

การกัดกร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. : กรณีศึกษาบริเวณ
ชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี

CORROSION OF REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES FROM SEA
VAPOR CASE STUDY ON THE SEA COAST OF CHONBUR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2568

KMITL-2025-AR-M-002-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CORROSION OF REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES FROM SEA
VAPOR CASE STUDY ON THE SEA COAST OF CHONBUR

NITHIKRIT MUCHAMONTHOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ARCHITECTURE PROGRAM IN TROPICAL ARCHITECTURE

SCHOOL OF ARCHITECTURE, ART, AND DESIGN

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF ARCHITECTURE, ART, AND DESIGN

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกักกรองไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล.
: กรณีศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี
นักศึกษา นายนิธิกฤติ มัชฌมณฑล
รหัสประจำตัว 66026044
ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ. 2568
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ สุพัฒน์ บุญยฤทธิ์กิจ

บทคัดย่อ

ปัญหาการกักกรองไอทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทยเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงและต่อเนื่อง โดยเฉพาะในจังหวัดชลบุรี ด้วยที่ตั้งที่ใกล้กับทะเลอ่าวไทย และมีเมืองท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมริมชายฝั่ง ทำให้มีปริมาณไอเกลือสูง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้ สภาพอากาศที่ร้อนชื้นและความชื้นสูงนี้ ส่งผลให้เกิดการกักกรองของวัสดุและโครงสร้างต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวริมชายฝั่ง เช่น พัทยา บางแสน และศรีราชา

ด้วยเหตุนี้จึงเลือกศึกษา การกักกรองไอทะเล โดยคำนึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด ความเร็วลมของทะเล ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก และระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล เป็นต้น เพื่อนำมาสนับสนุนการวิเคราะห์และสำรวจและสามารถประเมินอายุการใช้งานของคอนกรีตได้เหมาะสม จึงเป็นที่มาการกักกรองไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. กรณีศึกษา บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี

|

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Corrosion of reinforced concrete building structures from sea vapor Case Study on the Sea coast of Chonburi
Student	Mr. Nithikrit Muchamonthol
Student ID	66026044
Degree	Master of Architecture
Program	Tropical Architecture
Year	2025
Thesis Advisor	Professor Suphat Bunyarittikit

ABSTRACT

The issue of airborne salt corrosion in the eastern region of Thailand is a severe and ongoing problem, particularly in Chonburi province. Due to its proximity to the Gulf of Thailand and the presence of coastal tourism and industrial areas, there is a high concentration of salt-laden air, influenced by the southwest monsoon. The hot and humid climate, along with high moisture levels, accelerates the corrosion of materials and structures, especially in economically and tourist-developed coastal areas such as Pattaya, Bang Saen, and Si Racha.

For this reason, the study focuses on marine aerosol-induced corrosion, taking into account related factors such as temperature, wind speed, concrete cover depth, and the distance of the structure from the sea. These factors are considered to support analysis and field surveys, allowing for a more accurate assessment of the service life of concrete structures. This forms the basis for studying the effects of marine aerosol corrosion on reinforced concrete buildings, with a case study conducted along the coastal area of Chonburi Province.

||

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาช่วยเหลือแนะนำอย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ.สุพัฒน์ บุญยฤทธิ์กิจ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าแก่ข้าพเจ้าในการถ่ายทอดองค์ความรู้และประสบการณ์ ให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณกลุ่มผู้คนบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี ที่คอยแนะนำและชี้แนะจุดต่างๆที่ทำให้เกิดการสำรวจรวบรวมข้อมูล เพื่อใช้ในการวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า บิดา มารดา และ นางสาวนิธิชญา มัชฌมทล ผู้ซึ่งคอยสนับสนุนในทุกด้าน และกำลังใจจากมิตรแท้ทุกท่าน

นิธิกฤติ มัชฌมทล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 วิธีการศึกษา.....	6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวความคิด.....	7
2.1 ข้อกำหนดระยะการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี.....	7
2.2 โครงสร้างอาคาร คสล. ประเภทอาคารสาธารณะในพื้นที่ชายฝั่งทะเล.....	10
2.3 การเลือกอาคาร คสล. ประเภทอาคารสาธารณะเป็นกรณีศึกษา.....	12

IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 การกัดกร่อนโลหะ (Marine Corrosion).....	13
2.5 กรอบแนวความคิด.....	38
บทที่ 3 วิธีการวิจัย เครื่องมือ และระเบียบวิธีวิจัย.....	39
3.1 วิธีการวิจัย เครื่องมือวิจัย และระเบียบวิธีวิจัย.....	39
3.2 การประเมินการกัดกร่อนโลหะกับโครงสร้างอาคาร คสล. บริเวณชายฝั่งทะเล.....	39
3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	44
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
3.5 การสร้างเครื่องมือ.....	47
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	50
4.1 การดำเนินงานวิจัยและผลการวิจัย.....	50
4.2 การกำหนดจุดสำรวจ.....	50
4.3 สสำรวจสภาพอาคาร จากอาคารที่เกิดความเสียหาย.....	50
4.4 วิเคราะห์และสรุปผล.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ เชิงวิชาการ.....	77
5.3 ข้อเสนอแนะ เชิงปฏิบัติ.....	77
5.4 ข้อเสนอแนะ สำหรับการวิจัยในอนาคต.....	77
บรรณานุกรม.....	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี.....	9
2.2 แสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี.....	9
2.3 แสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี.....	12
2.4 แสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี.....	13
2.5 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International.....	16
2.6 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก ACI 318.....	18
2.7 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International และ ACI 318.....	19
2.8 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International และ ACI 318.....	20
2.9 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. (EIT 1018-21)	21
2.10 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International, ACI 318 และ EIT1018-21.....	22
2.11 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. (Eurocode 2, Table 4.4N และTableNA.4.4).....	24
2.12 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International, ACI 318, EIT 1018-21และEN 1992-1-1.....	25
2.13 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. Neville.....	27
2.14 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International, ACI 318 (1963), EIT 1018-21, EN 1992-1-1 และ Neville.....	28
2.15 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. Bakker.....	29
2.16 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International, ACI 318, EIT 1018-21, EN 1992-1-1, Neville และ Bakker.....	30
2.17 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. Wongjeeraphat.....	31
2.18 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International, ACI 318, EIT 1018-21, EN 1992-1-1 (2004), Neville, Bakker และ Wongjeeraphat.....	32

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
2.19 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. ดร.ภัทรา ว่องเจริญวัฒนา.....	34
2.20 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International, ACI 318, EIT 1018-21, EN 1992-1-1, Neville, Bakker, Wongjeeraphat และ ดร.ภัทรา ว่องเจริญวัฒนา.....	35
2.21 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. การศึกษาของกรมทางหลวง.....	36
2.22 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International, ACI 318, EIT 1018-21, EN 1992-1-1, Neville, Bakker, Wongjeeraphat, ดร.ภัทรา ว่องเจริญวัฒนา และการศึกษาของกรมทางหลวง.....	38
2.23 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963).....	37
3.1 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดตัวแปร.....	44
3.2 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	46
3.3 แสดงตัวแปรและค่าลำดับความเสียหายจากมาตรฐาน.....	47
3.4 แสดงคะแนนประเมินการสำรวจ.....	48
3.5 แปลงคะแนนรวมเป็น ระดับความเสียหาย 5 ระดับ.....	48
4.1 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศูนย์ท่องเที่ยวเทศบาลเมืองอ่างศิลา.....	51
4.2 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล โครงการปรับปรุงลานอเนกประสงค์แหลมแท่น.....	52
4.3 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล กำแพงบ้านพักอาศัยบริเวณแหลมแท่น.....	53
4.4 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล สนามผู้ใหญ่อื่น.....	54
4.5 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศูนย์คุมประพฤติ ชายหาดบางพระ.....	55
4.6 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ด่านตรวจคนเข้าเมืองศรีราชา.....	56
4.7 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ภัตตาคาร เกาะลอย.....	57
4.8 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ชุมทางเข้ากองกำกับการทหารม้า.....	58

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศูนย์คุมประพฤติภาคประชาชน อำเภอบางละมุง.....	59
4.10 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลากลางทะเลบัวดงจิตตภาวัน.....	60
4.11 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล โบสถ์วัดจิตตภาวัน.....	61
4.12 แสดงผลทั้ง 11 สถานที่จากการสำรวจ Pre – Test.....	62
4.13 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาพิพิธภัณฑ์เฉลิมพระเกียรติ.....	64
4.14 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาศาลเจ้าแม่หินเขา.....	65
4.15 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาจุดชมวิว อ่างศิลา.....	66
4.16 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสะพานราชนาวี.....	67
4.17 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาถนนคนเดินบางแสน.....	68
4.18 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสวนสาธารณะเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว หาดบางแสนล่าง.....	69
4.19 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสะพานเจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี.....	70
4.20 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาเจ้าแม่กวนอิม เกาะลอย.....	71
4.21 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาชมวิวเกาะลอย.....	72
4.22 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสวนสุขภาพศรีราชา.....	73
4.23 แสดงผลทั้ง 10 อาคารโดยPost – Test อาคารสาธารณะ ศาลาพักผ่อนทะเล จากการสำรวจ.....	74
4.24 แสดงผลจากแจกแจงความถี่ของระดับความเสียหาย นับจำนวนอาคารในแต่ละระดับ และ คำนวณร้อยละ.....	74

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่ง.....	2
1.2 แสดงข้อมูลพื้นที่สิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง.....	2
1.3 แสดงปัญหาการเกิดสนิมของเหล็กเสริม.....	3
1.4 แสดงตลาดประมงพื้นบ้าน อ่างศิลา.....	4
1.5 แสดงตลาดประมงพื้นบ้าน อ่างศิลา.....	4
1.6 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย.....	6
2.1 แสดงแผนที่ จังหวัดชลบุรี.....	8
2.2 แสดงกรอบแนวความคิด.....	38
3.1 แสดงดัชนีวัดการสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส.....	40
3.2 แสดงดัชนีวัดความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด.....	40
3.3 แสดงดัชนีวัดอุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด.....	40
3.4 แสดงดัชนีวัดความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล.....	41
3.5 แสดงดัชนีวัดระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก.....	41
3.6 แสดงดัชนีวัดความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล.....	41
3.7 แสดงดัชนีวัดระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล.....	42
3.8 แสดงตัวแปรสำหรับงานวิจัย.....	43
3.9 แสดงภาพตัวอย่างการเก็บข้อมูล FLIP.....	45
3.10 แสดงภาพตัวอย่างการเก็บข้อมูล KIMO.....	45

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 แสดงภาพตัวอย่างการเก็บข้อมูล เหล็กฉาก.....	46
3.12 แสดงการสร้างเครื่องแปรและค่าลำดับความเสียหายจากมาตรฐาน.....	47
3.13 แสดงวิธีการวิจัย.....	49
4.1 แสดงแผนที่การสำรวจ ศาลาจุดชมวิว.....	63



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

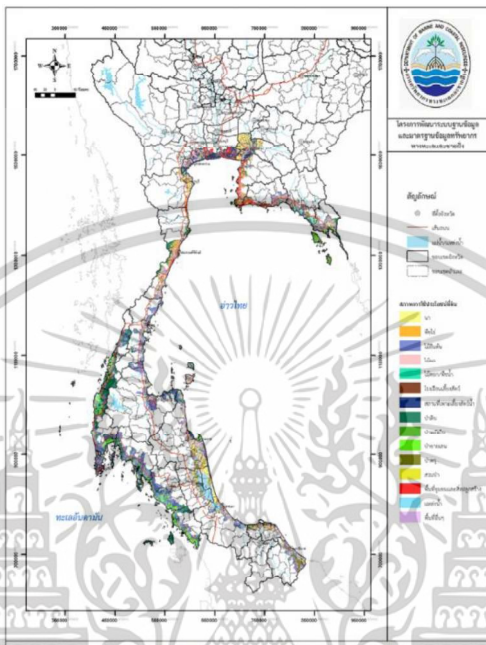
งานวิจัยเกี่ยวกับ ความทนทานของคอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแวดล้อมทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2020) ได้กล่าวว่า อาคารทางสถาปัตยกรรมส่วนใหญ่โดยทั่วไปนิยมใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากมีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาวะอากาศได้ดี โดยอายุการใช้งานของคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเฉลี่ยจะสามารถใช้งานได้ยาวนานมากกว่า 50 ปี แต่ในบางสภาวะอายุการใช้งานกลับเสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ควรจะเป็นมากตัวอย่างเช่น ภูมิภาคที่มีพื้นที่ติดกับชายฝั่งทะเล มักจะพบเห็นสภาพผิวคอนกรีตแตกและเหล็กเสริมเป็นสนิม ปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาหลักของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สร้างอยู่ในทะเลหรือติดชายฝั่งทะเลซึ่งต้องเผชิญกับไอทะเลเป็นระยะเวลา ยาวนานและต่อเนื่อง

วิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กในพื้นที่ชายฝั่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (2016) กล่าวว่าหนึ่งในสาเหตุที่อายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเสื่อมสภาพเร็วเกิดขึ้นจากสภาวะอากาศริมทะเล สืบเนื่องจากอนุภาคคลอไรด์ในอากาศหรืออีกในชื่อหนึ่งคือไอทะเลที่ถูกลมพัดพามาในอากาศ โดยปริมาณของไอทะเลที่พัดพาขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ ความเร็วลม และความสูงของผิวน้ำ หลายปัจจัยร่วมกัน เมื่อไอทะเลถูกพัดพาผ่านพื้นผิวคอนกรีต

ณัฐมนต์ และ จุลเศรษฐ์ (2002) ปริมาณของคลอไรด์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการผุกร่อนเป็นสนิมของเหล็กเสริม และถ้าหากว่าปริมาณคลอไรด์ในปริมาณที่มากพอในระหว่างการผสมคอนกรีตอาจมีผลทำให้ Passivity Film ไม่เกิดขึ้นได้ ไอทะเลจะค่อย ๆ เกาะติดและซึมลึกเข้าไปในคอนกรีต ตามระยะเวลาที่ผ่านมา เมื่อไอทะเลซึมลึกถึงผิวเหล็กเสริม จะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เป็นชั้นฟิล์มเคลือบผิวเหล็กบริเวณที่เป็นจุดเกาะระหว่างเหล็กเสริมกับเนื้อคอนกรีต จึงเป็นเหตุให้เหล็กเสริมถูกกัดกร่อนเกิดเป็นเนื้อสนิมและเกิดการขยายตัว Cady และ Weyers (1983) ศึกษาวิจัยและประเมินผลการกัดกร่อนเสียหายเนื่องจากคลอไรด์ของน้ำทะเลของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ประกอบด้วยคอนกรีตชั้นเดียว พร้อมทั้งได้วิเคราะห์ผลของรอยแตกร้าวที่ผิวคอนกรีตหุ้มต่อการกัดกร่อนด้วย ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินผลการกัดกร่อนคือขนาดความหนาของคอนกรีตหุ้มจนเนื้อคอนกรีตแตกมาถึงผิวอาคาร ทำให้อากาศไหลผ่านเข้ามาและสามารถก่อให้เกิดสนิมที่มากขึ้น ยิ่งกว่าเดิมซึ่งระยะหุ้มของกร็ตก็เป็นตัวช่วยลดการเกิดการกัดกร่อนไอทะเลได้

จากข้อมูล กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2020) เมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ชายฝั่งทะเล จากรายงานการศึกษาจัดทำฐานข้อมูลพื้นที่คุ้มครองทางทะเล ใน 24 จังหวัดชายฝั่งทะเลแล้ว พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม่ยื่นต้นร้อยละ 21.14 ประเภทนาร้อยละ 12.27 และประเภทป่าดิบร้อยละ 10.14 เป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 11.32 ของพื้นที่ นอกจากนั้นยังพบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ ร้อยละ 4.44 ไม้ยืนต้น ร้อยละ 21.14 สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ร้อยละ 7.83 ป่าชายเลน ร้อยละ 7.55 ป่าพรุ ร้อยละ 1.70 และพื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง ร้อยละ 9.18 เป็นต้น โดยพื้นที่จังหวัดชลบุรี จะมีการใช้ประโยชน์ที่ดินชายฝั่ง เพื่อเป็นพื้นที่ ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากที่สุด โดยมีการใช้อยู่ที่ 416.22 ตารางเมตร หรือ ร้อยละ 31.47



ภาพที่ 1.1 แสดงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่ง
ที่มา : กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง 2020

จังหวัด	ลักษณะการใช้ประโยชน์	พื้นที่ใช้ประโยชน์ (ไร่)												พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่ป่า	พื้นที่ชายฝั่ง	รวม	
		นา	ไร่	ไม้ยืนต้น	ไม้	ทุ่งหญ้า	ไร่สวน	สวน	สวนผลไม้	สวนยาง	สวนปาล์ม	สวนมะพร้าว	สวนอื่น ๆ					
จังหวัดชลบุรี																		
1	สวน	7,700	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
2	ไร่	88.11	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
3	สวนผลไม้	7,82	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
4	สวนยาง	79.17	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
5	สวนปาล์ม	8.42	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
6	สวนมะพร้าว	107.98	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
7	สวนอื่น ๆ	8.18	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
8	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	1,078.90	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
9	พื้นที่ป่า	87.78	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
10	พื้นที่ชายฝั่ง	88.78	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
11	รวม	2,49	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
12	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	31.83	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
13	พื้นที่ป่า	2,52	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
14	พื้นที่ชายฝั่ง	3,51	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
15	รวม	2,88	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
16	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	43.88	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
17	พื้นที่ป่า	48.17	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
18	พื้นที่ชายฝั่ง	54.17	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
19	รวม	2,59	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
20	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	79.28	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
21	พื้นที่ป่า	4.58	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
22	พื้นที่ชายฝั่ง	114.31	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
23	รวม	5.88	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100

ภาพที่ 1.2 แสดงข้อมูลพื้นที่สิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง
ที่มา : กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาการกัดกร่อนไอทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทยเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงและต่อเนื่อง โดยเฉพาะในจังหวัดชลบุรี ด้วยที่ตั้งที่ใกล้กับทะเลอ่าวไทย และมีเมืองท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมริมชายฝั่ง ทำให้มีปริมาณไอเกลือสูง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้ สภาพอากาศที่ร้อนชื้นและความชื้นสูงนี้ ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนของวัสดุและโครงสร้างต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวริมชายฝั่ง เช่น พัทยา บางแสน และศรีราชา การกัดกร่อนนี้เกิดจากการที่ไอเกลือในอากาศ ซึ่งมีปริมาณสูงในพื้นที่ใกล้ทะเล ถูกลมพัดพามาเกาะติดกับพื้นผิววัสดุ ทำให้เกิดการกัดกร่อนและเสื่อมสภาพลง



รูปที่ 1.3 แสดงปัญหาการเกิดสนิมของเหล็กเสริม
ที่มา : วารสารคอนกรีต (2020)

ผศ.ดร.ทวีชัย สำราญวานิช (2020) วิศวกรโยธาที่ทำงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในทะเลหรือในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล เช่นบริเวณชายฝั่งหรือห่างจากทะเลไม่มากนัก มักพบการเสื่อมสภาพที่รวดเร็วกว่าที่ควรเป็น ทำให้โครงสร้างมีอายุการใช้งาน (Service life) ที่สั้น ทำให้ต้องสูญเสียงบประมาณในการซ่อมแซมบำรุงรักษาเป็นจำนวนมาก โดยที่ส่วนใหญ่ที่โครงสร้างดังกล่าวใช้ปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟตในการก่อสร้าง ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อทำให้ได้โครงสร้างคอนกรีตสามารถใช้งานยาวนานขึ้นได้ ได้แก่ระยะหุ้มคอนกรีต (Cover Depth) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงตลาดประมงพื้นบ้าน อ่างศิลา

ที่มา : ผู้วิจัย

รูปที่ 1.5 แสดงตลาดประมงพื้นบ้าน อ่างศิลา

ที่มา : ผู้วิจัย

ด้วยเหตุนี้จึงเลือกศึกษา การกักกรองไอทะเล โดยคำนึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด ความเร็วลมของทะเล ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก และระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล เป็นต้น เพื่อนำมาสนับสนุนการวิเคราะห์และสำรวจและสามารถประเมินอายุการใช้งานของคอนกรีตได้เหมาะสม จึงเป็นที่มาการกักกรองไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. กรณีศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการการกักร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. : กรณีศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาทฤษฎี ความหมาย และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ถูกไอทะเลกัดกร่อนของโครงสร้างอาคาร คสล. บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี เพื่อรวบรวมข้อมูลไว้ใช้สำหรับการออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

สถานที่เก็บข้อมูลคือ อาคาร คสล. ศาลาพักริมทะเล ที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลระยะ 0 – 20 เมตร โดยกรณีศึกษาคือจังหวัดชลบุรี

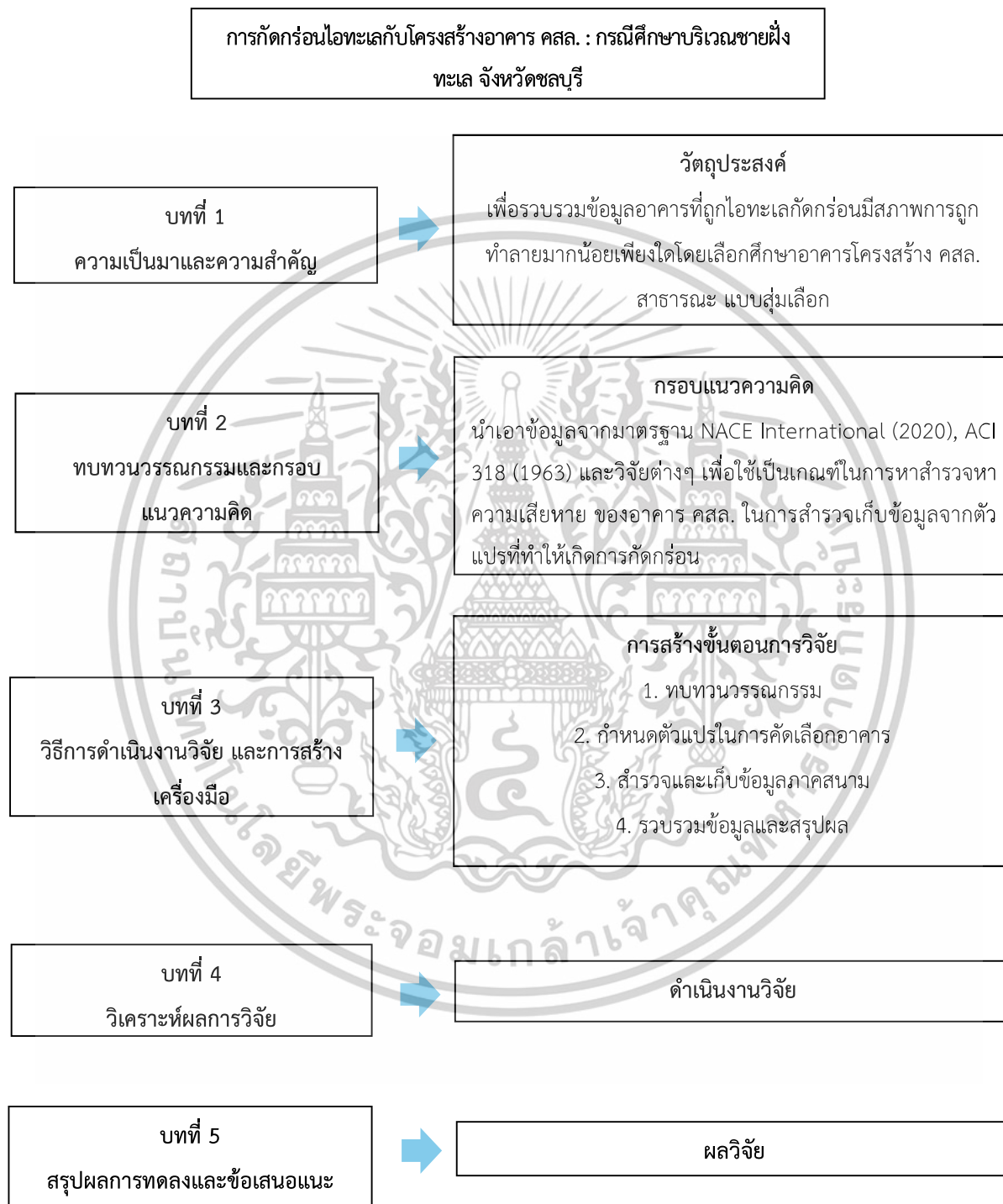
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมไอทะเล และ โครงสร้าง คสล.

1.4.2 สามารถเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบและก่อสร้าง อาคาร คสล. บริเวณริมชายฝั่งทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีการศึกษา



ภาพที่ 1.6 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิด

2.1 ข้อกำหนดระยะการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี

2.1.1 ภูมิประเทศ การพัฒนาเมือง

จากข้อมูลกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2013) จังหวัดชลบุรี ตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย ติดกับชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทย มีพื้นที่ประมาณ 4,363 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 2,968,107 ไร่ มีแนวชายฝั่งยาวประมาณ 160 กิโลเมตร สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบสลับเนินเขา และที่ราบชายฝั่งทะเล มีภูเขาทอดยาวจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ พื้นที่ตอนเหนือเหมาะแก่การเกษตรกรรม ส่วนทิศตะวันออกและทิศใต้เดิมเป็นป่าเขา ปัจจุบันมีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ข้าว สับปะรด ยางพารา และมะม่วงหิมพานต์ ในด้านการปกครอง จังหวัดชลบุรีแบ่งออกเป็น 11 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอหนองใหญ่ อำเภอพนัสนิคม อำเภอบ้านบึง อำเภอพานทอง อำเภอบ่อทอง อำเภอศรีราชา อำเภอบางละมุง อำเภอสัตหีบ อำเภอกะสีซัง และอำเภอกะจันทร์ แต่พื้นที่ชายฝั่งของชลบุรีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในเมืองท่องเที่ยวและอุตสาหกรรม เช่น พัทยา ศรีราชา และบางแสน การก่อสร้างอาคารในพื้นที่ชายฝั่งทะเลต้องเผชิญกับความท้าทายจากสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มสูง ไอลือจากทะเลสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต ทำให้อาคารเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

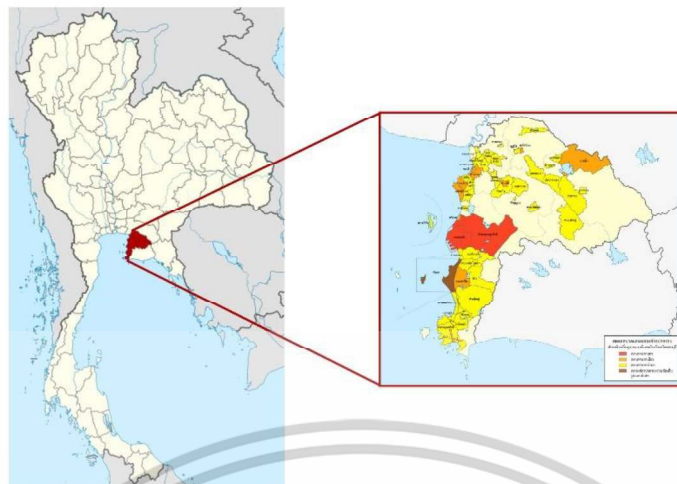
สำหรับเขตพื้นที่ที่มีอาคารริมชายฝั่งทะเลจำนวนมาก มักเป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาเพื่อการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจ เช่น:

เมืองพัทยา เป็นเมืองท่องเที่ยวระดับนานาชาติ มีโรงแรม รีสอร์ท ร้านอาหาร และสถานบันเทิงมากมายตั้งอยู่ริมชายฝั่งทะเล

บางแสน ตั้งอยู่ในอำเภอเมืองชลบุรี เป็นสถานที่ท่องเที่ยวยอดนิยม มีชายหาด ร้านค้า และสถานที่พักผ่อนริมทะเล

ศรีราชา เป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีนิคมอุตสาหกรรม ท่าเรือ และชุมชนชาวต่างชาติ โดยเฉพาะชาวญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงแผนที่ จังหวัดชลบุรี
ที่มา: ผู้วิจัย

2.1.2 กฎหมายการสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี

ข้อกำหนดด้านการก่อสร้างริมชายฝั่ง: ตามกฎหมายการก่อสร้างในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี มีข้อกำหนดว่า ในพื้นที่ที่วัดจากระดับน้ำทะเลปานกลางเข้าไปในแผ่นดินเป็นระยะ 100 เมตร การก่อสร้างอาคารต้องมีความสูงไม่เกิน 14 เมตร และต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของที่ดินแปลงที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้าง

ข้อกำหนดการก่อสร้างในพื้นที่ระยะต่าง ๆ จากแนวชายฝั่งทะเล เช่น
ระยะ 0-20 เมตร ห้ามก่อสร้างหรือตัดแปลงอาคารเว้นแต่เพื่อประโยชน์สาธารณะ
ระยะ 20-100 เมตร อาคารสูงไม่เกิน 14 เมตร มีที่ว่างไม่น้อยกว่า 75%
ระยะเกิน 100 เมตร ปฏิบัติตามกฎหมายท้องถิ่นและข้อกำหนดผังเมือง

การก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลในจังหวัดชลบุรีอยู่ภายใต้กฎหมายและข้อบังคับหลายประการ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและรักษาความเป็นระเบียบของพื้นที่ชายฝั่งทะเล โดยมีข้อกำหนดหลักดังนี้

1) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

กฎหมายหลักที่ใช้ควบคุมการก่อสร้างอาคารทั่วประเทศ รวมถึงจังหวัดชลบุรี กำหนดให้ผู้ที่ต้องการก่อสร้าง ตัดแปลง หรือรื้อถอนอาคาร ต้องขออนุญาตจากเจ้าพนักงานท้องถิ่นก่อนดำเนินการ

2) กฎกระทรวงและประกาศกระทรวงมหาดไทย

มีการออกกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงมหาดไทยเพื่อกำหนดบริเวณห้ามก่อสร้าง ตัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิดหรือบางประเภทในพื้นที่บางส่วนของจังหวัดชลบุรี เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1) กฎกระทรวง ฉบับที่ 32 (พ.ศ. 2534) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร เพื่อควบคุมความหนาแน่นของอาคารในพื้นที่บางส่วนของจังหวัดชลบุรี

2.2) ประกาศกระทรวงมหาดไทย (พ.ศ. 2561) กำหนดบริเวณห้ามก่อสร้างอาคารพาณิชย์กรรมประเภทค้าปลีกค้าส่งที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันเกินกำหนดในพื้นที่บางส่วนของจังหวัดชลบุรี

3) ผังเมืองรวมจังหวัดชลบุรี

กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดชลบุรี กำหนดแนวทางการใช้ประโยชน์ที่ดินและการพัฒนาเมือง เพื่อให้สอดคล้องกับการวางผังเมืองและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี

บริเวณพื้นที่จากแนวชายฝั่งทะเล	ข้อกำหนดการก่อสร้าง
ระยะ 0-20 เมตร	ห้ามก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารใด ๆ เว้นแต่เป็นการก่อสร้างเพื่อประโยชน์สาธารณะในการคมนาคมทางน้ำหรือการสาธารณสุข โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการที่เกี่ยวข้อง
ระยะ 20-100 เมตร	- อาคารต้องมีความสูงไม่เกิน 14 เมตร - มีที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของแปลงที่ดินที่ขออนุญาต
ระยะเกิน 100 เมตร	การก่อสร้างอาคารต้องปฏิบัติตามกฎหมายและข้อบังคับท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง รวมถึงข้อกำหนดด้านผังเมืองและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

ที่มา : ผู้วิจัย

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นเฉพาะอาคาร คสล. (คอนกรีตเสริมเหล็ก) ที่ตั้งอยู่ใน พื้นที่เสี่ยงสูงสุดต่อการกัดกร่อนจากไอทะเล และแรงกระทำจากสภาพแวดล้อมทะเลโดยตรง ซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในระยะ 0-20 เมตร จากแนวชายฝั่ง อันเป็นระยะที่กฎหมายควบคุมการใช้ประโยชน์พื้นที่อย่างเข้มงวด และมีข้อจำกัดในการก่อสร้างอย่างชัดเจน

ส่วนพื้นที่ในระยะ 20-100 เมตร และ เกินกว่า 100 เมตร ถือว่ามีความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนลดลงตามระยะทางจากทะเล อีกทั้งมีข้อกำหนดที่หลากหลายตามท้องถิ่นและผังเมืองเฉพาะพื้นที่ ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของการวิจัยฉบับนี้

ดังนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์มีความชัดเจนและลึกซึ้งในพื้นที่วิกฤต จึงเลือกพิจารณาเฉพาะอาคารที่อยู่ในระยะ 0-20 เมตร จากแนวชายฝั่งทะเลเท่านั้น

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี

บริเวณพื้นที่จากแนวชายฝั่งทะเล	ข้อกำหนดการก่อสร้าง คสล.
ระยะ 0-20 เมตร	ห้ามก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารใด ๆ เว้นแต่เป็นการก่อสร้างเพื่อประโยชน์สาธารณะในการคมนาคมทางน้ำหรือการสาธารณสุข โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการที่เกี่ยวข้อง

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โครงสร้างอาคาร คสล. ประเภทอาคารสาธารณะในพื้นที่ชายฝั่งทะเล

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของอาคาร คสล.

จากข้อมูล กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562) อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) เป็นระบบโครงสร้างหลักที่นิยมใช้ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถออกแบบให้รองรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง ละอองไอเกลือ และแรงลมทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโครงสร้าง คสล. ประกอบด้วยวัสดุหลัก 2 ส่วน คือ คอนกรีต และ เหล็กเสริม ซึ่งทำงานร่วมกันในการรับแรงจากภายนอก

1) คอนกรีต (Concrete)

คอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างอาคารริมทะเล โดยมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ดังนี้:

ความแข็งแรง (Compressive Strength): คอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้สูง เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ต้องรับน้ำหนักจำนวนมาก เช่น เสา คาน พื้น ฯลฯ

ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม (Durability): หากใช้คอนกรีตที่มีค่าการแทรกซึมของคลอไรด์ต่ำ (low permeability) จะสามารถป้องกันการซึมผ่านของเกลือทะเลเข้าสู่ภายในโครงสร้างได้

สามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้: โดยการใช้วัสดุผสมเพิ่ม เช่น Silica fume, Fly ash, หรือสารผสมกันซึม (waterproofing admixtures)

2) เหล็กเสริม (Reinforcement Steel)

เหล็กเสริมมีหน้าที่รับแรงดึงในโครงสร้างคอนกรีต โดยคุณสมบัติหลัก ได้แก่:

ความสามารถในการรับแรงดึงสูง: ทำให้โครงสร้างทนต่อแรงลมแรงหรือแรงสั่นสะเทือน

การยึดเกาะกับคอนกรีต: ช่วยให้โครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกัน

ความไวต่อการกัดกร่อน: เหล็กเป็นวัสดุที่เกิดสนิมได้ง่ายโดยเฉพาะในพื้นที่ชายฝั่ง จึงต้องมีมาตรการป้องกัน เช่น การเคลือบอีพ็อกซี การเพิ่ม cover concrete หรือการเลือกใช้เหล็กชนิดพิเศษ (เช่น เหล็กสแตนเลส หรือเหล็กกล้าวาล์นซ์)

3) ระบบโครงสร้าง คสล. ในอาคารริมทะเล

ระบบโครงสร้างของอาคาร คสล. ในพื้นที่ชายฝั่งมักประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ดังนี้:

เสาและคาน (Columns & Beams): รับน้ำหนักของตัวอาคารและถ่ายแรงลงสู่ฐานราก

พื้นและหลังคา (Slabs & Roof): ต้องออกแบบให้สามารถกันซึมและทนต่อละอองเกลือ

ฐานราก (Foundation): มักเป็นฐานรากลึก (เสาเข็ม) เพื่อให้มั่นคงในสภาพดินอ่อนริมทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเสริมความทนทาน (Protective Measures): เช่น ผนังกันคลื่น, ระบบระบายน้ำ, หรือ coating ป้องกันคลอไรด์ซึม

ตามแนวทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง รวมถึงประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การก่อสร้างในพื้นที่ระยะ 0-20 เมตรจากแนวชายฝั่งทะเล ถือว่าอยู่ใน "เขตเสี่ยงต่อการกัดเซาะชายฝั่ง" และมีข้อกำหนดพิเศษ ได้แก่

จำกัดประเภทอาคารอนุญาตเฉพาะอาคารขนาดเล็ก/ชั่วคราว เช่น ศาลาพัก ศูนย์บริการ หรืออาคารที่มีความจำเป็นตามแผนงานของรัฐ

โครงสร้างต้องต้านทานการกัดกร่อน: อาคารต้องใช้คอนกรีตที่ทนต่อคลอไรด์ (High-performance concrete) และเหล็กที่มีมาตรการป้องกันสนิม

ต้องมีการยกพื้นหรือระบายน้ำได้ดี: ป้องกันน้ำทะเลท่วมขังหรือซึมเข้าโครงสร้าง

ห้ามกีดขวางทางไหลของน้ำทะเล: อาคารต้องออกแบบให้ไม่ขัดขวางการไหลของน้ำในยามน้ำขึ้นหรือน้ำท่วม

2.2.2 ประเภทของอาคาร คสล. ริมทะเล

พื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทยมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจ การท่องเที่ยว การประมง และการพัฒนาเมืองในหลายภูมิภาค ด้วยเหตุนี้จึงมีการก่อสร้างอาคารประเภทต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ของพื้นที่ชายฝั่ง โดยเฉพาะอาคารที่ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) ซึ่งเป็นระบบโครงสร้างหลักที่นิยมใช้งานในพื้นที่ชายฝั่ง เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และเหมาะสมกับงานก่อสร้างขนาดใหญ่หรือที่ต้องการอายุการใช้งานยาวนาน

กรมโยธาธิการและผังเมืองได้จัดประเภทของอาคารริมทะเลที่ใช้โครงสร้าง คสล. ตามลักษณะการใช้งานหลัก และกำหนดแนวทางการออกแบบก่อสร้างให้เหมาะสมกับบริบททางกายภาพและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ชายฝั่ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) โรงแรมและรีสอร์ทริมทะเล ใช้โครงสร้าง คสล. เพื่อความมั่นคง แข็งแรง และรองรับการใช้งานระยะยาว และต้องใช้คอนกรีตที่ทนต่อสภาพแวดล้อมทะเล

2) คอนโดมิเนียมและอาคารพักอาศัยริมทะเล ต้องออกแบบให้ต้านทานแรงลมจากทะเล และใช้วัสดุกันซึมและคอนกรีตทนความเค็ม

3) ศูนย์การค้าและอาคารพาณิชย์ริมทะเล ต้องออกแบบโครงสร้างให้รับน้ำหนักของผู้ใช้งานจำนวนมาก และมีระบบป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้าง

4) อาคารราชการและสถานที่สาธารณะริมทะเล ออกแบบให้ใช้งานได้นาน และบำรุงรักษาง่าย

5) อาคารสถานศึกษาและวิจัยทางทะเล ต้องใช้โครงสร้างที่แข็งแรงและกันความชื้น

6) อาคารอเนกประสงค์และศูนย์ประชุมริมทะเล ใช้ คสล. เพื่อรองรับโครงสร้างขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูล ข้อกำหนดระยะการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี กำหนดไว้ว่าอาคาร ที่อยู่ในระยะ 0 – 20 เมตร จะต้องเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะ โดยอ้างอิงจากตารางเพื่อกำหนดประเภทอาคารสำหรับการวิจัยและจะระเบียบข้อมูลจากตารางที่ 2.2 อาคารราชการและสถานที่สาธารณะริมทะเล ออกแบบให้ใช้งานได้นาน และบำรุงรักษาง่าย

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี

บริเวณพื้นที่จากแนวชายฝั่งทะเล	ข้อกำหนดการก่อสร้าง คสล. , ประเภทอาคาร
ระยะ 0-20 เมตร	เว้นแต่เป็นการก่อสร้างเพื่อประโยชน์สาธารณะในการคมนาคมทางน้ำหรือการสาธารณสุขโรค อาคารราชการและสถานที่สาธารณะริมทะเล

ที่มา : ผู้วิจัย

2.3 การเลือกอาคาร คสล. ประเภทอาคารสาธารณะเป็นกรณีศึกษา

เพื่อให้การศึกษาเกี่ยวกับการกีดกร่อนจากไอทะเลในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความชัดเจนและสามารถประเมินความเสี่ยงได้อย่างเป็นระบบ จึงมีความจำเป็นต้องคัดเลือกประเภทอาคารที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการกีดกร่อน โดยเฉพาะอาคารประเภทสาธารณะที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ซึ่งมีความหลากหลายในด้านหน้าที่การใช้งาน โครงสร้าง และความสำคัญต่อชุมชน

การจำแนกประเภทอาคารในกรณีศึกษานี้ได้พิจารณาจากวัตถุประสงค์การใช้งานหลักของอาคารแต่ละประเภท โดยยึดตามแนวทางการใช้งานพื้นที่ชายฝั่งจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมโยธาธิการและผังเมือง และแผนแม่บทการจัดการพื้นที่ชายฝั่ง

2.3.1 ประเภทของอาคารราชการและสถานที่สาธารณะริมชายฝั่งทะเล

- 1) อาคารบริหารราชการ ใช้สำหรับหน่วยงานราชการในพื้นที่ชายฝั่ง ตัวอย่างอาคาร สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ศูนย์ราชการท้องถิ่น (อำเภอ/เทศบาล)
- 2) อาคารควบคุมและเฝ้าระวังสิ่งแวดล้อมทะเล ใช้ตรวจวัดคุณภาพน้ำ, เฝ้าระวังการกัดเซาะ ตัวอย่างอาคาร สถานีตรวจวัดชายฝั่ง, ศูนย์ป้องกันภัยพิบัติชายฝั่ง
- 3) อาคารบริการสาธารณะและนันทนาการ ใช้บริการแก่ประชาชน/นักท่องเที่ยว ตัวอย่างอาคาร ศูนย์บริการนักท่องเที่ยว, ห้องน้ำสาธารณะ, ศาลาพักผ่อนทะเล
- 4) อาคารประมง/ท่าเรือสาธารณะ ใช้รองรับกิจกรรมประมงและเดินเรือ ตัวอย่างอาคาร สถานีประมงชายฝั่ง, ท่าเทียบเรือราชการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) อาคารด้านการศึกษา/วิจัยทางทะเล ใช้เพื่อการเรียนรู้ วิจัย อนุรักษ์ชายฝั่ง ตัวอย่างอาคาร สถานีวิจัยทางทะเล, พิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำ

6) อาคารความมั่นคง/ชายแดนทะเล ใช้ควบคุมความปลอดภัย เขตแดนทางทะเล ตัวอย่างอาคาร ฐานทัพเรือ/สถานีตำรวจน้ำ, อาคารเรดาร์ชายฝั่ง

7) อาคารศาสนาและประเพณีชายฝั่ง ใช้เป็นศูนย์รวมจิตใจของชุมชน ตัวอย่างอาคาร ศาลเจ้า/ศาลปู่ย่า, ศาลาพิธีกรรมประจำหมู่บ้าน

จากข้อมูลข้อกำหนดระยะการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี และ ประเภทอาคาร คสล. ริมทะเล โดยอ้างอิงจากตารางที่ 2.3 โดยจะมีประเภท อาคารบริการสาธารณะและนันทนาการ ใช้บริการแก่ประชาชน/นักท่องเที่ยวและเจาะจงไปที่อาคาร ศาลาพักผ่อนทะเล จะอยู่ในระยะขอบเขต 0 – 20 เมตร

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงขอบเขตระยะและข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี

บริเวณพื้นที่จากแนวชายฝั่งทะเล	ข้อกำหนดการก่อสร้าง คสล., ประเภทอาคาร
ระยะ 0-20 เมตร	เว้นแต่เป็นการก่อสร้างเพื่อประโยชน์สาธารณะในการคมนาคมทางน้ำหรือการสาธารณูปโภค อาคารราชการและสถานที่สาธารณะ คสล. ริมทะเล อาคาร ศาลาพักผ่อนทะเล

ที่มา : ผู้วิจัย

2.4 การกัดกร่อนไอทะเล (Marine Corrosion)

การกัดกร่อนจากไอทะเลเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีที่วัสดุในโครงสร้าง (โดยเฉพาะเหล็กเสริมในคอนกรีต) มีปฏิกิริยากับสารประกอบในอากาศและน้ำทะเล ซึ่งมีคลอไรด์เป็นสารที่มีอิทธิพลหลักที่ทำให้เหล็กเสริมเกิดการกัดกร่อนดังนี้ การซึมผ่านของคลอไรด์เมื่อคอนกรีตสัมผัสกับน้ำทะเลหรือไอทะเล คลอไรด์จะซึมเข้าสู่คอนกรีตและไปถึงเหล็กเสริม การกัดกร่อนของเหล็กเสริมเมื่อเหล็กเสริมสัมผัสกับคลอไรด์ในคอนกรีต มันจะทำปฏิกิริยากับเหล็กและเกิดเป็นสนิม (Fe_2O_3) ซึ่งจะขยายตัวและทำให้คอนกรีตแตกหัก การแตกหักของคอนกรีตการขยายตัวของสนิมจากการกัดกร่อนทำให้เกิดแรงดันภายในคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตแตกหรือหลุดลอก ซึ่งทำให้โครงสร้างสูญเสียความแข็งแรง

2.4.1 NACE International (National Association of Corrosion Engineers)(2020)

ได้อธิบายไว้ว่ากระบวนการที่วัสดุโดยเฉพาะคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) เสื่อมสภาพและถูกทำลายจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุสัมผัสกับสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเลหรือใกล้ทะเล ซึ่งมีองค์ประกอบที่ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการกัดกร่อนโดยเฉพาะ คลอไรด์ (Chloride) ที่มีในน้ำทะเลและไอทะเล การกัดกร่อนนี้สามารถส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อความแข็งแรงและความทนทานของโครงสร้างอาคารและสาธารณูปโภคที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว

NACE International (National Association of Corrosion Engineers)(2020) ระบุไว้ในเอกสารปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการกัดกร่อนไอทะเลมี 5 ตัวแปรหลัก คือ

1) การสัมผัสกับคลอไรด์ คลอไรด์ที่มีในน้ำทะเลและไอทะเลเป็นตัวการสำคัญในการกัดกร่อน หมายถึงการที่ร่างกายหรือสิ่งแวดล้อมได้รับการติดต่อหรือสัมผัสกับสารคลอไรด์ (Chloride) ซึ่งเป็นไอออนของธาตุคลอรีน (Cl-) โดยอาจเกิดขึ้นผ่านหลายรูปแบบ น้ำทะเลเป็นแหล่งที่มีคลอไรด์ในปริมาณสูง ซึ่งเมื่อคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับการสัมผัสกับน้ำทะเลหรืออากาศที่มีความชื้นจากทะเล (เช่น ในพื้นที่ใกล้ชายฝั่งทะเล) คลอไรด์สามารถซึมเข้าไปในคอนกรีตและทำให้เหล็กเสริมเกิดการกัดกร่อนได้ค่าปริมาณคลอไรด์ที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

< 0.05% โดยน้ำหนักของคอนกรีต → ปลอดภัยจากการกัดกร่อน

0.05 - 0.1% → เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน

> 0.2% → มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดสนิมในเหล็กเสริม

> 0.4% → กัดกร่อนเหล็กเสริมอย่างรวดเร็ว

2) ความชื้น ความชื้นสูงในบริเวณชายฝั่งทะเลและไอทะเลช่วยเร่งกระบวนการกัดกร่อน ในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความทนทานและความปลอดภัยของโครงสร้างอาคาร การควบคุมความชื้นเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการก่อสร้างและการบำรุงรักษาอาคาร คสล. เพราะความชื้นสามารถส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดปัญหาหลายประการ เช่น การกัดกร่อนของเหล็กเสริม, การแตกหักของคอนกรีต, หรือการเกิดเชื้อราภายในอาคาร

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากไอทะเล ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) และความเสี่ยงต่อการกัดกร่อน

RH < 60% → สภาวะแห้ง ความเสี่ยงต่ำมาก (การกัดกร่อนแทบไม่เกิดขึ้น)

RH 60 - 75% → ความชื้นปานกลาง ความเสี่ยงปานกลาง (เริ่มมีการสะสมคลอไรด์ในคอนกรีต)

RH 75 - 90% → ความชื้นสูง ความเสี่ยงสูง (เหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิม)

RH > 90% → ความชื้นสูงมาก ความเสี่ยงรุนแรง (การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว)

3) อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงในบางพื้นที่สามารถเพิ่มอัตราการกัดกร่อนได้ เนื่องจากความร้อนเร่งปฏิกิริยาทางเคมีในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความทนทานและการใช้งานของอาคาร โดยเฉพาะในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก อุณหภูมิสามารถมีผลกระทบต่อวัสดุก่อสร้าง เช่น คอนกรีตและเหล็กเสริม ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้งานของอาคารและโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต โดยเฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ซึ่งมักมีอุณหภูมิและความชื้นสูง ทำให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการกัดกร่อนเกิดขึ้นเร็วขึ้น ค่าช่วงอุณหภูมิที่มีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

5 - 15°C → อัตราการกัดกร่อนต่ำ

15 - 25°C → การกัดกร่อนเริ่มมีผลกระทบ

25 - 35°C → อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

มากกว่า 35°C → อัตราการกัดกร่อนสูงสุด (โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นและคลอไรด์สูง)

4) ความเร็วของลมทะเล ลมทะเลที่มีความเร็วสูงสามารถพัดพาไอทะเลไปยังโครงสร้าง และทำให้เกิดการสะสมของคลอไรด์บนผิววัสดุเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อยู่ใกล้ชายทะเลหรือในเขตที่มีลมแรงอยู่บ่อยๆ เช่น ชายฝั่งทะเล ซึ่งอาจมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อความมั่นคงของอาคาร

ความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการพัดพาไอทะเล (อนุภาคคลอไรด์) เข้าสู่โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ยิ่งลมแรง ไอทะเลก็ยิ่งสามารถแพร่กระจายและซึมเข้าสู่คอนกรีตได้เร็วขึ้น ช่วงค่าความเร็วลมทะเล และผลกระทบต่ออัตราการกัดกร่อน (ความเร็วลม (กม./ชม.)

< 5 → การแพร่กระจายของไอทะเลต่ำ → การกัดกร่อนต่ำมาก

5 - 15 → ไอทะเลเริ่มแพร่กระจายไปในระยะ 500 - 1000 ม. → เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง คสล. ใกล้ชายฝั่ง

15 - 30 → ไอทะเลแพร่กระจายในระยะ 1 - 2 กม. → การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น

30 - 50 → ไอทะเลสามารถเข้าสู่โครงสร้างภายในระยะ 2 - 5 กม. → โครงสร้างคอนกรีตในพื้นที่ได้รับผลกระทบหนัก

5) ระยะเวลาหุ้มคอนกรีต NACE International (National Association of Corrosion Engineers)(2020) ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Concrete Cover) มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์ หากระยะเวลาหุ้มบางเกินไป ก็จะทำให้เกิดการกัดกร่อนเร็วขึ้นในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) เป็นระยะที่คอนกรีตหุ้มรอบเหล็กเสริม เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากภายนอกและให้ความแข็งแรงในโครงสร้าง การกำหนดระยะเวลาหุ้มคอนกรีตมีความสำคัญมาก เพราะมีผลต่อความทนทานและอายุการใช้งานของอาคารระยะหุ้มคอนกรีตมาตรฐาน NACE (2020) สำหรับพื้นที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน

ระดับการสัมผัสคลอไรด์ สภาพแวดล้อมทั่วไป (ไม่สัมผัสไอทะเล) ระยะเวลาหุ้มคอนกรีตขั้นต่ำ 25 - 30 มม. ความเสี่ยงต่อการกัดกร่อน ต่ำ

ระดับการสัมผัสคลอไรด์ สัมผัสอากาศไอทะเล (บริเวณชายฝั่งทะเล) ระยะเวลาหุ้มคอนกรีตขั้นต่ำ 50 - 65 มม. ความเสี่ยงต่อการกัดกร่อน ปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับการสัมผัสคลอไรด์ สัมผัสละอองน้ำทะเลโดยตรง (Splash Zone) ระยะหุ้มคอนกรีตขั้นต่ำ 65 - 75 มม. ความเสี่ยงต่อการกัดกร่อน สูง

ระดับการสัมผัสคลอไรด์ แช่ในน้ำทะเล (Submerged Zone) ระยะหุ้มคอนกรีตขั้นต่ำ 75 - 100 มม. ความเสี่ยงต่อการกัดกร่อน สูงมาก

ดังนั้นแล้วจึงนำปัจจัย NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) ทั้ง 5 ตัวแปร สร้างเป็นตารางเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020)

มาตรฐาน	NACE International (2020)				
ตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเลที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)
	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง
	> 0.4% กัดกร่อนเล็กน้อยเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก

ที่มา : ผู้วิจัย

2.4.2 ACI 318 (1963)

การกัดกร่อนไอทะเลเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับ โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเลหรือริมชายฝั่งทะเล เนื่องจากการสัมผัสกับน้ำทะเลหรือไอทะเลที่มีคลอไรด์เป็นส่วนประกอบหลักสามารถทำให้โครงสร้างเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว โครงสร้างที่มีการใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกกัดกร่อนจาก คลอไรด์ ซึ่งสามารถซึมเข้าสู่คอนกรีตและทำให้เหล็กเสริมภายในเกิดการกัดกร่อน ทำให้เกิดการขยายตัวของเหล็กเสริม (corrosion-induced cracking) ส่งผลให้คอนกรีตแตกร้าวและเสื่อมสภาพ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเลในโครงสร้าง คสล. โดยมาตรฐาน ACI 318 (1963) ได้ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนในโครงสร้าง คสล. ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ได้แก่: 4 ตัวแปร

1) ความชื้นในอากาศ พื้นที่ชายฝั่งทะเลมักมีความชื้นสูง ซึ่งส่งเสริมการซึมผ่านของคลอไรด์และเร่งกระบวนการกัดกร่อนเหล็ก (คสล.) โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์สูง เช่น ใกล้ชายทะเล หรือการใช้เกลือในสภาพอากาศหนาวเย็น

สภาพความชื้นที่ต่ำ ($RH < 50\%$) จะทำให้ความเสี่ยงจากการกัดกร่อนลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของคลอไรด์ในคอนกรีตช้าลง

สภาพความชื้นที่ปานกลาง ($RH 50 - 90\%$) จะทำให้การเริ่มปฏิกิริยาของการกัดกร่อน

สภาพความชื้นที่สูง ($RH \geq 90\%$) จะทำให้การกัดกร่อนของเหล็กเสริมเริ่มมีโอกาสสูงขึ้น เนื่องจากความชื้นสูงช่วยให้คลอไรด์สามารถซึมเข้าไปในคอนกรีตและทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมได้ดีขึ้น

2) ระยะหุ้มคอนกรีต ระยะหุ้มคอนกรีตที่บางเกินไปจะทำให้คลอไรด์สามารถซึมเข้าสู่เหล็กเสริมได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนได้มากขึ้น ระยะหุ้มคอนกรีตที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริม โดยค่าระยะหุ้มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับประเภทของโครงสร้างและระดับการสัมผัสกับคลอไรด์ รวมถึงความหนาของคอนกรีตที่สามารถป้องกันเหล็กเสริมจากการกัดกร่อนและเพิ่มความทนทานต่อสภาวะต่าง ๆ ระยะหุ้มคอนกรีตพื้นฐาน (Minimum Concrete Cover):

สำหรับโครงสร้างที่ไม่สัมผัสกับคลอไรด์ ระดับความรุนแรง – ต่ำ (Exposure Class 1)

สำหรับเหล็กเสริมเส้นตรง: 1.5 นิ้ว (38 mm)

สำหรับโครงสร้างที่เริ่มสัมผัสกับคลอไรด์หรืออยู่ใกล้ทะเล (Exposure Class 2)

สำหรับเหล็กเสริมในโครงสร้างที่สัมผัสน้ำทะเลหรือมีความเสี่ยงสูง: 2 นิ้ว (50 mm)

สำหรับโครงสร้างที่สัมผัสกับคลอไรด์หรืออยู่ใกล้ทะเลปานกลาง (Exposure Class 3)

สำหรับเหล็กเสริมในโครงสร้างที่สัมผัสน้ำทะเลหรือมีความเสี่ยงสูง: 2 – 2.5 นิ้ว (50 - 63 mm)

สำหรับโครงสร้างที่ใช้ในพื้นที่ที่มีการสัมผัสกับคลอไรด์สูงมาก (Exposure Class 4)

สำหรับโครงสร้างที่ต้องป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำทะเลหรือสารเคมีอื่น ๆ: 2.5 นิ้ว ขึ้นไป (63 mm)

สำหรับพื้นที่ที่มีการสัมผัสกับคลอไรด์ (เช่น ใกล้ชายทะเล, ท่าเรือ, หรือพื้นที่ที่ใช้เกลือในการทำมาสาธาณน) คอนกรีตต้องมีการหุ้มเหล็กเสริมที่มีความหนาเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

ค่าระยะหุ้มคอนกรีตที่แนะนำจะอยู่ที่ประมาณ 2 - 2.5 นิ้ว (50 - 63 mm) ขึ้นอยู่กับประเภทและระดับการสัมผัสกับคลอไรด์

3) ระยะห่างจากทะเล ความใกล้ชิดของอาคารกับทะเลเป็นปัจจัยสำคัญ การที่อาคารอยู่ใกล้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทะเล จะทำให้ได้รับผลกระทบจากไอทะเลหรือการสัมผัสกับน้ำทะเลมากขึ้น ระดับการสัมผัสกับคลอไรด์ (chloride exposure) ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงสภาพแวดล้อมที่ใกล้ทะเลด้วย โดยการแบ่งประเภท ระดับการสัมผัสกับคลอไรด์จะเป็นตัวกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบและการเลือกวัสดุที่เหมาะสม

ระดับ 1 (ต่ำ) ระยะห่างจากทะเลมากกว่า 500 เมตร โดยทั่วไป พื้นที่เหล่านี้มักจะไม่ถูกสัมผัสโดยตรงกับ ไอทะเลหรือคลอไรด์จากน้ำทะเล

ระดับ 2 (ปานกลาง): ระยะห่างจากทะเลประมาณ 100 - 500 เมตร หรือพื้นที่ที่มีการใช้เกลือในการทำ ความสะอาดถนน

ระดับ 3 (สูง): ระยะห่างจากทะเลประมาณ 0 - 100 เมตร หรือบริเวณที่สัมผัสกับน้ำทะเลโดยตรง

ระดับ 4 (สูงมาก): อยู่ในบริเวณที่มีการแช่ในน้ำทะเลหรือลงในน้ำทะเลโดยตรง เช่น โครงสร้างใต้ทะเล

4) ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล พื้นที่ที่น้ำทะเลมีความเค็มสูง หรือมีลมทะเลที่พัดพา

คลอไรด์ไปที่อาคาร จะส่งผลให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นเร็วขึ้น ในมาตรฐาน ACI 318 การสัมผัสกับคลอไรด์จะถูก จัดประเภทในหลายระดับ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระยะห่างจากทะเล ความเร็วลม และความเข้มข้น ของคลอไรด์ในน้ำทะเล โดยค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไปมีดังนี้ น้ำทะเล: มีความเข้มข้นของ คลอไรด์ประมาณ 19,000 - 20,000 mg/L หรือ 1.9% - 2.0% โดยน้ำทะเลธรรมชาติจะมีความเข้มข้นคลอไรด์สูงที่อาจมีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต ระดับการสัมผัสกับคลอไรด์ (Exposure Class) ของ ACI 318 จะกำหนดโดยปัจจัยเช่น ระยะห่างจากทะเล, ความชื้น, และระยะหุ้มคอนกรีต แต่จะไม่ให้ค่า เฉพาะของความเข้มข้นคลอไรด์ในน้ำทะเล

ดังนั้นแล้วจึงนำปัจจัย ACI 318 (1963) ทั้ง 4 ตัวแปร สร้างเป็นตารางเพื่อช่วยในการศึกษาและจัด ระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก ACI 318 (1963)

มาตรฐาน	ACI 318 (1963)			
ตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทออก (mm.)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
	-	(RH < 50%) สภาพความชื้นที่ต่ำ	38 ไม่สัมผัสกับคลอไรด์	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	RH 50 - 90% สภาพความชื้นที่ปานกลาง	50 มีความเสี่ยงปานกลาง	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	(RH ≥ 90%) สภาพความชื้นที่สูง	50 - 63 มีความเสี่ยงสูง	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	63 มีความเสี่ยงสูงมาก	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) และ ACI 318 (1963)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเล ต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์ เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ใน พื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลม ทะเล ที่ที่ทาไอ ทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีต ที่เกาะออก (mm.)	ความเข้มข้น ของคลอไรด์ใน น้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของ โครงสร้างจาก ทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัด กร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความ รุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการ กัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อ โครงสร้าง	50 - 65 ระดับความ รุนแรง - ปาน กลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้น อย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่ม รุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความ รุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเล็กน้อย อย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อน สูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบ หนัก	75 - 100 ระดับความ รุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	(RH < 50%) สภาพความชื้นที่ต่ำ	-	-	38 ไม่สัมผัสกับคลอ ไรด์	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้น ของคลอไรด์ใน น้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	RH 50 - 90% สภาพความชื้นที่ ปานกลาง	-	-	50 มีความเสี่ยงปาน กลาง	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปาน กลาง)
	-	(RH ≥ 90%) สภาพความชื้นที่สูง	-	-	50 - 63 มีความเสี่ยงสูง	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	> 63 มีความเสี่ยงสูง มาก	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)

ที่มา : ผู้วิจัย

ดังนั้นแล้วจากตาราง แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) และ ACI 318 (1963) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ 2 มาตรฐานเป็นเกณฑ์ในการวัดผลประเมินการกัดกร่อนจากไอทะเล เนื่องจากมีการกำหนดความเสียหายที่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) และ ACI 318 (1963)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดทำไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเหล็กเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)

ที่มา : ผู้วิจัย

2.4.3 มาตรฐาน EIT 1018-21 (2021) (มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย)

กำหนดค่าตามระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อม

1) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า 75% จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ความชื้นสัมพัทธ์มักอยู่ระหว่าง 70-90% ตลอดทั้งปี

2) อุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนอุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของไทยมักอยู่ระหว่าง 28-34°C ซึ่งเป็นช่วงที่การกัดกร่อนสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

3) ระยะหุ้มคอนกรีตชั้นต่ำ ขึ้นอยู่กับ ระดับการสัมผัสกับคลอไรด์

สำหรับพื้นที่ที่สัมผัสกับคลอไรด์ปานกลาง (Class 2) เช่น ใกล้ทะเลหรือติดชายฝั่งระยะหุ้มคอนกรีตชั้นต่ำ: 50 มม. (2 นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพื้นที่ที่มีการสัมผัสกับคลอไรด์สูง (Class 3) เช่น ท่าเรือหรือโครงสร้างใต้น้ำระยะหุ้มคอนกรีตชั้นต่ำ: 63 มม. (2.5 นิ้ว)

4) ระยะห่างจากทะเล (Distance from Seawater) พื้นที่ที่สัมผัสกับคลอไรด์ในระดับสูง (Class 3) จะมีระยะห่างจากทะเลที่ประมาณ 100 เมตร หรือน้อยกว่า ซึ่งอาจจะต้องใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนมากขึ้น เช่น คอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง หรือเหล็กเสริมที่เคลือบ

ดังนั้นแล้วจึงนำ ปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก (EIT 1018-21) (2021) มีค่าวัดมาตรฐานดังตาราง

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. (EIT 1018-21) (2021)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดมาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะลุออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเหล็กเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	RH 75%	28-34°C	-	50 มีความเสี่ยงปานกลาง	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	63 มีความเสี่ยงสูงมาก	-	-

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแล้วจากตาราง แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก EIT 1018-21 ผู้วิจัยได้เลือกใช้ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ระยะหุ้มคอนกรีต และระยะห่างจากทะเล ของมาตรฐาน NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) เนื่องจากมีการกำหนดขอบเขตความเสียหายที่ชัดเจนกว่า เพื่อช่วยในสร้างตารางการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 2.10 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963) และ EIT 1018-21

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์ เบื่อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 – 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 – 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 – 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 – 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 – 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 – 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 – 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 – 90% ความเสี่ยงสูง	25 – 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 – 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 – 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเล็กน้อยเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 – 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 – 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% – 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 – 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 – 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓

ที่มา : ผู้วิจัย

2.4.4 มาตรฐาน ตาม Eurocode 2 (EN 1992-1-1)

มาตรฐาน EN 1992-1-1 ได้กล่าวถึงวิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การคืบ (creep coefficient) และการหดตัวของคอนกรีต โดยมีการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ขนาดขององค์อาคาร (member size) และความแข็งแรงของคอนกรีต แม้ว่าจะไม่ได้ระบุค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉพาะสำหรับพื้นที่ริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชายฝั่งทะเล แต่โดยทั่วไป พื้นที่เหล่านี้มักมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการคืบและการหดตัวของคอนกรีต

ใน มาตรา 2.3.3 ของ EN 1992-1-1 ได้กล่าวถึงการพิจารณาการเปลี่ยนรูปของคอนกรีตที่เกิดจากอุณหภูมิ การคืบ (creep) และการหดตัว (shrinkage) โดยระบุว่าผลกระทบเหล่านี้ควรถูกพิจารณาในการออกแบบ แม้ว่าอาจจะไม่ได้ระบุค่าอุณหภูมิเฉพาะ แต่การพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับอาคารที่ตั้งอยู่ริมชายฝั่งทะเล สภาพแวดล้อมอาจมีความชื้นสัมพัทธ์สูงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังนั้น การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตในพื้นที่ดังกล่าวควรพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นต่อวัสดุและโครงสร้าง

สำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตในสภาพแวดล้อมที่มีลมแรง เช่น บริเวณริมชายฝั่งทะเล มาตรฐาน EN 1991-1-4 หรือ Eurocode 1: การกำหนดภาระจากลม จะเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานนี้ให้แนวทางในการคำนวณแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วลมพื้นฐาน (basic wind speed) และปัจจัยการปรับปรุง (exposure factor) ที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม

1) มาตรฐาน EN 1992-1-1 (Eurocode 2) ไม่ได้ระบุค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลโดยตรง แต่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการพิจารณาความทนทานของคอนกรีตที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์ ซึ่งรวมถึงพื้นที่ที่มีน้ำทะเลหรือสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์สูง มาตรฐานนี้ได้กำหนดระดับการสัมผัสกับคลอไรด์ที่แบ่งเป็นหลายระดับ ได้แก่:

Exposure class X0: สภาพแวดล้อมที่ไม่มีการสัมผัสกับคลอไรด์

Exposure class XS1: สัมผัสกับน้ำทะเลหรือน้ำที่มีคลอไรด์ในระดับต่ำ

Exposure class XS2: สัมผัสกับน้ำทะเลหรือสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์ในระดับปานกลาง

Exposure class XS3: สัมผัสกับน้ำทะเลหรือน้ำที่มีคลอไรด์ในระดับสูง

ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 19,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ลิตร) หรือ 1.9% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นตัวเลขทั่วไปในการพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างในพื้นที่ชายฝั่งทะเล

2) Eurocode 2 (EN 1992-1-1) กำหนดระยะหุ้มคอนกรีต (Concrete Cover) ตาม Exposure Classes (XS1, XS2, XS3) ซึ่งแบ่งตามระดับความรุนแรงของการสัมผัสกับคลอไรด์จากน้ำทะเล ระยะหุ้มคอนกรีต (Concrete Cover): Exposure Class XC1: 25 มม.

Exposure Class XC2: 30 มม.

Exposure Class XC3: 35 มม.

Exposure Class XC4: 40 มม. หรือมากกว่า

สำหรับ สถานที่ที่สัมผัสกับคลอไรด์จากน้ำทะเล หรือที่มีความเสี่ยงสูง เช่น ใกล้ทะเลหรือท่าเรือ, ระยะหุ้มคอนกรีตที่แนะนำจะอยู่ที่ 40 มม. หรือมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ระยะห่างจากทะเลในมาตรฐาน EN 1992-1-1, จะไม่มีการกำหนดระยะห่างจากทะเลโดยตรง แต่จะมีการพิจารณาจาก ระดับการสัมผัสกับคลอไรด์ ที่ระบุว่าโครงสร้างจะต้องถูกออกแบบให้มี ระยะหุ้มคอนกรีตที่เพียงพอ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากคลอไรด์ สถานที่ที่อยู่ใกล้ทะเล หรือที่มีการสัมผัสกับน้ำทะเลจะมีการพิจารณาการใช้คอนกรีตที่ทนทานต่อคลอไรด์สูง และการเพิ่มความหนาของ ระยะหุ้มคอนกรีต ตามความเหมาะสม

ดังนั้นแล้วจึงนำ ปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก EN 1992-1-1 (2004) มีค่าวัดมาตรฐานดังตาราง

ตารางที่ 2.11 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. (Eurocode 2, Table 4.4N และ Table NA.4.4) (2004)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์ เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	25	1.9%	-
	-	-	-	-	30	-	-
	-	-	-	-	35	-	-
	-	-	-	-	40	-	-

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแล้วจากตาราง แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก EN 1992-1-1 (2004) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล ระยะหุ้มคอนกรีต และระยะห่างจากทะเล ของมาตรฐาน NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) เนื่องจากมีการกำหนด ขอบเขตความเสียหายที่ชัดเจนกว่า เพื่อช่วยในสร้างตารางการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตาราง ดังนี้

ตารางที่ 2.12 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963), EIT 1018-21 และ EN 1992-1-1 (2004)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเหล็กเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	✓	-	-	✓	-	-

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.5.1 งานวิจัย ต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการกัดกร่อนไอทะเล

Neville (1997) เป็นที่ยอมรับกันว่าคอนกรีตที่ดีต้องมีความทึบแน่นและมีระยะหุ้มเหล็กเสริมที่เหมาะสม จึงจะสามารถป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริมภายในคอนกรีตที่ใช้งานได้ความทึบแน่นของคอนกรีต (Concrete Density): คอนกรีตที่มีความทึบแน่นสูงจะช่วยลดการซึมผ่านของน้ำหรือสารเคมีต่างๆ ที่อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนในเหล็กเสริม เช่น คลอไรด์จากน้ำทะเลหรือจากสารเคมีในสิ่งแวดล้อม คอนกรีตที่ทึบแน่นจะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำหรือสารเหล่านี้เข้าถึงเหล็กเสริมได้ระยะหุ้มเหล็กเสริมที่เหมาะสม (Adequate Concrete Cover): การมีระยะหุ้มคอนกรีตที่เพียงพอเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันเหล็กเสริมจากการกัดกร่อน โดยปกติแล้ว ระยะหุ้มคอนกรีตจะถูกกำหนดตามสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง (เช่น บริเวณริมทะเลหรือในที่ที่มีการสัมผัสกับคลอไรด์) และต้องมีความหนาพอสมควรเพื่อป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์ ซึ่งอาจทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิม

สภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์ (Chloride Exposure):

ในกรณีที่โครงสร้างคอนกรีตจะสัมผัสกับคลอไรด์ เช่น บริเวณริมทะเลหรือในพื้นที่ที่มีสารเคมีจำพวกคลอไรด์สูง (น้ำทะเล ไอทะเล) ระยะหุ้มคอนกรีตต้องเพิ่มขึ้น เพื่อป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์ไปถึงเหล็กเสริมระยะหุ้มคอนกรีตอาจอยู่ที่ 30-50 มม. ขึ้นอยู่กับระดับการสัมผัสกับคลอไรด์และการออกแบบของโครงสร้าง

ดังนั้นแล้วจึงนำ ปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก Neville(1997) มีค่าวัดมาตรฐานดังตาราง

ตารางที่ 2.13 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. Neville (1997)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 – 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 – 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 – 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 – 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 – 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 – 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 – 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 – 90% ความเสี่ยงสูง	25 – 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 – 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 – 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 – 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 – 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% – 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 – 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 – 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	✓	✓	-
Neville (1997)	-	-	-	-	30 – 50	-	-

ที่มา : ผู้วิจัย

ดังนั้นแล้วจากราย แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก Neville (1997) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ระยะหุ้มคอนกรีต ของมาตรฐาน NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) เนื่องจากมีการกำหนดขอบเขตความเสียหายที่ชัดเจนกว่า เพื่อช่วยในสร้างตารางการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963), EIT 1018-21, EN 1992-24(2004) และ Neville(1997)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 – 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 – 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 – 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 – 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 – 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 – 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 – 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 – 90% ความเสี่ยงสูง	25 – 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 – 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 – 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเหล็กเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 – 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 – 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% – 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 – 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 – 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	✓	✓	-
Neville (1997)	-	-	-	-	✓	-	-

ที่มา : ผู้วิจัย

Bakker (1988) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และประเภทของปูนซีเมนต์ จะเป็นตัวบอกคุณภาพด้านความซึมผ่านได้ต่ำของคอนกรีต คุณภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับทำให้คอนกรีตแน่นและเงื่อนไขการบ่มความซึมผ่านได้สำหรับคลอไรด์ของคอนกรีตผสมสารปอซโซลาน ที่บ่มอย่างดีจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมสารปอซโซลานที่มีส่วนผสมเหมือนกัน และพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต ซึ่งมี C_3A ต่ำให้ค่าค่าการต้านทานการแพร่ของคลอไรด์ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ระยะหุ้มคอนกรีต (Concrete Cover)

ระยะหุ้มคอนกรีตที่เหมาะสมมีความสำคัญในการป้องกันเหล็กเสริมจากคลอไรด์ โดยระยะหุ้มคอนกรีตที่หนาจะช่วยป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์และสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อเหล็กเสริมได้ดีขึ้นระยะหุ้มคอนกรีต ควรอยู่ที่ประมาณ 30-50 มม. สำหรับพื้นที่ที่มีการสัมผัสกับคลอไรด์ เช่น บริเวณริมทะเล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแล้วจึงนำ ปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก Bakker (1988) มีค่าวัดมาตรฐานดัง ตาราง

ตารางที่ 2.15 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. Bakker (1988)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 – 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 – 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 – 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 – 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 – 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 – 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 – 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 – 90% ความเสี่ยงสูง	25 – 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 – 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 – 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 – 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 – 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% – 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 – 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 – 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	✓	✓	-
Neville (1997)	-	-	-	-	✓	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	30 – 50	-	-

ที่มา : ผู้วิจัย

ดังนั้นแล้วจากตาราง แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก Bakker (1988) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ระยะหุ้มคอนกรีต ของมาตรฐาน NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020) เนื่องจากมีการกำหนดขอบเขตความเสียหายที่ชัดเจนกว่า เพื่อช่วยในสร้างตารางการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.16 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963), EIT 1018-21, EN 1992- (2004), Neville (1997) และ Bakker (1988)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเล ต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์ เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ใน พื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลม ทะเล ที่พัดพาไอ ทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีต ที่เกาะทะลอก (mm.)	ความเข้มข้น ของคลอไรด์ใน น้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของ โครงสร้างจาก ทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัด กร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 – 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 – 30 ระดับความ รุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 – 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการ กัดกร่อน	RH 60 – 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 – 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 – 15 เริ่มมีผลต่อ โครงสร้าง	50 – 65 ระดับความ รุนแรง - ปาน กลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 – 90% ความเสี่ยงสูง	25 – 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้น อย่างชัดเจน	15 – 30 การกัดกร่อนเริ่ม รุนแรงขึ้น	65 – 75 ระดับความ รุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเหล็กเสริม อย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อน สูงสุด	30 – 50 ได้รับผลกระทบ หนัก	75 – 100 ระดับความ รุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% – 2.0% ค่าความเข้มข้น ของคลอไรด์ใน น้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 – 500 ระดับ 2 (ปาน กลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 – 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	✓	✓	-
Neville (1997)	-	-	-	-	✓	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	✓	-	-

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ภายในประเทศ

Wongjeeraphat (2002) เถ้าลอยสามารถช่วยลดการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดี และการเพิ่มปริมาณของเถ้าลอยช่วยลดการซึมผ่านได้ โดยผลกระทบจากปริมาณการแทนด้วยเถ้าลอยระหว่างลอยละ 15-35 โดยน้ำหนักมีความสำคัญต่อการลดการซึมผ่านได้มากกว่า ผลอัตราส่วน w/c

ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (Chloride Concentration in Seawater):

ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลเป็นปัจจัยสำคัญในการคำนวณความเสี่ยงของการกัดกร่อนในคอนกรีต โดยทั่วไปแล้ว ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลจะอยู่ที่ประมาณ 19,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นในสภาพแวดล้อมอื่นๆ และมีผลกระทบต่ออัตราการกัดกร่อนของคอนกรีตอย่างมาก

ดังนั้นแล้วจึงนำ ปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก Wongjeeraphat (2002) มีค่าวัดมาตรฐานดังตาราง

ตารางที่ 2.17 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. Wongjeeraphat (2002)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเพาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนหนักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. อนุญาตให้นำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.17 (ต่อ)

EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	√	√	-
Neville (1997)	-	-	-	-	√	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	√	-	-
Wongjeeraphat (2002)	-	-	-	-	-	1.9%	-

ที่มา : ผู้วิจัย

ดังนั้นแล้วจากตาราง แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก Wongjeeraphat (2002) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล ของมาตรฐาน ACI 318 (1963) เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานความเข้มข้นคลอไรด์ในน้ำทะเล เพื่อช่วยในสร้างตารางการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 2.18 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963), EIT 1018-21, EN 1992-1-1 (2004), Neville (1997), Bakker (1988) และ Wongjeeraphat (2002)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เมื่อผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเพาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนหนักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	√	-	-	√	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	√	-	-	√	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	√	-	-	√	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	√	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	√	√	-	√	-	√
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	√	√	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.18 (ต่อ)

Neville (1997)	-	-	-	-	√	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	√	-	-
Wongjeeraphat (2002)	-	-	-	-	-	√	-

ที่มา : ผู้วิจัย

ดร.ภัทรา ว่องเจริญวัฒนา (2013) เกี่ยวกับการสัมผัสกับคลอไรด์ในคอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำทะเลและอากาศทะเลในพื้นที่ชายฝั่งนั้น ได้มีการศึกษาและวัดค่าตัวเลขที่สำคัญดังนี้ การสัมผัสกับคลอไรด์ในน้ำทะเลและอากาศทะเลจะเร่งการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต โดยการศึกษาพบว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีการสัมผัสกับคลอไรด์สูงจะมีความเสี่ยงในการเกิดการกัดกร่อนสูง ความชื้นในคอนกรีตส่งผลให้การซึมผ่านของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตได้ง่ายขึ้น โดยค่าความชื้นที่สูงกว่าจะส่งผลให้การซึมผ่านคลอไรด์มีความเร็วมากขึ้น โดยค่าอัตราการซึมผ่านของคลอไรด์ในคอนกรีตที่มีความชื้นสูงอาจมีค่า 10-20% ของน้ำหนักคอนกรีต อุณหภูมิสูงเร่งการซึมผ่านของคลอไรด์และน้ำในคอนกรีต โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น เช่น อุณหภูมิประมาณ 30-40°C จะเพิ่มอัตราการซึมผ่านของคลอไรด์ได้มากกว่าพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ลมทะเลมีผลกระทบต่อกระจายของไอทะเลและคลอไรด์ในอากาศ ซึ่งส่งผลต่อการกัดกร่อนในคอนกรีต การศึกษาพบว่าความเร็วลมทะเลที่สูงสามารถทำให้การกระจายของคลอไรด์ในอากาศมากขึ้น โดยอัตราความเร็วลมที่มีผลกระทบประมาณ 5-10 km./hr. การเพิ่มระยะหุ้มคอนกรีตช่วยลดความเสี่ยงจากการซึมผ่านของคลอไรด์ การศึกษานี้แนะนำให้ระยะหุ้มคอนกรีตไม่ต่ำกว่า 40 มม. ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากคลอไรด์สูง พื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเลจะมีการสัมผัสกับคลอไรด์จากน้ำทะเลและไอทะเลมากกว่า ซึ่งระยะห่างที่แนะนำจากทะเลในการออกแบบคอนกรีตอยู่ที่ประมาณ 500 เมตร เพื่อลดการสัมผัสกับคลอไรด์ในระดับสูง การวัดความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลเป็นตัวบ่งชี้ความเสี่ยงในการเกิดการกัดกร่อนในคอนกรีต โดยความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่พบมากที่สุดอยู่ในช่วง 3,000 - 10,000 ppm หรือ 3 - 10 g/L สำหรับการกัดกร่อนที่อาจเกิดขึ้น

ดังนั้นแล้วจึงนำ ปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก ดร.ภัทรา ว่องเจริญวัฒนา (2013) มีค่าวัดมาตรฐานดังตาราง

ตารางที่ 2.19 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. ดร.ภัทรา ว่องเจริญ
วัฒนา (2013)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์ เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ใน พื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลม ทะเล ที่พัดพาไอ ทะเล (km/hr)	ระยะหุ้ม คอนกรีตที่ เกาะเกาะออก (mm.)	ความเข้มข้น ของคลอไรด์ใน น้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของ โครงสร้างจาก ทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	✓	✓	-
Neville (1997)	-	-	-	-	✓	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	✓	-	-
Wongjeeraphat (2002)	-	-	-	-	-	✓	-
ดร.ภัทรา ว่องเจริญวัฒนา (2013)	10% - 20%	-	-	30 - 40°C	5 - 10	3 - 10 %	500

ที่มา : ผู้วิจัย

ดังนั้นแล้วจากตาราง แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก ดร.ภัทรา ว่องเจริญวัฒนา (2013) ผู้วิจัยได้เลือกใช้การสัมผัสกับคลอไรด์ ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล อุณหภูมิ ความเร็วของลมทะเลที่พัดพาไอทะเล ระยะหุ้มคอนกรีต และระยะห่างจากทะเล ของมาตรฐาน NACE International (2020) และ ACI 318 (1963) เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานความเข้มข้นคลอไรด์ในน้ำทะเล เพื่อช่วยในสร้างตารางการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.20 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963), EIT 1018-21, EN 1992-1-1 (2004), Neville (1997), Bakker (1988), Wongjeeraphat (2002) และ ดร.ภัทธา ว่องเจริญวัฒนา (2013)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	✓	✓	-
Neville (1997)	-	-	-	-	✓	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	✓	-	-
Wongjeeraphat (2002)	-	-	-	-	-	✓	-
ดร.ภัทธา ว่องเจริญวัฒนา (2013)	✓	-	-	✓	✓	✓	✓

ที่มา : ผู้วิจัย

การศึกษาของกรมทางหลวง (2015) การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความทนทานของคอนกรีตในสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเลที่มีอิทธิพลจากคลอไรด์ในน้ำทะเล เช่น พื้นที่ริมชายฝั่งทะเลตะวันออกและตะวันตก โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับการกัดกร่อนของคอนกรีต การสัมผัสกับคลอไรด์จากน้ำทะเล: การศึกษาระบุว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลจะมีความเสี่ยงสูงจากการสัมผัสกับคลอไรด์ในน้ำทะเล ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนในเหล็กเสริมของคอนกรีตได้ง่ายขึ้น ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่มีผลกระทบต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกักกรองในคอนกรีตถูกประมาณไว้ที่ 3,000 - 10,000 ppm (parts per million) หรือ 3 - 10 g/L โดยคลอไรด์จะมีความสามารถในการเจาะทะลุคอนกรีตที่ไม่ทนทาน การออกแบบระยะหุ้มคอนกรีต การศึกษานี้แนะนำให้เพิ่มระยะหุ้มคอนกรีตที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการกักกรองจากคลอไรด์ ค่าระยะหุ้มคอนกรีตที่แนะนำอยู่ระหว่าง 40 - 50 มม. ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความเสี่ยงจากการสัมผัสกับคลอไรด์ โดยคอนกรีตที่มีระยะหุ้มเหล็กเสริมมากขึ้นจะสามารถป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์และช่วยยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างได้ดีกว่า

ดังนั้นแล้วจึงนำ ปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกักกรองไอทะเล จาก การศึกษาของกรมทางหลวง (2015) มีค่าวัดมาตรฐานดังตาราง

ตารางที่ 2.21 แสดงค่าตัวเลขปัจจัยที่ผลต่อการกักกรองไอทะเล อาคารโครงสร้าง คสล. การศึกษาของกรมทางหลวง (2015)

มาตรฐาน การกักกรองไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในทันทีที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกักกรองต่ำ	< 5 กักกรองต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกักกรองเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกักกรองเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเหล็กเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกักกรองสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	✓	-	-	✓	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	✓	-	-	✓	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	✓	-	-	✓	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	✓	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)
EIT 1018-21	-	✓	✓	-	✓	-	✓
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	✓	✓	-
Neville (1997)	-	-	-	-	✓	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	✓	-	-
Wongjeeraphat (2002)	-	-	-	-	-	✓	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.21 (ต่อ)

ดร.ภัทธา ว่องเจริญวัฒนา (2013)	√	-	-	√	√	√	√
การศึกษาของกรมทางหลวง (2015)	-	-	-	-	40 – 50 mm.	3% – 10%	-

ที่มา : ผู้วิจัย

ดังนั้นแล้วจากตาราง แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก การศึกษาของกรมทางหลวง (2015) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ ระยะเวลาหุ้มคอนกรีต และความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล ของมาตรฐาน NACE International (2020) และ ACI 318 (1963) เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานความเข้มข้นคลอไรด์ในน้ำทะเล เพื่อช่วยในสร้างตารางการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 2.22 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963), EIT 1018-21, EN 1992-1-1 (2004), Neville (1997), Bakker (1988), Wongjeeraphat (2002), ดร.ภัทธา ว่องเจริญวัฒนา (2013) และ การศึกษาของกรมทางหลวง (2015)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์ เบื่อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเพาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 – 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	-	-
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 – 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 – 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	-
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 – 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 – 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	-
	> 0.4% กัดกร่อนเหล็กเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 – 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 – 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	-
ACI 318 (1963)	-	√	-	-	√	1.9% – 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	-	√	-	-	√	-	100 – 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	-	√	-	-	√	-	0 – 100 ระดับ 3 (สูง)
	-	-	-	-	√	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.22 (ต่อ)

EIT 1018-21	-	√	√	-	√	-	√
EN 1992-1-1 (2004)	-	-	-	-	√	√	-
Neville (1997)	-	-	-	-	√	-	-
Bakker (1988)	-	-	-	-	√	-	-
Wongjeeraphat (2002)	-	-	-	-	-	√	-
ดร.ภัทธา ว่องเจียรณวิวัฒนา (2013)	√	-	-	√	√	√	√
การศึกษาของกรมทางหลวง (2015)	-	-	-	-	√	√	-

ที่มา : ผู้วิจัย

จากข้อมูลข้อกำหนดของระยะการก่อสร้างอาคาร ประเภทอาคาร ศาลาพักริมทะเล และตัวแปรทั้ง 7 ตัวแปรคือ การสัมผัสคลอไรด์ ความเข้มข้นของคลอไรด์ในทะเล ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลมทะเล ระยะหุ้มคอนกรีต และระยะห่างจากทะเล โดยตัวแปรเหล่านี้จะเป็นตัวชี้วัดค่าการกัดกร่อนจากไอทะเล เพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบวิจัย

ตารางที่ 2.23 แสดงปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนไอทะเล จาก NACE International (National Association of Corrosion Engineers) (2020), ACI 318 (1963)

มาตรฐาน การกัดกร่อนไอทะเลต่ออาคารโครงสร้าง คสล.	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะห่ออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
NACE International (2020) & ACI 318 (1963)	< 0.05% ปลอดภัยจากการกัดกร่อน	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกัดกร่อนต่ำ	< 5 กัดกร่อนต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
	0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
	> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกัดกร่อนเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
	> 0.4% กัดกร่อนหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกัดกร่อนสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กรอบแนวความคิด

การกักกรองไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล.

กรณีศึกษา บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี

ตัวแปรต้น

บริเวณพื้นที่จากแนวชายฝั่งทะเล	ข้อกำหนดการก่อสร้าง คสล. , ประเภทอาคาร
ระยะ 0-20 เมตร	ก่อสร้างเพื่อประโยชน์สาธารณะ ประเภทอาคารราชการและสถานที่สาธารณะ คสล. ริมทะเล อาคาร ศาลาพักผ่อนริมทะเล

ตัวแปรควบคุม

การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเลที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
< 0.05% ปลอดภัยจากการกักกรอง	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกักกรองต่ำ	< 5 กักกรองต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)
0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกักกรอง	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)
> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกักกรองเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกักกรองเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)
> 0.4% กักกรองหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกักกรองสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)

ข้อกำหนดการก่อสร้างอาคาร คสล. ระยะ 0 - 20 เมตร	อาคารสาธารณะ คสล. ริมทะเล อาคาร ศาลาพักผ่อนริมทะเล						
	การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส	ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด (%)	อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)	ความเร็วของลมทะเลที่พัดพาไอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก (mm.)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล (mg/L)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
< 0.05% ปลอดภัยจากการกักกรอง	RH < 60% ความเสี่ยงต่ำมาก	5 - 15°C การกักกรองต่ำ	< 5 กักกรองต่ำมาก	25 - 30 ระดับความรุนแรง - ต่ำ	1.9% - 2.0% ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเลที่ทั่วไป	< 500 ระดับ 1 (ต่ำ)	
0.05 - 0.1% เริ่มมีโอกาสเกิดการกักกรอง	RH 60 - 75% ความเสี่ยงปานกลาง	15 - 25°C เริ่มมีผลกระทบ	5 - 15 เริ่มมีผลต่อโครงสร้าง	50 - 65 ระดับความรุนแรง - ปานกลาง	-	100 - 500 ระดับ 2 (ปานกลาง)	
> 0.2% มีความเสี่ยงสูง	RH 75 - 90% ความเสี่ยงสูง	25 - 35°C การกักกรองเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	15 - 30 การกักกรองเริ่มรุนแรงขึ้น	65 - 75 ระดับความรุนแรง - สูง	-	0 - 100 ระดับ 3 (สูง)	
> 0.4% กักกรองหลักเสริมอย่างรวดเร็ว	RH > 90% ความเสี่ยงรุนแรง	มากกว่า 35°C อัตราการกักกรองสูงสุด	30 - 50 ได้รับผลกระทบหนัก	75 - 100 ระดับความรุนแรง - สูงมาก	-	> 0 ระดับ 4 (สูงมาก)	

ภาพที่ 2.2 แสดงกรอบแนวความคิด

ที่มา: ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิจัย เครื่องมือวิจัย และระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย เครื่องมือวิจัย และระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งที่จะเก็บข้อมูลอาคาร คสล. ศาลาพักผ่อนทะเล ที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดชลบุรี โดยขอบเขตบริเวณสำหรับการสำรวจ กำหนดไว้ที่ บางแสน ศรีราชา และพัทยา และนำผลที่ได้จากการสำรวจเบื้องต้นเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล โดยศึกษาผลกระทบจากไอทะเลที่ส่งผลในคอนกรีต โดยได้มีการวางแผนการดำเนินการเป็นขั้นตอนต่างๆคือ การสำรวจพื้นที่ การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ผลสำรวจ

3.1.1 การศึกษาวิจัยเอกสาร (Documentary Research)

การศึกษาวิจัยเอกสารเป็นการศึกษาข้อมูลเอกสารต่างๆ ได้แก่ เอกสารมาตรฐานของต่างประเทศ มาตรฐานของประเทศไทย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การกัดกร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล.

3.1.2 การศึกษาเชิงสำรวจ (Survey Research)

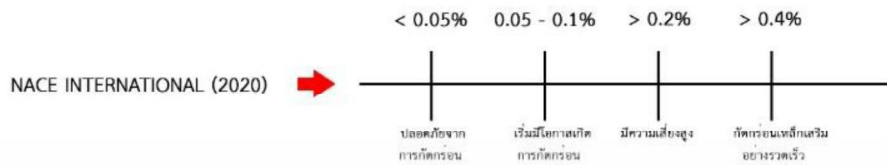
เป็นการศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลจากอาคารโครงสร้าง คสล. ริมหาดฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี โดยจะทำการควบคุมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. เป็นอาคาร ศาลาพักผ่อนทะเล ในระยะข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารอยู่ที่ระยะ 0 – 20 เมตร โดยอ้างอิงจากเกณฑ์มาตรฐานของ NACE (2020) และ ACI 318 (1963) ทั้ง 7 ตัวแปร

3.2 การประเมินการกัดกร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. บริเวณชายฝั่งทะเล

จากกรอบแนวความคิดภาพที่ 2.2 จะค้นพบว่าตัวแปรสำคัญทั้งหมดในการกัดกร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. จะมีทั้งหมด 7 ตัวแปร เนื่องจากวิจัยส่วนใหญ่จะอ้างอิงถึง มาตรฐานของ NACE International (2020) และ ACI 318 (1963) ดังนั้นแล้วจึงนำตัวแปรทั้ง 7 ตัวมาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล

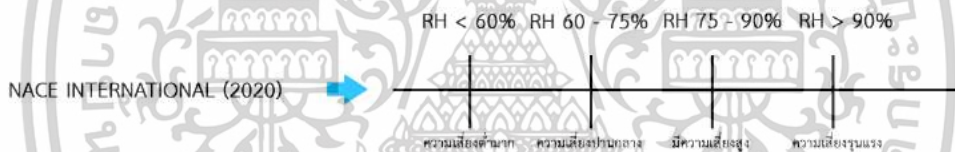
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส จากมาตรฐาน NACE International (2020) มาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นดังภาพนี้



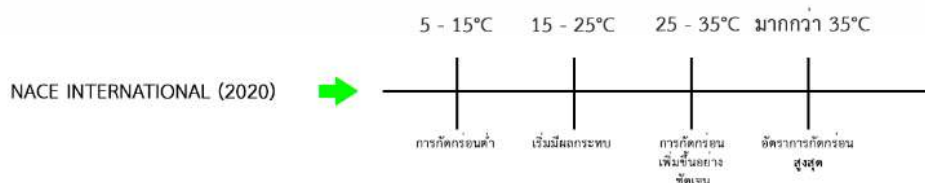
ภาพที่ 3.1 แสดงดัชนีวัดการสัมผัสกับคลอไรด์เนื้อที่ผิวสัมผัส
ที่มา: NACE International (2020) กราฟฟิกโดยผู้วิจัย

3.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด จากมาตรฐาน NACE International (2020) มาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นดังภาพนี้



ภาพที่ 3.2 แสดงดัชนีวัดความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด
ที่มา: NACE International (2020) กราฟฟิกโดยผู้วิจัย

3.2.3 อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด จากมาตรฐาน NACE International (2020) มาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นดังภาพนี้



ภาพที่ 3.3 แสดงดัชนีวัดอุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด
ที่มา: NACE International (2020) กราฟฟิกโดยผู้วิจัย

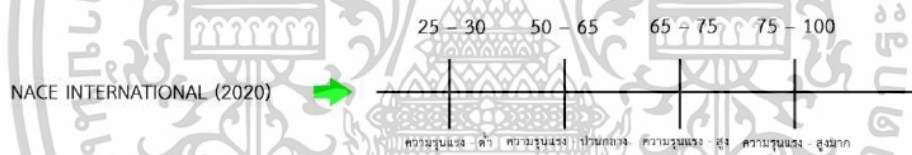
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล จากมาตรฐาน NACE International (2020) มาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นดังภาพนี้



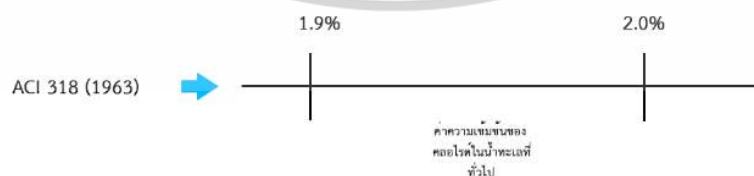
ภาพที่ 3.4 แสดงดัชนีวัดความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาไอทะเล
ที่มา: NACE International (2020) กราฟฟิกโดยผู้วิจัย

3.2.5 ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก จากมาตรฐาน NACE International (2020) มาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นดังภาพนี้



ภาพที่ 3.5 แสดงดัชนีวัดระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก
ที่มา: NACE International (2020) กราฟฟิกโดยผู้วิจัย

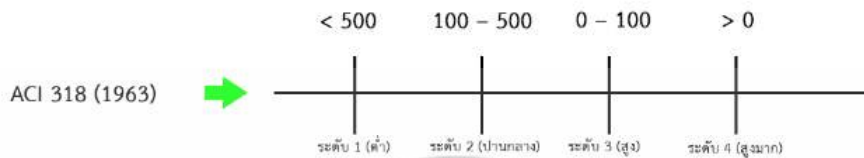
3.2.6 ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล จากมาตรฐาน ACI 318 (1963) มาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นดังภาพนี้



ภาพที่ 3.6 แสดงดัชนีวัดความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล
ที่มา: ACI 318 (1963) กราฟฟิกโดยผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล จากมาตรฐาน ACI 318 (1963) มาสร้างเป็นสเกลวัดเพื่อช่วยในการศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้เป็นดังภาพนี้



ภาพที่ 3.7 แสดงดัชนีวัดระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล

ที่มา: ACI 318 (1963) กราฟฟิกโดยผู้วิจัย

ดังนั้นดัชนีวัดการกัดกร่อนไอทะเลที่ใช้ประเมินจะมีอยู่ทั้งหมด 7 ตัวแปร แต่โดยข้อจำกัดด้านเวลา และงบประมาณผู้วิจัยจำเป็นต้องตัดตัวแปรบางตัว เพื่อให้สามารถศึกษาและจัดระเบียบงานวิจัยนี้คือ

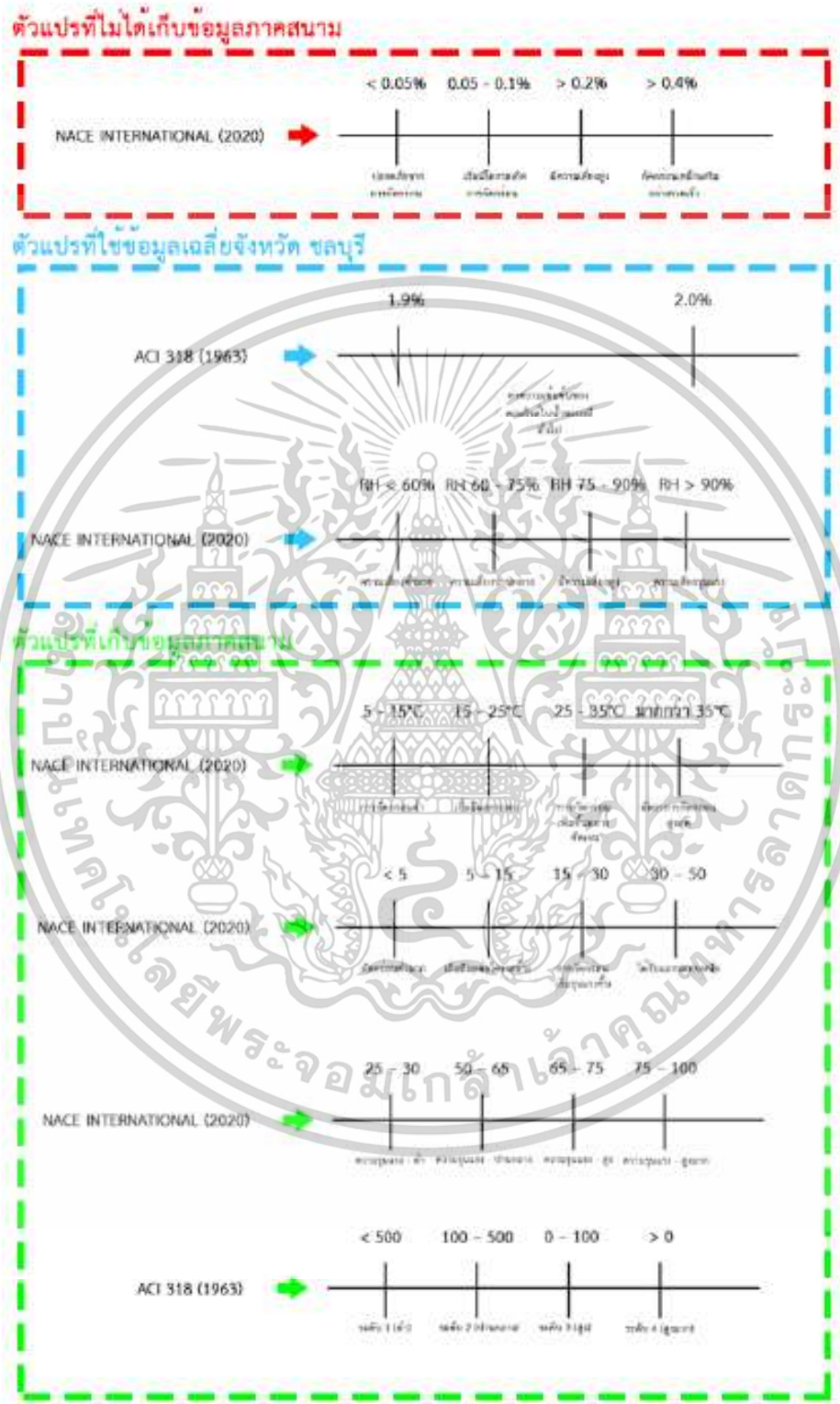
การสัมผัสคลอไรด์ การเก็บข้อมูลต้องทำการเจาะตัวอย่างคอนกรีตเพื่อตรวจสอบปริมาณคลอไรด์สะสมในเนื้อคอนกรีตโดยตรง การประเมินการสัมผัสคลอไรด์ไม่ได้ถูกรวมในขอบเขตการศึกษานี้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและงบประมาณ

ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล การเก็บข้อมูลความเข้มข้นคลอไรด์ในน้ำทะเลไม่ได้รวมอยู่ในขอบเขตการศึกษานี้ โดยอาศัยข้อมูลเฉลี่ยจากแหล่งข้อมูลภูมิภาค (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง) ซึ่งระบุว่าอยู่ในช่วง 19,000–21,000 mg/L อยู่ในช่วงมาตรฐานและไม่มีการแปรปรวนสูง จึงใช้ค่ามาตรฐานเป็นข้อมูลทุติยภูมิแทนการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยตรง

ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ได้ถูกเก็บเป็นข้อมูลภาคสนามเฉพาะจุดในการศึกษานี้ เนื่องจากสามารถใช้อ้างอิงจากข้อมูลเฉลี่ยของสถานีอุตุนิยมวิทยาลาดพร้าว ซึ่งรายงานค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีอยู่ในช่วง 70–85% สอดคล้องกับสภาพทั่วไปของภูมิภาคชายฝั่งทะเล โดยข้อมูลดังกล่าวเพียงพอต่อการประเมินภาพรวมของความเสี่ยงด้านความชื้นต่อโครงสร้างในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ผู้วิจัยจะมุ่งเน้นไปที่ตัวแปรสำหรับงานวิจัยนี้คือ 4 ตัวแปรคือตัวแปรจากภาคสนามคือ อุณหภูมิผิว ในพื้นที่ที่ตรวจวัด ความเร็วลมทะเล ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก และระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล



ภาพที่ 3.8 แสดงตัวแปรสำหรับงานวิจัย

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการทดลองจะใช้เครื่องมือในการวัดสภาพแวดล้อมดังตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดตัวแปร

อุปกรณ์	ยี่ห้อ	ช่วงการวัด	การวัดผล	การใช้งาน	ค่าความละเอียด
	FLIR	< 5 - > 35	เก็บ 3 ครั้ง แล้วใช้ ค่าเฉลี่ย	วัดอุณหภูมิ ผิวคอนกรีต	0.1 °C
	KIMO	< 5 - > 50	เก็บ 3 ครั้ง แล้วใช้ ค่าเฉลี่ย	วัดความเร็ว ลมทะเล	0.1 m/s
	META	25 - 100	เก็บ 1 ครั้ง	วัดระยะจาก หน้าคอนกรีต ถึงเหล็กหุ้ม ภายใน	0.1 mm.
	Google Map	> 500 - < 0	วัดผลเทียบ ระยะ	วัดระยะห่าง จากทะเล	1 m.

ที่มา : ผู้วิจัย

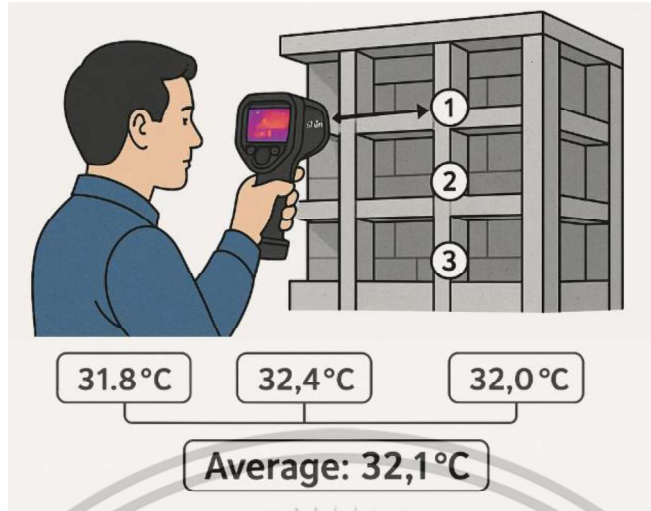
3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ทบทวนเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่กำหนด คือ การกักกรองไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล.

3.3.2 ทำการสำรวจอาคารสาธารณะ ตามตัวแปรที่กำหนดเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลไว้เบื้องต้น คืออาคารสาธารณะ ประเภทอาคาร ศาลาชมวิว ริมหาด โดยทำการสำรวจกำหนดช่วงเวลาที่ให้อยู่ในช่วงเวลา 10.00 – 15.00 น. ในการเก็บข้อมูล

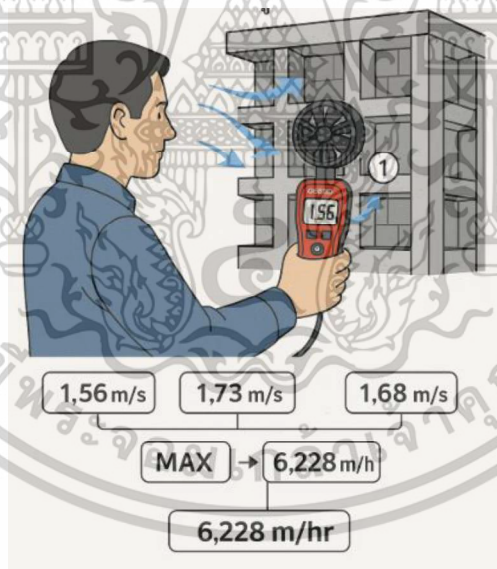
3.3.2.1 ใช้เครื่อง FLIR ในการสำรวจเก็บอุณหภูมิ พื้นผิวอาคารโครงสร้าง คสล. ในการตรวจสอบข้อมูล โดยทำการตรวจ 3 ครั้ง และใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัววัดผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 แสดงภาพตัวอย่างการเก็บข้อมูล
ที่มา : ผู้วิจัย

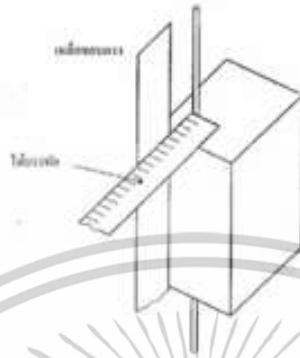
3.3.2.2 ใช้เครื่อง KIMO ในการสำรวจเก็บความเร็วลมในบริเวณอาคารโครงสร้าง คสล. โดยการวัดจากบริเวณจุดพื้นผิวอุณหภูมิ และเก็บค่าเฉลี่ย MAX ของตัวเครื่อง 3 ครั้ง และแปลงค่าจาก m/s เป็น m/hr. มาเฉลี่ยเพื่อเก็บข้อมูลวัดผล



ภาพที่ 3.10 แสดงภาพตัวอย่างการเก็บข้อมูล
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 ให้นำเหล็กฉากแนบผิวคอนกรีต ในตำแหน่งที่ต้องการวัดทิศทางให้ตั้งฉากกับแนวไม้บรรทัดเหล็กเพื่อวัดระยะของเหล็กเสริม และเก็บค่าความเสียหายคอนกรีตที่เกิดขึ้นว่าระยะเสียหายถึงเนื้อเหล็กภายในมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 3.11 แสดงภาพตัวอย่างการเก็บข้อมูล
ที่มา : ผู้วิจัย

3.3.2.4 ใช้เครื่องมือ Google Map ในการสำรวจระยะห่างจากทะเลถึงอาคารโครงสร้าง คสล. ศาลาชมวิวทะเล โดยกำหนดให้ระยะไม่เกิน 0 - 20 เมตรจากริมชายฝั่งทะเล

3.3.2.5 จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลระยะของแต่ละพื้นที่เพื่อเก็บสถิติ เป็นค่าเฉลี่ย

3.3.2.6 สรุปผลจากเก็บรวบรวมข้อมูล

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล

ควบคุมตัวแปร	อุณหภูมิผิวที่ตรวจวัด	ความเร็วของลมทะเล ที่พัดพาโอทะเล (km/hr)	ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)	ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)
	ทดสอบ 1	ทดสอบ 1	x	x
	ทดสอบ 2	ทดสอบ 2		
	ทดสอบ 3	ทดสอบ 3		
สรุปผล	ค่าเฉลี่ย 1,2,3	ค่าเฉลี่ย 1,2,3	x	x

ที่มา : ผู้วิจัย

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลจากการสำรวจที่เกี่ยวข้อง 6 ประเด็นคือ อุณหภูมิผิวที่ตรวจวัด ความเร็วลมทะเล ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก และระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล สรุปประเด็น และความเชื่อมโยงเพื่อศึกษารวบรวมการกัดกร่อนโอทะเลกับโครงสร้าง อาคาร คสล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสร้างเครื่องมือ

3.5.1 การสร้างเครื่องมือตรวจวัด

จากการทบทวนวรรณกรรมของ NACE International (2020), ACI 318 (1963) ได้ออกมาเป็นเครื่องมือมาตรฐาน สำหรับการสำรวจอาคารริมชายฝั่งทะเล จ.ชลบุรี ซึ่งในการสำรวจมีการกำหนดตัวแปรคงที่จังหวัดชลบุรีคือ ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด และความเข้มของคลอไรด์ในน้ำทะเล และตัวแปรภาคสนามคือ อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด ความเร็วของลมทะเล ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก และระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวแปรและค่าลำดับความเสียหายจากมาตรฐาน

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C) รูปภาพการสำรวจ						ความเร็วของลมทะเล (km/hr) รูปภาพการสำรวจ				
ค่าวัดจริง	-	-	-	-	Risk Score Total	-	-	-	-	Risk Score Total
ระดับ ความ เสียหาย	5°C - 15°C	15°C - 25°C	25°C - 35°C	25°C - 35°C	-	ระดับต่ำ 5 km/hr	5 - 15km/hr	15 - 30km/hr	15 - 30km/h	-
	1	2	3	4	-	1	2	3	4	-
ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก (mm.) รูปภาพการสำรวจ						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.) รูปภาพการสำรวจ				
ค่าวัดจริง	-	-	-	-	Risk Score Total	-	-	-	-	Risk Score Total
ระดับ ความ เสียหาย	15 - 30 mm.	50 - 65 mm.	65 - 75 mm.	75 - 100 mm.	-	มากกว่า 500 m.	100 - 500 m.	0 - 100 m.	ต่ำกว่า 0 m.	-
	1	2	3	4	-	1	2	3	4	-
RISK SCORE TOTAL ALL										-

**หมายเหตุ ** เครื่องมือตรวจสอบพื้นที่ ควรทดสอบในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อการประเมินผล

ภาพที่ 3.12 แสดงการสร้างเครื่องมือจากมาตรฐาน

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 กำหนดคะแนนให้แต่ละระดับ

ตารางที่ 3.4 แสดงคะแนนประเมินการสำรวจ

ระดับความเสี่ยง	คะแนน (Score)
ระดับ 1 (ปลอดภัย)	1
ระดับ 2	2
ระดับ 3	3
ระดับ 4 (เสี่ยงสูงสุด)	4

ที่มา : ผู้วิจัย

3.5.3 คำนวณ Risk Score Total

นำคะแนนของแต่ละตัวแปรมารวมกัน Risk Score Total = คะแนนอุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด + คะแนนความเร็วของลมทะเล + คะแนนระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะเกาะออก + คะแนนระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล

ค่า ต่ำสุด = 4 (1+1+1+1)

ค่า สูงสุด = 16 (4+4+4+4)

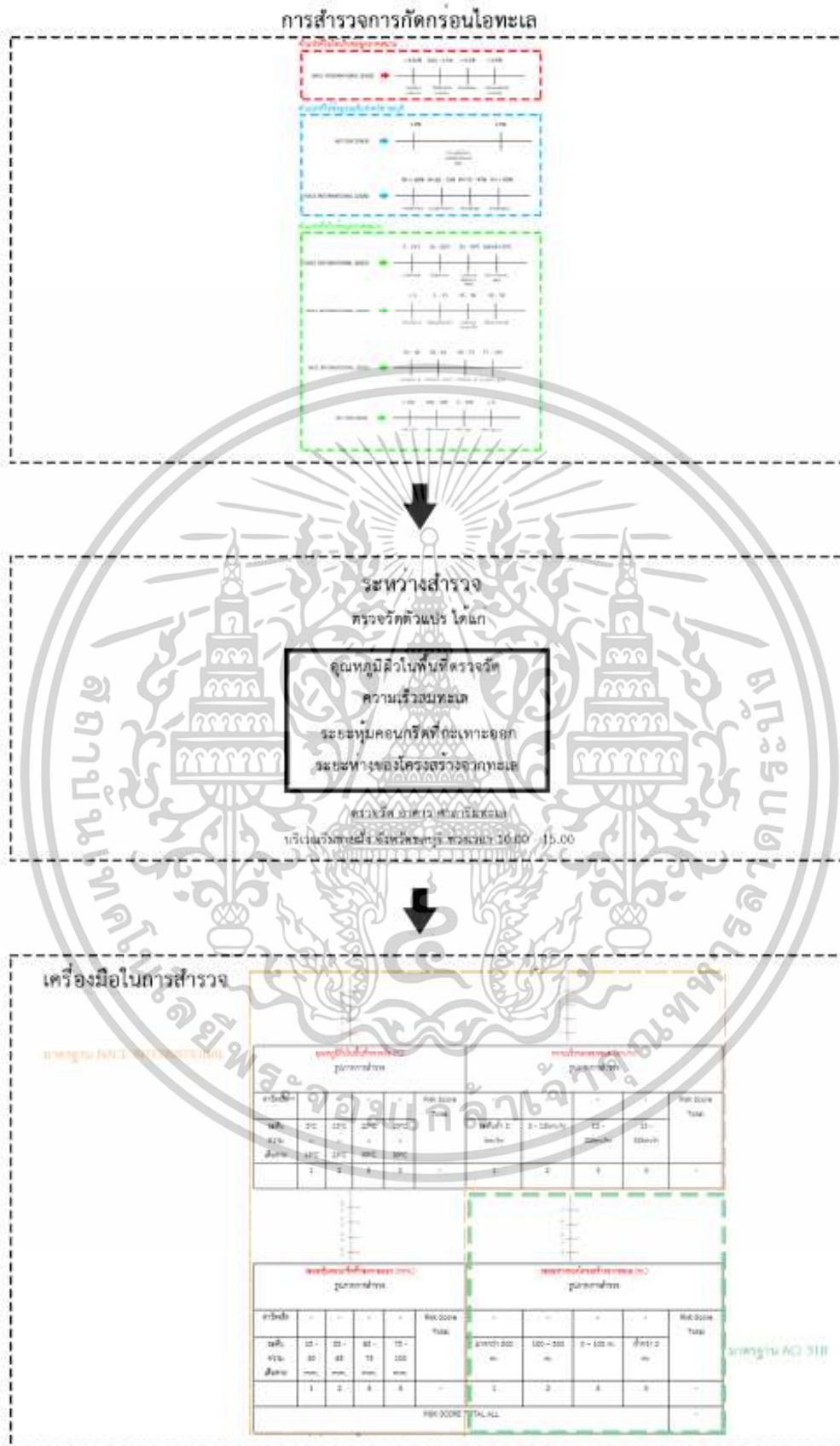
ดังนั้นเมื่อรวบรวมคะแนนของแต่ละตัวแปรที่สำรวจภาคสนามมาได้ รวมคะแนน Risk score total และสร้างเครื่องมือเพื่อแบ่งระดับความเสียหายเป็น 5 ระดับดังตาราง

ตารางที่ 3.6 แปลงคะแนนรวมเป็น ระดับความเสียหาย 5 ระดับ

Risk Score Total	ระดับความเสียหาย
4-5	ความเสียหายเล็กน้อย
6-8	เริ่มมีการเสื่อมสภาพ
9-11	มีความเสียหายปานกลาง
12-13	มีผลต่อความทนทาน
14-16	โครงสร้างเสี่ยงสูงมาก

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 แสดงวิธีการวิจัย

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 การดำเนินงานวิจัยและผลการวิจัย

4.1.1 การควบคุมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการกักตกร่อนไอทะเลกับโครงสร้าง คสล.

จากการทบทวนศึกษางานวิจัยและการกักตกร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. กรณีศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี โดยมีตัวแปรคงที่ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ตรวจวัด และความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล

ตัวแปรในการสำรวจภาคสนาม คือ อุณหภูมิในพื้นที่ผิวคอนกรีต ความเร็วของลมทะเล ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก และระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล

4.2 การกำหนดจุดสำรวจ

โดยกำหนดอาคารบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี โดยมีข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารริมชายฝั่งทะเล 0 – 20 เมตร เป็นอาคารสาธารณะ ประเภทอาคาร ศาลาพักผ่อนทะเล

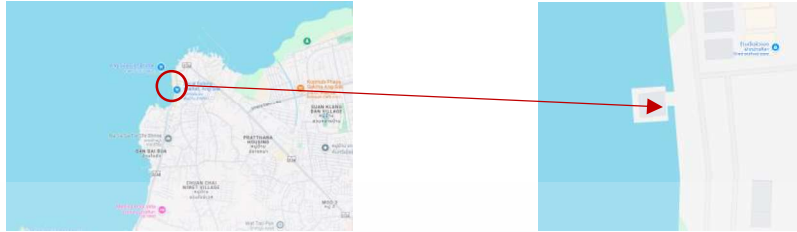
4.3 สํารวจสภาพอาคาร จากอาคารที่เกิดความเสียหาย

โดยสำรวจจากพื้นที่เขตที่มีการพัฒนาเมืองที่มีความเติบโตสูง โดยเริ่มจาก บางแสน ศรีราชา และพัทยา ในการเก็บรวบรวมข้อมูลครั้งนี้โดยได้ผลจากการสำรวจดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 Pre – test ผลการสำรวจ

4.3.1.1 ศูนย์ท่องเที่ยวเทศบาลเมืองอ่างศิลา ตลาดประมงพื้นบ้านอ่างศิลา จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.1 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศูนย์ท่องเที่ยวเทศบาลเมืองอ่างศิลา

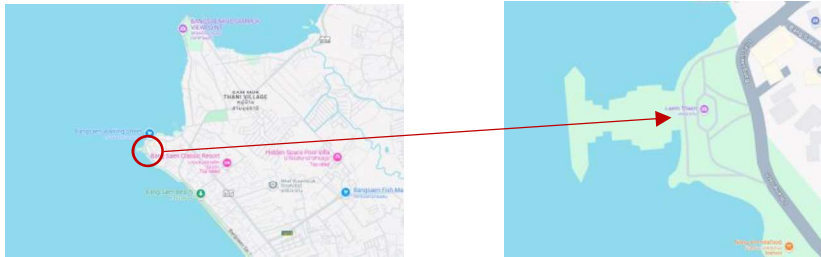
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	-	36	Risk Score	0.468	-	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	4	1	2	3	4	1

ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะทะเลยอก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (ม.)					
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										10



ที่มา : ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 โครงการปรับปรุงลานอเนกประสงค์แหลมแท่น จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.2 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล โครงการปรับปรุงลานอเนกประสงค์แหลมแท่น

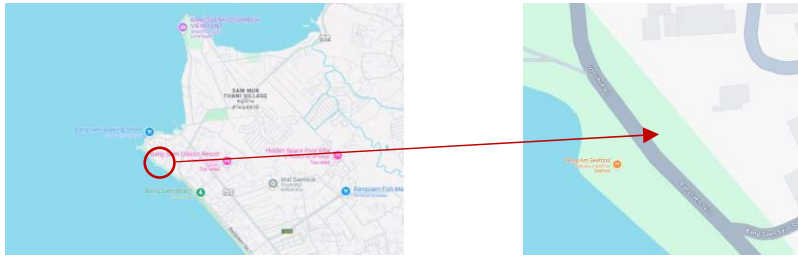
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
										
ค่าวัดจริง	-	-	32.3	-	Risk Score	4.176	-	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	ระดับต่ำกว่า 5	5 -	15 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-	km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h		
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	1

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะลุออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
										
ค่าวัดจริง	-	50	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0		
ความ	30	65	75	100	m.	m.	m.	m.		
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	2	1	2	3	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										10



ที่มา : ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 กำแพงบ้านพักอาศัยบริเวณแหลมแท่น จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.3 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล กำแพงบ้านพักอาศัยบริเวณแหลมแท่น

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
										
ค่าวัดจริง	-	-	31.3	-	Risk Score	0.576	-	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	ระดับค่า 5					
ความ	-	-	-	-	km/hr	5 -	15 -	15 -	15 -	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C		15km/hr	30km/hr	30km/h		
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	1

ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะทะลอก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
										
ค่าวัดจริง	-	40	-	-	Risk Score	-	-	10	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0		
ความ	30	65	75	100	m.	m.	m.	m.		
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1.5	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										8.5



ที่มา : ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.4 สนามผู้ใหญ่อเล่น The Labyrinth จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.4 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล สนามผู้ใหญ่อเล่น

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
											
ค่าวัดจริง	-	-	-	40.2	Risk Score	1,908	-	-	-	Risk Score	
	Total						Total				
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -		
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h		
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C							
	1	2	3	4	4	1	2	3	4	1	

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)						
											
ค่าวัดจริง	10	-	-	-	Risk Score	-	-	100	-	Risk Score	
	Total						Total				
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0		
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.		
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.							
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	3	
RISK SCORE TOTAL ALL										9	

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.5 ศูนย์คุ้มครองประมง ชายหาดบางพระ จังหวัดชลบุรี



ตารางที่ 4.5 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศูนย์คุ้มครองประมง ชายหาดบางพระ

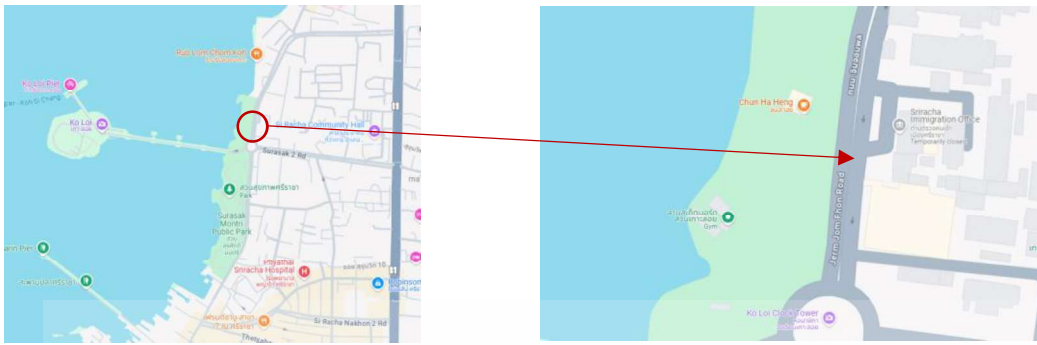
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
ค่าวัดจริง	-	-	34.2	-	Risk Score	-	12.24	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	4	1	2	3	4	1

ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะทะลุออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
ค่าวัดจริง	5	-	-	-	Risk Score	-	-	70	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										9

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.6 ด้านตรวจคนเข้าเมืองศรีราชา จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.6 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ด้านตรวจคนเข้าเมืองศรีราชา

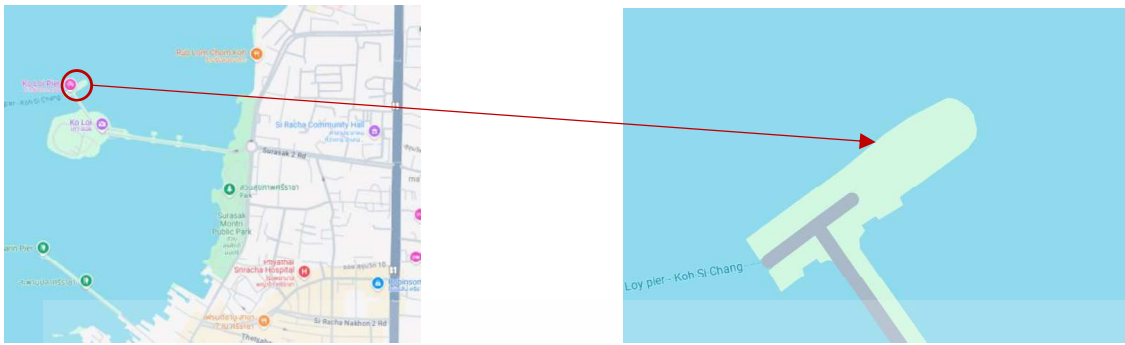
อุณหภูมิในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
ค่าวัดจริง	-	-	-	38.9	Risk Score	1.8	-	-	-	Risk Score
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	Total	ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	Total
ความเสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
	1	2	3	4	4	1	2	3	4	1

ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (ม.)					
ค่าวัดจริง	-	-	60	-	Risk Score	-	150	-	-	Risk Score
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	Total	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	Total
ความเสียหาย	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2
RISK SCORE TOTAL ALL										10

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.7 ภัตตาคาร เกาะลอย จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.7 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ภัตตาคาร เกาะลอย

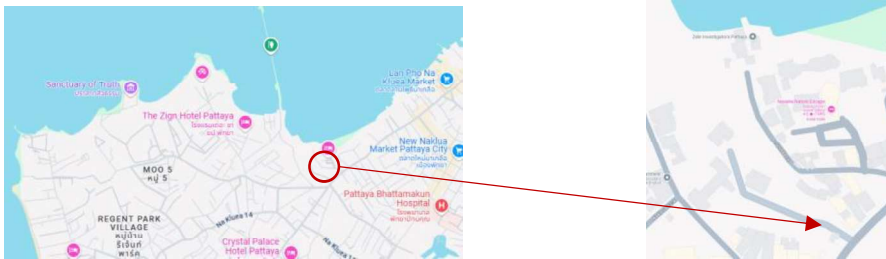
อุณหภูมิในพื้นี่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
ค่าวัดจริง	-	-	30.5	-	Risk Score	-	-	16.92	-	Risk Score
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	Total	ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	Total
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	3

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
ค่าวัดจริง	-	-	70	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	Total	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	Total
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2
RISK SCORE TOTAL ALL										11

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.8 ซุ้มทางเข้ากองกำกับการทหารม้า บ่อเกลือ จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.8 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ซุ้มทางเข้ากองกำกับการทหารม้า บ่อเกลือ

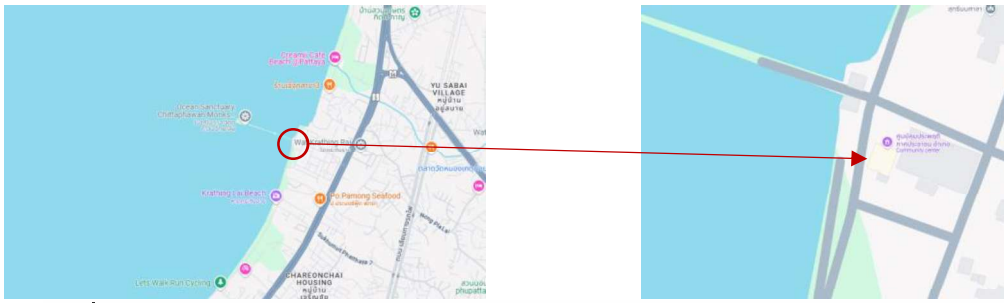
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
ค่าวัดจริง	-	-	32.9	-	Risk Score	4.788	-	-	-	Risk Score
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	Total	ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	Total
ความเสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	1

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะลุออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (ม.)					
ค่าวัดจริง	-	60	-	-	Risk Score	-	250	-	-	Risk Score
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	Total	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	Total
ความเสียหาย	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	2	1	2	3	4	2
RISK SCORE TOTAL ALL										8

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.9 ศูนย์คุ้มครองประเพณีภาคประชาชน อำเภอบางละมุง จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.9 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศูนย์คุ้มครองประเพณีภาคประชาชน อำเภอบางละมุง

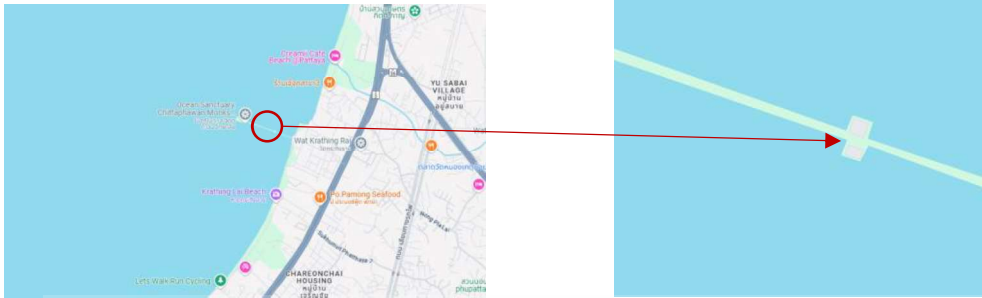
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	32.2	-	Risk Score	-	7,128	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2

ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (ม.)				
ค่าวัดจริง	-	45	-	-	Risk Score	-	-	50	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	2	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										10

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.10 ศาลากลางทะเลวัดจิตตภาวัน อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี



ตารางที่ 4.10 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลากลางทะเลวัดจิตตภาวัน

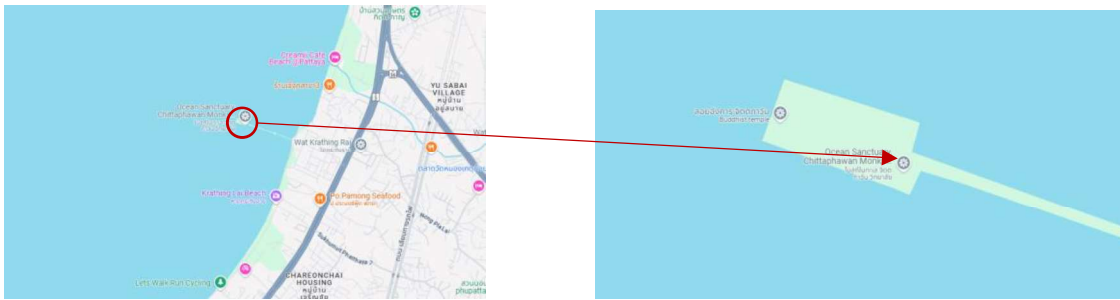
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	30.9	-	Risk Score	-	12.24	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะลุออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)				
ค่าวัดจริง	30	-	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										10

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.11 โบสถ์วัดจิตตภาวัน อำเภอบางละมุง จังหวัด ชลบุรี



ตารางที่ 4.11 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล โบสถ์วัดจิตตภาวัน อำเภอบางละมุง

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	30.4	-	Risk Score	-	12.24	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2

ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
ค่าวัดจริง	-	-	70	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										12

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงผลทั้ง 11 สถานที่จากการสำรวจ Pre - Test

ระดับความเสี่ยง	ค่า Risk Score Total	ระดับความเสียหาย
ศูนย์ท่องเที่ยวเทศบาลเมืองอ่างศิลา	10	มีความเสียหายปานกลาง
โครงการปรับปรุงลานอนุสาวรีย์สมเด็จพระนเรศวรมหาราช	10	มีความเสียหายปานกลาง
กำแพงบ้านพักอาศัยบริเวณแหลมแท่น	8.5	เริ่มมีการเสื่อมสภาพ
สนามผู้ใหญ่เล่น The Labyrinth	9	เริ่มมีการเสื่อมสภาพ
ศูนย์คุ้มครองประเพณี ขยายหาดบางพระ	9	เริ่มมีการเสื่อมสภาพ
ด่านตรวจคนเข้าเมืองศรีราชา	10	มีความเสียหายปานกลาง
กีดดาการ เกาะลอย	11	มีความเสียหายปานกลาง
ศูนย์ทางเข้ากองกำลังการทหารม้า	8	เริ่มมีการเสื่อมสภาพ
ศูนย์คุ้มครองประเพณีภาคประชาชน	10	มีความเสียหายปานกลาง
ศาลากลางทะเลวัดจิตตภาวัน	10	มีความเสียหายปานกลาง
โบสถ์วัดจิตตภาวัน	12	มีผลต่อความทนทาน

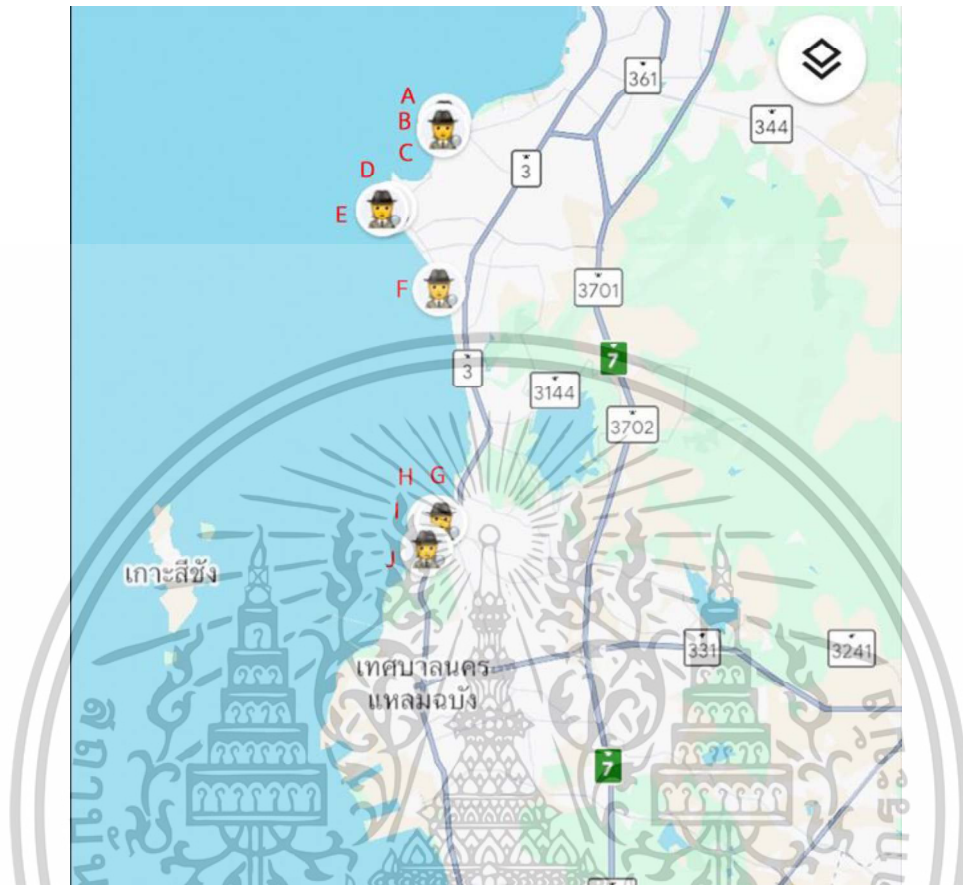
ที่มา : ผู้วิจัย

จากการสำรวจ Pre - test ทั้ง 11 แห่งผู้วิจัยเห็นว่าอาคารสาธารณะที่หลากหลายประเภท เช่น ศูนย์ท่องเที่ยว กำแพง ร้านอาหาร ศาลาพักผ่อน และวัด เพื่อให้การสำรวจสามารถประเมินผล และมีประโยชน์มากที่สุด ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การสำรวจอาคารสาธารณะ ประเภท ศาลาพักผ่อน/ชมวิว (Viewpoint Pavilion)

โดยกำหนดเกณฑ์ในการวัด 4 ตัวแปร โดยเก็บรวบรวมอาคารบริเวณริมชายฝั่งทะเล ที่เป็นจุดแลนด์มาร์คต่างๆ เพื่อนำมาสรุปในงานวิจัยนี้

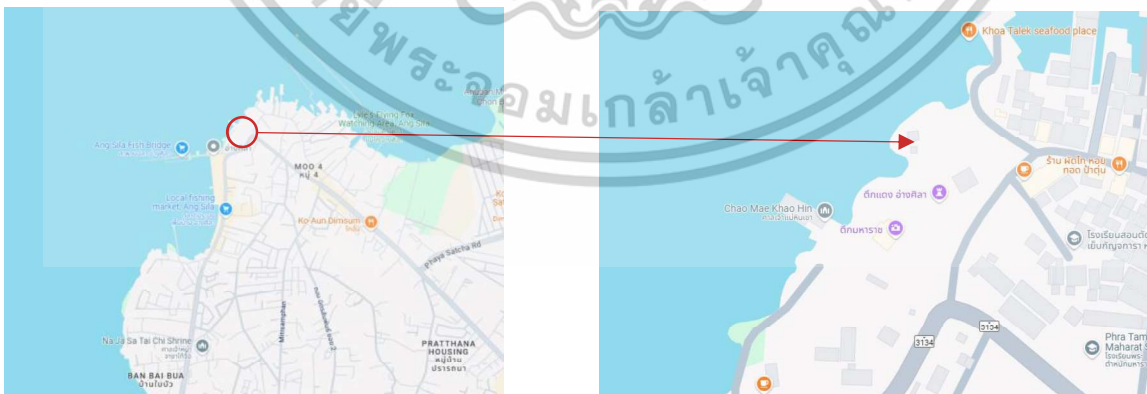
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 Post – test ผลการสำรวจ ศาลาพักผ่อน/ชมวิิว (Viewpoint Pavilion)







ภาพที่ 4.1 แสดงแผนที่การสำรวจ ศาลาจุดชมวิิว
ที่มา : ผู้วิจัย

4.3.3.1 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร A = ศาลาพิพิธภัณฑ์เฉลิมพระเกียรติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาพิพิธภัณฑณ์เฉลิมพระเกียรติ

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
										
ค่าวัดจริง	-	-	32.4	-	Risk Score	1.62	-	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	1
ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)				
										
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	60	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										8

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร B = ศาลาศาลเจ้าแม่หินเขา



ตารางที่ 4.14 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาศาลเจ้าแม่หินเขา

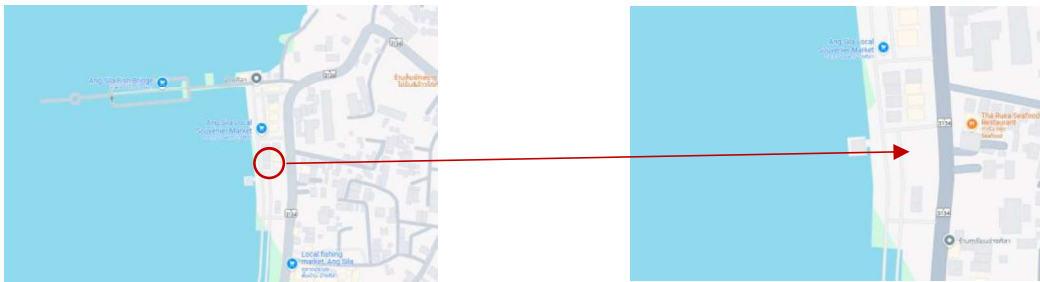
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
ค่าวัดจริง	-	-	34.7	-	Risk Score	-	-	16.92	-	Risk Score
				Total					Total	
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -		
ความ	-	-	-	-	km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h		
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	3

ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะทะลอก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
				Total					Total	
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0		
ความ	30	65	75	100	m.	m.	m.	m.		
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	2	3	4	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										11



ที่มา : ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร C = ศาลาจุดชมวิว อ่างศิลา



ตารางที่ 4.15 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาจุดชมวิว อ่างศิลา

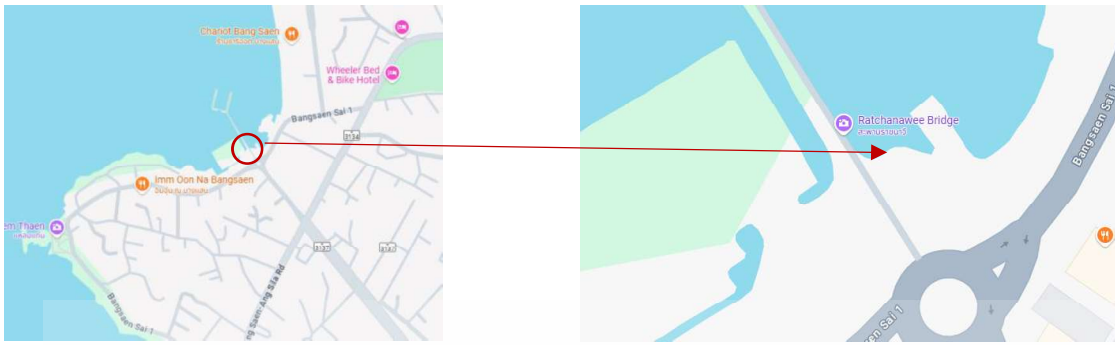
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
										
ค่าวัดจริง	-	-	31	-	Risk Score	-	6.516	-	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-	km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h		
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะลุออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
										
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	80	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0		
ความ	30	65	75	100	m.	m.	m.	m.		
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										9

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.4 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร D = ศาลาสะพานราชนาวิ



ตารางที่ 4.15 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสะพานราชนาวิ

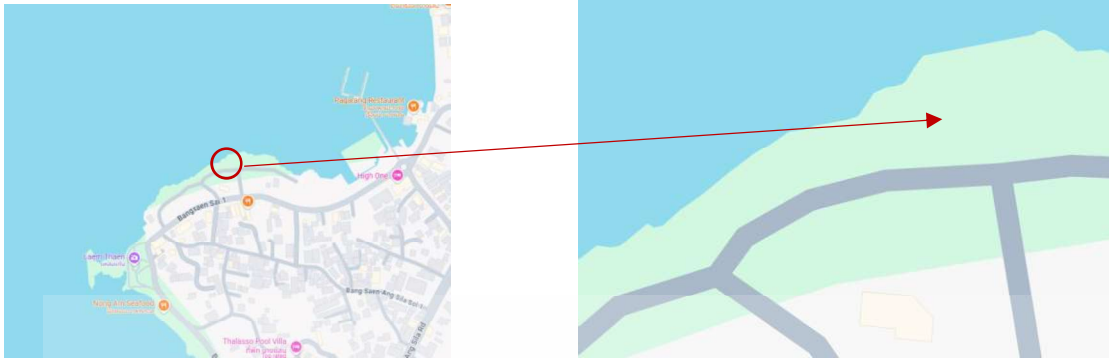
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	28.2	-	Risk Score	2.124	-	-	-	Risk Score
	Total					Total				
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2

ระยะหุ้มคอนกรีตที่กะเทาะออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)				
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
	Total					Total				
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										9

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.5 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร E = ศาลาถนนคนเดินบางแสน



ตารางที่ 4.17 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาถนนคนเดินบางแสน

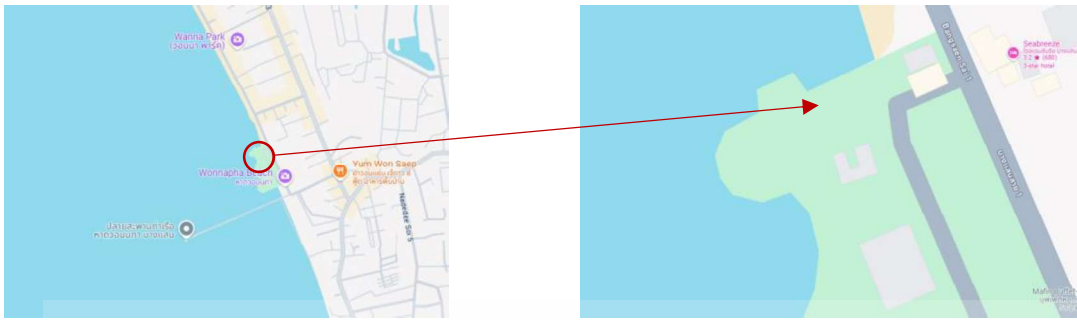
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	32.6	-	Risk Score	0	-	18.72	-	Risk Score
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	Total	ระดับต่ำกว่า 5 km/hr	5 - 15km/hr	15 - 30km/hr	15 - 30km/h	Total
ความเสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	3

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)				
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	10	-	Risk Score
ระดับ	15 - 30 mm.	50 - 65 mm.	65 - 75 mm.	75 - 100 mm.	Total	มากกว่า 500 m.	100 - 500 m.	0 - 100 m.	ต่ำกว่า 0 m.	Total
ความเสียหาย										
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										10

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.6 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร F = ศาลาสวนสาธารณะเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวหาดบางแสนล่าง



ตารางที่ 4.18 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสวนสาธารณะเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวหาดบางแสนล่าง

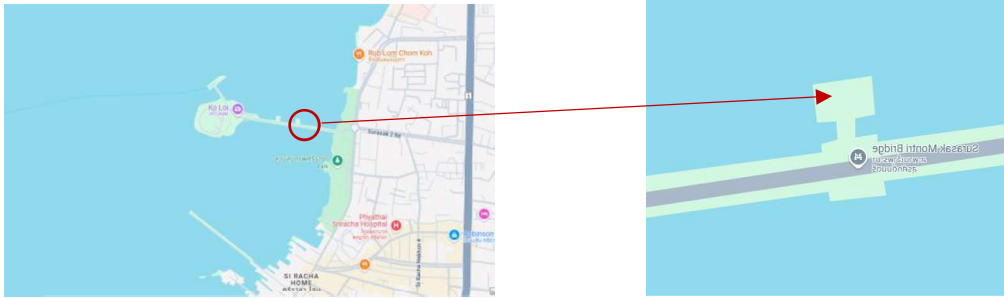
อุณหภูมิในพื้นที่ตรวจวัด (°C)					ความเร็วของลมทะเล (km/hr)					
ค่าวัดจริง	-	-	31.9	-	Risk Score	0	-	17.64	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -		
ความ	-	-	-	-	km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h		
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	3

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะลุออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
ค่าวัดจริง	15	-	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0		
ความ	30	65	75	100	m.	m.	m.	m.		
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										11

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.7 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร G = ศาลาสะพานเจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี



ตารางที่ 4.19 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสะพานเจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	32.0	-	Risk Score	0	-	15.876	-	Risk Score
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C	Total	ระดับค่า 5	5 -	15 -	15 -	Total
ความเสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	3

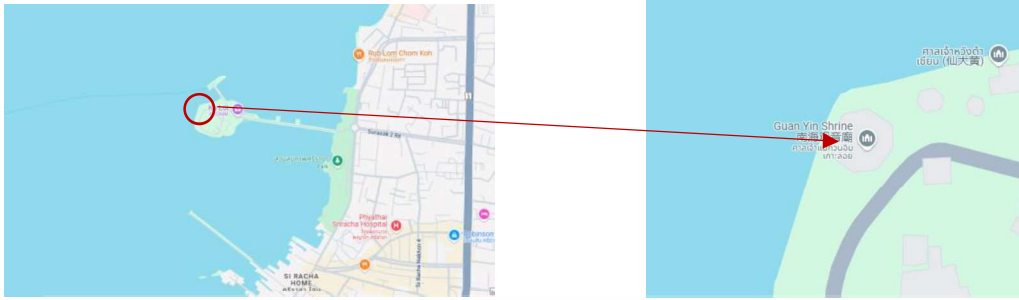
ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)					ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)					
ค่าวัดจริง	-	-	65	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -	Total	มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	Total
ความเสียหาย	30 mm.	65 mm.	75 mm.	100 mm.		m.	m.	m.	m.	
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	4

RISK SCORE TOTAL ALL										13
----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.8 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร H = ศาลาเจ้าแม่กวนอิม เกาะลอย



ตารางที่ 4.20 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาเจ้าแม่กวนอิม เกาะลอย

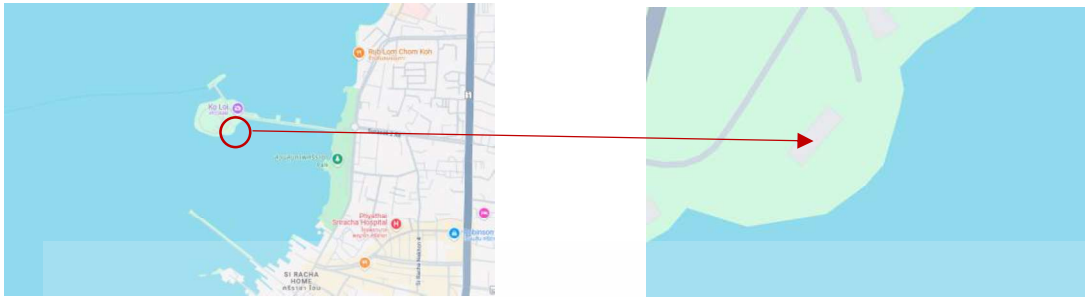
อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	30.8	-	Risk Score	0	-	22.32	-	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับค่า 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	3

ระยะหุ้มคอนกรีตที่เกาะทะออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (ม.)				
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
					Total					Total
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										11

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.9 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร I = ศาลาชมวิวกะลวย



ตารางที่ 4.21 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาชมวิวกะลวย

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	31.4	-	Risk Score	0	-	-	33.12	Risk Score
	Total					Total				
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำ 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	4

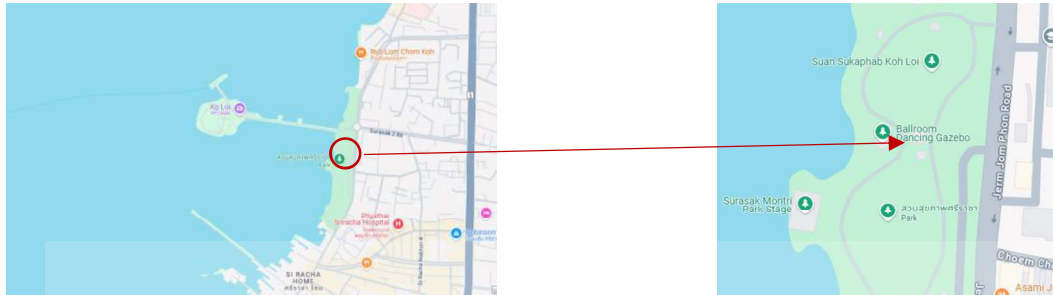
ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะเทาะออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)				
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	-	0	Risk Score
	Total					Total				
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	4
RISK SCORE TOTAL ALL										12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา : ผู้วิจัย

4.3.3.10 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร J = ศาลาสวนสุขภาพศรีราชา



ตารางที่ 4.22 แสดงตัวแปรสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ศาลาสวนสุขภาพศรีราชา

อุณหภูมิผิวในพื้นที่ตรวจวัด (°C)						ความเร็วของลมทะเล (km/hr)				
ค่าวัดจริง	-	-	32.1	-	Risk Score	-	9.792	-	-	Risk Score
	Total					Total				
ระดับ	5°C	15°C	25°C	25°C		ระดับต่ำกว่า 5	5 -	15 -	15 -	
ความ	-	-	-	-		km/hr	15km/hr	30km/hr	30km/h	
เสียหาย	15°C	25°C	35°C	35°C						
	1	2	3	4	3	1	2	3	4	2

ระยะหุ้มคอนกรีตที่ทะลุออก (mm.)						ระยะห่างของโครงสร้างจากทะเล (m.)				
ค่าวัดจริง	0	-	-	-	Risk Score	-	-	100	-	Risk Score
	Total					Total				
ระดับ	15 -	50 -	65 -	75 -		มากกว่า 500	100 - 500	0 - 100	ต่ำกว่า 0	
ความ	30	65	75	100		m.	m.	m.	m.	
เสียหาย	mm.	mm.	mm.	mm.						
	1	2	3	4	1	1	2	3	4	3
RISK SCORE TOTAL ALL										9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา : ผู้วิจัย

จากการสำรวจ อาคารศาลา จุฑามิว Pre – test ทั้ง 11 แห่งและ Post – test ทั้ง 10 แห่ง ผู้วิจัยเห็นว่าอาคารส่วนใหญ่เป็นอาคารเปิด ได้รับผลกระทบของอุณหภูมิและความเร็วลม สูงอยู่เสมอ บางอาคารที่ไม่ได้ใช้งานบางจุดก็จะขาดการซ่อมบำรุง แต่บางอาคารที่เป็นจุดนักท่องเที่ยวใช้งานจะมีการซ่อมบำรุงอยู่เสมอ

ตารางที่ 4.23 แสดงผลทั้ง 10 อาคารโดย Post – Test อาคารสาธารณะ ศาลาพักริมทะเล จากการสำรวจ

ระดับความเสี่ยง	ค่า Risk Score Total	ระดับความเสียหาย
ศาลาพิพิธภัณฑสถานพระเกียรติ	8	เริ่มมีการเสื่อมสภาพ
ศาลาสาลเจ้าแม่หินเขา	11	มีความเสียหายปานกลาง
ศาลาจุฑามิว อ่างศิลา	9	มีความเสียหายปานกลาง
ศาลาสะพานราชนาวี	9	มีความเสียหายปานกลาง
ศาลาถนนคนเดินบางแสน	10	มีความเสียหายปานกลาง
ศาลาสวนสาธารณะเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวหาดบางแสนล่าง	11	มีความเสียหายปานกลาง
ศาลาสะพานเจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี	13	มีผลต่อความทนทาน
ศาลาเจ้าแม่กวนอิมเกาะลอย	11	มีความเสียหายปานกลาง
ศาลาชมวิวกะลวย	12	มีผลต่อความทนทาน
ศาลาสวนสุขภาพศรีราชา	9	มีความเสียหายปานกลาง

ที่มา : ผู้วิจัย

จากการประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้างจำนวนทั้งสิ้น 21 รายการ โดยจำแนกระดับความเสียหายออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

- 1) เริ่มมีการเสื่อมสภาพ
- 2) มีความเสียหายปานกลาง
- 3) มีผลต่อความทนทาน

ตารางที่ 4.24 แสดงผลจากแจกแจงความถี่ของระดับความเสียหาย นับจำนวนอาคารในแต่ละระดับ และคำนวณร้อยละ จากอาคารโครงสร้าง คสล. ตัวอย่างทั้งหมด 21 อาคาร

ระดับความเสียหาย	จำนวนอาคาร	ร้อยละ (%)
มีความเสียหายปานกลาง	13	61.90%
เริ่มมีการเสื่อมสภาพ	5	23.81%
มีผลต่อความทนทาน	3	14.29%

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิเคราะห์และสรุปผล

นำคำตอบจากการสำรวจอาคาร คสล. ริมชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี ที่ใช้ตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปร มาวิเคราะห์ กับเกณฑ์มาตรฐานของ NACE International และ ACI 318 เพื่อให้ได้คำตอบการกักร่อนไอทะเล กับโครงสร้างอาคาร คสล. กรณีศึกษา บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี ว่ามีความเสียหายระดับไหน จากนั้นสรุปผล

จากการศึกษาระดับความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตพื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี รวมทั้งสิ้น 21 แห่ง พบว่า โครงสร้างส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบในระดับ “มีความเสียหายปานกลาง” คิดเป็นร้อยละ 61.90 รองลงมาคือระดับ “เริ่มมีการเสื่อมสภาพ” ร้อยละ 23.81 และระดับ “มีผลต่อความทนทาน” ร้อยละ 14.29

ในการศึกษาอาคารตัวอย่าง ทั้ง 21 อาคาร การกักร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล.

การแทนค่าระดับความเสียหายด้วยคะแนนเชิงปริมาณ (1 – 3) และวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า

$$X = \frac{(1 \times 5) + (2 \times 13) + (3 \times 3)}{21} = \frac{40}{21} \approx 1.90$$

ค่าเฉลี่ยของระดับความเสียหายเท่ากับ 1.90

$$X = 1.90$$

คำนวณความแปรปรวนแต่ละค่า

ค่า x_i	จำนวน f_i	ผลต่าง $(x_i - x)^2$	รวม $(x_i - x)^2 \times f_i$
1	5	$(1 - 1.90)^2 = 0.81$	$0.81 \times 5 = 4.05$
2	13	$(2 - 1.90)^2 = 0.01$	$0.01 \times 13 = 0.13$
3	3	$(3 - 1.90)^2 = 1.21$	$1.21 \times 3 = 3.63$

$$\text{รวม} = 4.05 + 0.13 + 3.63 = 7.81$$

คำนวณ SD

$$s = \sqrt{(7.8045 / (21 - 1))} = \sqrt{(7.8045 / 20)} \approx \sqrt{0.3902} \approx 0.625$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) เท่ากับ 0.625

ดังนั้น แสดงให้เห็นว่าระดับความเสียหายของโครงสร้างมีการกระจุกตัวอยู่ที่ระดับปานกลาง โดยมีความแปรปรวนไม่สูงมาก ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นในระดับกลาง และควรมีการวางแผนซ่อมแซมหรือเสริมความทนทานเชิงป้องกันในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างที่ตั้งอยู่ในระยะใกล้ทะเลหรือไม่มีการป้องกันจากความชื้นและไอทะเลเพียงพอ มีแนวโน้มที่จะได้รับความเสียหายมากกว่ากลุ่มที่อยู่ลึกเข้ามาจากชายฝั่ง โดยเฉพาะโครงสร้างที่มีค่าระยะหุ้มคอนกรีตต่ำ และไม่ได้ใช้วัสดุป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบค่าคะแนนกับข้อมูลด้านปัจจัยแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิผิว ความเร็วลมทะเล ระยะห่างจากทะเล และความหนาคอนกรีตที่กะเทาะออก) สามารถนำไปสู่การจัดกลุ่มความเสี่ยง (Risk Score) เพื่อใช้เป็นฐานในการวางแผนซ่อมบำรุงหรือการออกแบบโครงสร้างในพื้นที่เสี่ยงสูงในอนาคตได้

5.2 ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

5.2.1 ควรมีการจัดทำฐานข้อมูลโครงสร้างบริเวณชายฝั่งทะเลอย่างเป็นระบบ พร้อมประเมินค่าความเสียหายเชิงปริมาณอย่างสม่ำเสมอ เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเสื่อมสภาพระยะยาว

5.3 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

5.3.1 ควรเสริมสร้างความทนทานให้โครงสร้างใหม่โดยการเพิ่มระยะหุ้มคอนกรีต ใช้เหล็กเสริมทนการกัดกร่อน และพิจารณาใช้วัสดุกันซึมหรือสารเคลือบป้องกัน

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

5.3.1 ควรศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างปัจจัยแวดล้อมกับระดับความเสียหาย เพื่อจัดทำโมเดลการทำนายหรือแผนที่ความเสี่ยงบริเวณชายฝั่งทะเลอย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

สรุปได้ว่าการศึกษานี้ช่วยให้เข้าใจถึงการกัดกร่อนไอทะเลกับโครงสร้างอาคาร คสล. ได้ดีขึ้น และสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกแบบหรือข้อกำหนดให้เหมาะสมกับความต้องการของพื้นที่ก่อสร้างริมชายฝั่ง ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพของอาคารในอนาคต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2564) แผนแม่บทการบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเลประเทศไทย พ.ศ. 2565-2570

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562) แนวทางการวางผังและพัฒนาเมืองชายฝั่งทะเล

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. (2561) คู่มือการออกแบบอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยชายฝั่งทะเล

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2564) แนวทางการใช้ประโยชน์พื้นที่ในเขตชายฝั่งทะเล 0-100 เมตร. กรุงเทพฯ: สำนักบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว. (2559). ผลของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมต่อพฤติกรรมการรับแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ก่อสร้างบริเวณชายฝั่งทะเล. หน้า 3 - 10

ผศ.ดร. ชูศักดิ์ ศิริรัตน์, ศุภชัย ไทยพุ่ม. (2558). การแทรกซึมของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมทะเล.

ผศ.ดร. ทวีชัย สำราญวานิช. (2565). คอนกรีตสำหรับสิ่งแวดล้อมทะเล

ผศ.ดร. ทวีชัย สำราญวานิช. (2552). การพัฒนาคอนกรีตที่ทนทานต่อการทำลายของน้ำทะเล

พิพัฒน์ ซอสิทธิ์ และคณะ. (2552). ปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าของการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ในการสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลของไทย

ประกิจ สร้อยระย้าแก้ว. (2556). ปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณชายฝั่งทะเล. กรณีศึกษา : อำเภอหัวหิน และ อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). เรื่อง กำหนดเขตพื้นที่และมาตรการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ในบริเวณพื้นที่อำเภอบางละมุง และอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ฎกระทรวง ฉบับที่ ๖๐ (พ.ศ. ๒๕๕๙) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒

C.M. Hansson. (2007). Reinforcing steel passivation in mortar and pore solution

Portland Cement Association. (2002). Concrete Information. IS 532

Bockris and Reddy. (2004). VOLUME 2B MODERN ELECTROCHEMISTRY SECOND EDITION Electrode in Chemistry, Engineering, Biology, and Environmental Science

ACI Committee 222. (2001). Protection of metals in concrete against corrosion. Farmington Hills, Michigan, American Concrete

Institute: 41. Sagues, A. A., E. Moreno, W. Morris and C. Andrade. (1997). Carbonation in concrete and effect on steel corrosion.

(ACI Committee 318. (1992). Building Code Requirements for Reinforced Concrete.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม(ต่อ)

(ACI 318-89)(Revised 1992) and Commentary-ACI 318R-89 ACI, A. (1997). **Guide for the De-sign and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures, California: American Certification Institute.**

357R-84 Zaki Ahmad. (2006). in **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control** Mehta P.K. 1980,

‘Performance of Concrete in Marine Environment’, ACI SP-65, American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-20. Tomchen1989 (2021)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายนิธิฤทธิ มัชฌมณฑล
 วัน เดือน ปีเกิด 24/06/2536
 ที่อยู่ 45/22 หมู่บ้าน เอ็มซีเอสเพลส ลำลูกกา หมู่7 ตำบลบึงคำพร้อย อำเภอลำลูกกา
 จังหวัดปทุมธานี 12150

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ประสบการณ์การทำงาน

บริษัท ราชคราม ก่อสร้าง จำกัด ตำแหน่ง สถาปนิก
 บริษัท เดอะลิทเติล เฮาส์ ดีไซน์ สตูดิโอ จำกัด ตำแหน่ง Project Manager
 บริษัท เอเอเอ ออล อะเบาท์ อาร์ค จำกัด ตำแหน่ง ผู้บริหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้