	20	20
14	20	28	27	21
15	28	33	23	21
16	23	30	29	21

เสา A3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	30	29	24	25
2	28	32	25	18
3	29	25	20	27
4	29	25	20	23
5	31	23	24	20
6	35	22	28	23
7	30	24	26	27
8	34	25	22	25
9	28	24	23	25
10	26	20	22	26
11	26	23	24	23
12	30	24	18	25
13	24	20	23	25
14	19	20	18	25
15	25	25	24	22
16	23	27	22	27

เสา A4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	24	20	34	30
2	32	26	36	25
3	28	26	33	28
4	29	25	29	27
5	29	24	35	32
6	31	22	33	35
7	29	26	35	25
8	31	25	37	30
9	28	25	39	33
10	30	26	42	30
11	32	25	28	30
12	31	25	39	32
13	31	24	35	34
14	29	28	37	30
15	27	25	33	33
16	30	25	35	35

เสา A5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	30	30	25
2	27	30	29	25
3	30	27	32	25
4	25	40	28	31
5	33	25	26	30
6	29	30	16	30
7	30	40	29	30
8	20	30	28	31

9	28	35	30	25
10	25	35	18	27
11	32	33	25	31
12	33	31	27	25
13	35	28	32	29
14	28	35	35	27
15	31	30	23	28
16	40	31	29	35

เสา A6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	48	32	40
2	32	40	31	45
3	28	39	33	43
4	30	33	28	45
5	30	31	25	35
6	32	35	23	38
7	21	35	25	45
8	38	38	33	43
9	20	37	27	47
10	35	33	28	50
11	26	31	26	45
12	25	33	24	44
13	27	34	30	35
14	22	34	30	40
15	25	33	28	41
16	25	29	24	45

เสา B1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	28	19	31	29
2	26	21	30	31
3	33	24	29	30
4	32	28	28	31
5	40	25	31	29
6	43	24	31	31
7	33	33	34	28
8	26	31	37	36
9	29	27	36	29
10	25	28	26	29
11	25	34	28	26
12	34	36	35	34
13	33	28	36	31
14	25	34	25	31
15	24	26	34	31
16	28	25	35	32

เสา B2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	37	34	23	35
2	38	34	26	20
3	32	34	31	34
4	39	26	32	22
5	36	31	26	25
6	41	30	27	29
7	36	33	30	32
8	36	31	21	30

9	43	35	23	30
10	32	33	31	28
11	37	35	25	30
12	38	33	33	33
13	43	35	21	33
14	43	35	25	34
15	34	32	25	26
16	35	35	25	29

เสา B3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	30	23	34
2	35	28	21	32
3	37	12	30	34
4	35	30	39	40
5	30	31	22	30
6	35	30	27	30
7	33	24	36	30
8	30	22	32	38
9	30	25	39	32
10	38	28	31	30
11	36	23	33	35
12	36	20	31	38
13	37	29	27	34
14	28	25	33	33
15	36	22	30	35
16	33	24	25	28

เสา B4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	37	28	30	31
2	35	30	29	30
3	25	24	28	30
4	34	30	27	30
5	37	31	30	34
6	36	30	18	31
7	31	35	37	28
8	31	31	34	35
9	39	30	33	30
10	36	25	31	31
11	26	26	27	35
12	24	30	29	31
13	30	28	31	30
14	25	24	33	34
15	30	25	25	27
16	31	30	26	29

เสา B5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	37	28	30	31
2	35	30	29	30
3	25	24	28	30
4	34	30	27	30
5	37	31	30	34
6	36	30	18	31

7	31	35	37	28
8	31	31	34	35
9	39	30	33	30
10	36	25	31	31
11	26	26	27	35
12	24	30	29	31
13	30	28	31	30
14	25	24	33	34
15	30	25	25	27
16	31	30	26	29

เสา B6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	26	34	29	25
2	25	29	34	30
3	33	35	28	24
4	28	35	32	25
5	26	37	30	31
6	37	34	39	28
7	25	26	24	29
8	32	36	20	27
9	35	35	31	29
10	32	35	20	29
11	33	32	24	28
12	25	35	32	32
13	17	33	31	24
14	23	31	28	26
15	26	27	30	19
16	26	30	26	33

เสา C1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	31	25	33	47
2	28	40	27	43
3	25	43	28	35
4	30	40	31	40
5	27	40	26	40
6	31	41	18	39
7	24	33	25	30
8	22	36	15	25
9	25	40	13	33
10	35	43	24	35
11	33	46	30	33
12	25	45	30	35
13	40	35	34	37
14	25	39	37	21
15	33	49	35	39
16	29	43	33	29

เสา C2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	31	35	42	25
2	30	33	45	24
3	25	32	43	30
4	18	40	52	35
5	14	50	40	31
6	19	30	45	25
7	25	30	44	35
8	20	33	45	37

9	28	35	42	37
10	30	30	40	20
11	33	30	37	45
12	30	35	35	35
13	28	33	35	30
14	27	34	27	19
15	34	28	31	25
16	15	22	32	25

เสา C3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	28	50	20	40
2	40	35	28	35
3	38	45	35	35
4	39	43	33	25
5	47	45	34	43
6	30	47	37	40
7	23	44	32	35
8	31	43	31	27
9	31	35	35	31
10	25	40	30	25
11	34	40	29	28
12	39	40	28	30
13	28	40	34	45
14	33	50	34	25
15	31	44	30	20
16	31	36	36	45

เสา C4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	31	31	25
2	28	33	32	27
3	27	30	28	25
4	33	28	27	25
5	36	35	27	31
6	25	27	31	33
7	25	33	33	34
8	29	28	32	30
9	32	35	26	30
10	40	43	24	25
11	38	40	22	27
12	32	25	22	27
13	26	28	31	33
14	24	28	30	30
15	25	39	30	28
16	25	33	30	26

เสา C5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	25	12	25
2	25	20	29	25
3	30	25	22	30
4	38	23	18	21
5	32	26	25	28
6	31	25	22	28
7	40	25	26	20
8	25	25	27	23

9	40	24	19	30
10	32	25	32	30
11	38	21	33	28
12	36	26	28	30
13	31	29	26	33
14	32	28	22	25
15	34	31	17	25
16	33	30	20	25

เสา C6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	22	25	28	23
2	21	20	30	25
3	22	25	25	23
4	28	23	25	26
5	25	25	27	23
6	21	26	26	28
7	23	28	23	23
8	23	23	24	30
9	24	24	28	24
10	23	26	25	26
11	25	23	20	24
12	21	26	25	19
13	24	19	27	20
14	26	31	26	15
15	28	28	25	21
16	20	22	27	26

เสา D2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	33	15	30
2	34	31	25	33
3	36	33	35	30
4	32	31	40	32
5	34	33	33	35
6	38	30	32	30
7	28	29	30	35
8	37	27	31	35
9	26	22	25	45
10	35	30	33	35
11	28	27	32	30
12	33	35	31	33
13	29	36	33	35
14	29	29	30	35
15	31	34	35	39
16	33	25	33	31

เสา D3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	18	25	30
2	32	19	25	30
3	25	22	30	31
4	25	21	28	33
5	26	30	27	35
6	29	30	23	31
7	32	28	26	28
8	31	20	22	29

9	30	25	31	25
10	30	26	33	26
11	22	24	30	22
12	24	30	25	23
13	31	27	26	19
14	35	26	27	20
15	25	22	27	27
16	23	23	25	29

เสา D4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	33	30	25	30
2	33	35	20	30
3	29	30	33	40
4	28	25	35	20
5	31	24	31	29
6	23	30	33	35
7	24	20	30	30
8	30	30	35	25
9	33	35	34	24
10	35	20	30	29
11	30	25	29	20
12	35	25	32	35
13	33	20	27	34
14	45	33	25	26
15	32	32	35	28
16	35	32	36	35

เสา D5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	32	25	24	33
2	20	32	33	35
3	28	28	30	35
4	24	32	33	31
5	38	28	22	15
6	24	27	35	29
7	27	33	26	38
8	30	27	22	25
9	33	35	27	37
10	20	27	31	36
11	23	23	30	25
12	15	34	23	31
13	35	35	26	23
14	25	32	28	28
15	33	26	22	29
16	35	25	31	35

เสา D6

ลำดับที่	N	W	S	E
1	27	26	23	25
2	25	27	24	22
3	30	22	29	26
4	31	15	23	22
5	37	35	25	25
6	27	30	20	23
7	23	26	25	29
8	30	27	25	24

9	19	22	24	18
10	30	30	25	19
11	22	30	26	17
12	14	31	25	10
13	23	35	28	18
14	15	25	25	10
15	30	31	24	15
16	27	30	29	10

เรือนเล็กกลาง

เสา A1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	24	24	37	20
2	36	36	33	20
3	34	34	35	19
4	40	40	36	29
5	25	29	30	31
6	35	34	28	25
7	29	26	24	32
8	28	28	29	24
9	29	25	28	25
10	26	30	31	21
11	25	31	32	26
12	24	29	35	28
13	21	28	30	32
14	30	24	34	29
15	42	31	28	25
16	35	30	25	28

เสา A2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	41	35	23	40
2	34	39	33	41
3	39	42	39	35
4	43	35	38	39
5	40	30	37	43
6	35	41	35	41

7	35	35	39	35
8	32	29	35	38
9	36	30	36	42
10	39	28	30	39
11	35	41	29	38
12	41	42	34	36
13	40	35	32	30
14	45	31	31	35
15	50	29	35	32
16	40	38	38	31

เสา A3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	27	40	35
2	38	34	41	36
3	28	36	35	34
4	37	37	42	33
5	35	30	35	32
6	34	26	36	31
7	29	28	35	35
8	25	29	38	37
9	28	31	39	42
10	37	30	41	36
11	36	32	42	32
12	35	32	41	31
13	34	31	35	32
14	31	30	42	33
15	25	35	38	30
16	29	29	36	25

เสา A4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	36	31	35
2	36	37	30	48
3	39	35	43	37
4	38	33	35	39
5	34	29	37	40
6	41	28	41	42
7	42	29	35	41
8	35	30	46	43
9	29	32	32	42
10	28	24	29	29
11	28	25	25	38
12	30	27	38	34
13	31	28	29	39
14	32	29	37	36
15	31	28	31	32
16	35	35	30	35

เสา A5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	23	21	19	22
2	17	20	25	25
3	22	20	22	25
4	15	16	19	25
5	15	20	21	19
6	19	18	20	18
7	24	18	21	19
8	20	25	24	24

9	20	24	25	20
10	21	15	23	26
11	23	26	26	25
12	21	20	21	21
13	25	25	29	23
14	26	31	24	26
15	24	15	25	24
16	21	16	27	25

เสา B1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	41	35	26	35
2	40	32	21	40
3	41	35	28	41
4	42	32	38	42
5	34	31	41	34
6	35	30	40	38
7	31	31	37	35
8	38	34	40	38
9	32	29	40	29
10	42	28	45	42
11	40	29	29	39
12	41	26	44	40
13	24	34	35	26
14	35	30	37	35
15	25	29	26	24
16	35	31	35	35

เสา B2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	32	30	20	24
2	31	32	18	36
3	29	29	25	35
4	32	23	26	26
5	28	31	24	29
6	26	28	25	24
7	41	34	21	27
8	32	41	35	25
9	30	29	34	28
10	35	25	28	31
11	29	32	35	32
12	25	31	29	29
13	31	30	24	25
14	19	28	19	28
15	26	25	25	25
16	31	24	35	26

เสา B3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	24	21	25	31
2	27	28	22	32
3	30	28	24	32
4	32	30	18	27
5	31	28	29	30
6	25	28	25	29
7	29	24	24	31
8	25	27	21	26

9	27	40	24	29
10	41	35	15	28
11	26	35	19	25
12	32	24	25	24
13	30	25	21	27
14	31	29	20	28
15	25	28	24	25
16	29	31	29	34

เสา B4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	21	30	25	30
2	14	35	38	28
3	15	29	40	29
4	24	29	35	28
5	29	26	31	26
6	16	24	31	35
7	14	34	37	35
8	17	25	35	32
9	23	34	32	31
10	24	34	29	31
11	22	25	31	30
12	18	29	25	32
13	25	28	35	35
14	26	25	34	34
15	27	28	28	36
16	25	31	26	41

เสา B5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	38	35	33	35
2	33	29	35	26
3	39	34	38	33
4	32	41	43	31
5	35	37	32	27
6	36	29	27	29
7	36	42	30	28
8	30	39	32	33
9	38	36	31	27
10	42	39	35	37
11	36	41	30	35
12	41	39	35	26
13	38	27	31	24
14	39	35	29	28
15	26	28	31	26
16	29	40	37	26

เสา C1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	31	25	26	35
2	25	20	31	35
3	31	26	32	40
4	33	20	36	29
5	32	18	34	34
6	29	25	28	35
7	33	21	30	36
8	35	31	31	41

9	36	22	24	31
10	38	29	35	32
11	27	17	35	40
12	35	18	33	32
13	29	26	28	35
14	34	19	36	34
15	36	35	27	40
16	29	24	35	29

เสา C2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	31	41	31	24
2	28	29	27	31
3	29	29	33	35
4	30	28	31	41
5	30	29	29	26
6	29	29	30	33
7	31	42	29	27
8	26	25	25	17
9	25	25	24	20
10	25	27	38	26
11	26	25	33	26
12	27	22	31	15
13	28	31	25	27
14	27	27	25	30
15	26	27	27	32
16	29	30	26	32

เสา C3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	14	20	34
2	40	37	29	34
3	41	35	25	33
4	42	38	22	21
5	34	39	28	24
6	40	35	33	28
7	35	33	27	31
8	38	29	30	35
9	32	40	23	30
10	36	37	25	29
11	40	31	29	31
12	40	31	23	33
13	24	40	27	33
14	37	39	24	36
15	41	35	24	28
16	35	41	21	35

เสา C4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	31	35	29	31
2	25	30	25	35
3	21	31	21	32
4	25	32	26	28
5	26	32	30	35
6	25	32	28	25
7	22	30	24	26
8	26	35	26	25

9	22	42	27	32
10	31	29	25	32
11	23	27	25	35
12	20	26	26	25
13	25	35	25	31
14	21	28	26	34
15	25	31	23	31
16	25	25	31	30

เสา C5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	39	41	35	30
2	43	40	35	33
3	30	49	31	30
4	35	47	34	35
5	43	45	39	34
6	35	51	31	34
7	32	40	39	38
8	36	40	35	40
9	41	41	39	35
10	35	40	35	38
11	39	29	29	36
12	35	45	35	39
13	36	42	35	42
14	33	40	40	40
15	31	39	41	31
16	35	42	35	36

เสา D2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	31	34	28	34
2	30	26	25	25
3	35	27	31	28
4	31	20	30	32
5	29	21	31	30
6	28	23	29	31
7	35	24	26	25
8	31	22	31	33
9	30	20	28	36
10	29	26	31	30
11	30	34	27	29
12	31	29	27	28
13	29	22	25	27
14	28	34	33	31
15	29	24	28	25
16	34	24	30	29

เสา D3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	23	35	34
2	28	35	27	35
3	27	25	38	36
4	24	22	31	32
5	27	24	31	30
6	29	32	32	41
7	29	30	29	40
8	27	31	31	36

9	29	26	35	33
10	24	31	35	31
11	34	25	25	32
12	28	31	24	33
13	33	29	28	36
14	27	26	26	40
15	24	36	25	29
16	31	28	36	29

เสา D4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	28	29	30	29
2	29	33	37	33
3	24	28	33	33
4	30	31	32	25
5	33	23	51	30
6	34	28	29	31
7	36	18	31	32
8	39	38	36	30
9	30	34	35	35
10	33	26	35	32
11	35	24	35	34
12	32	36	35	34
13	30	28	33	35
14	31	26	34	31
15	35	31	34	34
16	24	35	31	29

เสา D5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	25	30	34	28
2	27	31	28	31
3	29	28	26	31
4	32	27	34	35
5	31	25	35	32
6	35	31	35	30
7	36	30	28	29
8	33	40	29	26
9	33	36	22	32
10	30	35	24	33
11	31	35	21	34
12	25	29	22	28
13	28	27	25	25
14	24	30	31	25
15	30	35	30	24
16	30	33	30	25

เรือนเล็กirim

เสา A1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	34	35	29	36
2	36	40	25	30
3	35	35	24	24
4	31	35	25	25
5	32	28	30	32
6	29	27	35	36
7	28	32	30	34
8	30	34	31	25
9	37	33	25	33
10	48	39	32	23
11	35	42	26	26
12	25	19	31	20
13	34	22	35	30
14	37	25	32	28
15	29	65	34	30
16	30	34	28	31

เสา A2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	22	36	50	35
2	26	35	35	26
3	28	34	33	33
4	23	33	28	34
5	21	30	19	32
6	26	25	20	35

7	28	25	21	15
8	27	32	29	32
9	32	35	25	30
10	31	33	26	28
11	28	34	16	31
12	26	34	28	34
13	25	28	27	32
14	25	35	21	30
15	33	36	31	28
16	32	34	29	28

เสา A3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	30	25	43
2	27	32	25	43
3	28	25	34	38
4	33	25	33	37
5	34	31	26	32
6	36	25	22	40
7	31	28	29	35
8	33	27	25	28
9	33	27	23	34
10	30	29	33	39
11	29	30	26	30
12	29	32	32	33
13	25	34	31	27
14	27	32	27	17
15	34	25	33	20
16	36	34	30	36

เสา A4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	39	35	31	35
2	49	34	29	20
3	38	36	29	33
4	26	33	29	31
5	26	31	30	35
6	35	35	25	24
7	41	35	25	26
8	41	33	25	31
9	40	33	27	33
10	32	30	29	34
11	34	32	26	28
12	30	28	25	31
13	30	28	33	30
14	25	42	31	33
15	31	35	35	31
16	23	35	34	33

เสา A5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	34	24	28	39
2	35	25	25	35
3	39	27	22	28
4	39	21	24	22
5	39	25	24	35
6	35	23	25	34
7	43	28	26	36
8	34	30	32	32

9	36	25	24	33
10	33	27	22	28
11	23	23	23	29
12	29	25	30	30
13	28	31	26	31
14	35	26	27	31
15	39	35	27	33
16	28	31	22	28

เสา B1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	53	29	33	30
2	36	36	32	35
3	33	34	35	28
4	38	35	28	23
5	37	33	25	31
6	28	33	32	30
7	32	39	25	35
8	26	35	30	34
9	30	37	31	28
10	33	34	27	29
11	31	37	25	38
12	34	48	29	33
13	43	35	25	26
14	43	25	26	20
15	39	34	28	31
16	38	29	29	30

เสา B2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	39	33	33
2	33	49	35	34
3	31	45	34	26
4	38	26	31	25
5	29	30	32	39
6	36	35	30	27
7	40	29	31	35
8	30	18	31	25
9	26	27	31	25
10	36	29	30	33
11	28	45	31	34
12	33	30	34	33
13	30	21	28	32
14	33	22	28	33
15	29	20	29	29
16	26	18	34	28

เสา B3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	38	35	30	25
2	37	33	34	36
3	37	33	36	42
4	28	34	34	37
5	39	20	32	34
6	35	30	32	35
7	34	34	33	36
8	28	34	30	35

9	32	30	28	34
10	34	32	33	35
11	33	44	24	29
12	20	38	33	34
13	30	34	38	29
14	28	33	34	34
15	36	31	34	36
16	19	30	42	39

เสา B4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	32	37	23	29
2	34	29	27	21
3	35	37	28	29
4	41	39	26	33
5	35	38	29	35
6	34	36	31	35
7	36	27	30	30
8	35	29	31	30
9	36	35	33	32
10	33	40	32	35
11	30	41	26	32
12	32	30	27	29
13	27	30	34	35
14	25	32	26	25
15	25	35	32	21
16	29	32	19	36

เสา B5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	29	33	27	31
2	27	31	31	30
3	25	30	35	32
4	28	35	35	26
5	29	41	33	30
6	25	27	34	24
7	23	29	38	30
8	19	27	35	25
9	25	27	33	35
10	27	28	41	28
11	21	32	42	30
12	21	36	39	26
13	30	33	43	22
14	28	35	30	28
15	23	32	30	34
16	27	35	28	31

เสา C1

ลำดับที่	N	W	S	E
1	23	43	33	19
2	21	38	33	19
3	28	41	38	23
4	22	34	40	18
5	25	38	41	27
6	37	33	41	22
7	28	34	40	24
8	26	31	40	33

9	24	32	32	32
10	22	52	32	32
11	23	48	27	35
12	28	33	35	31
13	23	37	38	39
14	21	43	35	36
15	25	39	35	35
16	20	30	33	34

เสา C2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	33	38	20	31
2	29	31	31	32
3	20	43	23	27
4	35	25	22	30
5	30	22	18	33
6	38	30	20	34
7	32	35	30	32
8	50	33	15	33
9	39	27	17	35
10	39	20	23	19
11	29	31	41	16
12	27	38	39	29
13	23	35	25	28
14	25	40	25	23
15	22	36	22	25
16	23	37	33	25

เสา C3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	25	40	30	30
2	29	41	30	22
3	29	36	33	21
4	23	26	35	27
5	33	26	36	28
6	32	20	38	22
7	35	37	41	24
8	28	32	40	28
9	23	30	38	32
10	28	33	35	33
11	26	30	40	30
12	24	31	35	33
13	25	32	31	37
14	22	35	33	25
15	22	37	30	24
16	22	31	35	25

เสา C4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	24	30	30	38
2	23	34	33	45
3	20	33	34	42
4	22	35	36	43
5	28	29	26	29
6	26	38	31	33
7	25	38	30	23
8	28	28	30	33

9	19	31	27	31
10	31	25	25	32
11	33	33	25	31
12	28	38	31	38
13	26	28	32	31
14	27	26	33	37
15	23	29	35	22
16	22	26	34	23

เสา C5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	38	28	25	40
2	35	27	28	39
3	35	26	27	32
4	36	26	23	28
5	31	24	25	45
6	32	33	24	33
7	33	28	28	43
8	32	25	26	27
9	31	30	24	42
10	27	31	22	32
11	25	35	29	30
12	29	36	26	30
13	33	25	31	27
14	11	25	30	18
15	23	27	35	25
16	28	24	33	23

เสา D2

ลำดับที่	N	W	S	E
1	20	20	25	20
2	20	26	29	25
3	28	36	25	18
4	26	34	28	16
5	30	31	20	28
6	31	22	15	26
7	30	26	18	28
8	30	35	15	27
9	20	32	30	27
10	26	25	30	25
11	15	31	20	28
12	32	25	30	26
13	30	35	27	26
14	22	30	33	37
15	26	35	25	25
16	27	18	23	34

เสา D3

ลำดับที่	N	W	S	E
1	40	25	40	23
2	28	26	40	25
3	38	27	35	22
4	45	25	43	26
5	40	28	35	25
6	35	26	28	30
7	35	25	35	27
8	33	32	35	23

9	28	35	32	30
10	20	35	35	35
11	28	31	31	29
12	31	29	27	33
13	15	30	30	23
14	30	31	28	35
15	31	31	33	30
16	22	28	25	35

เสา D4

ลำดับที่	N	W	S	E
1	35	27	34	35
2	33	22	35	34
3	34	31	35	35
4	31	25	41	35
5	35	21	32	20
6	30	25	30	34
7	40	25	30	34
8	32	26	33	35
9	34	27	25	25
10	27	26	33	34
11	37	28	32	36
12	29	22	35	35
13	38	33	27	31
14	32	25	31	32
15	31	30	34	30
16	40	35	35	25

เสา D5

ลำดับที่	N	W	S	E
1	34	15	18	38
2	35	14	34	33
3	30	15	36	33
4	34	19	27	30
5	27	21	35	17
6	31	27	32	14
7	34	28	27	30
8	28	22	30	33
9	26	30	25	35
10	33	33	30	27
11	35	30	33	31
12	34	33	21	30
13	28	37	25	31
14	25	25	30	34
15	20	37	31	35
16	30	21	41	35

ภาคผนวก ข ภาพการทดสอบ และ ตัวอย่างความเสียหาย



ภาพที่ 1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาด้วย rebound hammer



ภาพที่ 2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาด้วย rebound hammer



ภาพที่ 3 การลงพื้นที่วัดตำแหน่งของโครงสร้าง



ภาพที่ 4 การลงพื้นที่วัดตำแหน่งของโครงสร้าง



ภาพที่ 5 ตัวอย่างความเสียหายของเสา



ภาพที่ 6 ตัวอย่างรอยร้าวจากสนิม



ภาพที่ 7 ตัวอย่างรอยความเสียหายจากการหลุดร่อน



ภาพที่ 8 ตัวอย่างความเสียหายจากสัตว์น้ำทะเล

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นาย บัญชา บรรเทาวงษ์

วัน เดือน ปี เกิด

23 มกราคม 2535

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

58 หมู่ 1 ตำบล บางสระแก้ว อำเภอ แห่มสิงห์ จังหวัด
จันทบุรี 22190

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546

ระดับประถมศึกษา โรงเรียนวัดบางสระแก้ว

พ.ศ. 2547

ระดับมัธยม จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี

พ.ศ. 2553-ปัจจุบัน

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
มหาวิทยาลัยบูรพา

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นาย เศรษฐพงษ์ มหันตะ

วัน เดือน ปี เกิด

31 มกราคม 2535

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

24/4 หมู่ 2 ตำบล ละมอ อำเภอนาโยง จังหวัด ตรัง
รหัสไปรษณีย์ 92170

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2541

ระดับประถมศึกษา โรงเรียนทรงวิทยา

พ.ศ. 2544

ระดับประถมศึกษา โรงเรียนตรังคริสเตียนศึกษา

พ.ศ. 2547

ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนตรังคริสเตียนศึกษา

พ.ศ. 2553-ปัจจุบัน

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
มหาวิทยาลัยบูรพา