สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากการซึมผ่านของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบHalf-Cell

STUDYING OPPORTUNITY IN THE CORROSION OF STEEL REINFORCEMENT.DUE TO THE PENETRATION OF CHLORIDE IN CONCRETE STRUCTURES BY USING THE HALF CELL METHOD

T121893

โดย

นางสาวชลลดา เขตนิมิตร

นายนัฐพงษ์ เดชกุล

นายวรพจน์ มลิสุทธิ์

เลขหมู่ วพ. 25227 ก 2554
เลขทะเบียน 121893
วัน,เดือน,ปี 26 ก.ค. 2555

b.12416341
i.

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากการซึมผ่านของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบHalf-Cell

STUDYING OPPORTUNITY IN THE CORROSION OF STEEL REINFORCEMENT.DUE TO THE PENETRATION OF CHLORIDE IN CONCRETE STRUCTURES BY USING THE HALF CELL METHOD

โดย

นางสาวชลลดา เขตนิมิตร

นายนัฐพงษ์ เดชกุล

นายวรพจน์ มลิสุทธิ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDYING OPPORTUNITY IN THE CORROSION OF STEEL REINFORCEMENT.DUE TO THE PENETRATION OF CHLORIDE IN CONCRETE STRUCTURES BY USING THE HALF CELL METHOD

MISS.CHONLADA KETNIMIT
MR.NATTAPONG DECHKUL
MR.WORAPOT MARISUT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENTS FOR DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING,FACULTY OF ENGINEER
KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2012
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่อจากการซึมผ่านของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบHalf-Cell STUDYING OPPORTUNITY IN THE CORROSION OF STEEL REINFORCEMENT.DUE TO THE PENETRATION OF CHLORIDE IN CONCRETE STRUCTURES BY USING THE HALF-CELL METHOD
นักศึกษา	นางสาวชลลดา เขตนิมิตร รหัสประจำตัว 51010240 นายนัฐพงษ์ เดชกุล รหัสประจำตัว 51010668 นายวรพจน์ มลิสุทธิ์ รหัสประจำตัว 51011127
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาและทดลองในเรื่องของการหาโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากการซึมผ่านของคลอไรด์ ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Half-Cell ซึ่งเป็นมาตรฐานในการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กวิธีหนึ่ง โดยจะกำหนดสภาวะสภาพแวดล้อมโดยอิงกับความเข้นข้นโซเดียมคลอไรด์ของน้ำทะเลที่3% ดังนี้ น้ำธรรมดา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.75% 1.5% และ 3% และยังกำหนดกำลังรับแรงอัดโดยแบ่งเป็นกำลังรับแรงอัดสูง(350KSC)และกำลังรับแรงอัดต่ำ (180KSC) จะทำการทดสอบโดยจะแช่ตัวอย่างก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กที่สภาวะต่างๆดังที่ได้กล่าวมาเป็นเวลาประมาณ90วันโดยก่อนทำการวัดจะนำขึ้นมาตากเพื่อทำให้เกิดภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจากนั้นจะใช้เครื่องมือ Half-Cell วัดทุกอาทิตย์เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง

จากผลการทดสอบพบว่าโอกาสในการเกิดสนิมจะเพิ่มขึ้นถ้าสภาวะความเข้มข้นคลอไรด์มีมากขึ้น และกำลังรับแรงอัดต่ำจะมีโอกาสในการเกิดสนิมมากกว่ากำลังรับแรงอัดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	STUDYING OPPORTUNITY IN THE CORROSION OF STEEL REINFORCEMENT.DUE TO THE PENETRATION OF CHLORIDE IN CONCRETE STRUCTURES BY USING THE HALF-CELL METHOD
Name	:	MISS.CHONLADA KETNIMIT
		MR.NATTAPONG DECHKUL
		MR.WORAPOT MARISUT
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST.PROF.DR.KOMSAN MAREESEE

Abstracts

This Special Project is to study and testing to find Studying Opportunity in the corrosion of steel reinforcement. Due to the penetration of chloride in concrete structures by using the Half Cell method. which is the standard way to determine the structure of reinforced concrete. It is the state of the environment based on the concentrations of sodium chloride from sea water at 3% below normal water solution of sodium chloride concentration of 0.75%, 1.5% and 3% and the compressive strength of a high compressive strength (350KSC) and low compressive strength (180KSC). The test will be submerged before concrete conditions as mentioned above for about 90 day before the measure takes the sun to cause a saturated surface dry, then use the Half-Cell test every week for check for changes.

The results showed that the corrosion potential is increased if the conditions are more concentrated chloride. The low compressive strength is likely to rust than high compressive strength.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ และจากการให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี ที่กรุณาประสิทธิประสาทความรู้ในเรื่องต่างๆที่เป็นประโยชน์ทั้งให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนการติดตามให้คำแนะนำเอาใจใส่ตั้งแต่เริ่มทำจนสำเร็จเรียบร้อย ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนในหลายๆด้านและเป็นกำลังใจอย่างดี คุณค่าและประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานนี้ ผู้ศึกษาขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณของบุพการีที่ท่านเป็นผู้อบรมสั่งสอน ส่งเสริม ให้ความรู้ ทำให้ผู้ศึกษาประสบความสำเร็จกับการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ
นางสาวชลลดา เขตนิมิตร
นายนัฐพงษ์ เดชกุล
นายวรพจน์ มลิสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง | หน้า

	ปกในภาษาไทย	ก
	ปกในภาษาอังกฤษ	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฏ
1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
	1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
	1.4 หลักการและทฤษฎีที่ใช้	2
	1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	2
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 กล่าวนำ	4
	2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
	2.2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสนิมเหล็ก	4
	2.2.2 การป้องกันสนิมเหล็ก	5
	2.2.3 คลอไรด์	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.2.4 การซึมผ่านของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีต	8
	2.2.5 การวัดระยะที่คลอไรด์ซึมผ่านเข้าสู่คอนกรีต	9
	2.2.6 ปฏิกิริยาเคมีของการกัดกร่อนด้วยคลอไรด์	9
	2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนด้วยคลอไรด์	9
	2.2.7.1 ชนิดของปูนซีเมนต์และคุณภาพของคอนกรีต	9
	2.2.7.2 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์	10
	2.2.7.3 ระยะหุ้มเหล็กเสริม	10
	2.2.7.4 ตัวกลางขัดขวางการกัดกร่อน	10
	2.2.8 ผลของการกัดกร่อนหรือทำลายด้วยคลอไรด์	11
	2.2.9 วิธีป้องกัน	11
	2.2.10 Half-Cell	12
	2.3 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	17
3	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	
	3.1 กล่าวนำ	24
	3.2 ขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงาน	24
	3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	24
	3.2.2 รายละเอียดการดำเนินงาน	25
	3.2.3 แผนการดำเนินงาน	25
	3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	27
	3.4 ขั้นตอนการหล่อคอนกรีตสำหรับทดสอบ	29
	3.4.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต	29
	3.4.2 ขั้นตอนการหล่อคอนกรีตทดสอบ	33
	3.5 ขั้นตอนการตรวจสอบกำลังของคอนกรีต	34
	3.6 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.6.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย	35
	3.6.2 การคำนวณ	36
	3.6.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์	37
	3.7 ขั้นตอนการนำคอนกรีตตัวอย่างมาแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์	39
	3.8 ขั้นตอนการทดสอบHalf-Cell	40
	3.8.1 วัตถุประสงค์	40
	3.8.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	41
	3.8.3 ขั้นตอนในการทดสอบ	42
4	**ผลการทดสอบและกราฟ**	
	4.1 ผลการทดสอบที่180ksc	45
	4.2 ผลการทดสอบที่350ksc	59
	4.3 กราฟเปรียบเทียบ	73
5	วิเคราะห์และสรุปผล	
	5.1 กล่าวนำ	79
	5.2 กราฟการวิเคราะห์ผลการทดลองที่30วัน	80
	5.3 กราฟการวิเคราะห์ผลการทดลองที่60วัน	81
	5.4 กราฟการวิเคราะห์ผลการทดลลองที่90วัน	82
	5.5 สรุปผลการวิจัย	82
	5.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ	83
	5.7 ข้อเสนอแนะ	84
	บรรณานุกรม	85
	ภาคผนวก	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	แสดงปริมาณคลอไรด์ที่ยอมให้สำหรับผสมคอนกรีต	7
2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และแนวโน้มการเกิดสนิม	16
3.1	แสดงแผนการดำเนินงาน	26
ผ.1	แสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวมละเอียด	88
ผ.2	แสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวมหยาบ	88
ผ.3	ผลการทดสอบของมวลรวมหยาบหยาบ	89
ผ.4	ผลการทดสอบของมวลรวมละเอียด	90
ผ.5	แสดงขนาดของภาชนะ	95
ผ.6	แสดงหน่วยน้ำหนักของน้ำ	95
ผ.7	ผลการทดสอบหาน้ำหนักมวลรวมเฉลี่ย	98
ผ.8	แสดงค่าใกล้เคียงของปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม	99
ผ.9	เฉลี่ยก้อน1-3ที่กำลังอัด180 kscในน้ำธรรมดา	107
ผ.10	เฉลี่ยก้อน4-6ที่กำลังอัด180kscที่แช่NaCl 0.75%	108
ผ.11	เฉลี่ยก้อน7-9ที่กำลังอัด180kscที่แช่NaCl 1.5%	109
ผ.12	เฉลี่ยก้อน10-12ที่กำลังอัด180kscที่แช่NaCl3%	110
ผ.13	เฉลี่ยก้อน1-3ที่กำลังอัด350 kscในน้ำธรรมดา	111
ผ.14	เฉลี่ยก้อน4-6ที่กำลังอัด350kscที่แช่NaCl 0.75%	112
ผ.15	เฉลี่ยก้อน7-9ที่กำลังอัด350kscที่แช่NaCl 1.5%	113
ผ.16	เฉลี่ยก้อน10-12ที่กำลังอัด350kscที่แช่NaCl3%	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.1	การออกแบบแบบหล่อ	27
3.2	แสดงลักษณะคอนกรีตตัวอย่าง	28
3.3	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1	29
3.4	น้ำ	30
3.5	ทรายละเอียดและหิน	30
3.6	เหล็กDB12	31
3.7	แบบหล่อขนาด15x15x30เซนติเมตร	31
3.8	เครื่องโม่	32
3.9	เครื่องชั่ง	32
3.10	กระบอกตวง	33
3.11	การหล่อคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ	34
3.12	การบ่มคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดที่28วัน	34
3.13	การกดทดสอบคอนกรีต	35
3.14	อบคอนกรีตตัวอย่างที่105 °cเป็นเวลา24ชั่วโมง	35
3.15	น้ำกลั่น	37
3.16	โซเดียมคลอไรด์	37
3.17	การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์สำหรับผสมน้ำกลั่น	38
3.18	การผสมโซเดียมคลอไรด์กับน้ำกลั่น	38
3.19	แสดงระดับการแช่คอนกรีต	39
3.20	ถังสำหรับแช่คอนกรีต	39
3.21	การแช่คอนกรีตในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	40
3.22	แสดงตำแหน่งที่จะทำการวัด	40
3.23	การทำเครื่องหมายบนคอนกรีตตัวอย่าง	41
3.24	คอนกรีตสำหรับทำการทดสอบ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ ชื่อรูป หน้า

3.25 ชุดเครื่องมือHalf-cell.. 42
3.26 การตากคอนกรีตก่อนทำการทดสอบ.. 43
3.27 ขวดสเปรย์... 43
3.28 การทดสอบHalf cell... 44
3.29 อ่านค่าที่จากการทดสอบ.. 44
4.1 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ5cm.. 45
4.2 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ10cm.. 45
4.3 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ15cm.. 46
4.4 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ20cm.. 46
4.5 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ25cm.. 47
4.6 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ30cm.. 47
4.7 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ5cm......... 48
4.8 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ10cm...... 48
4.9 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ15cm....... 49
4.10 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ20cm....... 49
4.11 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ25cm....... 50
4.12 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ30cm....... 50
4.13 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ5cm............ 51
4.14 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ10cm.......... 51
4.15 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ15cm.......... 52
4.16 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ20cm.......... 52
4.17 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ25cm.......... 53
4.18 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ30cm.......... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ ชื่อรูป หน้า

4.19 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ5cm.......... 54
4.20 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ10cm...... 54
4.21 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ15cm........ 55
4.22 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ20cm........ 55
4.23 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ25cm........ 56
4.24 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ30cm............ 56
4.25 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ทุกระดับ.. 57
4.26 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ที่ทุกระดับ......... 57
4.27 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ที่ทุกระดับ............ 58
4.28 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ที่ทุกระดับ......... 58
4.29 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ5cm.. 59
4.30 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ10cm.. 59
4.31 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ15cm.. 60
4.32 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ20cm.. 60
4.33 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ25cm.. 61
4.34 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ30cm.. 61
4.35 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ที่ระดับ5cm......... 62
4.36 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ที่ระดับ10cm....... 62
4.37 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ที่ระดับ15cm....... 63
4.38 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ที่ระดับ20cm....... 63
4.39 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ที่ระดับ25cm....... 64
4.40 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ที่ระดับ30cm....... 64
4.41 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ที่ระดับ5cm............ 65
4.42 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ที่ระดับ10cm.......... 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ ชื่อรูป หน้า

4.43 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ที่ระดับ15cm........ 66

4.44 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ที่ระดับ20cm........ 66

4.45 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ที่ระดับ25cm........ 67

4.46 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ที่ระดับ30cm......... 67

4.47 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ที่ระดับ5cm.......... 68

4.48 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ที่ระดับ10cm...... 68

4.49 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ที่ระดับ15cm....... 69

4.50 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ที่ระดับ20cm....... 69

4.51 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ที่ระดับ25cm....... 70

4.52 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ที่ระดับ30cm....... 70

4.53 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำธรรมดาที่ทุกระดับ................................ 71

4.54 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 0.75%ทุกระดับ............ 71

4.55 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 1.5%ทุกระดับ.............. 72

4.56 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลาย NaCl 3%ทุกระดับ.............. 72

4.57 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่น้ำธรรมดา.......... 73

4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่NaCl0.75%........ 74

4.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่NaCl1.5%.......... 75

4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่NaCl3%............ 76

4.61 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของสารละลายต่างๆที่180KSC.. 77

4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของสารละลายต่างๆที่350KSC.. 78

5.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่30วัน.. 80

5.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่60วัน.. 81

5.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์ผลการทดงองที่90วัน... 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กส่วนใหญ่มาจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่อยู่ภายในคอนกรีต ทำให้ความคงทนและอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงสาเหตุอาจเกิดจากการกัดกร่อนเนื่องจากการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ (การเกิดคอร์บอเนชั่น) หรือการซึมผ่านของคลอไรด์และทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมทำให้เกิดการกัดกร่อนในส่วนของผิวภายนอก จึงเกิดสนิมส่งผลให้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดลดลงคอนกรีตจึงเกิดรอยร้าวและปริแตกออกทำให้ความสามารถในการรับกำลังและคุณสมบัติต่างๆลดลง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ซึ่งต้องสิ้นเปลืองงบประมาณค่อนข้างมากในการซ่อมบำรุงและแก้ไขแต่ในปัจจุบันมีเครื่องมือในการตรวจวัดโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ที่สามารถตรวจสอบได้ว่าเหล็กเสริมในคอนกรีตมีโอกาสเกิดสนิมหรือไม่ มากน้อยเพียงใด

จะเห็นได้ว่าการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเกิดจากหลายสาเหตุ ดังนั้นทางคณะวิจัยจึงเล็งเห็นปัญหานี้ จึงได้ศึกษาโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากการซึมผ่านของคลอไรด์ โดยวิธีHalf-Cell ซึ่งเป็นวิธีทดสอบแบบไม่ทำลายโครงสร้าง โดยจะทำการศึกษาถึงกรณีของการซึมผ่านของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีต โดยมีสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวทำปฏิกิริยาเคมีกับเหล็ก มีน้ำและอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งทำการศึกษาภายใต้อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายที่ต่างกัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1.2.1 เพื่อศึกษาโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากการซึมผ่านของคลอไรด์โดยใช้วิธี Half Cell

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเกิดสนิมในเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยกำหนดความเข้มข้นของคลอไรด์ในระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 คอนกรีตที่ทำการศึกษา โดยกำหนดกำลังรับแรงอัดที่ 180 ksc และ 350 ksc

1.3.2 ทดสอบวัดอัตราการซึมผ่านของคลอไรด์โดยใช้วิธี Half Cell ในคอนกรีตที่แช่น้ำที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ 0.75%,1.5%,3% โดยน้ำหนักตามลำดับ

1.3.3 ทดสอบวัดอัตราการซึมผ่านโดยใช้ขนาดตัวอย่าง 15x15x30 ซม.

1.4 หลักการและทฤษฎีที่ใช้

1.4.1 โอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

1.4.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ต่างกันจะส่งผลถึงโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ขั้นตอนรวบรวมข้อมูล ทำการหาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือHalf-Cell จากแหล่งข้อมูลต่างๆ ทั้งจากหนังสือ และอินเตอร์เน็ต

1.5.2 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล ทำการศึกษาข้อมูลที่รวบรวม ศึกษามาตรฐานและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้

1.5.3 ขั้นตอนออกแบบคอนกรีตตัวอย่าง สำหรับใช้ทำการทดสอบ

1.5.4 ขั้นตอนการเตรียมและจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

1.5.5 ขั้นตอนการหล่อคอนกรีตตัวอย่าง

1.5.6 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สำหรับแช่คอนกรีตตัวอย่าง

1.5.7 ขั้นตอนการแช่คอนกรีตตัวอย่าง ในถังน้ำที่ผสมสารละลายโซเดียมคลอไรด์

1.5.8 ขั้นตอนการนำคอนกรีตตัวอย่างขึ้นมาทำการวัดหาค่าในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมโดยใช้เครื่องมือHalf cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถหาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.6.2 สามารถหาโอกาสในการสนิมในเหล็กโดยใช้วิธี Half Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

ปัญหาที่พบในโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจเกิดความเสียหายได้จากสาเหตุหลายประการซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจมาจากการเป็นสนิมของเหล็กเสริมในส่วนโครงสร้าง ดังนั้นการตรวจสอบโครงสร้างโดยหาโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมโดยการทดสอบแบบ Half-Cell จึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ทราบถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นและสามารถหาวิธีแก้ไขได้ทัน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสนิมเหล็ก

สนิม (rust) เป็นโลหะส่วนที่มีการเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม เนื่องจากได้รับปฏิกิริยาเคมีที่มีอากาศ น้ำ หรือความร้อนเป็นตัวการสำคัญทำให้โลหะมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม เช่น สีที่เปลี่ยนไป มีความแข็งแรงลดลง และทำให้เกิดการผุกร่อน ตัวอย่างที่เราพบเห็นอยู่บ่อยๆ ได้แก่ เหล็ก จะมีสนิมอยู่ 2 ชนิด คือ สนิมสีน้ำตาลอมแดง หรือ สนิมสีแดง และสนิมสีดำ นอกจากนี้โลหะแต่ละชนิดจะมีสีสนิมที่แตกต่างกันด้วย

1.การผุกร่อนของโลหะ คือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดระหว่างโลหะกับภาวะแวดล้อม

2.ภาวะแวดล้อมที่ทำให้ผุกร่อน คือ ความชื้น และออกซิเจน (H_2O, O_2) หรือ H_2O กับอากาศ

3.ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในการผุกร่อน เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

- โลหะที่เกิดปฏิกิริยา Oxidation (ให้อิเล็กตรอน)
- ภาวะแวดล้อมเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยา Reduction

4.สมการแสดงปฏิกิริยาการผุกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะ + ภาวะแวดล้อม $\longrightarrow$ Ion ของโลหะ + เบส

$$Fe(s) + H_2O\,(l) + O_2\,(g) \longrightarrow Fe_2+(aq) + OH^-(aq)$$

$$4Fe(s) + 3O_2\,(g) + 3H_2O\,(l) \longrightarrow 2Fe_2O_3.3H_2O(s)$$

2.2.2 การป้องกันสนิมเหล็ก

1. ทาสี ทาน้ำมัน การรมดำ และการเคลือบพลาสติก เป็นการป้องกันการถูกกับ O_2 และความชื้น ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดสนิมของโลหะได้และเป็นวิธีที่สะดวกและให้ผลดี

2. โลหะบางชนิดมีสมบัติพิเศษ กล่าวคือเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะเกิดเป็นออกไซด์ของโลหะเคลือบอยู่บนผิวของโลหะนั้นและไม่เกิดการผุกร่อนอีกต่อไปโลหะที่มีสมบัติดังกล่าว ได้แก่ อลูมิเนียม ดีบุก และสังกะสี การชุบ หรือเคลือบโดยโลหะที่ Oxide ของโลหะนั้นคงตัวสลายตัวยาก จะเป็นผิวบางๆ คลุมผิวโลหะอีกที ได้แก่ Cr (โครเมียม) และอลูมิเนียม(Al) เป็นต้น ดังนั้น $Cr_2O_3.Al_2O_3$ สลายตัวยาก เรียกชื่อว่าวิธี อโนไดซ์ (Anodize) (เหล็กกล้าไม่เกิดสนิม (stainless steel) เป็น Fe ผสม Cr)

3. การผุกร่อนของโลหะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นเช่นเดียวกับแอโนดในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นถ้าไม่ต้องการให้เกิดการผุกร่อนจึงต้องให้โลหะนั้นมีสภาวะเป็นแคโทดหรือคล้ายกับแคโทด โดยใช้โลหะที่เสีย e^- ง่ายกว่าเหล็กไปอยู่กับเหล็ก ได้แก่ Fe ชุบ Zn สำหรับมุงหลังคา การฝังถุง Mg ตามท่อ หรือการผูก Mg ตามโครงเรือ จะทำให้ Fe ผุช้าลง เนื่องจาก Zn & Mg เสีย e ง่ายกว่า Fe จะเสีย e แทน Fe เรียกชื่อวิธี แคโธดิก (Cathodic)

4. การป้องกันการผุกร่อนของโลหะในระบบหล่อเย็นแบบปิด เครื่องยนต์ที่ใช้ในรถยนต์หรือเครื่องมือผลิตกระแสไฟฟ้าจะใช้ระบบหล่อเย็นแบบปิด เพื่อรักษาอุณหภูมิของเครื่องยนต์ไม่ให้สูงมากเกินไป สารหล่อเย็นที่ใช้คือน้ำซึ่งมีออกซิเจนละลายอยู่ ถ้าเครื่องยนต์มีโลหะผสมของอลูมิเนียม ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกใช้ในการสร้างฟิล์มอลูมิเนียมออกไซด์ และฟิล์มนี้จะป้องกันการผุกร่อนเครื่องยนต์ได้ แต่ถ้าเครื่องยนต์มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะผสมของเหล็ก ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่สัมผัสกับน้ำจะเกิดการผุกร่อนได้ เนื่องจากออกไซด์ของเหล็กไม่มีสมบัติในการเป็นสารเคลือบผิว จึงต้องเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนซึ่งประกอบด้วยสารประกอบของไนไตรต์โบแรกซ์ สารนี้จะทำให้น้ำในระบบหล่อเย็นมี pH สูงกว่า 8.5 และทำให้โลหะที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องยนต์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยาก การผุกร่อนของโลหะจึงลดลง นอกจากนี้การใช้ระบบปิดมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลดีอีกประการหนึ่งคือเป็นการจำกัดปริมาณของออกซิเจนที่ละลายลงไปในน้ำจึงทำให้การผุกร่อนของโลหะลดลง

2.2.3 คลอไรด์

แหล่งที่มาของคลอไรด์

คลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่นในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หรือที่ปนเปื้อนมากับหิน ทราย (โดยเฉพาะทรายที่มีแหล่งที่มาจากบริเวณใกล้ทะเล) รวมถึงมีแหล่งที่มาจากน้ำยาผสมคอนกรีตบางประเภท เช่น แคลเซียมคลอไรด์(CaCl2)ที่พบอยู่ในสารเร่งการก่อตัว แต่ปัญหาของคลอไรด์ที่มีผลกระทบต่อความคงทนของคอนกรีตนั้น ส่วนมากมาจากสภาพแวดล้อมภายนอกคอนกรีตในช่วงของการใช้งาน เช่น จากน้ำทะเลหรือน้ำกร่อย จากดิน หรือจากเกลือที่ใช้ในการช่วยละลายน้ำแข็ง (De-Icing Salt)ในประเทศที่มีอากาศหนาว ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้วแหล่งคลอไรด์ที่มีผลกระทบที่รุนแรงต่อโครงสร้างนั้นมาจากน้ำทะเล ซึ่งสำหรับคอนกรีตที่แช่อยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลานั้น ถึงแม้ว่าคลอไรด์จะสามารถซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ แต่เนื่องจากไม่มีปริมาณของออกซิเจนที่เพียงพอ ดังนั้น การเกิดสนิมของเหล็กเสริมก็อาจจะไม่เกิดขึ้น

โดยทั่วไปแล้วเราทราบว่าปริมาณของคลอไรด์มีมากในน้ำทะเลคือมีประมาณ 90% ซึ่งสารประกอบต่างๆของคลอไรด์ในน้ำทะเลประกอบด้วย เกลือของคลอไรด์ในรูปของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)ประมาณ 27,000 ppm. แมกนีเซียมคลอไรด์($MgCl_2$)ประมาณ 3,200 ppm. และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)ประมาณ 500 ppm.

ซึ่งปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในเนื้อของคอนกรีต(Total chloride)ดังกล่าวนั้น เป็นผลรวมของคลอไรด์ในสองประเภทคือ

1.Bound chloride คือคลอไรด์(ในบางส่วน)ส่วนที่ถูกจับยึดอยู่ในผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และที่เกิดปฏิกริยาเปลี่ยนไปในรูปของ Calcium Chloro-Aluminate Hydrate (Friedel's salt) หรือถูกดูดซับด้วยผิวของ gel pores ซึ่งคลอไรด์ในส่วนนี้จะไม่มีผลต่อกระบวนการเกิดสนิม

2.Free chloride คือคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำในโพรงของคอนกรีต (Pore Solution) คลอไรด์ในส่วนนี้สามารถที่จะแพร่เข้าไปยังคอนกรีต ที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ต่ำกว่าและเป็นส่วนที่ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง ดังนั้นหากเราสามารถจับยึดคลอไรด์ในส่วนนี้ไว้ได้เป็นจำนวนมาก ก็จะสามารถช่วยยืดระยะเวลาของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมออกไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของคลอไรด์ตามที่มาตรฐานกำหนด

ระบุปริมาณการปนเปื้อนของคลอไรด์ในน้ำที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต ควรมีปริมาณไม่เกินค่าต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณสารที่ยอมให้ในน้ำสำหรับผสมคอนกรีต

ชื่อสาร	ปริมาณที่ยอมให้(ppm)
คลอไรด์	
-สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงหรืองานสะพาน	500
-สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วๆไป	1,000

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นปริมาณรวมของคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีต ในขณะที่ผสมคอนกรีต(ไม่รวมรวมถึงคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตจากภายนอก ในภาวะการใช้งานของโครงสร้าง) ต้องมีไม่มากเกินกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดดังต่อไปนี้

-สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงทีหลัง(Post-tension) ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

-สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการความทนทานสูง หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงก่อน (Pre-tension) หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงทีหลัง (Post-tension) ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์ ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

อนึ่งในกรณีของคอนกรีตผสมเสร็จ มาตรฐานดังกล่าวแนะนำว่าควรควบคุมปริมาณคลอไรด์ไว้ไม่ให้มากกว่า 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นได้รับอนุมัติจากผู้ใช้จึงอาจควบคุมไว้ไม่ให้เกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ถึงอย่างไรก็แล้วแต่ได้มีการศึกษาวิจัย และพบว่าถึงแม้คอนกรีตจะมีค่าความเป็นด่างสูงโดยค่าpH =13.20 ก็สามารถที่จะเกิดการสึกกร่อนของเหล็กเสริมได้ ถ้าหากมีปริมาณของคลอไรด์สูงอยู่ที่ประมาณ 8,000 ppm. และในขณะเดียวกันหากคอนกรีตมีความเป็นด่างลดลงเพียงเล็กน้อยโดยค่า pH = 11.60 การสึกกร่อนของเหล็กเสริมจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณของคลอไรด์เพียง 71 ppm. เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การซึมผ่านของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีต

คลอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล(และในน้ำกร่อย) ซึ่งมีความสามารถที่จะแทรกซึมเข้าสู่ภายในเนื้อของคอนกรีตได้ ถ้าหากว่าอยู่ในสภาพหรือมีปัจจัยที่เหมาะสม โดยคลอไรด์ที่มีบทบาทที่สำคัญในการทำลายจะเป็นในส่วนของคลอไรด์อิสระ(Free Chloride) ซึ่งการทำลายดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

การซึมผ่านของคลอไรด์อิออนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ มีน้ำอยู่ในระบบโพรงที่อยู่นิ่ง ในคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งน้ำจะเป็นตัวพาคลอไรด์อิออนเข้าไปในคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตอิ่มตัวด้วยน้ำ น้ำจะเป็นตัวกลางให้คลอไรด์อิออนผ่านเข้าไปในคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเปียกสลับแห้งจะเกิดกลไกทั้งสองกรณี ซึ่งอัตราการซึมผ่านของคลอไรด์อิออนจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

การซึมผ่านของคลอไรด์อิออน ขึ้นกับคุณสมบัติของคอนกรีตในหลายๆด้าน เป็นต้นว่าด้านความพรุนของเนื้อคอนกรีตเอง ชนิดของปูนซีเมนต์ สภาพของการบ่ม สภาพของอุณหภูมิทั้งในขณะผสม-เท-บ่ม ความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์โดยรอบ เป็นต้น ซึ่งหากคลอไรด์อิออนมีปริมาณที่เพียงพอแล้ว จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเกิดสนิมได้

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของการซึมผ่านของคลอไรด์อิออนนั้นสามารถแบ่งออกได้ใน 4 ลักษณะดังนี้

1. โดยการแพร่กระจาย(Diffusion) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของความเข้มข้นของคลอไรด์ในคอนกรีต
2. โดยการเคลื่อนย้าย(Migration) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างทางศักย์ไฟฟ้า(หรือปริมาณของอิออน)ในคอนกรีต
3. โดยการพา(Convection) : เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการเกิดวัฎจักรเปียกสลับแห้งในคอนกรีต ซึ่งนำไปสู่กระบวนการเกิด Capillary Suction นั้นเอง
4. โดยการซึมผ่าน(Permeability) : เกิดขึ้นเนื่องจากผลของความแตกต่างทางด้าน hydraulic pressure ในคอนกรีต

หาปริมาณการซึมผ่านของคลอไรด์อิออน เข้าสู่เนื้อของคอนกรีตเนื่องจากการแพร่ โดยใช้กฎข้อสองของฟิค (Fick’2nd law)ดังนี้

$$C(x,t,)=C_s[1-\mathrm{erf}[x\frac{x}{2\sqrt{D}}]]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

C(x,t,) = ความเข้มข้นของคลอไรด์อิออนที่ระยะ x และเวลา t ใดๆ

Cs = ความเข้มข้นของคลอไรด์อิออนที่ผิวสัมผัส

T = ระยะเวลาที่สัมผัส

X = ระยะที่คลอไรด์เคลื่อนที่เข้าไปในคอนกรีต

Erf = ฟังก์ชันคลาดเคลื่อน

D = สัมประสิทธิ์การแพร่

2.2.5 การวัดระยะที่คลอไรด์ซึมผ่านเข้าสู่คอนกรีต

การตรวจสอบปริมาณ Chloride สามารถกระทำได้ง่าย ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Chloride Analyser หรืออาจใช้ขบวนการทางเคมีในห้องปฏิบัติการตามมาตราฐานการทดสอบ ASTM C 114 โดยนำคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ มาทดสอบหาปริมาณ Chloride และหากเราทำการพล๊อตกราฟเทียบกับระยะความลึก ก็จะได้แนวโน้มของการซึมผ่านของ Chloride ซึ่งจะทำให้เราสามารถประเมินระยะเวลาที่เหลืออยู่ ก่อนที่เหล็กเสริมจะเกิดการผุกร่อนเป็นสนิมได้โดยประมาณ ซึ่งเกณฑ์ในการพิจารณาปริมาณ Chloride ions สูงสุดที่ยอมรับได้คือไม่เกิน 0.4% ต่อน้ำหนักของซีเมนต์

2.2.6 ปฏิกิริยาเคมีของการกัดกร่อนด้วยคลอไรด์

โดยปกติแล้วเหล็กเสริมในคอนกรีตจะมีชั้นของฟิล์มออกไซด์(Protective Passivity Layer) บางๆ เคลือบอยู่ที่ผิวของเหล็กเสริมเรียกว่าฟิล์มออกไซด์ของเหล็ก (γ-Fe_2O_3) แต่เมื่อใดก็ตามหากคลอไรด์อิออนสามารถซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตจนถึงผิวของเหล็กเสริม ชั้นของฟิล์มออกไซด์ดังกล่าวจะถูกทำลาย จนกระทั่งเมื่อใดที่ชั้นฟิล์มดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าระดับวิกฤติ(Critical Level) เหล็กเสริมในบริเวณนั้นก็จะเกิดสนิมได้ซึ่งเราเรียกว่า Depassivation และในขณะเดียวกันหากบริเวณดังกล่าวมีออกซิเจนและความชื้นในปริมาณที่พอเหมาะ กระบวนการทางไฟฟ้า-เคมีก็จะเกิดขึ้น

2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนด้วยคลอไรด์

2.2.7.1 ชนิดของปูนซีเมนต์และคุณภาพของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของคอนกรีตและอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม มีความสำคัญกับโครงสร้างของโพรง เมื่อเพิ่มระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ความสามารถซึมผ่านได้ลดลง ซึ่งจะเป็นจริงเมื่อคอนกรีตไม่มีการสูญเสียน้ำเท่านั้น หากมีการสูญเสียน้ำ ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเปลี่ยนไปตามระยะของผิว เนื่องจากการลดลงของความชื้นทำให้ความสามารถในการซึมได้เพิ่มมากขึ้น หากบ่มคอนกรีตไว้นาน การซึมผ่านคลอไร์ก็จะลดลง นอกจากนี้หากทำให้คอนกรีตแน่นไม่เพียงพอ การแพร่ของคลอไรด์ก็จะเพิ่มขึ้น

2.2.7.2 อัตราส่วนของ "น้ำต่อซีเมนต์(w/c)"

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และประเภทของปูนซีเมนต์ จะเป็นตัวบอกคุณภาพด้านความซึมผ่านได้ต่ำของคอนกรีต คุณภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับการทำให้คอนกรีตแน่นและเงื่อนไขการบ่มความซึมผ่านได้ สำหรับคลอไรด์ของคอนกรีตผสมสารปอซโซลานิกที่บ่มอย่างดีจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมสารปอซโซลานที่มีส่วนผสมเหมือนกัน และพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต ซึ่งมี C_3A ต่ำ ให้ค่าต่อการต้านทานการแพร่ของคลอไรด์ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

2.2.7.3 ระยะหุ้มเหล็กเสริม

เป็นที่ยอมรับกันว่าคอนกรีตที่ดีต้องมีความทึบแน่นและมีระยะหุ้มเหล็กเสริมที่เหมาะสม จึงสามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้

2.2.7.4 ตัวการขัดขวางการกัดกร่อน

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีผู้ที่เสนอสารผสมเพิ่มเพื่อต่อต้านกับการเสียสภาพpassiveของคลอไรด์ ไม่ว่าจะเป็นการป้องกันหรือการหน่วงให้เหล็กเสริมได้ผุกร่อนช้าลง มีสารผสมเพิ่ม 2-3 ประเภทที่มีการนำมาใช้ แต่ที่แพร่หลาย คือประเภทไนไตรต์ ได้แก่ แคลเซียมไนไตรต์ และมีโซเดียมไนไตรต์ สรุปว่าไนไตรต์อาจขัดขวางการกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 ผลของการกัดกร่อนหรือทำลายด้วยคลอไรด์

ผลกระทบโดยรวมจากการกัดกร่อนด้วยคลอไรด์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ กำลังรับแรงต่างๆ ของคอนกรีตโดยรวมลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางด้านความต้านทานความล้า(Fatigue Strength) และความสามารถในการแอ่นตัวหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(Elongation ability)ของโครงสร้างก็ลดลงด้วย รวมถึงความยืดหยุ่น(Stiffness)ก็ลดลงด้วยเช่นกัน ในขณะที่ผลข้างเคียงจากการทำลายโดยกระบวนการดังกล่าวคือการแตกร้าวของคอนกรีต เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยเร่งให้น้ำและออกซิเจนสามารถเข้าถึงบริเวณผิวของเหล็กเสริมได้เร็วและมากขึ้น ซึ่งยังผลให้มีการเร่งการเกิดของสนิมเหล็กเสริมให้เร็วและรุนแรงยิ่งขึ้น

2.2.9 วิธีป้องกัน

วิธีการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ แบ่งออกได้เป็น 2 แนวทางคือ

1.การปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตและเหล็กเสริม

1.1. โดยการออกแบบและใช้คอนกรีตที่มีความซึมน้ำต่ำมากๆ เช่น ใช้น้ำในส่วนผสมที่น้อยลง ลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ใชสารประเภท Filler เพื่อเพิ่มความทึบน้ำ เช่น ซิลิกาฟูม การใช้สารปอซโซลานในปริมาณที่เหมาะสม

1.2. การใช้สารผสมเพิ่มบางชนิด เช่น Calcium หรือ Sodium Nitrite ที่ทำให้ปฏิกิริยาอะโนดิกเกิดยาก

1.3. ใช้สารเคลือบผิวคอนกรีต เช่น Epoxy

1.4. ใช้เหล็กเสริมที่ไม่เป็นสนิม หรือเคลือบผิวเหล็กเสริม

2.การแก้ไขโดยอาศัยขบวนการทางไฟฟ้า ซึ่งมีอยู่ด้วยกันใน 3 วิธีคือ

2.1. Catholic Protection เป็นกระบวนการในการปรับความต่างศักย์ทางไฟฟ้าทั้งสองขั้วให้เท่ากัน

2.2. Electrodeposition เป็นกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้าให้กับน้ำทะเล เพื่อสร้างสารบางชนิดจากทะเลขึ้นมาเป็นตัวป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์จากน้ำทะเล

2.3. Desalination and Realkalization เป็นกระบวนการในการสร้างหรือเพิ่มค่าความเป็นด่างให้กับคอนกรีต โดยอาศัยหลักการของระบบกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10 Half Cell

1.ทดสอบหาค่าการสึกกร่อนในเหล็กเสริม (Half-Cell Potential Test)

หลักการการตรวจสอบแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริม เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งจะใช้บอกปริมาณการเกิดสนิมเหล็กที่เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเหล็กบริเวณที่ต้องการตรวจสอบได้ เช่น เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและท่อร้อยสายไฟที่ฝังในคอนกรีต รวมถึงความต้านทานของคอนกรีตเพื่อประเมินโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบริเวณที่ทำการตรวจสอบ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 876-91 “Standard Test Method forHalf-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete”

-ครึ่งเซลล์ (Half-Cell) หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยโลหะ และสารละลายของเกลือที่มีโลหะนั้นเป็นสารประกอบ

-ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่วัดเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์

-มาตรฐาน หรือครึ่งเซลล์อื่นที่ระบุไว้

อาโนด (Anode) หมายถึง จุดที่เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่น

คาโธด (Cathode) หมายถึง จุดที่เกิดปฏิกิริยา รีดักชั่น

2.อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ประกอบด้วย

2.1 ครึ่งเซลล์ (Half Cell) คอปเปอร์ – คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper-Copper Sulphate Half Cell) เป็นครึ่งเซลล์

มาตรฐานที่ประกอบการทดสอบตามเอกสารนี้ ประกอบด้วย

(1) ท่อใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับ คอปเปอร์ หรือคอปเปอร์ซัลเฟต และต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

(2) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตอิ่มตัว เตรียมได้จากการละลายผลึกคอปเปอร์ซัลเฟตในน้ำกลั่นให้อิ่มตัว โดยที่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เหลือจะตกผลึกเป็นก้อนเมื่อสารละลายอิ่มตัวแล้ว

(3) พลาสติกหรือไม้ที่มีความพรุน ซึ่งต้องเปียก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มิลลิเมตร

(4) แท่งทองแดง(คอปเปอร์) เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตรอยู่ในท่อใส่สารละลายและจุ่มในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วัสดุเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างคอนกรีตและอุปกรณ์ (Electrical Junction Device) เป็นตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์วัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปใช้เป็นฟองน้ำเปียกด้วยสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดีและยึดติดที่ปลายของครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต

2.3 สารละลายสำหรับเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า (Electrical Contact Solution) ซึ่งช่วยให้มีความนำไฟฟ้าเพียงพอให้ผลการวัดเป็นมาตรฐาน โดยสารละลายนี้อาจได้จากการละลายน้ำยาทำความสะอาด ปริมาตร 100มิลลิลิตร ในน้ำ 20 ลิตร และอาจต้องเติม สารไอโซโพรพิล (Isopropyl) หรือ ดีเนเจอร์แอลกอฮอล์(Denatured Alcohol) เพื่อป้องกันการเกาะตัวของสารละลายกรณีอุณหภูมิระหว่างตรวจวัดต่ำกว่า 10องศาเซลเซียส

2.4 มาตรวัดศักย์ไฟฟ้า (Voltmeter) สำหรับการทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม ควรมีพลังงานในตัวเอง (ใช้แบตเตอรี่) และมีความแม่นยำร้อยละ ± 3ในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ทดสอบ ความต้านทานของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้าไม่ควรต่ำกว่า 10 เมกาโอห์ม เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่า 100 มิลลิโวลต์ มาตรวัดควรแสดงผลที่ละเอียด 0.02 โวลต์หรือละเอียดกว่า

2.5 สายไฟฟ้า (Electrical Lead Wires) สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับเหล็กเสริมในโครงสร้างซึ่งมีขนาดที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ ในวงจรเกิน 0.1 มิลลิโวลต์ โดยเลือกสายไฟ ให้มีขนาดใหญ่เพียงพอ และมีความยาวไม่มากจนเกินไป

3. วิธีการใช้งานเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

3.1 ต้องดูแลไม่ให้วัสดุหรือไม้ที่มีความพรุนอยู่ในครึ่งเซลล์มากเกินไป เพราะว่าช่องว่างในวัสดุดังกล่าวอาจอุดตันด้วยผลึกของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ตกตะกอน

3.2 กรณีที่การใช้ครึ่งเซลล์ให้ผลคลาดเคลื่อน ให้ทำความสะอาดแท่งทองแดง (Copper Rod) ในครึ่งเซลล์โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

3.3 ควรเปลี่ยนสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตทุกเดือน หรือก่อนทำการตรวจสอบโครงสร้างแต่ละครั้งไม่ควรใช้ขนสัตว์ หรือวัสดุอื่นซึ่งอาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ทำความสะอาดแท่งทองแดง

4. ขั้นตอนประเมินการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

4.1 การวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ควรวัด ณ ตำแหน่งของเหล็กเสริม โดยระยะห่างระหว่างจุดที่ตรวจวัดไม่ห่างกันมากหรือน้อยจนเกินไป

ข้อแนะนำ: ตำแหน่งการวัดที่ห่างกันมากอาจจะทำให้ผู้ตรวจสอบพลาดข้อมูลของจุดที่เกิดสนิม ในขณะเดียวกัน หากตำแหน่งที่วัดอยู่ใกล้กันมากจนเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่ตรวจสอบส่วนของโครงสร้างขนาดเล็กเช่นส่วนของเสาหรือคานจุดที่ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดอาจจะห่างกัน 50 ถึง 100 มิลลิเมตร ในขณะที่การตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่เช่นสะพาน ระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกันประมาณ 0.5 ถึง 1 เมตร

4.2 ต่อสายไฟฟ้ากับเหล็กเสริมในโครงสร้าง โดยค่าความต้านทานของรอยต่อต้องต่ำเพียงพอและไม่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานของทั้งวงจร โดยควรขัดผิวเหล็กเสริมและสายไฟฟ้าก่อนเชื่อมต่อ ในหลายกรณี ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการกะเทาะคอนกรีตหุ้มเหล็กออก สายไฟฟ้าที่ต่อจากเหล็กเสริมต้องเชื่อมกับขั้วบวกของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า

4.3 โดยทั่วไปสายไฟฟ้าต้องต่อโดยตรงกับเหล็กเสริมในโครงสร้าง ยกเว้นกรณีมีหลักฐานที่เชื่อถือได้ว่า มีวัสดุนำไฟฟ้าอื่นที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมในโครงสร้างและเชื่อมต่อได้ง่ายกว่า ให้ตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้า จากการวัดค่าความต้านทานระหว่างโลหะที่ผิวอย่างน้อยสองจุดขึ้นไป

4.4 การเชื่อมต่อสายไฟเข้าระหว่างครึ่งเซลล์และเครื่องมือวัดการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเชื่อมต่อปลายด้านหนึ่งของสายไฟฟ้ากับครึ่งเซลล์ และปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับขั้วลบของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า

4.5 ในกรณีผิวส่วนใหญ่ของโครงสร้างคอนกรีตแห้งต้องทำให้ผิวโครงสร้างคอนกรีตเปียกก่อนวัดศักย์ไฟฟ้า ให้ตรวจสอบเบื้องต้นโดยการต่อครึ่งเซลล์กับผิวคอนกรีตและสังเกตค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ กรณีที่ค่าศักย์ไฟฟ้าไม่คงที่ แสดงว่าผิวคอนกรีตแห้งเกินไป ให้ทำผิวคอนกรีตให้เปียกจนกระทั่งอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าได้ค่อนข้างคงที่ หรือ มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง ±0.02 โวลต์ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 นาที

โดยวิธีการทำให้ผิวคอนกรีตเปียกมี 2 วิธีดังนี้

วิธี ก

พ่นน้ำหรือสารละลายและเช็ดละอองน้ำที่เหลืออยู่บนผิวคอนกรีต ก่อนตรวจวัดความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ วิธีนี้เหมาะสำหรับผิวคอนกรีตที่ต้องการความชื้นเพียงเล็กน้อยเพื่อทำให้มีสภาพเหมาะสมสำหรับการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

วิธี ข

ใช้ฟองน้ำที่ชุ่มด้วยสารละลาย วางบนผิวคอนกรีต และไม่จำเป็นต้องเอาฟองน้ำออกระหว่างการวัดค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ แต่ให้ตรวจวัดผ่านฟองน้ำนี้ วิธีนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ไม่สามารถใช้วิธีอื่นได้

4.6 วัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ที่อ่านได้ต้องมีความละเอียดในระดับ 0.01 โวลต์ และควรคำนึงถึงผลของอุณหภูมิในกรณีที่อุณหภูมิระหว่างทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลงมาก

หมายเหตุ: วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถใช้กับโครงสร้างใต้น้ำได้ แต่ต้องระมัดระวังการตีความ ผลการตรวจสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิม การวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถบอกความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม แต่อาจจะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของการเกิดสนิมที่แม่นยำ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุระหว่างครึ่งเซลล์และเหล็กที่เกิดสนิมเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการหาตำแหน่งที่เกิดสนิม ในกรณีของโครงสร้างใต้น้ำวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้มักให้ค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกันทุกจุด อย่างไรก็ตามผลการวัดที่ได้แสดงถึงการแนวโน้มความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเหมือนทดสอบโครงสร้างอื่นที่ไม่ได้อยู่ใต้น้ำ

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

5.1 ปัจจัยดังต่อไปนี้มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ด้วยวิธีที่ระบุในมาตรฐานนี้ และอาจทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้ หรือทำให้การตีความผลการทดสอบคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

(1) ผิวคอนกรีตถูกปิดด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ปูนฉาบ กระเบื้อง วัสดุกันซึม และสี

(2) เหล็กเสริมเคลือบผิวด้วยอีพอกซี หรือโลหะอื่น

(3) กระบวนการคาร์บอเนชั่นเกิดถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม

(4) ความชื้นของผิวคอนกรีตไม่เพียงพอ ทำให้ค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์มีค่าเป็นลบน้อยลงและอาจไม่สามารถตรวจจับการเกิดสนิมได้

5.2 เนื่องจากในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟของเครื่องมือกับเหล็กเสริมในโครงสร้าง จึงต้องมีการเจาะหรือกะเทาะผิวคอนกรีตบางส่วนออก ทั้งนี้ขั้นตอนนี้ต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวังและต้องมีการซ่อมแซมโครงสร้างอย่างเหมาะสมภายหลังการวัด

ข้อแนะนำ: ในกรณีที่โครงสร้างมีส่วนที่เกิดสนิม จนเกิดการกะเทาะของผิวคอนกรีตแล้วสามารถต่อวงจรกับส่วนของเหล็กเสริมที่เกิดสนิมแล้วได้ โดยต้องมีการทำความสะอาดเหล็กเสริมก่อน

5.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้จากตำแหน่งเดียวกันไม่ควรแตกต่างกันเกิน 10 มิลลิโวลต์เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือชุดเดียวกันในการวัดแต่ละครั้ง

5.4 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้จากตำแหน่งเดียวกันไม่ควรแตกต่างกันเกิน 20 มิลลิโวลต์เมื่อวัดด้วยเครื่องมือคนละชุด

6. ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม

6.1 วิธีการวัดค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม เป็นการประเมินความเป็นไปได้ ที่เหล็กเสริมในคอนกรีตจะเกิดสนิมจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

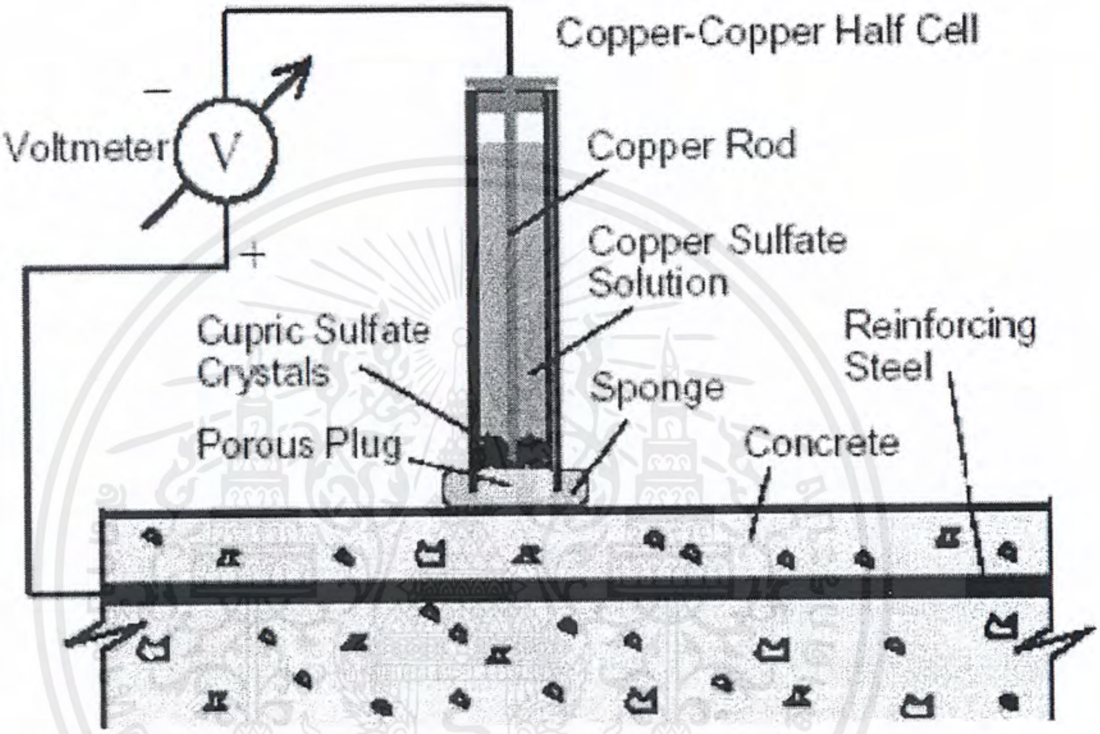
6.2 วิธีการวัดค่าการสึกกร่อนด้วยการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้ ใช้ได้กับเหล็กเสริมที่ไม่มีการเคลือบผิวด้วยอีพอกซีเท่านั้น

6.3 เนื่องจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ต้องเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า ดังนั้นผิวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตรวจวัด จึงควรมีความชื้นในระดับที่ทำให้คอนกรีตสามารถนำไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.หลักการและวิธีการทดสอบ

ทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Half-Cell Potential Instrument เป็นเครื่องมือตรวจวัดความผุกร่อนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมและบริเวณผิวคอนกรีตเพื่อประเมินค่าการกัดกร่อนและสภาพของชั้นหุ้มเหล็กเสริมในช่วงที่ทำการทดสอบ โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เป็นผลจากขบวนการกัดกร่อนเหล็กเสริม ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะบ่งบอกถึงความเสี่ยงมากในการกัดกร่อนของเหล็กเสริม



ตารางที่1.2แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และแนวโน้มของการเกิดสนิมเหล็ก

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ คอปเปอร์ – คอปเปอร์ ซัลเฟต ($Cu/ CuSO_4$)	สภาพการเกิดสนิม
มากกว่า -0.2 โวลต์ CSE	แนวโน้มร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม
ระหว่าง -0.2 ถึง -0.35 โวลต์ CSE	ไม่แน่นอน
น้อยกว่า -0.35 โวลต์ CSE	แนวโน้มร้อยละ 90 ที่จะเกิดสนิมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

สมชาย อินทะตา และ เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ ,ความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาบดละเอียด,คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150,

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาบดละเอียดที่กำลังอัดต่าง ๆ โดยการออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 200, 300 และ 400 กก./ซม.2 สำหรับเถ้าก้นเตานำมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยการบดให้มีขนาดอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ในปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำเถ้าก้นเตาบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เพื่อทดสอบกำลังอัดและความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ที่อายุ 28, 60 และ 90 วัน ในการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ใช้วิธีวัดการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในหน่วยของคูลอมบ์ตามมาตรฐาน ASTM C 1202 และวิธีการแช่แบบจมทั้งหมดในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 3 แล้วฉีดพ่นสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 N เพื่อเปรียบเทียบสีสำหรับหาความลึกในการแทรกซึมของคลอไรด์ จากผลการทดลองการแทรกซึมของคลอไรด์ทั้งสองวิธี พบว่าความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าก้นเตาบดละเอียด และกำลังอัดที่ออกแบบ โดยคอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 40 ของทุกกำลังอัดที่ออกแบบ มีความสามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์สูงสุด และที่ออกแบบกำลังอัดต่างกันพบว่าคอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัดสูงกว่ามีความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ได้ดีกว่า ดังนั้นสรุปได้ว่าเถ้าก้นเตาบดละเอียดสามารถใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตได้

นันทชัย ชูศิลป์, อรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ,การต้านทานคลอไรด์และซัลเฟตของคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียด, 1นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 3 ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

121893
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของคลอไรด์และซัลเฟตที่มีต่อคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียด โดยนำเถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราร้อยละ 10, 20, 30, 40, และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ และการขยายตัวของคอนกรีตที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากงานวิจัยพบว่าเถ้าชานอ้อยบดละเอียด มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีโดยการแทนที่ในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานทำให้คอนกรีตรับแรงอัดสูงสุด การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในคอนกรีตช่วยลดการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์และลดการขยายตัวเนื่องจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ตามร้อยละของการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเสื่อมสภาพของคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดเมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราร้อยละของการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นด้วย

เอกศักดิ์ ฤกษมหาลิขิต, ทวีชัย สำราญวานิช, ภัควัฒน์ แสนเจริญ, สมนึก ตั้งเติมสิริกุล ,ความต้านทานคลอไรด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย ฝุ่นหินปูนและสารขยายตัว, 1นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา , 2 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา , 3นักวิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร , 4ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความต้านทานคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่แทนที่บางส่วนของวัสดุประสานด้วยเถ้าลอย ฝุ่นหินปูนและสารขยายตัว ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ทำการทดสอบ Rapid chloride penetration test (RCPT), Rapid migration test (RMT) และ Water absorption test เมื่อมอร์ต้าร์มีอายุได้ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่า มอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 มีค่าความต้านทานคลอไรด์มากกว่ามอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ส่วนมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก มีค่าความต้านทานคลอไรด์ที่ใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก ขณะที่มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและมอร์ต้าร์ที่ผสมสารขยายตัวมีค่าความต้านทานคลอไรด์ที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วน และมอร์ต้าร์ที่ผสมฝุ่นหินปูนมีค่าความต้านทานคลอไรด์ที่ลดลง ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมของเถ้าลอย และฝุ่นหินปูนที่บางอัตราส่วนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัวมีค่าความต้านทานคลอไรด์ที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่า ผลการทดสอบด้วยวิธี RCPT และ RMT มีความสัมพันธ์กันและแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

เพ็ญชาย เวียงใต้, สมชาย อินทะตา, เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์,การศึกษาการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย, 1นิสิตปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2ผู้ช่วยวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 3ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย โดยนำเถ้าชานอ้อยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ภูเขียวไบโอเอ็นเนอร์ยี จ.ชัยภูมิ มาเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดให้มีปริมาณอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300 กก./ตารางเซนติเมตร. จากนั้นนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทำการทดสอบกำลังอัดและการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ที่อายุ 28 และ 90 วัน จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 – 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่งผลให้กำลังอัดและการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์สูงกว่าคอนกรีตควบคุม ส่วนการแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีผลทำให้กำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมแต่มีการต้านทานแทรกซึมของคลอไรด์สูงกว่าคอนกรีตควบคุม โดยคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ได้สูงสุด

ปริญญา จินดาประเสริฐ อุกฤษฏ์ โข่ศรี,กำลังรับแรงและความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ ของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบ

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของเถ้าลอยและเถ้าแกลบ ที่มีต่อกำลังและความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ (w/b) เท่ากับ 0.35 และ 0.60 ในแต่ละ w/b จะใช้ปริมาณของเถ้าแกลบและเถ้าลอยตั้งแต่ 40 – 80 %ในด้านกำลัง พบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบ จะมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ 28 วัน แต่ถ้าอายุของคอนกรีตมากขึ้นที 90 วัน พบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบจะให้กำลังที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะคอนกรีตที่ผสมทั้งเถ้าลอยและเถ้าแกลบในส่วนผสม 60 :20 : 20 จะมีกำลังที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม ในด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ พบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบสามารถต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม

มณเฑียร ทีฆวาณิช ประสิทธิ์ อุตส่าห์พานิช วิเชียร ชาลี เอนก ศิริพานิชกร ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ไกรวุฒิ เกียรติโกมล,ผลกระทบของน้ำทะเลต่อการซึมผ่านของคลอไรด์และการเกิดสนิมเหล็กในคอนกรีต ที่ผสมเถ้าถ่านหิน

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของน้ำทะเลต่อปริมาณคลอไรด์และการเกิดสนิมเหล็กในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I และ V สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ15, 25, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และกำหนดให้ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.65 หล่อคอนกรีตและฝังเหล็กเส้น กลมขนาด Ø 12 มม. ยาว 50 มม. ให้มีระยะหุ้มคอนกรีตหนาเท่ากับ 10, 20, 50 และ 75 มม. ภายหลังจากบ่มคอนกรีตในน้ำประปาจนมีอายุครบ 28 วัน ทำการทดสอบกำลังอัด หลังจากนั้นนำคอนกรีตไปแช่น้ำทะเลในสภาวะเปียกสลับแห้ง และเก็บตัวอย่างมาทดสอบหา การกัดกร่อนของเหล็กเสริม เจาะคอนกรีตเพื่อทดสอบปริมาณคลอไรด์และกำลังอัดของคอนกรีตที่แช่น้ำทะเลเป็นเวลา 36 เดือน ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการเกิดสนิมเหล็กในคอนกรีตมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับปริมาณของคลอไรด์ การใช้เถ้าถ่านหินผสม ในคอนกรีตในปริมาณการแทนที่ที่สูงขึ้นช่วยลดการเกิดสนิมเหล็กและลดการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังอัด ของคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแช่น้ำทะเลครบ 36 เดือน ขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ I และ V มีค่าลดลง

ปริญญา จินดาประเสริฐ ชัยชาญ โชติถนอม ปิโยรส ทะเสนฮด,การศึกษาการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะคัดขนาด

บทคัดย่อ : บทความนี้ได้ศึกษาความต้านการซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอยคัดขนาดได้ใช้เถ้าลอย 3 ความ ละเอียดได้แก่ เถ้าลอยธรรมดา เถ้าลอยละเอียดร้อยละ 45 และเถ้าลอยละเอียดสูงร้อยละ 10 ใช้คอนกรีตกำลัง 450 และ 700 กก/ซม2 และใช้ปริมาณเถ้าลอยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักทุกส่วนผสม จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานการซึมผ่านของ คลอไรด์ของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าลอยที่ใช้ การทดสอบประจุไฟฟ้า (Coulomb Charge Test) แสดงให้เห็นว่า ความต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ เพิ่มขึ้นเมื่อเถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอยมีความละเอียดสูงขึ้น ผลการทดลองการซึมผ่านโดยการแช่ในสารละลาย เกลือ NaCl เข้มข้นร้อยละ 3 ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

ปริญญา ก้านบัวแก้ว วีรชาติ ตั้งจิรภัทร ชัย จาตุรพิทักษ์กุล,ผลกระทบของเถ้าปาล์มน้ำมันต่อกำลังอัดและการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีต

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของความละเอียด และอัตราการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันในปูนซีเมนต์ต่อกำลังอัดและการแทรกซึมของสารละลายคลอไรด์ในคอนกรีต นำเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มโดยตรงมาบดให้มีความละเอียดต่างกัน 2 ขนาด คือเถ้าปาล์มน้ำมันขนาดเล็ก (SP; มีปริมาณอนุภาคค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก) และเถ้าปาล์มน้ำมันขนาด กลาง (MP; มีปริมาณอนุภาคค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก) รวมกับเถ้าปาล์มน้ำมันจากโรงงานโดยตรง (LP) เป็น 3 ขนาดความละเอียด จากนั้นแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ความละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานเพื่อหล่อคอนกรีต ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7, 28, 90 และ 360 วัน และทดสอบการ แทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ในคอนกรีตที่อายุ 90 วันและ 360 วัน ผลการทดสอบ พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าสูงขึ้นเมื่อความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมัน SP ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 90 วันมีค่าเทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุม ความต้านทานการแทรกซึมของ คลอไรด์ในคอนกรีตสูงขึ้นเมื่อความละเอียดและการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันในคอนกรีตเพิ่มขึ้น

นันทชัย สกานุพงษ์ ศิวกรณ์ ก้องเอกภพ วันชัย ยอดสุดใจ,การศึกษาเชิงปฏิบัติการของการลดปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี

บทความนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการลดปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีการทาง ไฟฟ้าเคมีเพื่อป้องกันและบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากการกัดกร่อนของสนิมเหล็ก ทำการศึกษาในเงื่อนไขต่างๆที่คาดว่ามีความสัมพันธ์ในการลดปริมาณคลอไรด์ที่อยู่ภายในโครงสร้างเพื่อให้ได้ความเหมาะสม และเป็นแนวทางเลือกที่คุ้มค่าที่คำนึงถึงตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งกระบวนการลดปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมีนี้ เป็นวิธีการแบบไม่ทำลายผลการศึกษาคานขนาดเล็ก คือขนาดเท่ากับ 0.135x0.2x1.3เมตร พบว่าการลดปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมีแนวโน้มที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ระยะเวลาเพียงช่วงสั้นๆก็สามารถลดปริมาณคลอไรด์ได้ในอัตราที่น่าพอใจ ทั้งนี้ขึ้นกับ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่น ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็คโทรไลต์ ระยะเวลาของกระบวนการลดปริมาณคลอไรด์ พื้นที่หน้าตัดสัมผัส สารละลายอิเล็คโทรไลต์ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยผลการทดลองที่เหมาะสม คือ การใช้สารละลายอิเล็คโทรไลต์โซเดียมไฮดรอก ไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ระยะเวลา 15 วัน และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ให้ผลที่น่าพอใจโดยสามารถลดปริมาณคลอไรด์ ได้ถึง 60.65 เปอร์เซนต์สำหรับขอบเขตการศึกษานี้

ภาณุพันธุ์ พิบูลศักดิ์ อะซึชิ ฮัตโตะริ โทะโยะอะคิ มิยะกะว่ะ,การตรวจสนิมเหล็กโดยวิธีไฟฟ้าเคมีในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ติดแผ่นนำไฟฟ้า

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาผลของกาวยาง epoxy นำไฟฟ้าซึ่งใช้ในการติดวัสดุเสริมแรงบนผิวคอนกรีตต่อการตรวจสนิมเหล็กโดยวิธีไฟฟ้าเคมี ซึ่งได้แก่ การวัดความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ Half-Cell Potential และการวัดความต้านทานโพลาไรเซชั่น Polarization Resistance อีก 2วิธี นอกจากนั้นยังศึกษาผลของการเจาะรูบนแผ่นนำไฟฟ้าและช่องอากาศใต้แผ่นนำไฟฟ้า การวัดความต่างศักย์ครึ่งเซลล์บนแผ่นวัสดุนำไฟฟ้าให้ผลใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผิวคอนกรีต การวัดความต้านทานโพลาไรเซชั่นแบบ rectangular pulse method ให้ผลที่น่าเชื่อถือมากกว่า การวัดความต้านทานโพลาไรเซชั่นแบบ AC impedance method เพราะว่าค่าที่ได้จากการวัดความต้านทานโพลาไรเซชั่นแบบ AC impedance method มีค่าที่ผกผันและบางครั้งมีค่าเป็นลบและค่าที่มากเกินไป

นายชยพัทธ์ ทิพย์โพธิ,การเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตและการป้องกันโดยใช้สารเคลือบผิวป้องกันสนิมของโครงสร้างอาคารหอหล่อเย็นโรงไฟฟ้าบางปะกง,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต และแนวทางป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตโครงสร้างอาคารหอหล่อเย็น โรงไฟฟ้าบางปะกง โดยใช้สารเคลือบผิวป้องกันสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต 2 ผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันเหล็กเสริมคอนกรีตในแท่งคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่าง จากนั้นทำการกดให้แท่งตัวอย่างเกิดการแตกร้าวด้วยแรงกระทำประมาณร้อยละ 30 และ ร้อยละ 50 ของกำลังรับแรงกดประลัย แล้วนำไปไว้ในสภาวะที่มีการเร่งให้เกิดการผุกร่อน โดยนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.75, 1.50 และ3.00 โดยน้ำหนักตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปแช่ในน้ำจากอาคารหอหล่อเย็น โรงไฟฟ้าบางปะกง ในภาวะผันผวนของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปียก 1 สัปดาห์และแห้ง 2 สัปดาห์ สลับกัน จากนั้นทำการทดสอบ แท่งตัวอย่างที่อายุ9, 15, 21, 27 และ 33 สัปดาห์ โดยใช้ Half Cell Potential Measurement ตามมาตรฐาน ASTM C 876

ผลการศึกษาพบว่า เหล็กเสริมคอนกรีตของแท่งตัวอย่างที่แช่ในน้ำจากอาคารหอหล่อเย็นโรงไฟฟ้าบางปะกง มีแนวโน้มเกิดสนิมสูงกว่าเหล็กเสริมคอนกรีตแท่งตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.50 แต่ไม่เกินร้อยละ 3.00 ที่สภาวะเดียวกันทุกกรณี และปฏิกิริยาการเกิดสนิมมีค่าผันแปรตามความเข้มข้นของคลอไรด์ การแตกร้าวของคอนกรีต ระยะเวลาของสภาพเปียกสลับแห้งและสารเคลือบผิวป้องกันสนิม นอกจากนั้นแล้วสารเคลือบผิวป้องกันสนิมผลช่วยชะลอการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตเนื่องจากคลอไรด์ได้เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบตั้งแต่เริ่มต้นตั้งแต่เริ่มทำการศึกษาค้นคว้า หล่อคอนกรีตที่จะใช้ทดสอบให้มีกำลังรับแรงอัดตามที่กำหนดไว้ แล้วทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด การจัดเตรียมอุปกรณ์Half-Cell สำหรับทำการทดสอบเพื่อหาโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริม นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป

3.2 ขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงาน

3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ทำการหาข้อมูลและรวบรวมข้อมูลในเรื่องวิธีการทดสอบแบบ Half-Cell จากแหล่งข้อมูลต่างๆจากงานวิจัยเดิมและอินเตอร์เน็ต
2. ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่มีมาตรฐานและเงื่อนไขต่างๆ เพื่อนำมาเป็นหลักการที่ใช้ในการทำงาน
3. ขั้นตอนการเตรียมแบบหล่อสำหรับทำการหล่อคอนกรีตที่จะใช้ทดสอบ
4. ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ให้ครบ คือ เหล็กเสริม ปูนซีเมนต์ น้ำกลั่น และโซเดียมคลอไรด์
5. ขั้นตอนการหล่อคอนกรีต บ่มคอนกรีต
6. ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต
7. ขั้นตอนการเตรียมถังสำหรับแช่คอนกรีต
8. ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือทดสอบHalf-Cell
9. ขั้นตอนการทดสอบ ตรวจวัดHalf-cellและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 รายละเอียดการดำเนินงาน

การดำเนินงานหลักๆแบ่งได้ 2 ส่วนดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมแบบหล่อและหล่อคอนกรีต
2. ขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่องมือHalf-Cell

3.2.3 แผนการดำเนินงาน

แผนการจะแบ่งเป็นช่วงเวลาต่างๆโดยแบ่งเป็นแผนงานที่ได้วางแผนไว้และแผนงานที่ได้ดำเนินการ แสดงไว้ดังตารางที่3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3.1 แผนการดำเนินงาน

แผนงานที่วางไว้ (black line) แผนงานที่ดำเนินการ (red line)

หัวข้อ	Project 1					Project 2				
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1.ออกแบบหล่อ										
2.ผสมคอนกรีตเทลงแบบ										
3.บ่มคอนกรีต										
4.อบที่105°c 24Hr										
5.แช่สารละลายคลอไรด์										
6.ทดสอบHalf-Cell 180KSC										
7.ทอสอบHalf-Cell 350KSC										
8.รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการวางแผน ออกแบบ

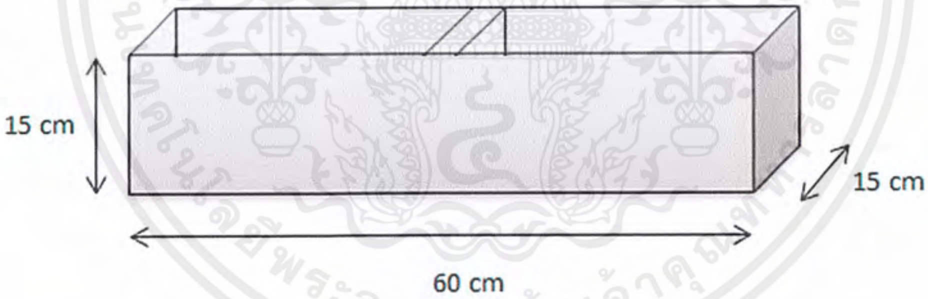
วางแผนและออกแบบคอนกรีตตัวอย่างที่จะใช้สำหรับการทดลอง โดยออกแบบเป็นไปตามขอบเขตที่ต้องการศึกษาที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่ต้น คือ

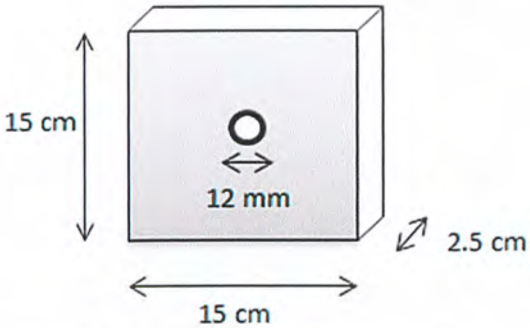
1. คอนกรีตตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ คอนกรีตตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัด 180 ksc และ 350 ksc

2. กำหนดความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 3 ค่าที่ต่างกัน คือ 0.75% 1.5% และ 3%

3. แบ่งการแช่ตัวอย่างคอนกรีตออกเป็นแช่น้ำเปล่า แช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน และคอนกรีตลูกบาศก์สำหรับกดทดสอบเพื่อตรวจสอบกำลังรับแรงอัดว่าคอนกรีตตัวอย่างนั้นมีกำลังรับแรงอัดตามที่กำหนดหรือไม่

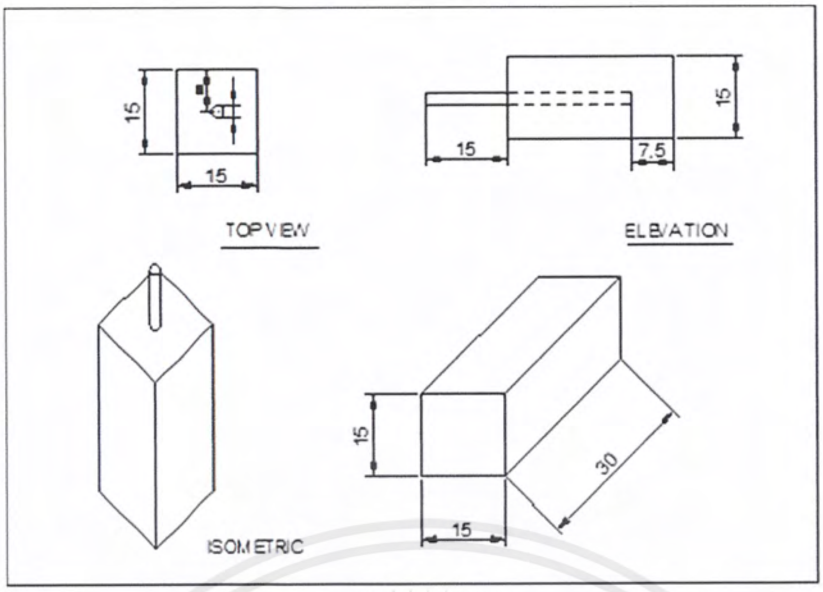
การออกแบบแบบหล่อ นำแบบหล่อที่มีอยู่ขนาด 15x 15x60 ซม. มาปรับใช้ ให้หล่อคอนกรีตที่มีขนาด 15x15x 30 ซม. โดยการนำแผ่นไม้ขนาด15x 15x2.5ซม. มาคั่นตรงกลางแบบ

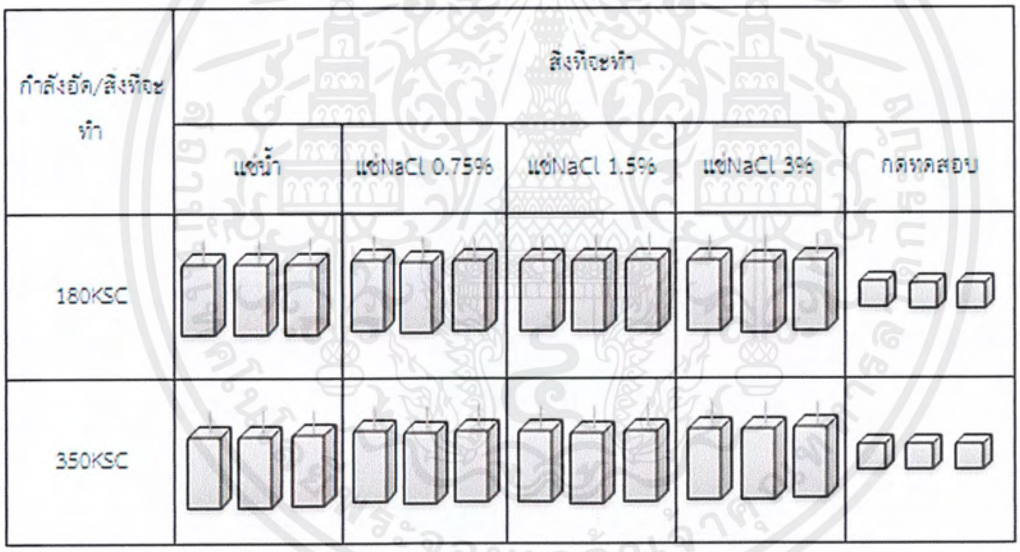


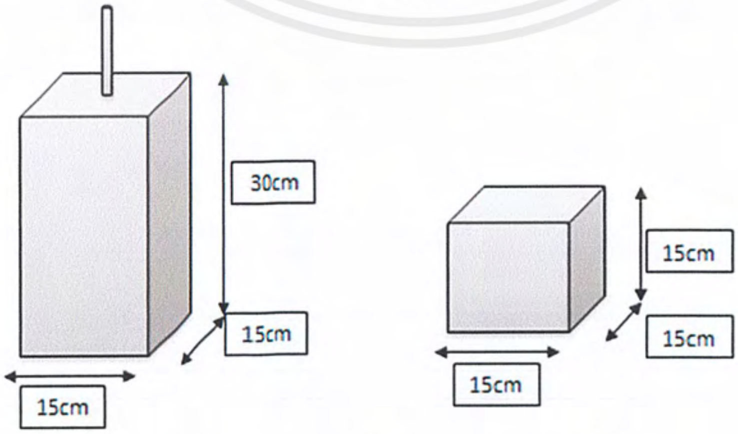


รูปที่ 3.1. แสดงการออกแบบแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







รูปที่ 3.2. แสดงลักษณะคอนกรีตตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการหล่อคอนกรีตสำหรับทดสอบ

3.4.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. น้ำ
3. ทรายละเอียดและหิน
4. เหล็กเส้นขนาด DB 12
5. แบบหล่อขนาด 15x15x30 ซม.
6. เครื่องโม่
7. เครื่องชั่ง
8. กระบอกตวง

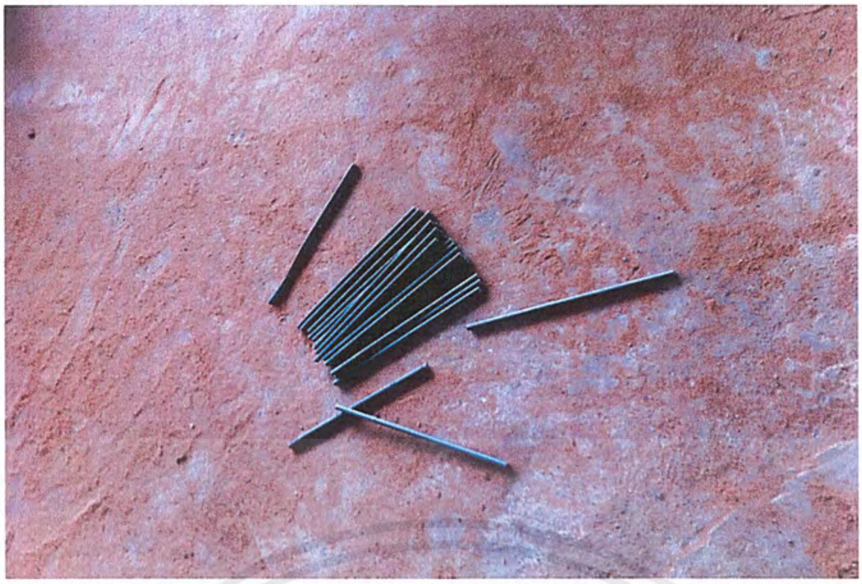
รูปที่3.3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4. น้ำ

รูปที่3.5. ทรายละเอียดและหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6. เหล็กDB12

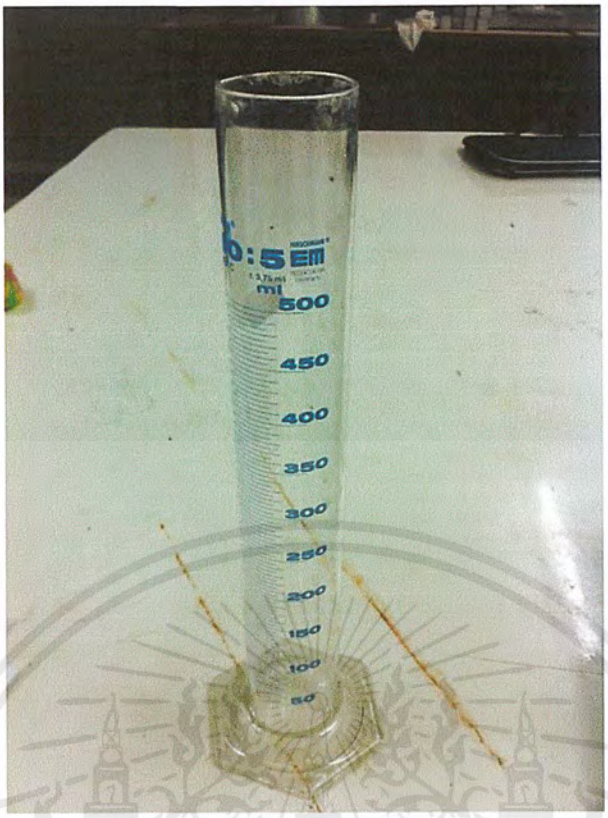
รูปที่ 3.7. แบบหล่อขนาด15x15x30ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8. เครื่องโม่

รูปที่ 3.9. เครื่องชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10. กระบอกตวง

3.4.2 ขั้นตอนการหล่อคอนกรีตทดสอบ

1. ทำการคำนวณ Mixed design หาปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ เพื่อให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัด ตามที่กำหนดไว้ ในที่นี้ใช้กำลังรับแรงอัด 180 ksc และ 350 ksc

2. ผสมปูนซีเมนต์ ทราย หิน ที่ได้จากการทำ mixed design ลงในโม่ และทำการปั่นให้เข้ากัน โดยการผสมนั้นให้แบ่งน้ำเป็นสองส่วนเพื่อลดค่าการเยิ้มน้ำของคอนกรีต โดยเติมน้ำส่วนแรกลงไป 2/3ของน้ำทั้งหมด ปั่นให้เข้ากัน จากนั้นเติมส่วนที่เหลือลงไปแล้วปั่นให้เข้ากัน

3. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว มาเทลงแบบหล่อขนาด 15x15x30 ซม. จำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พร้อมทั้งเสริมเหล็กลงไปตรงกลาง1เส้น

4. เมื่อคอนกรีตเซตตัว ถอดแบบ นำคอนกรีตตัวอย่างบ่มในน้ำ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11. การหล่อคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ

รูปที่ 3.12. การบ่มคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน

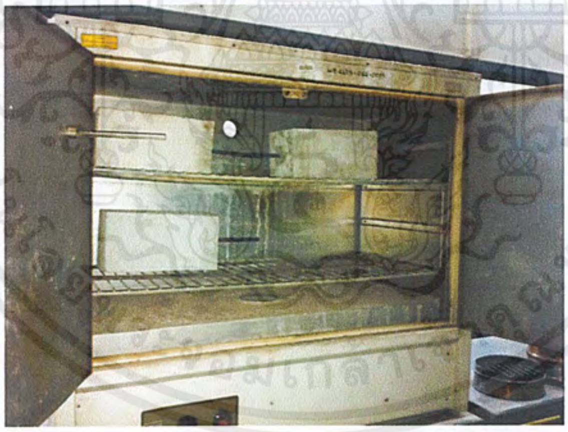
3.5 **ขั้นตอนการตรวจสอบกำลังคอนกรีต**

1. นำคอนกรีตลูกบาศก์ที่บ่มครบ 28 วันแล้ว ไปทดสอบเพื่อวัดค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อดูว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดตามที่กำหนดหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดผ่านแล้ว จึงนำคอนกรีตตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อที่จะนำไปแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์สำหรับรอการทดสอบต่อไป

รูปที่ 3.13. การกดทดสอบคอนกรีต



รูปที่ 3.14. อบคอนกรีตตัวอย่างที่ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.6 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์

3.6.1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.น้ำ

2.โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

3.กระบอกตวง

3.6.2. การคำนวณ

การคำนวณส่วนผสมสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ที่ความเข้มข้น Cl 0.75% โดยน้ำหนัก ถ้า ใช้น้ำ40ลิตร

Cl น้ำหนัก 35.453 g	NaCl น้ำหนัก 58.4428 g
ถ้า Cl น้ำหนัก 0.75 g	NaCl น้ำหนัก 58.4428x0.75/35.453 = 1.2363 g
ดังนั้น	
น้ำ 100 cm^3	ใช้ NaCl 1.2363 g
น้ำ 40000 cm^3	ใช้ NaCl 1.2363x40000/100 =494.53 g หรือ 0.494 Kg

ที่ความเข้มข้น Cl 1.5% โดยน้ำหนัก ถ้า ใช้น้ำ40ลิตร

Cl น้ำหนัก 35.453 g	NaCl น้ำหนัก 58.4428 g
ถ้า Cl น้ำหนัก 1.5 g	NaCl น้ำหนัก 58.4428x1.5/35.453 = 2.4727 g
ดังนั้น	
น้ำ 100 cm^3	ใช้ NaCl 2.4727 g
น้ำ 40000 cm^3	ใช้ NaCl 2.4727x40000/100 =989.08 g หรือ 0.989 Kg

ที่ความเข้มข้น Cl 3% โดยน้ำหนัก ถ้า ใช้น้ำ40ลิตร

Cl น้ำหนัก 35.453 g	NaCl น้ำหนัก 58.4428 g
ถ้า Cl น้ำหนัก 3 g	NaCl น้ำหนัก 58.4428x3/35.453 = 4.9454 g
ดังนั้น	
น้ำ 100 cm^3	ใช้ NaCl 4.9454 g
น้ำ 40000 cm^3	ใช้ NaCl 4.9454x40000/100=1978.16 g หรือ 1.978 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3. การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์

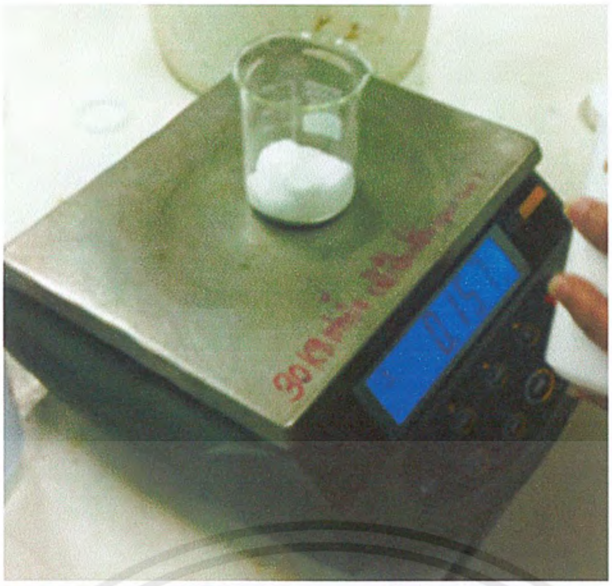
1. ทำการคำนวนความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้สูตรเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ได้ 0.75% , 1.5%, 3% ตามที่กำหนด

2. เมื่อได้ส่วนผสมทั้งหมดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำผสมโซเดียมคลอไรด์กับน้ำให้ได้ตามปริมาตรที่ต้องการ

รูปที่3.15. น้ำกลั่น

รูปที่ 3.16. โซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



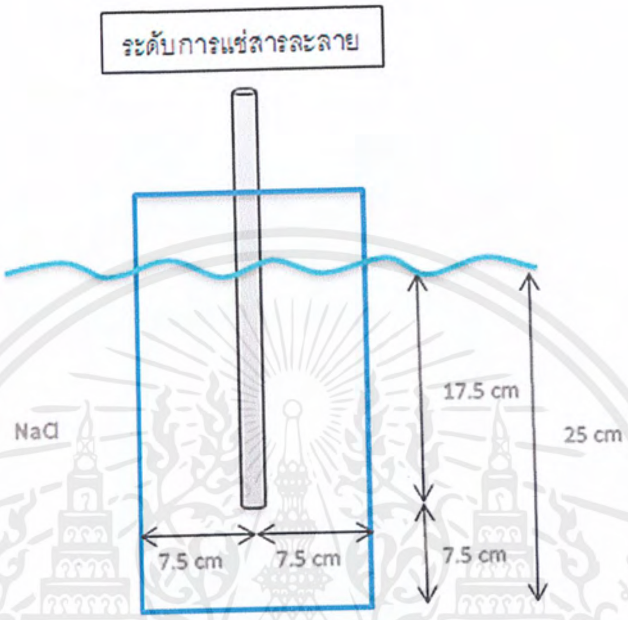
รูปที่ 3.17. การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์สำหรับผสมน้ำกลั่น

รูปที่ 3.18. การผสมโซเดียมคลอไรด์กับน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ขั้นตอนการนำคอนกรีตตัวอย่างมาแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์

เมื่อนำคอนกรีตตัวอย่างไปอบครบ 24 ชั่วโมงแล้ว จะทำการนำคอนกรีตมาแช่ เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดไว้ จึงนำมาเพื่อทำการทดสอบ



รูปที่ 3.19. แสดงระดับการแช่คอนกรีต

รูปที่ 3.20. ถังสำหรับแช่คอนกรีต

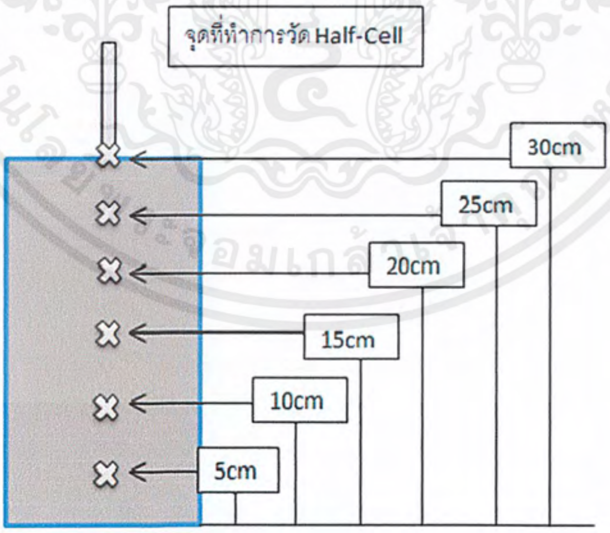
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21. การแช่คอนกรีตในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

3.8 ขั้นตอนการทดสอบHalf-Cell

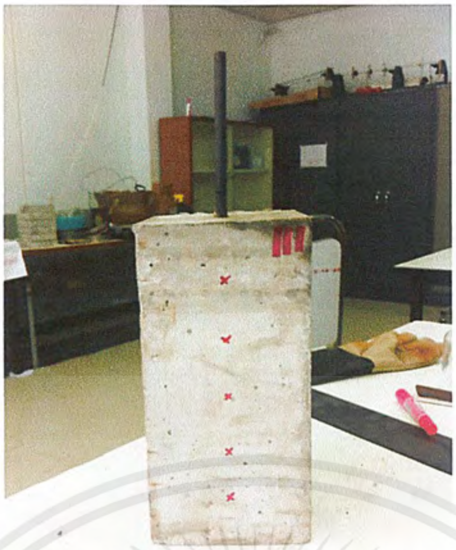
3.8.1. วัตถุประสงค์

ทำการทดสอบหาอัตราในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในแท่งคอนกรีตตัวอย่างซึ่งมีความสูงเท่ากับ 30 เซนติเมตรโดยทำการวัดให้ตรงกับตำแหน่งของเหล็กเสริม และวัดทุกระยะความสูง 5 เซนติเมตรจากพื้น ก่อนทำการวัดทดสอบ จะมีการนำแท่งคอนกรีตตัวอย่างขึ้นมาตากทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.22. แสดงตำแหน่งที่จะทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23. การทำเครื่องหมายบนคอนกรีตตัวอย่าง

3.8.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. คอนกรีตที่หล่อแล้วและมีค่ากำลังรับแรงอัดตามที่กำหนด มีระยะหุ้มของเหล็กเสริมจากทุกด้านเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร

2. ขวดสเปรย์น้ำ สำหรับสเปรย์ผิวคอนกรีตหากผิวคอนกรีตมีความแห้งเกินไป จะส่งผลให้ค่าที่เกิดขึ้นไม่คงที่

3. ชุดเครื่องมือทดสอบ Half-Cell ใช้สำหรับทดสอบ

รูปที่ 3.24. คอนกรีตสำหรับทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25. ชุดเครื่องมือHalf-cell

3.8.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

1. นำแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่แช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ขึ้นมาตากทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน

2. จัดเตรียมเครื่องมือHalf cell เพื่อทำการวัดอ่านค่าการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในแท่งคอนกรีตตัวอย่างซึ่งมีความสูง 30 เซนติเมตรโดยทำการวัดให้ตรงกับตำแหน่งของเหล็กเสริมและวัดทุกระยะความสูง 5 เซนติเมตรจากพื้น

3. ถ้าค่าที่อ่านได้ไม่นิ่ง อาจมีสาเหตุจากผิวคอนกรีตแห้งเกินไปดังนั้นเราจึงควรทำการสเปรย์น้ำลงบนผิวคอนกรีตก่อนเล็กน้อย

4. ทำการวัดทดสอบHalf cell คอนกรีตตัวอย่างและบันทึกผลเพื่อนำไปแสดงผลในรูปแบบของกราฟ และวิเคราะห์ผลต่อไป

5. นำคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบแล้ว ไปแช่สารละลายในถังเพื่อรอการทดสอบครั้งต่อไปในอีก 2 สัปดาห์

6.ทำการเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.75% 1.5% 3% ในทุกๆ2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.26. การตากคอนกรีตก่อนทำการทดสอบ

รูปที่ 3.27. ขวดสเปรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.28. การทดสอบHalf cell

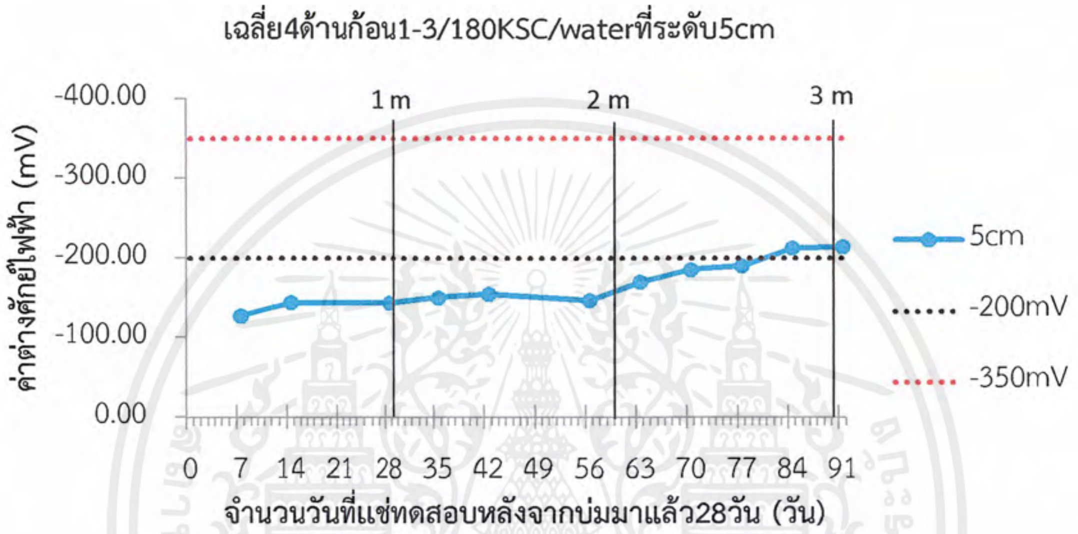
รูปที่ 3.29. อ่านค่าที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

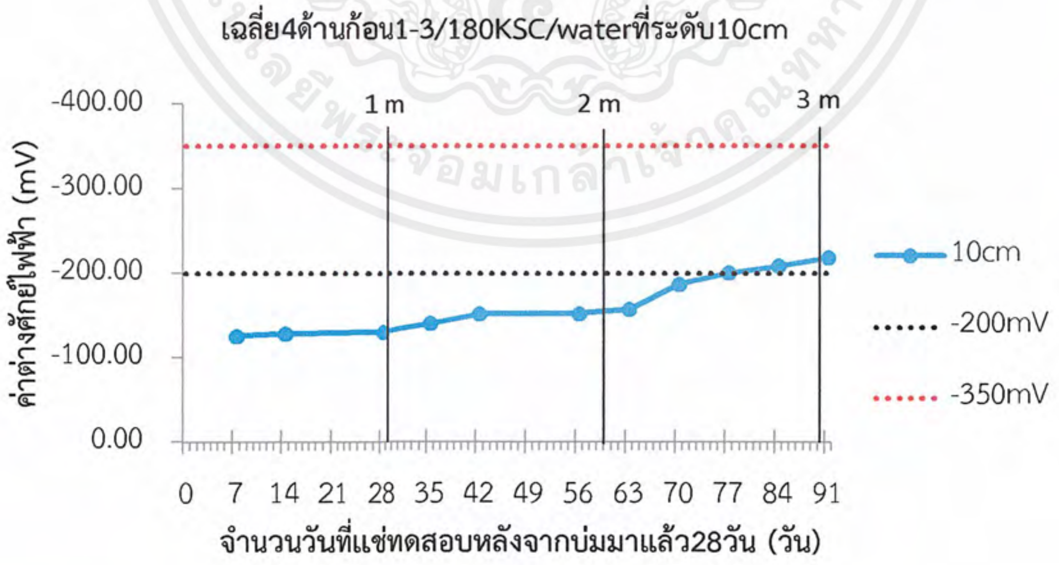
บทที่ 4

ผลการทดสอบและกราฟ

4.1 ผลการทดสอบที่ 180KSC

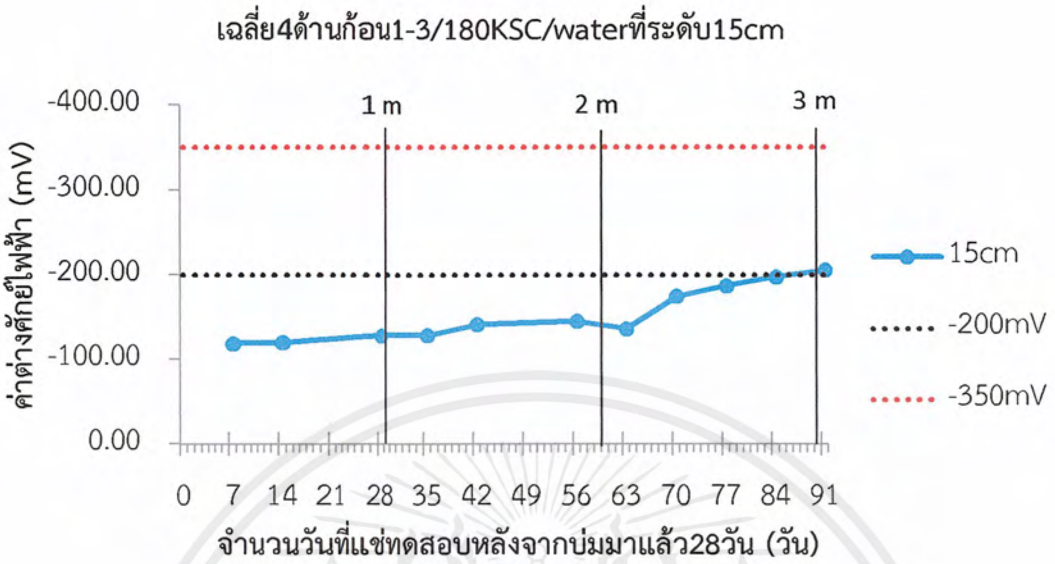


รูปที่ 4.1 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ5cm

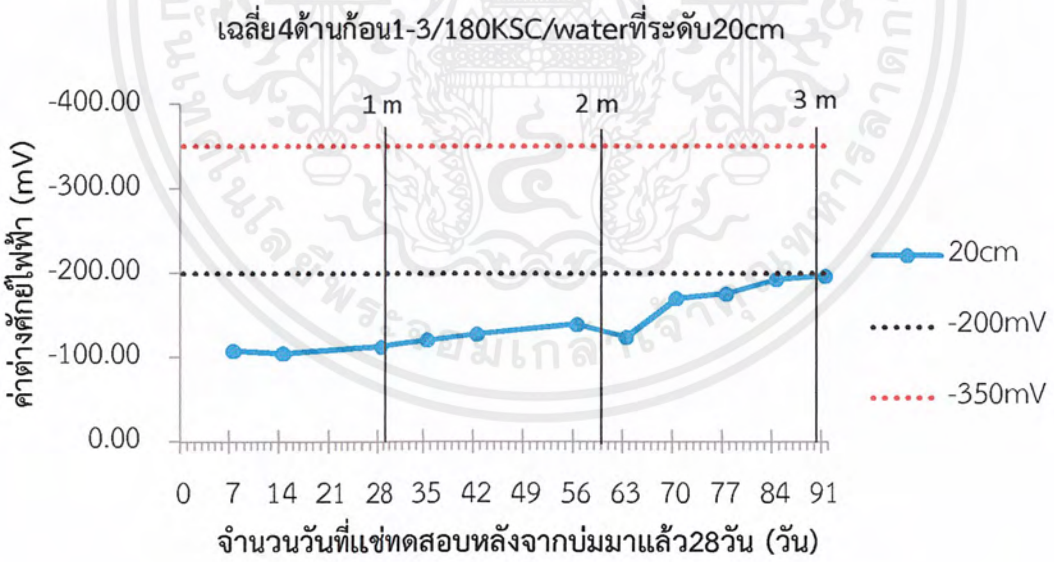


รูปที่ 4.2 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ10cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

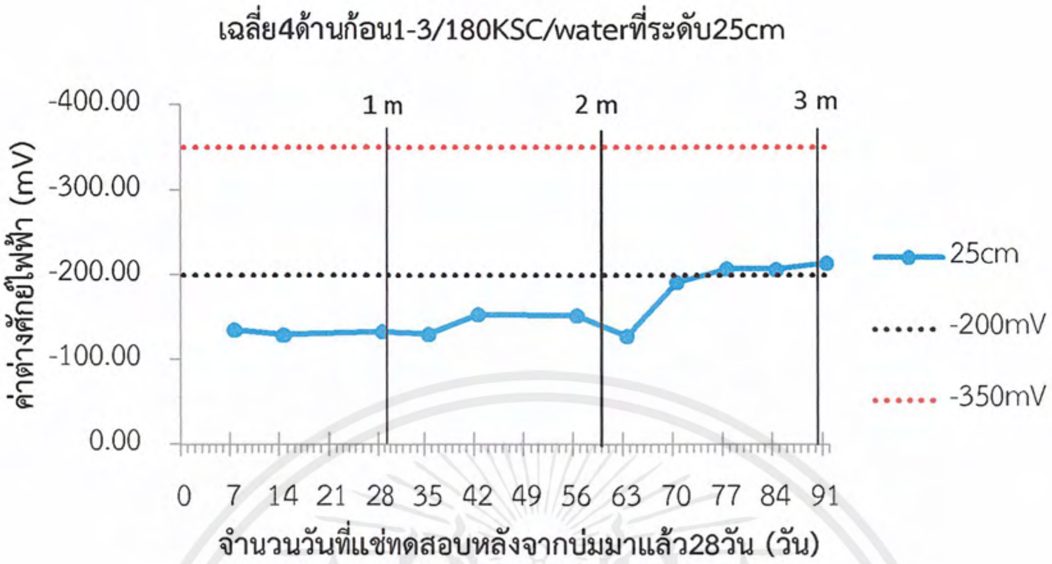


รูปที่ 4.3 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ15cm

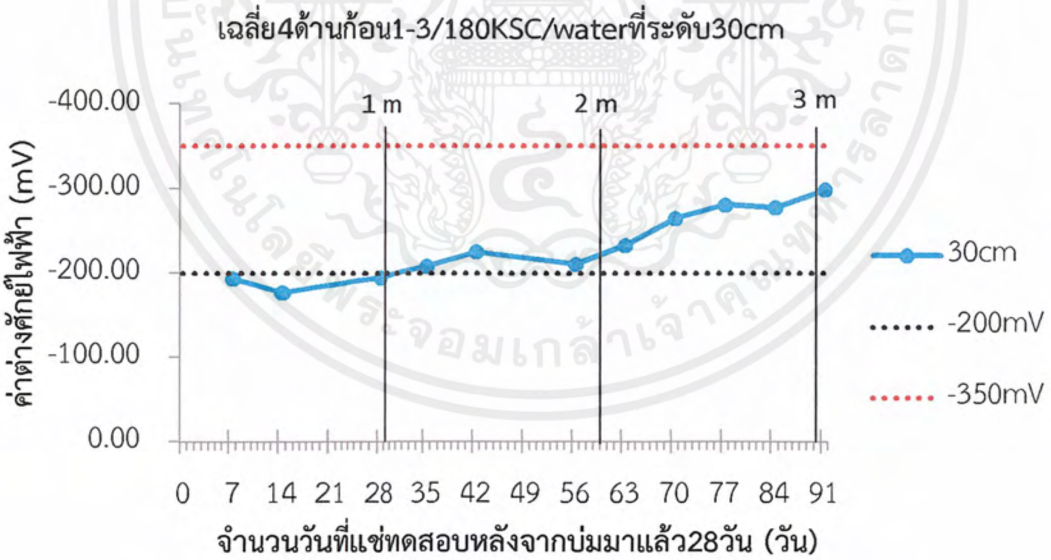


รูปที่ 4.4 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ20cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

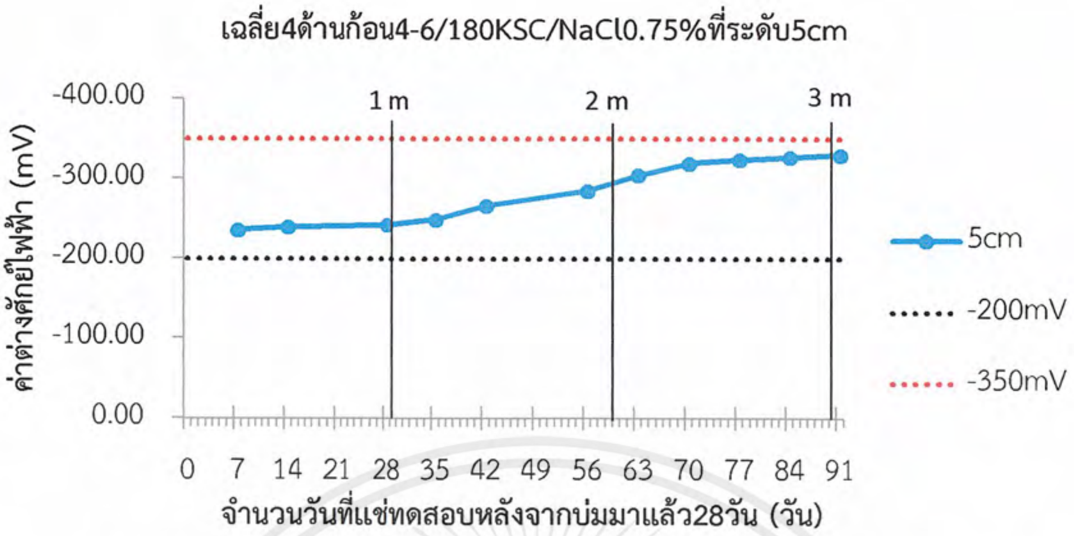


รูปที่ 4.5 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ25cm

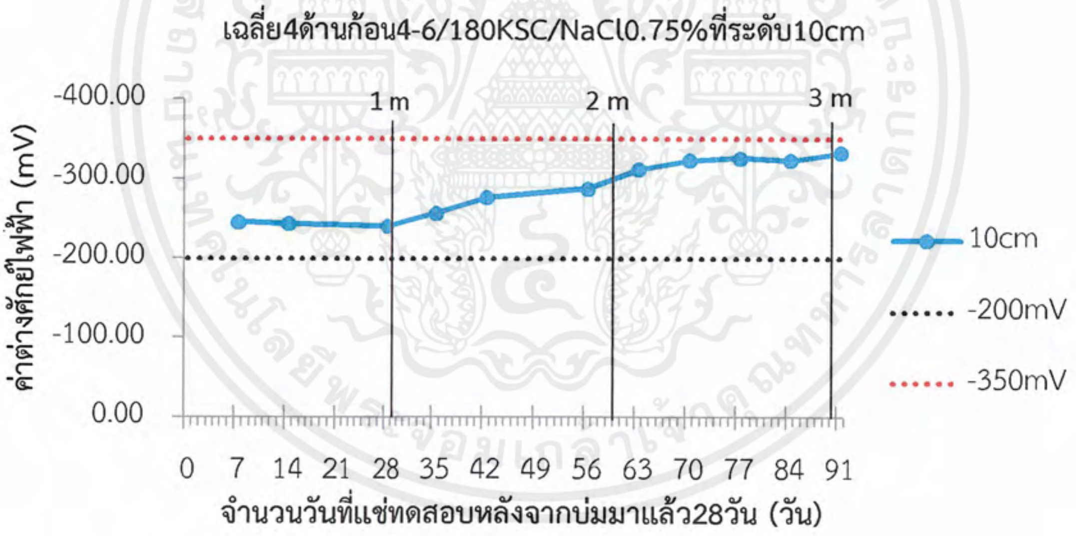


รูปที่ 4.6 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ระดับ30cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

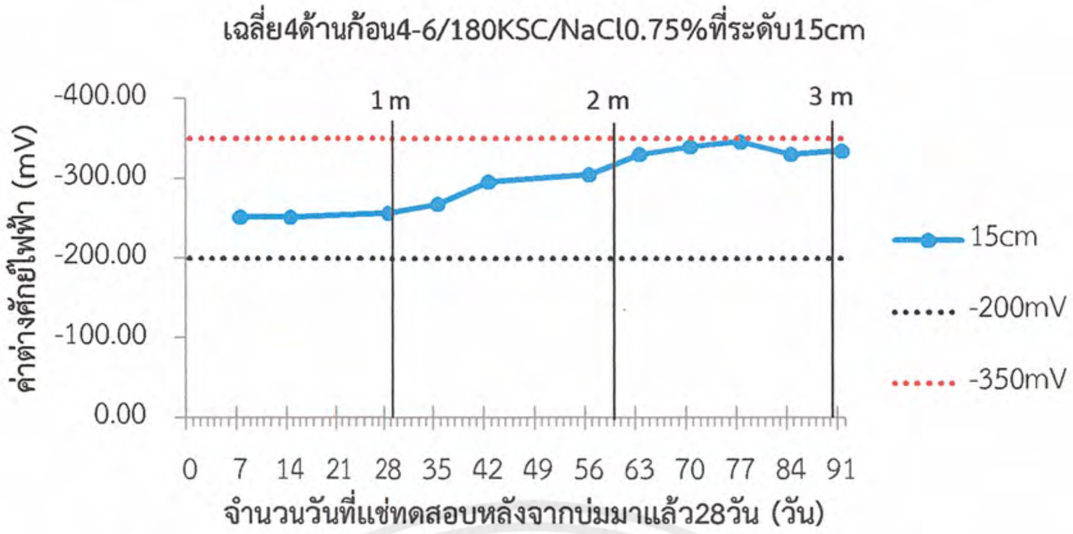


รูปที่ 4.7 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ5cm

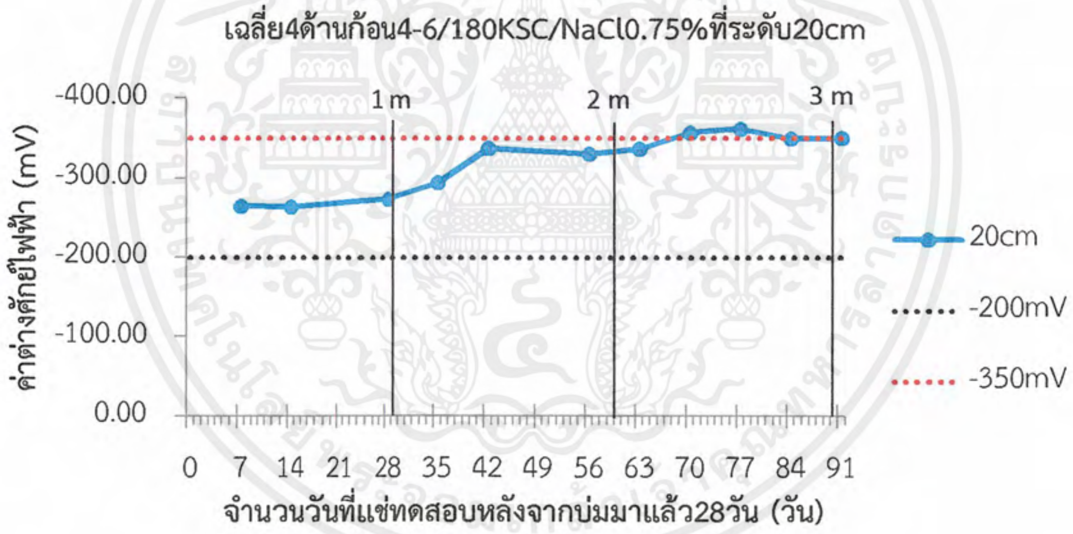


รูปที่ 4.8 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ10cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



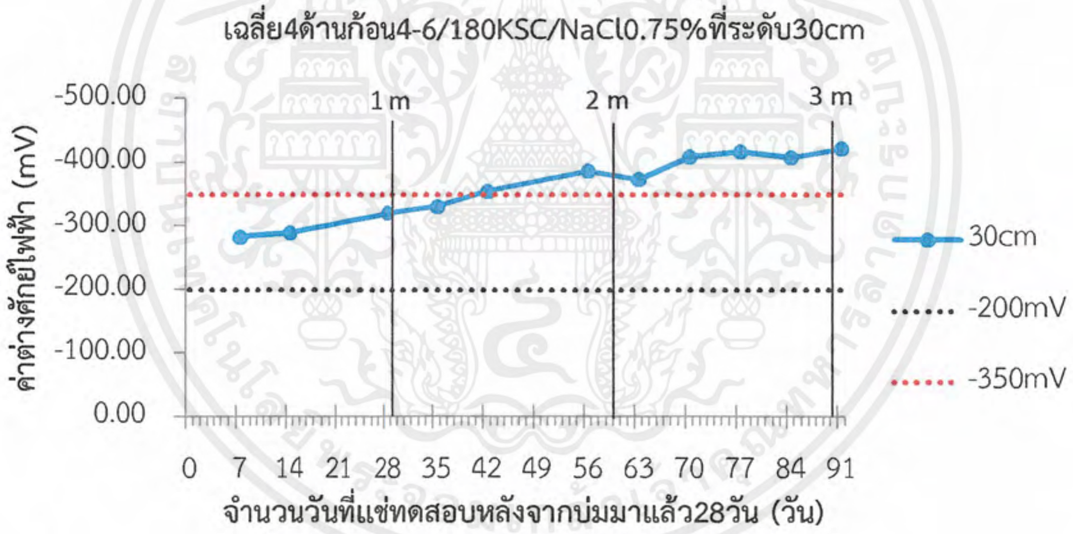
รูปที่ 4.9 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ15cm



รูปที่ 4.10 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ20cm

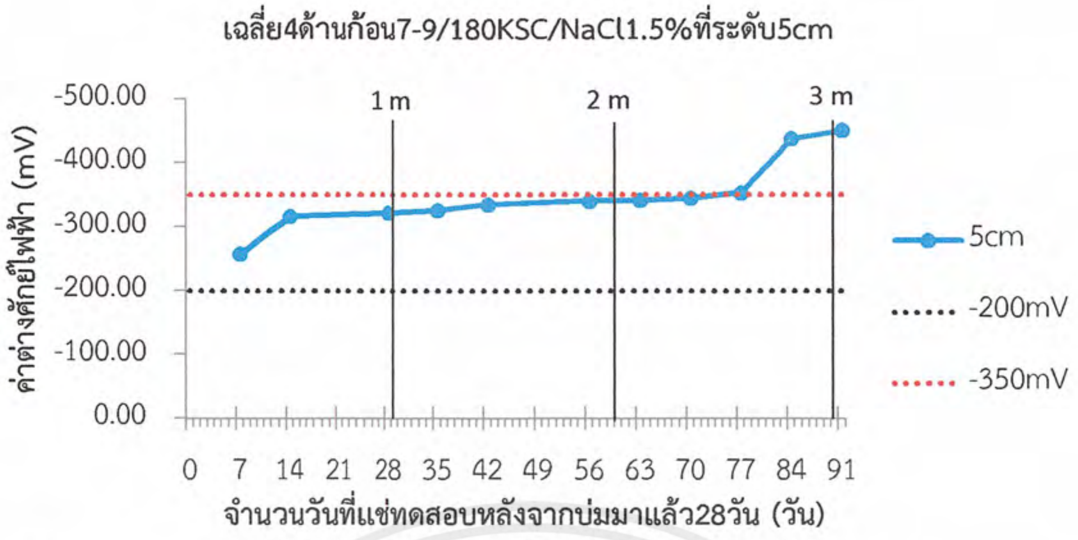
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ25cm

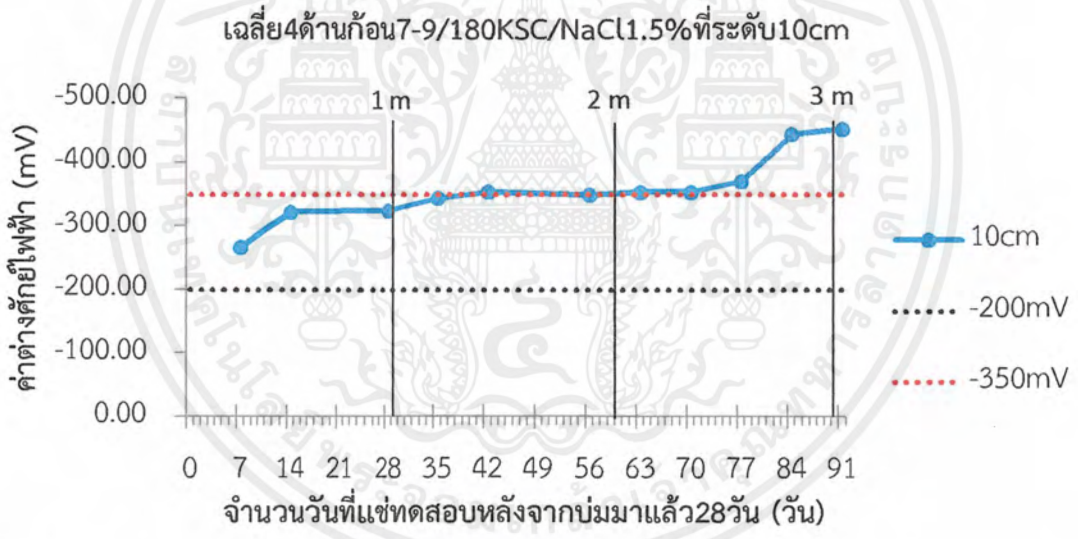


รูปที่ 4.12 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ30cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

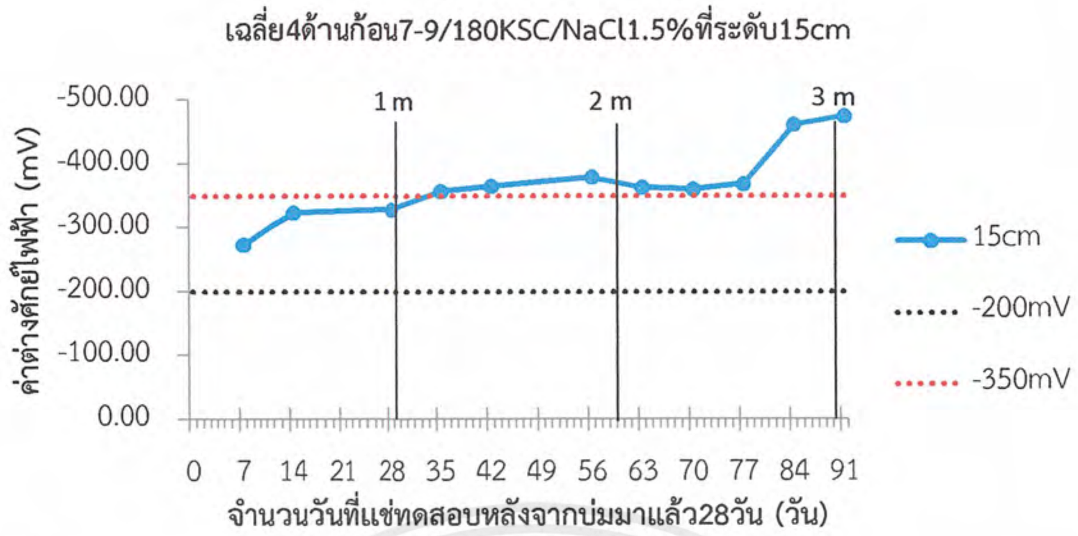


รูปที่ 4.13 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ5cm

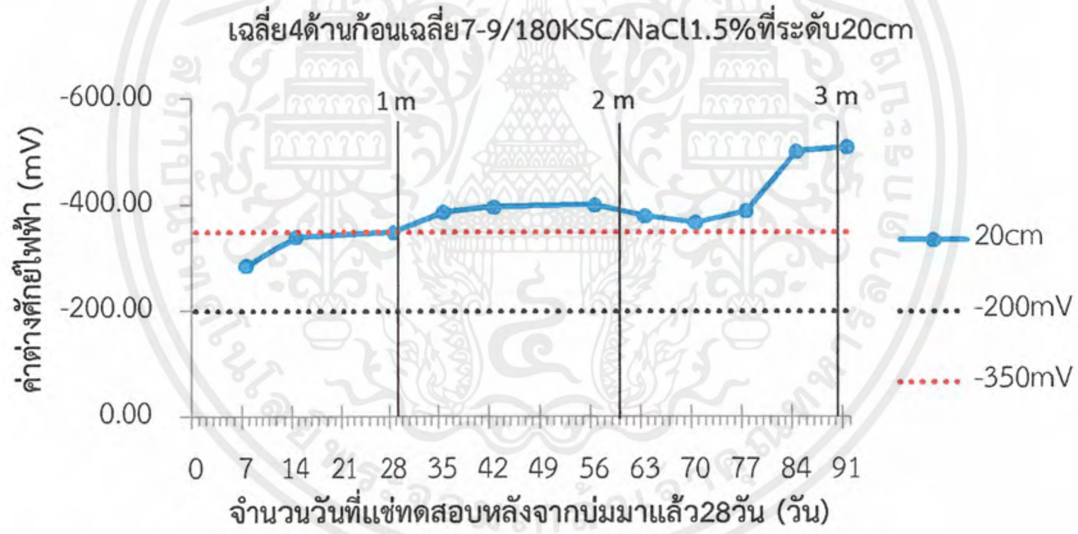


รูปที่ 4.14 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ10cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

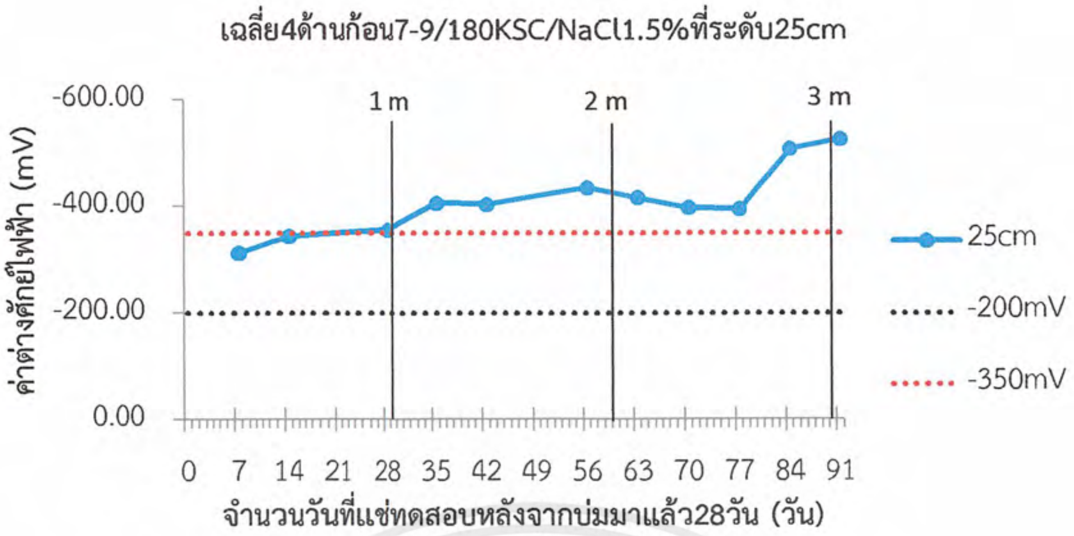


รูปที่ 4.15 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ15cm



รูปที่ 4.16 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ20cm

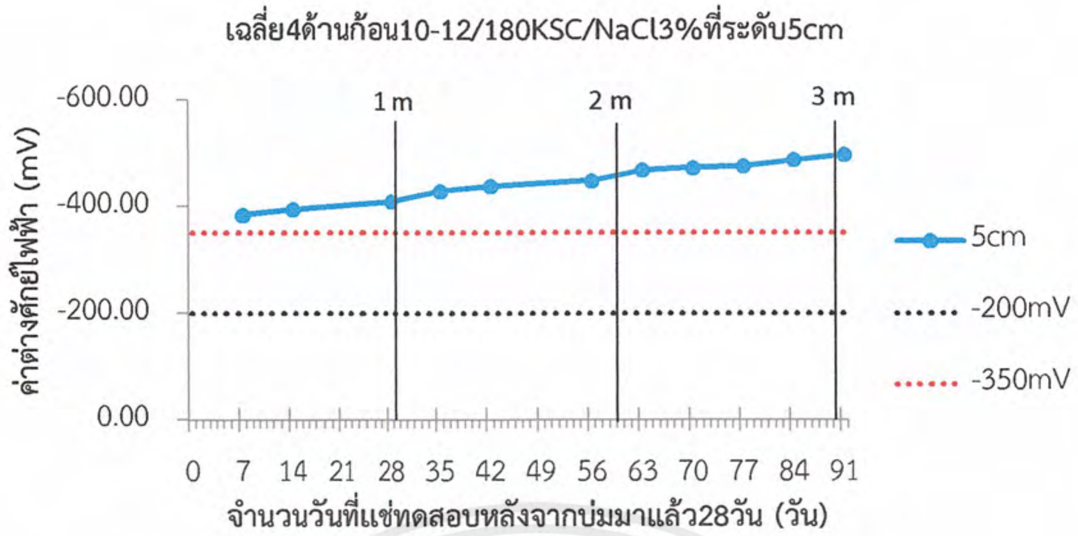
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ

รูปที่ 4.18 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ30cm

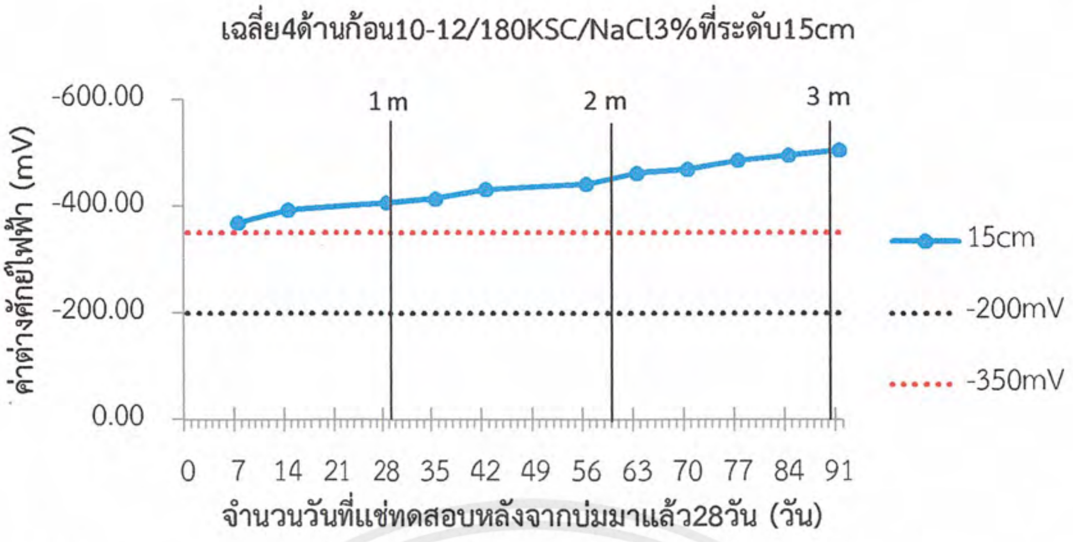
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ5cm

รูปที่ 4.20 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ10cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

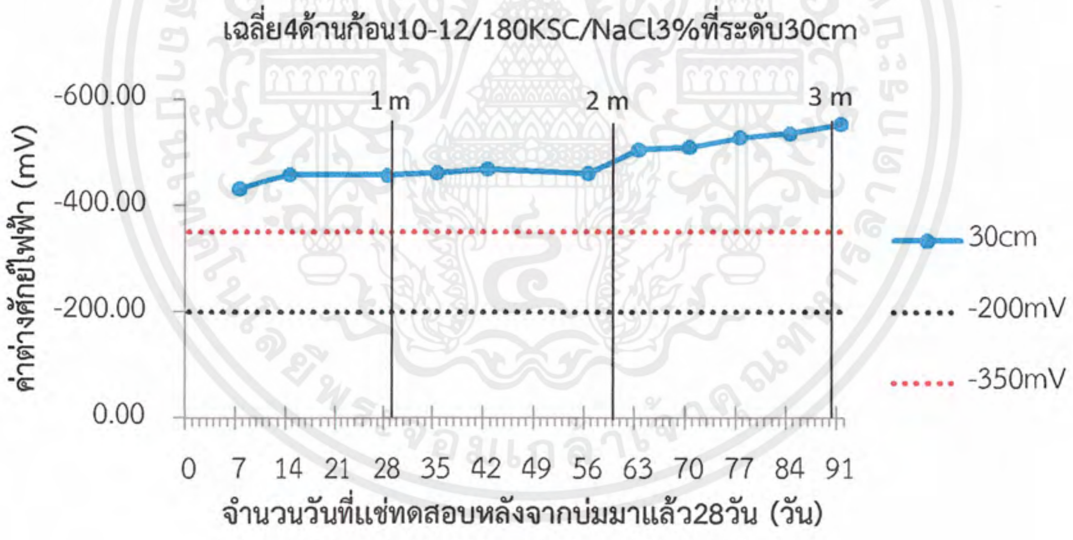


รูปที่ 4.21 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ15cm

รูปที่ 4.22 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ20cm

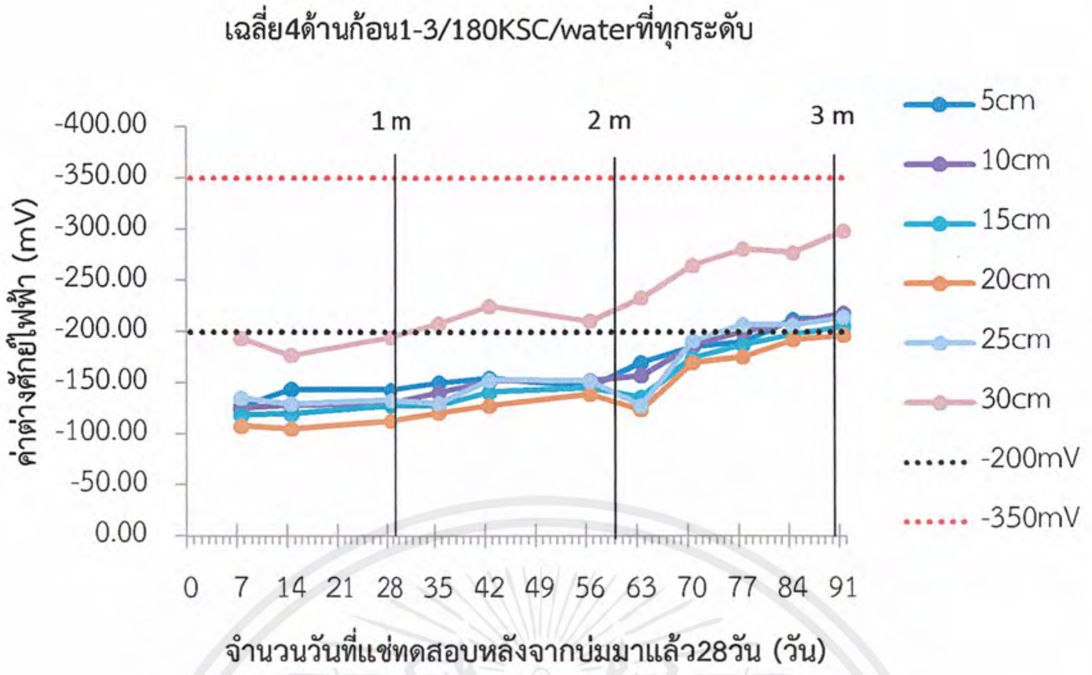
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์3%ที่ระดับ 25cm

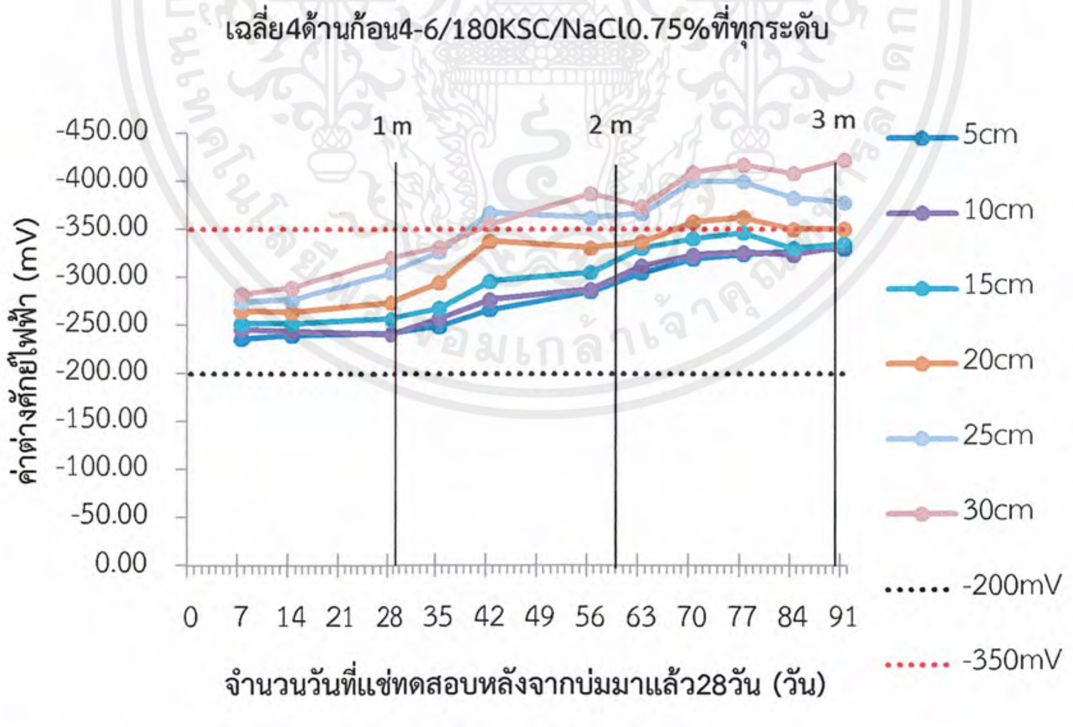


รูปที่ 4.24 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12กำลังอัด180KSCแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์3%ที่ระดับ 30cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

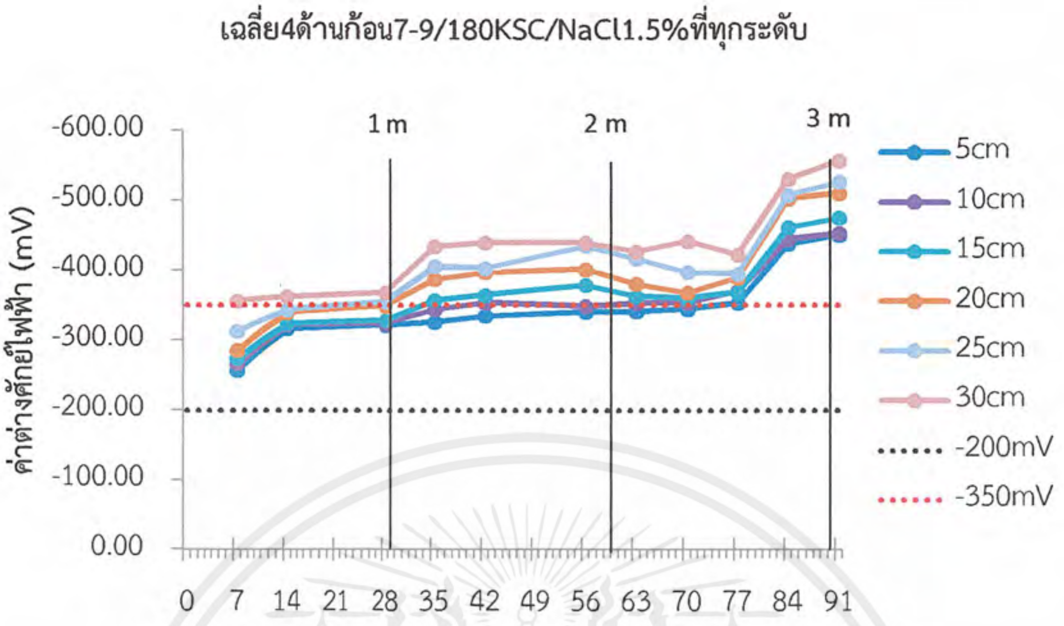


รูปที่ 4.25 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCแช่น้ำที่ทุกระดับ

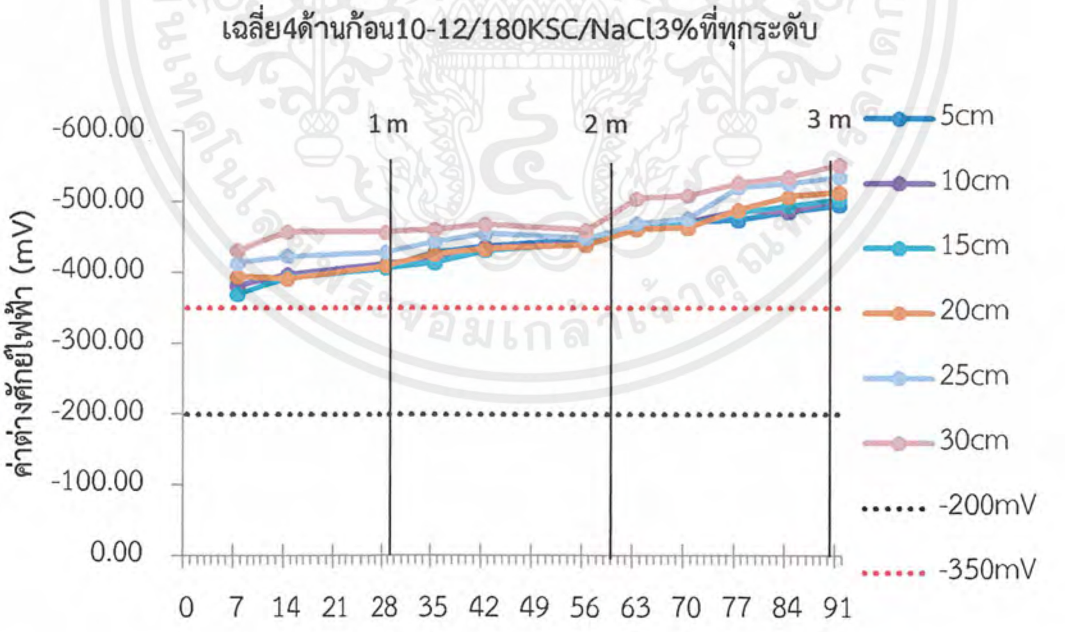


รูปที่ 4.26 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ทุกระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



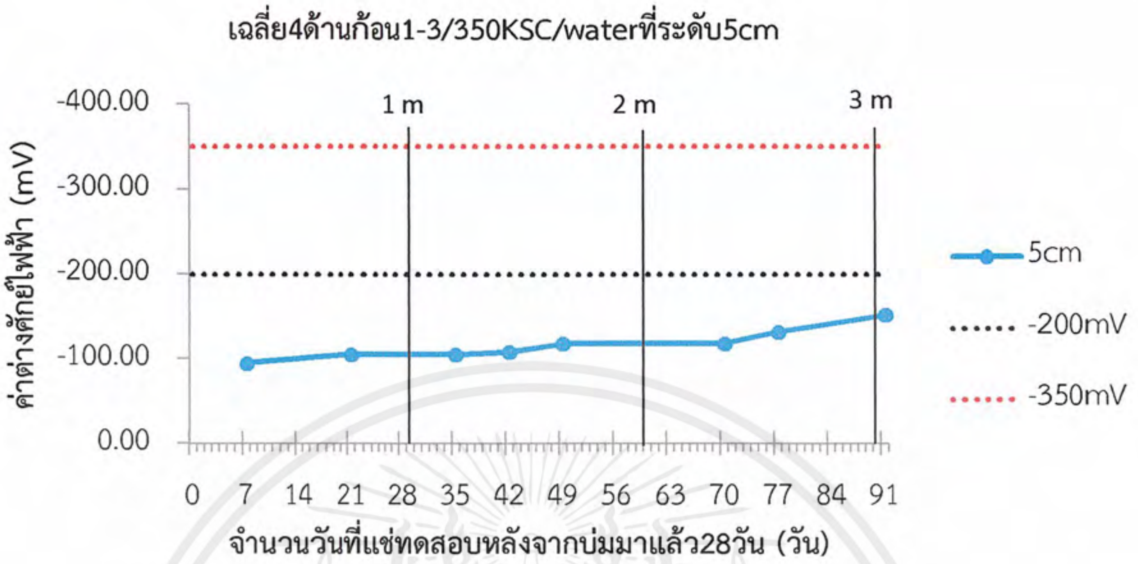
รูปที่ 4.27 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลาย NaCl1.5%ที่ทุกระดับ



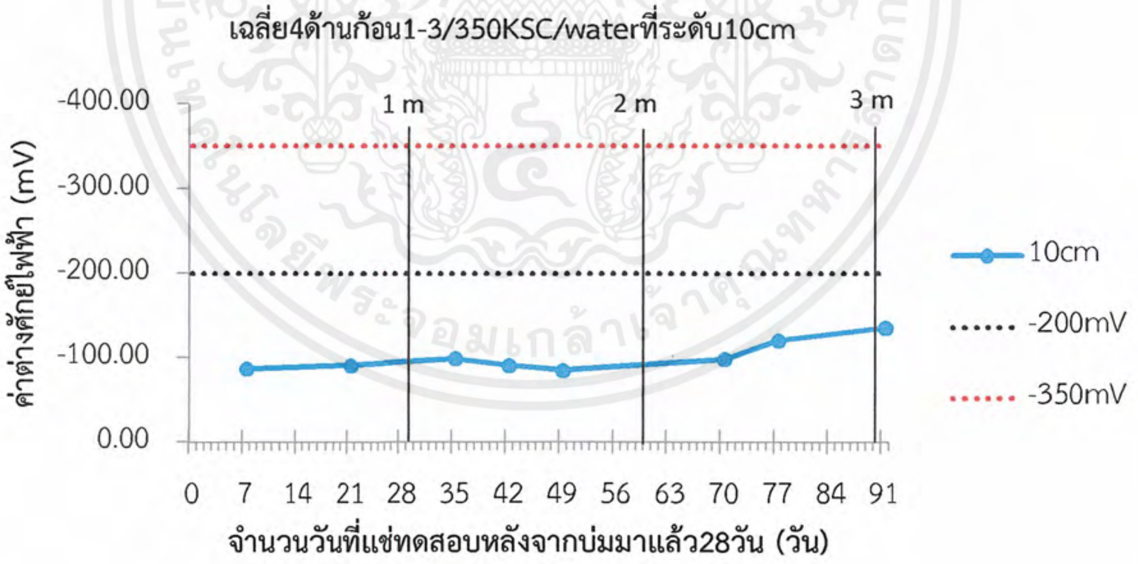
รูปที่ 4.28 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCแช่สารละลาย NaCl3%ที่ทุกระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบของ350KSC



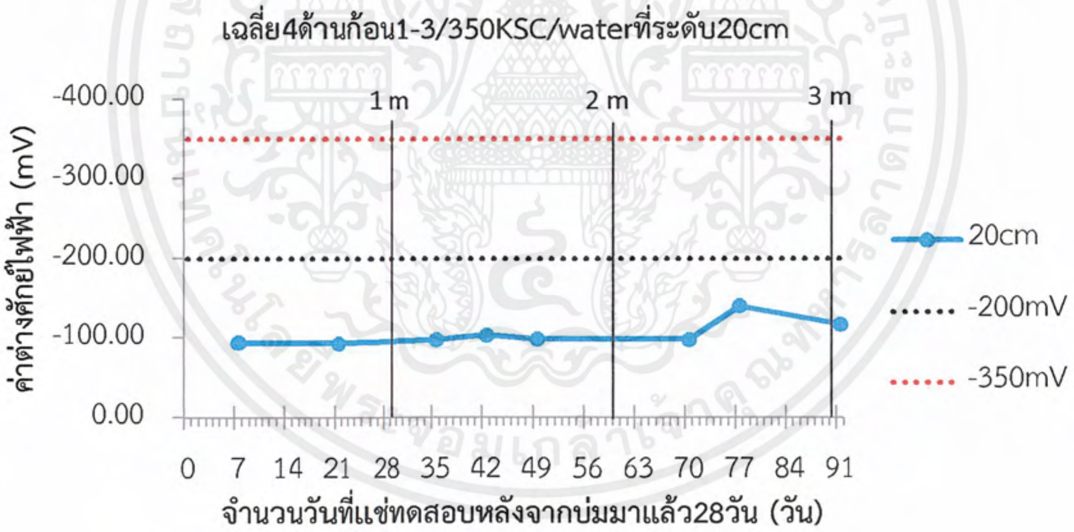
รูปที่ 4.29 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ5cm



รูปที่ 4.30 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ10cm

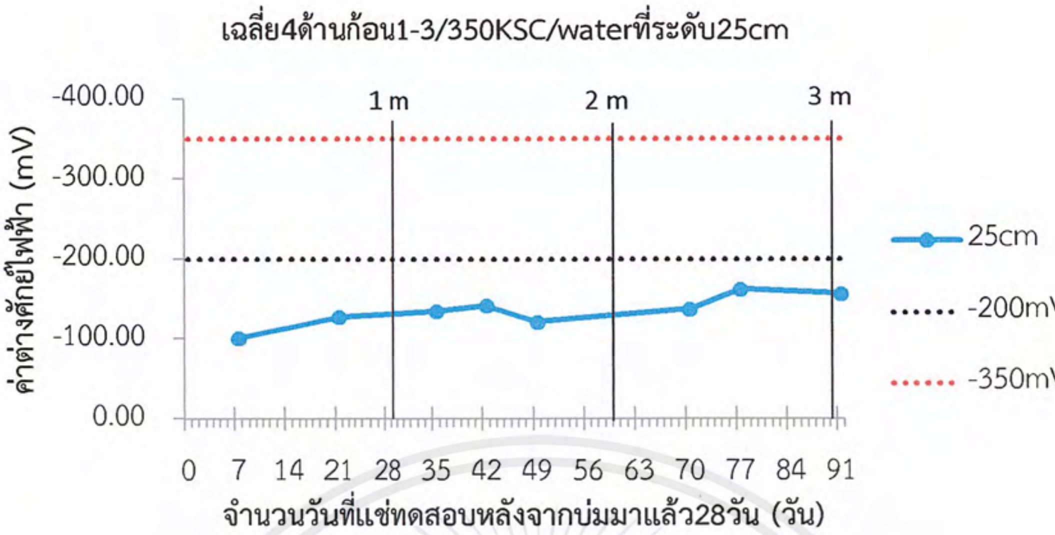
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.31 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ15cm

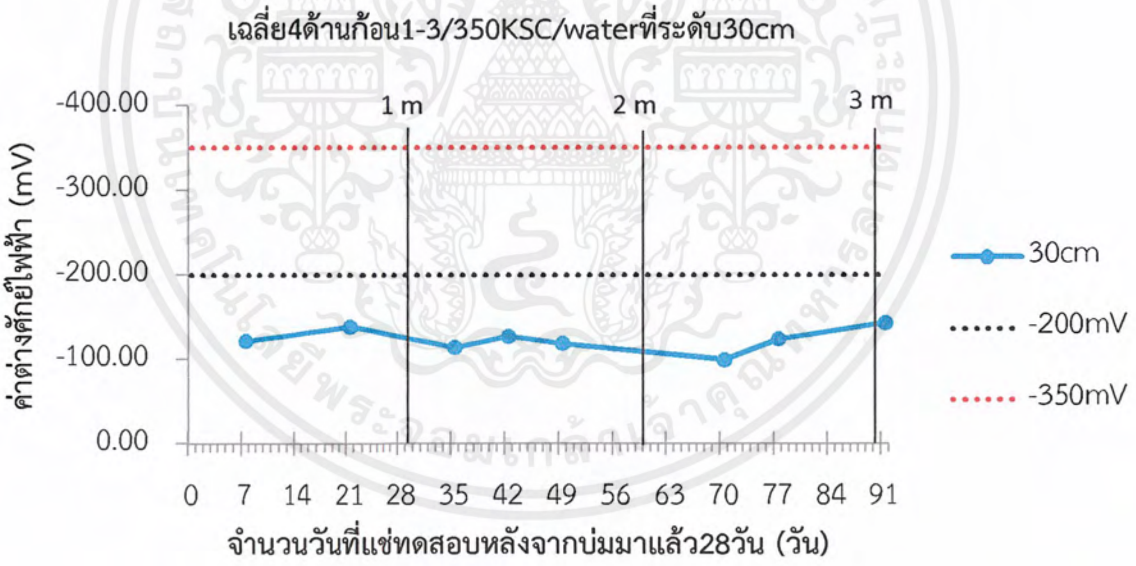


รูปที่ 4.32 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ20cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

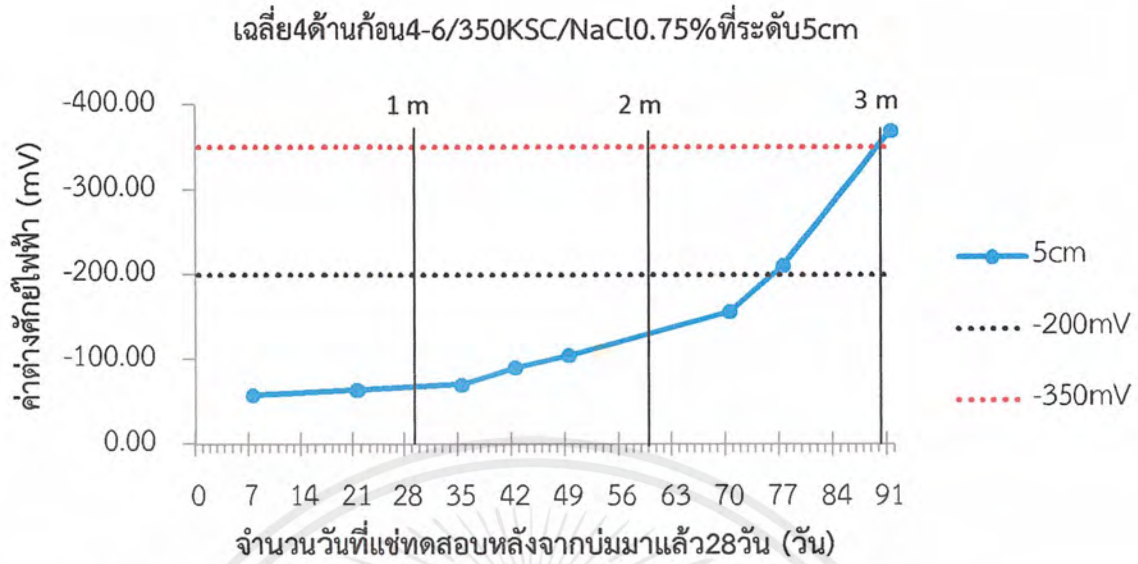


รูปที่ 4.33 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ25cm



รูปที่ 4.34 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำที่ระดับ30cm

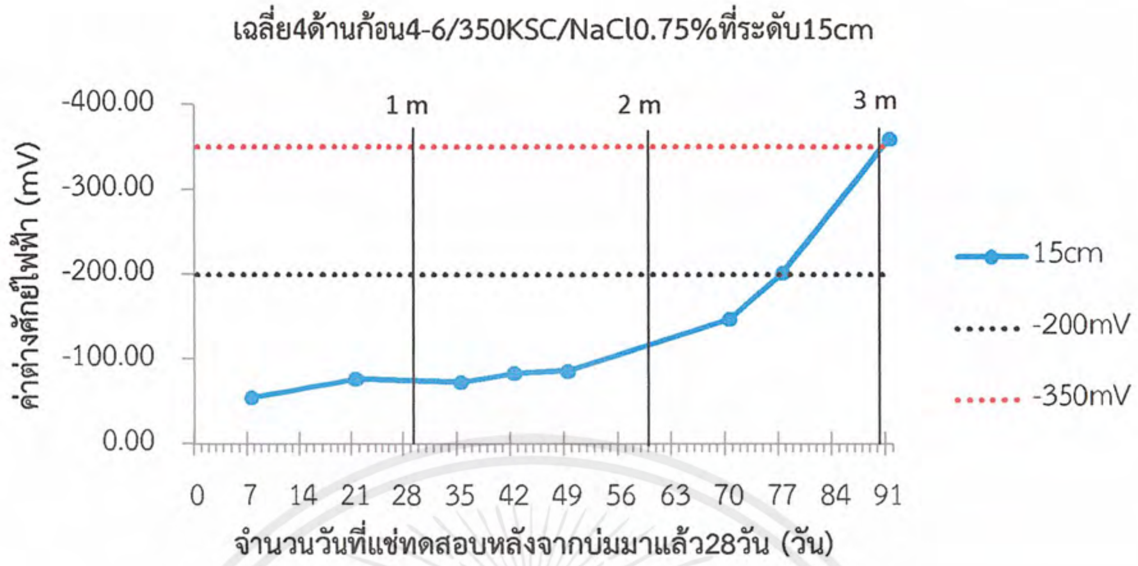
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ5cm

รูปที่ 4.36 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ10cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ15cm

รูปที่ 4.38 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ20cm

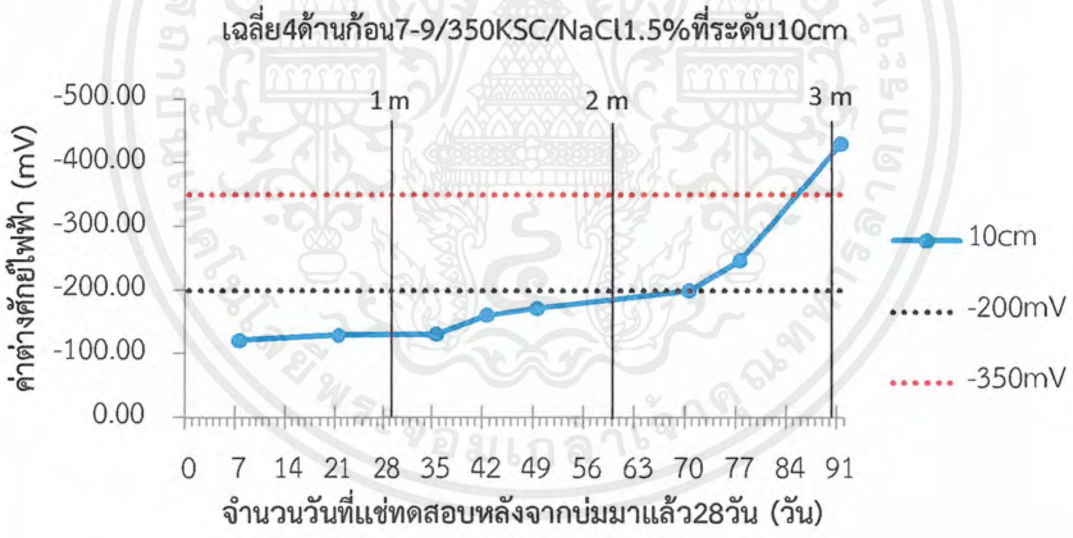
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.39 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ25cm

รูปที่ 4.40 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl0.75%ที่ระดับ30cm

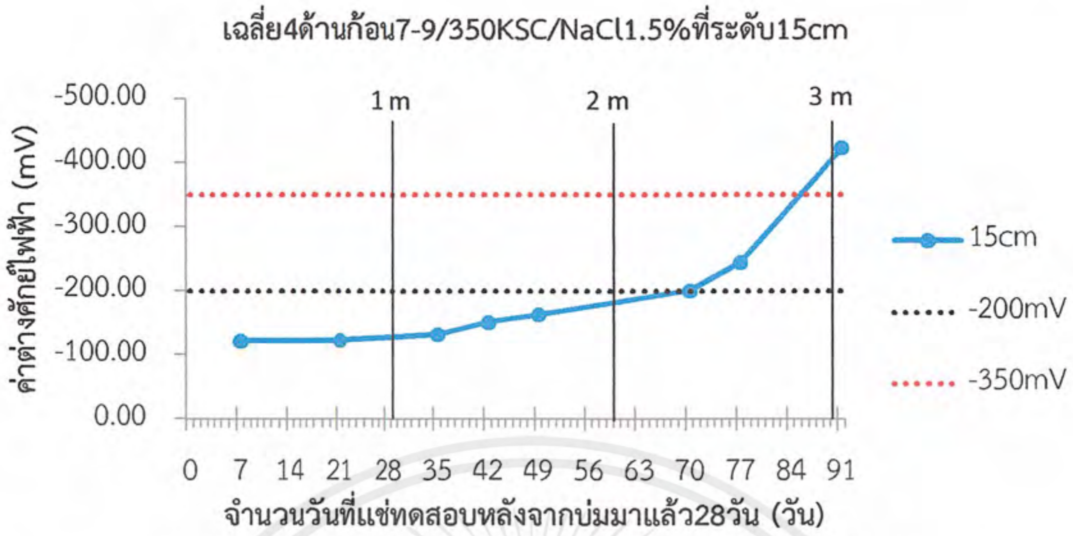
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.41 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ5cm

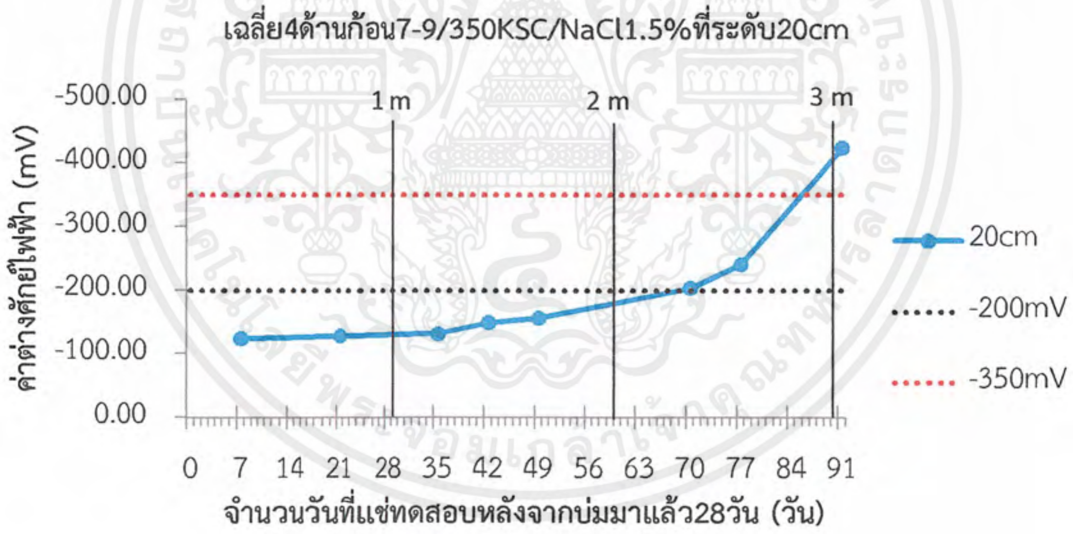


รูปที่ 4.42 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ10cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ15cm



รูปที่ 4.44 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ20cm

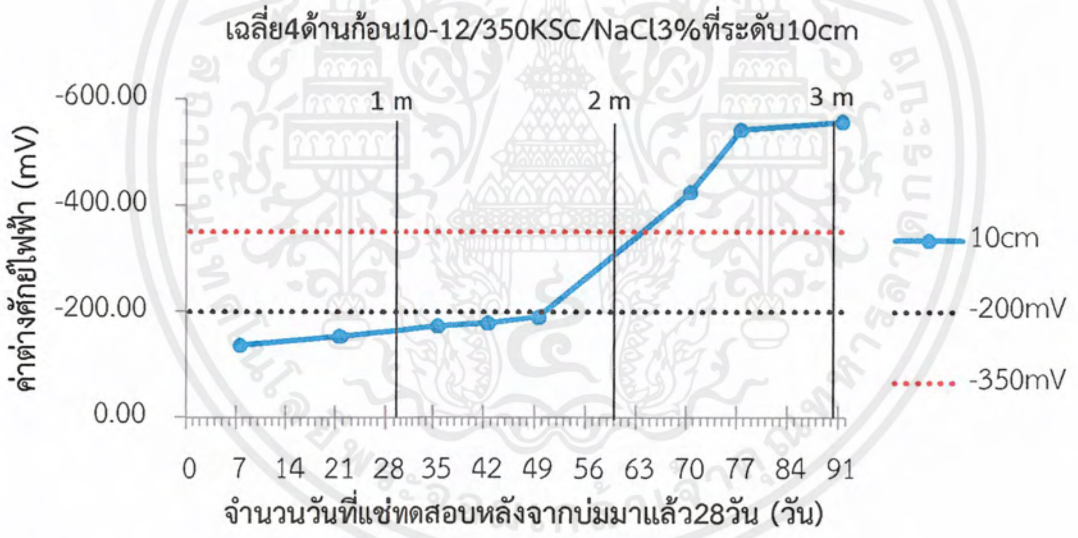
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.45 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ25cm

รูปที่ 4.46 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl1.5%ที่ระดับ30cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.47 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ5cm



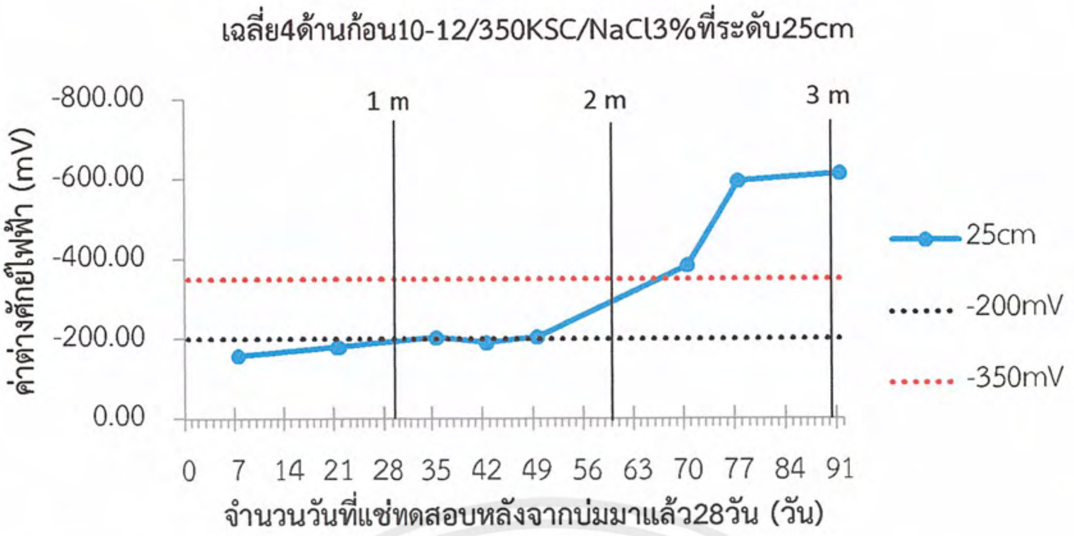
รูปที่ 4.48 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ10cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

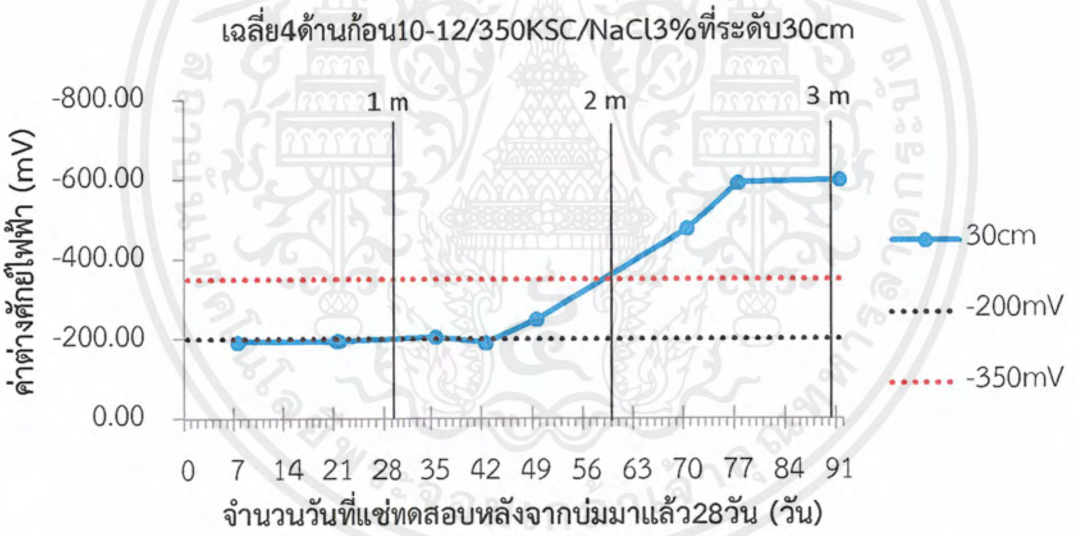
รูปที่ 4.49 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ15cm

รูปที่ 4.50 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ20cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

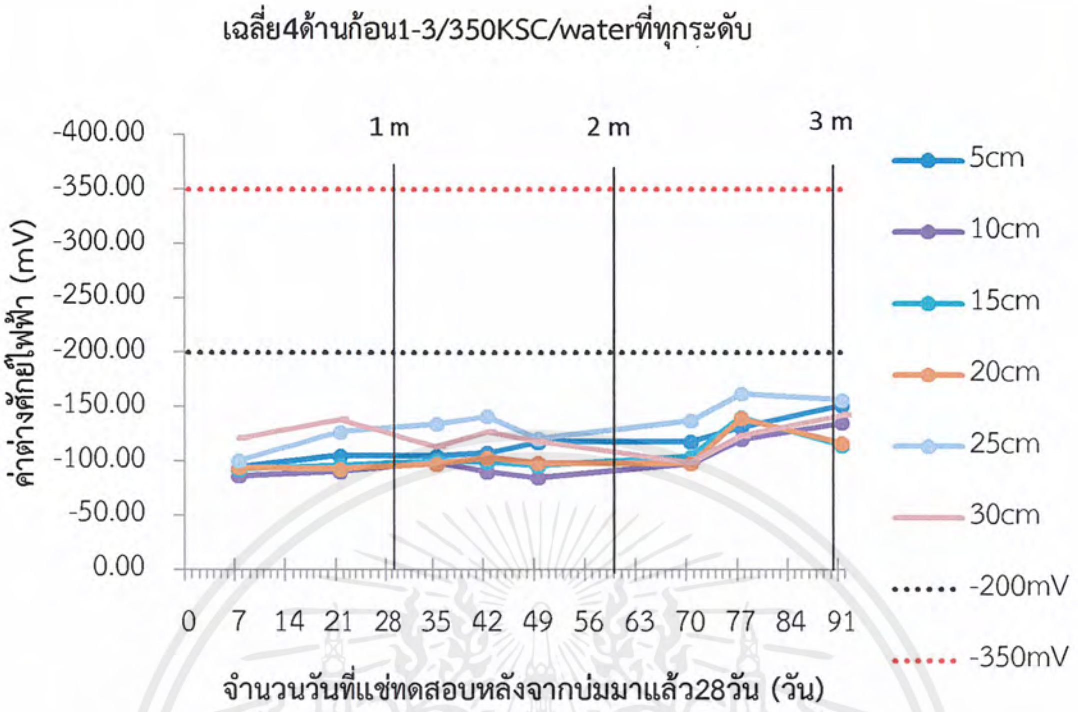


รูปที่ 4.51 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ25cm

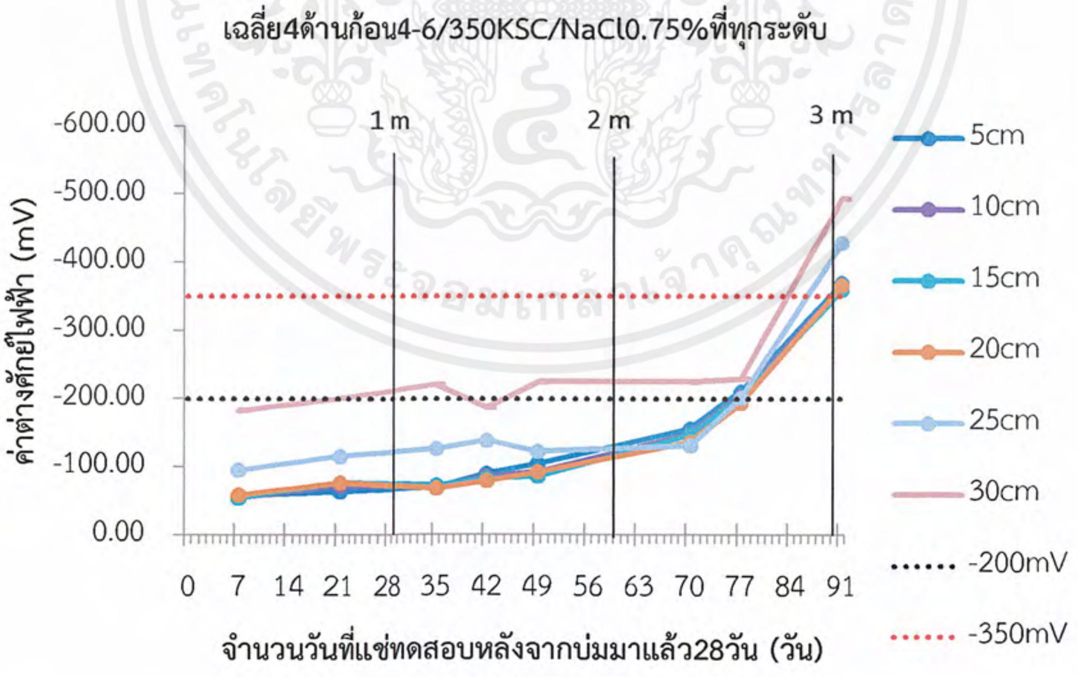


รูปที่ 4.52 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่สารละลายNaCl3%ที่ระดับ25cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

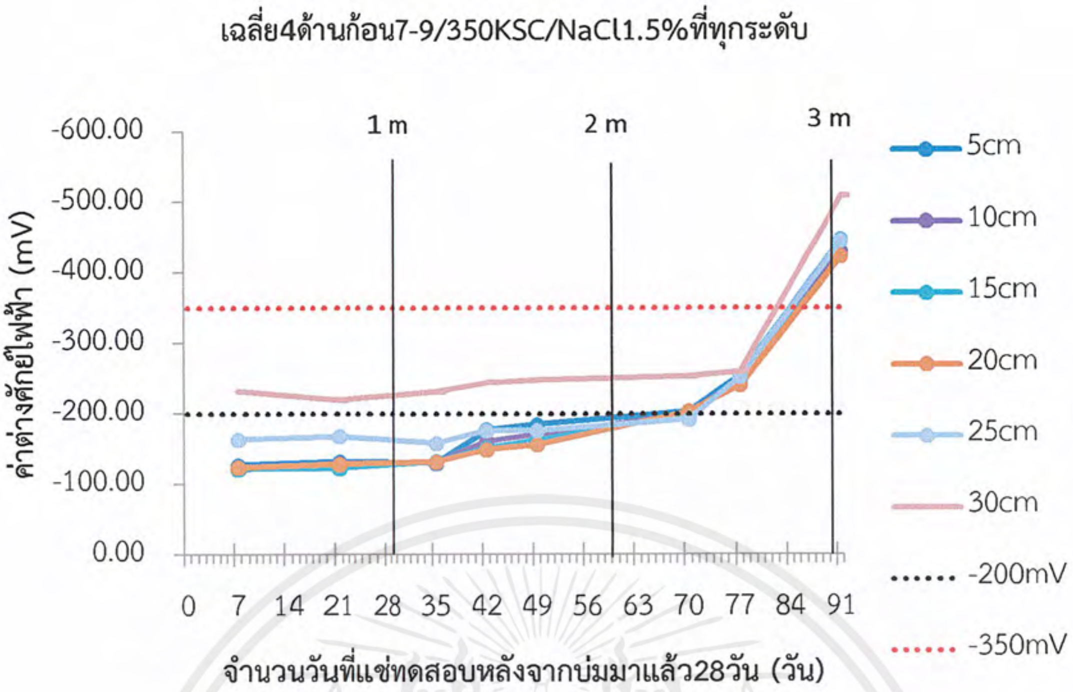


รูปที่ 4.53 เฉลี่ย4ด้านก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCแช่น้ำธรรมดาที่ทุกระดับ

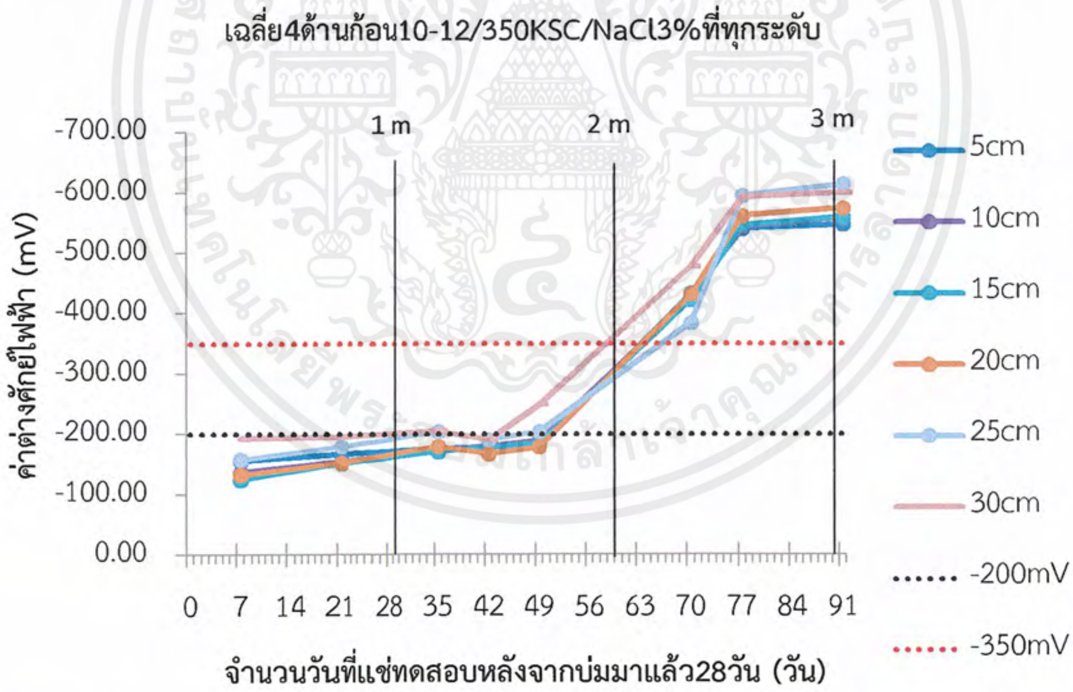


รูปที่ 4.54 เฉลี่ย4ด้านก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCแช่NaCl0.75%ทุกระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



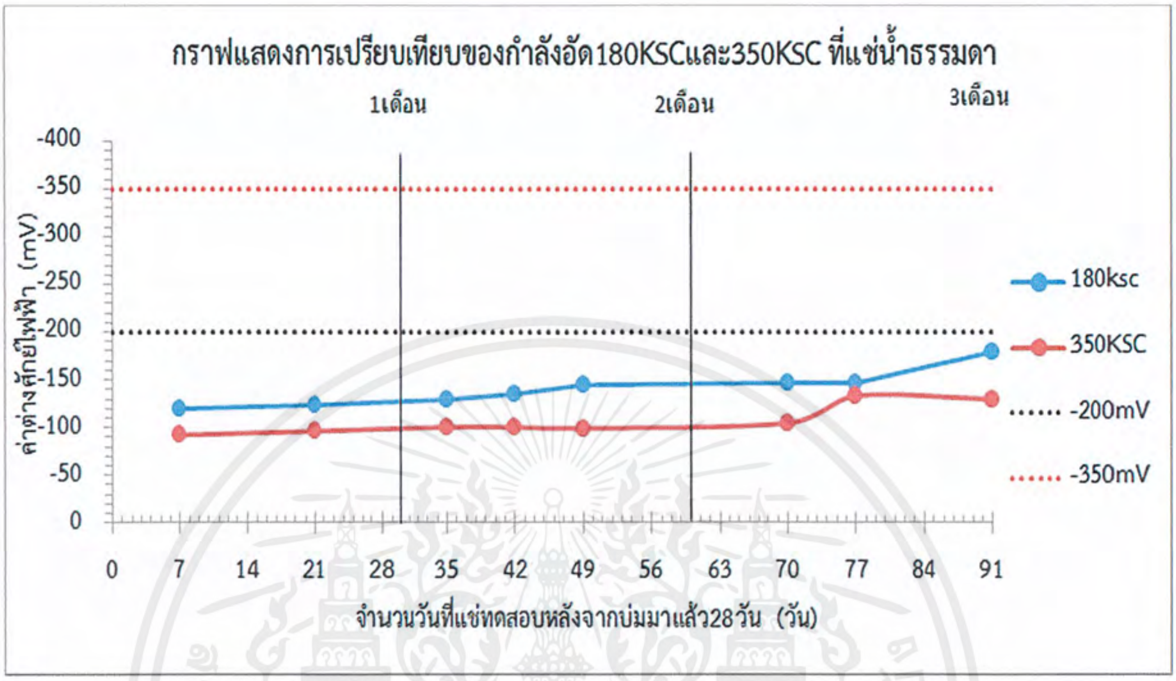
รูปที่ 4.55 เฉลี่ย4ด้านก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCแช่NaCl1.5%ทุกระดับ



รูปที่ 4.56 เฉลี่ย4ด้านก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCแช่NaCl3%ทุกระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

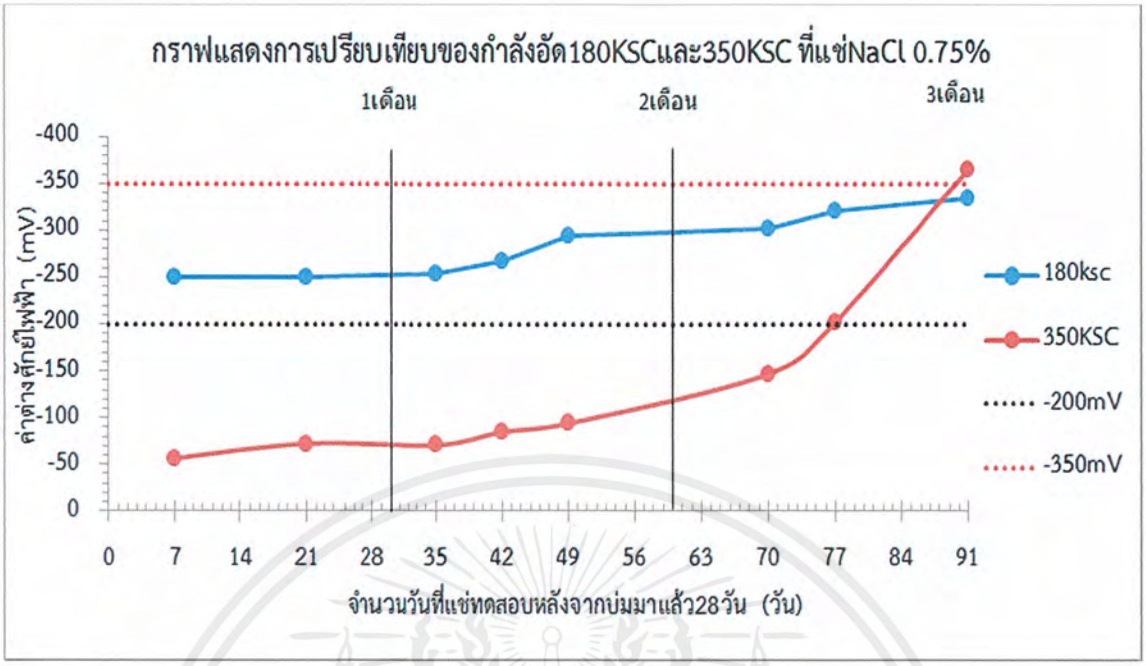
4.3 กราฟเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่น้ำธรรมดา

จากกราฟจะพบว่าเมื่อครบ90วัน ทั้งกำลังอัดที่180KSCและ350KSC ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยังไม่เกิดสนิม ที่1เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น28%เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่350ksc ที่2เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น39%เมื่อเทียบกับ350KSC ที่3เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSC จะเพิ่มขึ้น38%เมื่อเทียบกับ350KSC

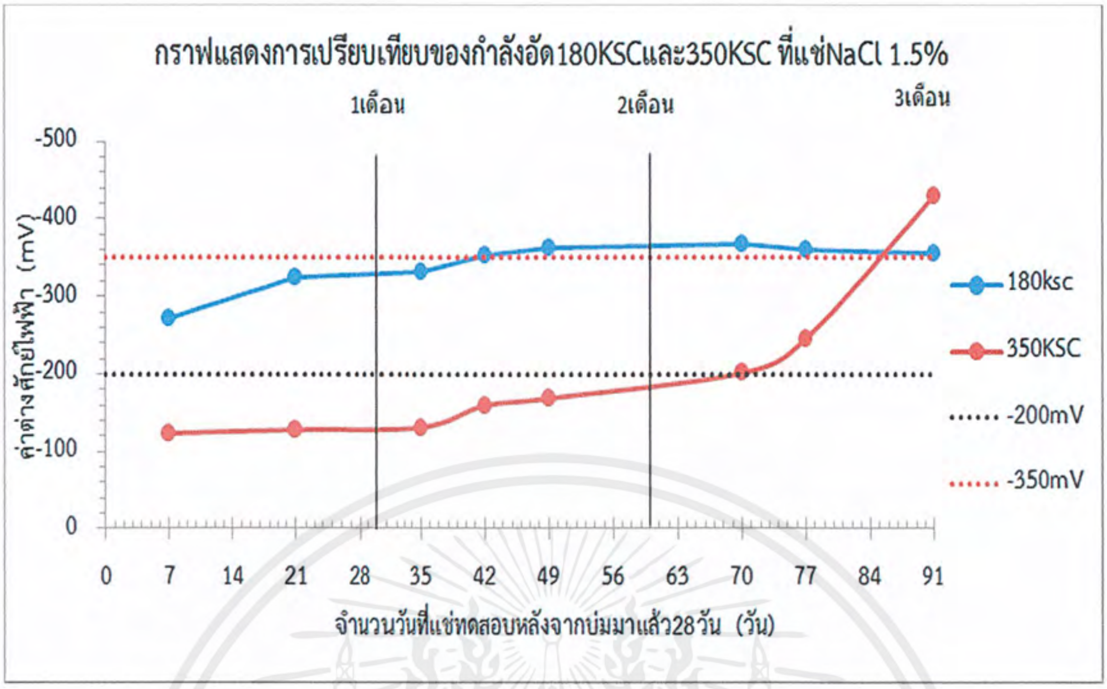
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่NaCl0.75%

จากกราฟจะพบว่า ที่180KSC ครบ90วันจะอยู่ในเกณฑ์ไม่แน่นอนที่จะเกิดสนิม ที่350KSC 60วันแรกจะอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่แน่นอนที่จะเกิดสนิม พอ90วันจะอยู่ในเกณฑ์จะอยู่ในเกณฑ์ที่เกิดสนิมแล้วที่1เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น261%เมื่อเทียบกับ350KSC ที่2เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น141%เมื่อเทียบกับ350KSC ที่3เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะลดลง11%เมื่อเทียบกับ350KSC

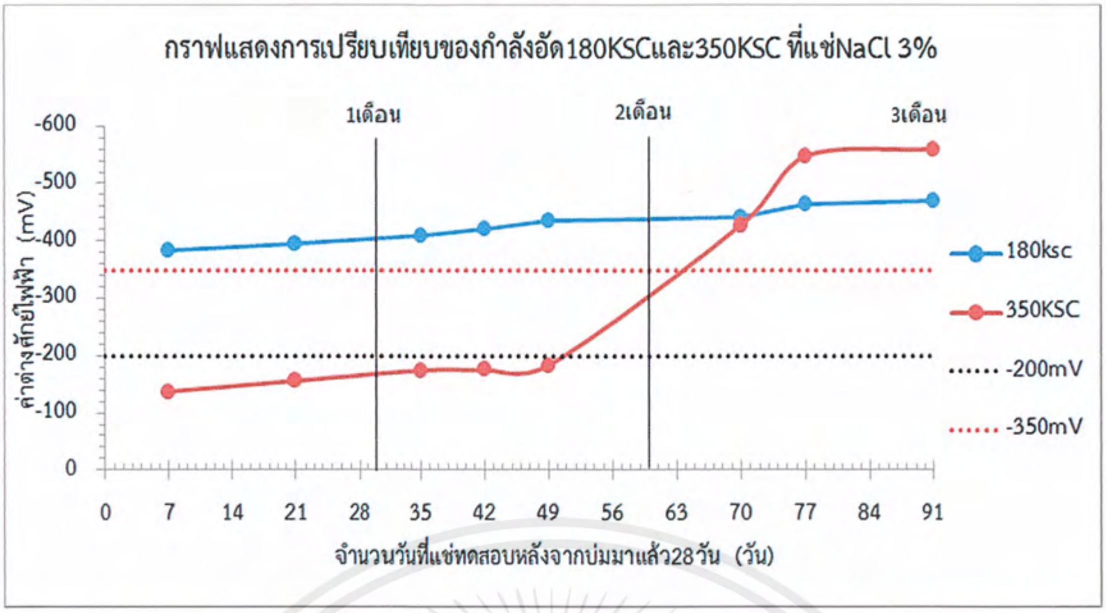
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่NaCl1.5%

จากกราฟจะพบว่า ที่180KSC ครบ30วันจะอยู่ในเกณฑ์ไม่แน่นอนที่จะเกิดสนิม แต่หลังจากนั้นจะมีแน้มโน้มเกิดสนิมที่มากขึ้น ที่350KSC 60วันแรกจะอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่แน่นอนที่จะเกิดสนิม พอ 90วันจะอยู่ในเกณฑ์จะอยู่ในเกณฑ์ที่เกิดสนิมแล้ว ที่1เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น 153%เมื่อเทียบกับ350KSC ที่2เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น109%เมื่อเทียบกับ 350KSC ที่3เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะลดลง16%เมื่อเทียบกับ350KSC

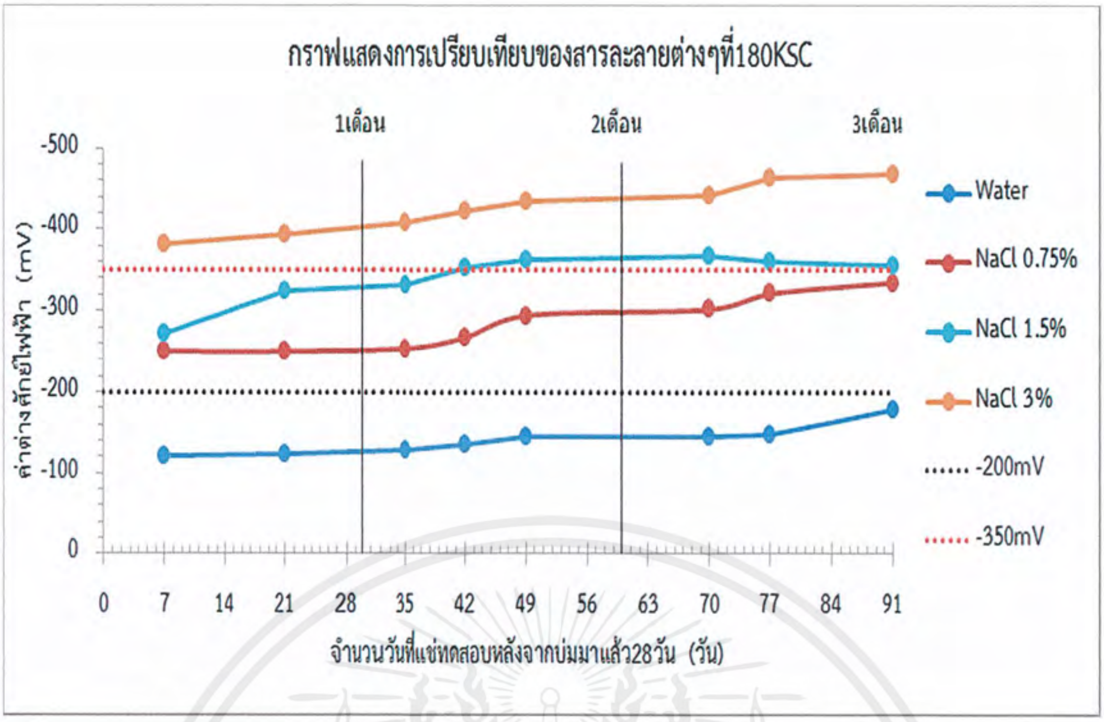
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของกำลังอัด180KSCและ350KSCที่แช่NaCl3%

จากกราฟจะพบว่า ที่180KSC ครบ90วันจะอยู่ในเกณฑ์ที่จะเกิดสนิมแล้ว ที่350KSC 60วันแรกจะอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่แน่นอนที่จะเกิดสนิม พอ90วันจะอยู่ในเกณฑ์จะอยู่ในเกณฑ์ที่เกิดสนิมแล้ว ที่1เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น127%เมื่อเทียบกับ350KSC ที่2เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะเพิ่มขึ้น40%เมื่อเทียบกับ350KSC ที่3เดือนค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่180KSCจะลดลง15%เมื่อเทียบกับ350KSC

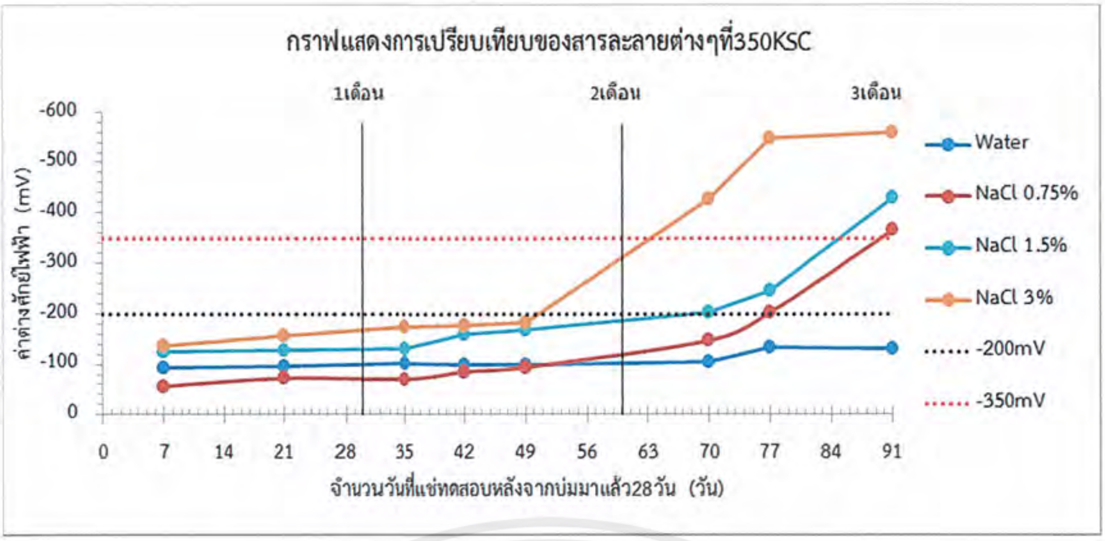
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของสารละลายต่างๆที่180KSC

จากกราฟจะพบว่าที่น้ำธรรมดายังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เกิดสนิม ส่วนที่NaCl 0.75% 1.5% ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่แน่นอน ส่วนNaCl 3%จะอยู่ในเกณฑ์ที่เกิดสนิมแล้วที่1เดือนถ้าเทียบกับน้ำธรรมดา NaCl 0.75%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น117%, NaCl 1.5%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น175%และNaCl 3% จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น233% ที่2เดือนถ้าเทียบกับน้ำธรรมดา NaCl 0.75%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น 114%, NaCl 1.5%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น157%และNaCl 3%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น214% ที่3 เดือนถ้าเทียบกับน้ำธรรมดา NaCl 0.75%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น89%, NaCl 1.5%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น95%และNaCl 3%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น167%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของสารละลายต่างๆที่350KSC

จากกราฟจะพบว่าในช่วง60วันแรกสารละลายต่างๆรวมถึงน้ำยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เกิดสนิม แต่พอ90วันจะมีโอกาสเกิดจากน้อยไปมากดังนนี้ น้ำธรรมดา NaCl 0.75% NaCl 1.5% NaCl 3%ที่1เดือนถ้าเทียบกับน้ำธรรมดา NaCl 0.75%จะมีค่าต่างศักย์ลดลง20%, NaCl 1.5 %จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น20%และNaCl 3%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น80% ที่2เดือนถ้าเทียบกับน้ำธรรมดา NaCl 0.75%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น10%, NaCl 1.5 %จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มชึ้น100%และNaCl 3%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น214% ที่3เดือนถ้าเทียบกับน้ำธรรมดา NaCl 0.75%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น250%, NaCl 1.5 %จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น270%และNaCl 3%จะมีค่าต่างศักย์เพิ่มขึ้น480%

จากกราฟดังกล่าว เมื่อระยะเวลาผ่านไป7สัปดาห์จะพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่างคอนกรีตที่แช่ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 3% มีค่าสูงขึ้นอย่างผิดปกติ ปกติตามแผนการวัดทดลองจะทำการวัดมดลองทุกสัปดาห์ ก่อนทำการวัดจะต้องนำตัวอย่างขึ้นมาตาก1วัน เพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง แต่ช่วงเวลาดังกล่าวได้ทำการตากตัวอย่างไว้ถึง 4 วัน (วันที่ 29 ธ.ค.54-2 ม.ค.55) และนำตัวอย่างลงแช่อีกครั้งในวันที่ 2 ม.ค. 55 เมื่อถึงกำหนดในการวัดครั้งถัดมาคือในวันที่ 6 ม.ค. 55 จึงต้องนำตัวอย่างขึ้นมาตากในวันที่ 5 ม.ค. 55 ช่วงเวลาดังกล่าวคอนกรีตต้องอยู่ในสภาพแห้ง 4 วัน และอยู่ในสภาพเปียก 3 วัน ซึ่งเป็นสภาวะเปียกสลับแห้ง ที่สภาวะเช่นนี้เป็นสภาวะที่มีผลต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ จึงทำให้ตัวอย่างคอนกรีตที่แช่ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 3% มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างผิดปกติ ส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 1.5% และ 0.75% ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นของ NaCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

วิเคราะห์และสรุปผล

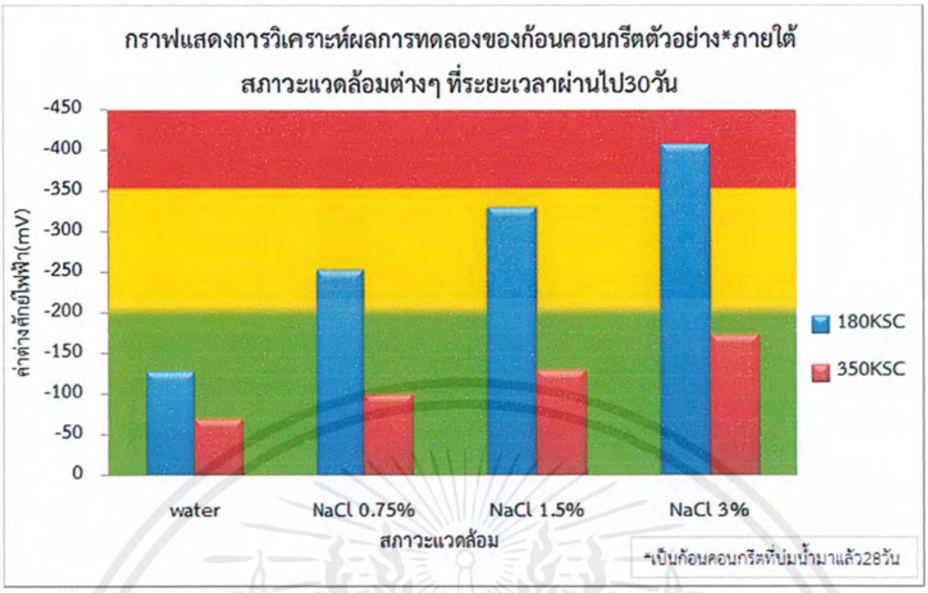
5.1 กล่าวนำ

จากการทดลองโดยกำหนดเงื่อนไขในการทำการทดลองหาโอกาสในการเกิดสนิมดังนี้กำหนดกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ทำการทดสอบโดยแบ่งเป็น2ประเภท ประเภทแรกคอนกรีตกำลังอัดต่ำที่ 180KSC และคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ 350KSC และกำหนดสภาพแวดล้อมของสารละลายที่จะแช่เพื่อทำการทดสอบ โดยอ้างอิงจากความเข้มข้นของน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นตามธรรมชาติมากที่สุดที่ 3% โดยจะกำหนดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ในการทดสอบดังนี้ 0.75%,1.5% และ 3%

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการทดสอบหาโอกาสในการเกิดสนิมโดยใช้เครื่องมือHalf-Cell ซึ่งเป็นเป็นวิธีหนึ่งในการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้การไหลของกระแสอิเล็กตรอนซึ่งจะวิ่งผ่านเหล็กและคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 กราฟการวิเคราะห์ผลเมื่อระยะผ่านไป30วัน

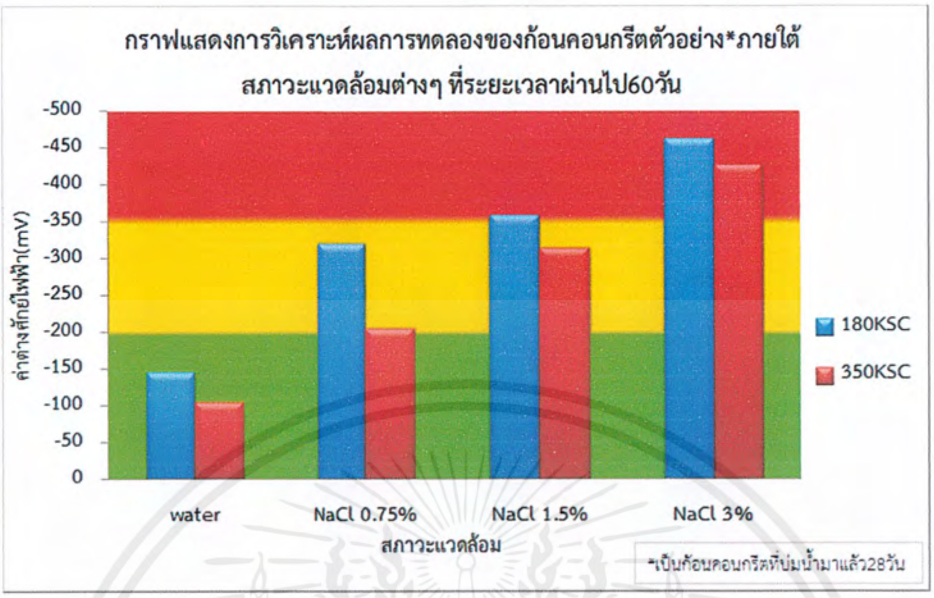


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่30วัน

จากกราฟสรุปผลได้ว่าที่เกณฑ์ไม่เกิดสนิมนั้น(สีเขียว)จะมี ก้อนตัวอย่างที่กำลังอัด350KSC ในทุกสารละลาย และก้อนตัวอย่างที่กำลังอัด180KSC ส่วนเกณฑ์ที่ไม่แน่นอนนั้น(สีเหลือง)จะมี ก้อน 180KSC ในNaCl 0.75%กับ1.5% ส่วนเกณฑ์ที่เป็นสนิมแล้ว(สีแดง)จะมีแค่ที่180KSCที่NaCl 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กราฟการวิเคราะห์ผลเมื่อระยะผ่านไป60วัน

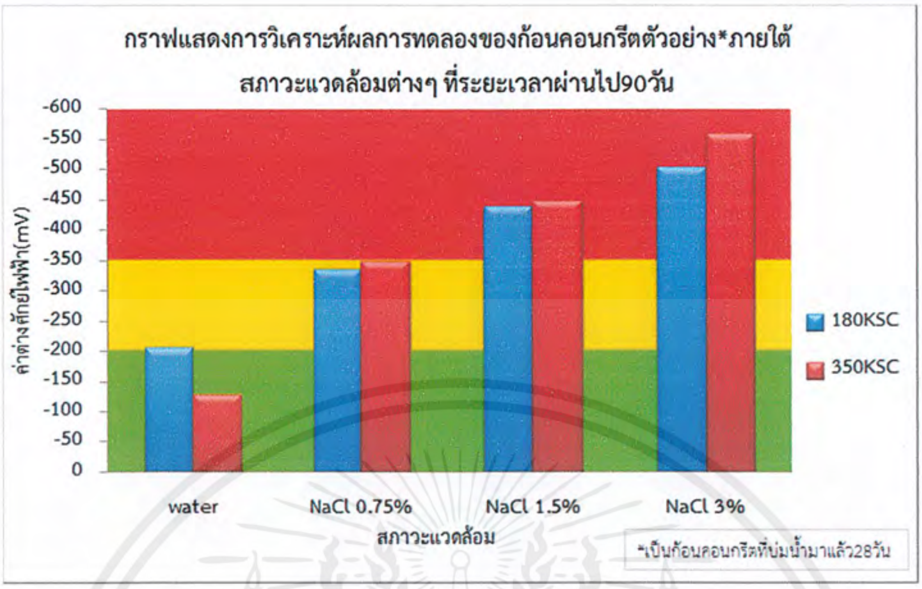


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการวิเคราะผลการทดลองที่60วัน

จากกราฟสรุปผลได้ว่าที่เกณฑ์ไม่เกิดสนิมนั้น(สีเขียว)จะมี ก้อนตัวอย่างที่กำลังอัด350KSC ในน้ำธรรมดา และก้อนตัวอย่างที่กำลังอัด180KSC ส่วนเกณฑ์ที่ไม่แน่นอนนั้น(สีเหลือง)จะมี ก้อน 180KSC ในNaCl 0.75%และ350KSC ในNaCl 0.75% 1.5% ส่วนเกณฑ์ที่เป็นสนิมแล้ว(สีแดง)จะมี ที่180KSC 350KSC ที่NaCl 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 กราฟการวิเคราะห์ผลเมื่อระยะผ่านไป90วัน



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการวิเคราะผลการทดลองที่90วัน

จากกราฟสรุปผลได้ว่าที่เกณฑ์ไม่เกิดสนิมนั้น(สีเขียว)จะมี ก้อนตัวอย่างที่กำลังอัด180KSC ส่วนเกณฑ์ที่ไม่แน่นอนนั้น(สีเหลือง)จะมี ก้อน180KSC ในNaCl 0.75% 1.5%และ350KSC ในNaCl 0.75% ส่วนเกณฑ์ที่เป็นสนิมแล้ว(สีแดง)จะมีที่180KSCและ350KSC ที่NaCl 1.5%กับ3%

5.5 สรุปผลการวิจัย

5.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการเกิดสนิมในเหล็กเสริมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะมีผลต่อการเกิดสนิมอย่างมากโดยดูจากกราฟที่มีการเปรียบเทียบตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ กับตัวอย่างที่แช่ในน้ำธรรมดาจะพบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าลดลงมากกว่า ตัวอย่างที่แช่ในน้ำธรรมดาในเวลาที่เท่ากัน แสดงว่าการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้โอกาสในการเกิดสนิมในเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมมีค่ามากขึ้น โดยโอกาสในการเกิดสนิมจะมีค่ามากขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่มากขึ้น

กำลังอัดที่ต่างกัน จะมีผลเกี่ยวกับโครงสร้างภายในตัวคอนกรีตโดยคอนกรีตกำลังสูงช่องว่างภายในคอนกรีตจะมีไม่มาก เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่กำลังอัดต่ำซึ่งจะมีช่องว่างมากขึ้นจะทำให้มีออกซิเจนเข้าไปมาก โดยตัวออกซิเจนนี้จะเป็นองค์ประกอบหนึ่งในกระบวนการการเกิดสนิมดังนั้นจากการทดสอบหาโอกาสในกๅรเกิดสนิมจะเห็นว่า ที่คอนกรีตกำลังอัดต่ำนั้นโดยภาพรวมจะมีโอกาสในการเกิดสนิมมากกว่าคอนกรีตที่กำลังอัดสูง

สภาวะเปียกสลับแห้ง จะมีผลอย่างมากโดยสภาวะเปียกสลับแห้งนี้จะเป็นตัวเร่งในการเกิดสนิมอย่างมากเนื่องจากจะมีออกซิเจนเข้ามาในเนื้อคอนกรีตเมื่อคอนกรีตเป็นสภาวะแห้ง และถ้าต่อมาคอนกรีตนั้นอยู่ในสภาวะเปียกก็จะนำเอาโซเดียมคลอไรด์เข้าไปอีก ทำให้การเกิดกระบวนการในการเกิดสนิมนั้นเป็นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังจะเห็นในการทดสอบของตัวอย่างของการทดสอบที่ระดับในการวัดHalf-Cell ที่ระดับ30cmจากระดับล่างจะเป็นสนิมมากกว่าระดับอื่นๆ เนื่องจากอยู่ในสภาวะเปียกสลับแห้งตลอดเวลา

สรุปได้ว่าถ้ามีการก่อสร้างใดๆที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีโซเดียมคลอไรด์ปะปนตั้งแต่1.5% ขึ้นไป คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดที่ 180kscและ 350ksc อาจจะไม่เหมาะกับการใช้งาน เพราะไม่สามารถต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้

5.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาและทดสอบ ได้เกิดปัญหาและอุปสรรคในการทำงานดังนี้

1. เนื่องจากในช่วงเริ่มตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึง วันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2555 ได้เกิดอุทกภัยรุนแรงที่เกิดขึ้นระหว่างฤดูมรสุมในประเทศไทย ทำให้มีผลกระทบต่อการดำเนินงานทำให้การดำเนินงานล่าช้าเนื่องจากสาเหตุดังนี้ สาเหตุแรก การเตรียมอุปกรณ์เช่น ผงโซเดียมคลอไรด์ น้ำกลั่นบริสุทธิ์มีความยากลำบากเนื่องจากร้านค้าที่ทำการขายได้ปิดเพื่อหลีกเลี่ยงน้ำท่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.จากการทำการผสมคอนกรีตเพื่อทำการทดสอบนั้น โดยก้อน180KSCมีผลไม่เป็นไปตามที่กำหนดโดยการนำไปทดสอบกำลังอัดพบว่าได้ค่ากำลังอัดที่สูงมากกว่า180KSCเป็นอย่างมาก ซึ่งเกิดจากการคำนวณที่ผิดพลาด และ วัสดุอุปกรณ์ที่อาจจะชื้นหรือแห้งเกินไป

3. สภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บก้อนตัวอย่างถูกรบกวนจากสิ่งต่างๆเช่น จากการทำงานของบุคคลอื่นที่เข้ามาใช้ในห้อง ซึ่งมีการเปิดเครื่องปรับอากาศ ทำให้อุณหภูมิแปรเปลี่ยนไม่เป็นไปตามอุณหภูมิห้อง ถังอาจถูกกระทบจากสิ่งอื่นๆทำให้ระดับน้ำขยับ อาจมีผลทำให้ค่าการเกิดสนิมมีการผิดเพี้ยนมากขึ้น

4. ในการใช้เครื่องมือการทดสอบHalf-Cellนั้น มีการควบคุมการใช้งานได้ค่อนข้างยาก โดยการวัดนั้นค่าความต่างศักย์จะไม่ค่อยนิ่ง เนื่องจากผิวคอนกรีตแห้งเกินไปทำให้การนำไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ไม่ดี จึงต้องมีการพรมน้ำไปที่ผิวก่อนการวัด แต่ต้องวัดเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า5นาทีเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด

5.7 ข้อเสนอแนะ

ในการทำการศึกษาวิจัย มีความจำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบซึ่งมีค่าใช้จ่ายมาก โดยเฉพาะถังในการแช่ก้อนตัวอย่างซึ่งมีราคาแพง จึงได้ใช้เงินส่วนตัวจำนวนหนึ่งในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์เอง จึงหวังว่าทางภาควิชาจะจัดสรรงบประมาณสำหรับการศึกษาวิจัยเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะอีกประการหนึ่งคือ ผลของการทดสอบมีค่าอ่อนไหวต่อสภาวะแวดล้อมมากๆ เช่นห้องในการแช่ซึ่งมีบุคคลอื่นเข้ามารบกวน อุปกรณ์Half-Cellซึ่งต้องใช้ร่วมกับผู้อื่น ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความคิดว่าควรจะทำการทดสอบ โดยห้องที่ทำการทดสอบนั้นควรจะเป็นห้องปิดไม่มีบุคคลอื่นเข้ามารบกวนได้ แต่ส่วนอุปกรณ์Half-Cellนั้นมีราคาแพงจึงไม่สามารถหามาใช้ได้เป็นการส่วนตัวจึงคิดว่าควรจะมีการลงชื่อกับวันที่ ที่มีการใช้งาน เพื่อจะได้อ้างอิงได้ว่าใครได้ใช้ไปบ้างถึงมีผลกระทบต่อผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- วินิต ช่อวิเชียร , คอนกรีตเทคโนโลยี , พิมพ์ครั้งที่ 9 (กรุงเทพมหานคร :หป. สัมพันธ์พาณชย์ ,2544)
- ศิริวัฒน์ ไชยชนะ , ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี , พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพมหานคร :หจก. วี.เจ.พริ้นติ้ง จำกัด,2542)
- ตามยศ สมยาภักดี “ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดสนิมแบบ MACROCELL ของการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเฉพาะที่” (ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554)
- วรเดช สีดา “การศึกษาความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าลอยในปริมาณสูง” (ปริญญนิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์, 2546)
- สราวุฒิ ยอดมุนี “การศึกษาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเสริมเหล็ก” (ปริญญนิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์, 2551)
- Jamal RHAZI “Half-cell potential test from the upper-side and the lower-side of reinforced concrete slabs: a comparative study.” (Thesis Université de Sherbrook, 2009)
- ชยพัทธ์ ทิพย์โพธิ์ “การเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตและการป้องกันโดยใช้สารเคลือบผิวป้องกันสนิมของโครงสร้างอาคารหอหล่อเย็น โรงไฟฟ้าบางปะกง” (ปริญญนิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตเป็นการนำวัสดุที่จะใช้ผสมคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม และน้ำ มาผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่สม่ำเสมอและมีความข้นเหลวที่พอเหมาะ อันจะทำให้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีโดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เป็นซีเมนต์เพสท์ และกระจายไปเคลือบหรือห่อหุ้มอนุภาคของวัสดุผสมโดยทั่วถึง ซึ่งเมื่อแห้งจะแข็งและยึดติดกันแน่น การผสมไม่ทั่วถึงกันดีจะทำให้คุณภาพคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ ไม่ได้กำลังและคุณสมบัติตามต้องการ

วัสดุผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตโดยทั่วไป จำแนกวัสดุผสมตามขนาด แบ่งออกเป็น วัสดุผสมละเอียด และวัสดุผสมหยาบ

1. วัสดุผสมละเอียด หมายถึง ทรายซึ่งเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดเล็กกว่า 0.07 มม.

2. วัสดุผสมหยาบ เป็นวัสดุที่มีขนาดโตตั้งแต่ 4.5 มม.ขึ้นไป หรือไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้แก่ กรวด หินย่อยหรือหินโม่

คุณสมบัติของวัสดุผสม

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสม มีอิทธิพลต่อคุณภาพของคอนกรีต สัดส่วนผสมของคอนกรีต หิน ทรายที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ต้องสะอาด แข็งแกร่ง ทนทาน มีเหลี่ยมคม ไม่ขยายตัวมาก มีสารหรือสิ่งสกปรกที่จะทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพน้อยที่สุด มีขนาดส่วนคละอยู่ภายในพิกัดกำหนด สิ่งต่างๆดังกล่าวจะช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่น สม่ำเสมอ คุณภาพดี

ดังนั้นก่อนที่จะมีการนำวัสดุผสมมาใช้ในการผสมคอนกรีต จึงต้องมีการทดสอบคุณภาพของวัสดุผสมที่ใช้ทำคอนกรีต เพื่อช่วยให้ทราบถึงความเหมาะสมของวัสดุผสมที่จะนำไปใช้ เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆที่จะใช้ในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตตลอดจนเพื่อควบคุมคุณภาพของคอนกรีต การเลือกตัวอย่างของวัสดุผสมที่จะนำไปทำการทดสอบ ควรเป็นตัวแทนของวัสดุทั้งหมดที่จะนำไปใช้ผสมคอนกรีตจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

1.1 การหาส่วนขนาดคละของทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบ ตรวจดูก่อนว่าชื้นหรือไม่ ปกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

2. เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่อง ชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับพร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด

3. ค่อยๆเททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

4. เมื่อครบกำหนดเวลา ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้ง แล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

1.2 การหาส่วนคละของหิน

1. เตรียมหินสำหรับทดลอง หากเป็นหินขนาดเล็กคือ มีขนาดโตสุดไม่เกิน 1นิ้ว ให้ใช้ประมาณ 5 กิโลกรัม แต่หากเป็นหินขนาดใหญ่ควรใช้ประมาณ 20 กิโลกรัม

2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทรายตั้งแต่ข้อ 2-4

หมายเหตุ

-ค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม จะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงทั้งหมด หารด้วย 100

Sand F.M. = (Cumulative%retained) / 100

Coarse F.M. = (Cumulative%retained include NO.4 + 500) /100

-ทรายทั่วไปแบ่งเป็นทรายละเอียดมาก ทรายละเอียดและทรายหยาบ แต่ละชนิดมีค่าพิกัดความละเอียดแตกต่างกัน ดังนี้

ทรายละเอียดมาก F.M. = 0.5-1.5

ทรายละเอียด F.M. = 1.5-2.5

ทรายหยาบ F.M. = 2.5-3.5

สำหรับทรายที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 2.3-3.1

-หินหรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 5.5-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ในการทำmixed design จะใช้ค่าพิกัดความละเอียดของทรายเป็นหลัก เนื่องจากมีผลทาง workability มาก ทรายที่มีความละเอียดมากจะทำงานได้ดีกว่าทรายที่มีความละเอียดน้อย

ตารางที่ ผ1. แสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวมละเอียด

ขนาดตะแกรง	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง
9.5 mm.	100
4.75mm.	95-100
2.36mm.	80-100
1.18mm.	50-85
0.6mm.	26-60
0.3mm.	10-30
0.15mm.	2-10

ตารางที่ ผ2. แสดงมาตรฐานส่วนคละสำหรับมวลรวมหยาบ

ขนาด	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง						
ตะแกรง	3/8”	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
1 ½”	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1”	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
¾”	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
½”	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการทดสอบ

ตารางที่ ผ3. ตารางแสดงผลการทดสอบของมวลรวมหยาบ

<u>มวลรวมหยาบ</u>

Sieve No.	*Sieve Opening (mm.)*	*wt. Sieve (kg)*	*wt. Sieve + Sample (kg)*	*wt. sample retained (kg)*	*Percent retained (%)*	*Cumulative percent retained (%)*	*Percent finer or passing (%)*
1 1/2"	38.1	0.807	-	-	-	-	100
1"	25.4	0.544	-	-	-	-	100
3/4"	19.05	0.800	1.389	0.589	11.96	11.96	88.04
1/2"	12.5	0.800	5.106	4.306	86.12	98.08	1.92
3/8"	9.5	0.795	0.880	0.085	1.70	99.78	0.22
No. 4	4.75	0.488	0.492	0.004	0.08	99.86	0.14

Sample wt. = 5.000 kg Σ= 309.68+ 500(from fine sieves)

Σ = 809.68

Nominal maximum size = 1 ½ in

F.M. (Coarse) = (Cumulative % retained + 500) / 100

Fineness modulus (F.M.) = 809.68 / 100 = 8.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ4. ตารางแสดงผลการทดสอบของมวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียด

Sieve No.	Sieve Opening (mm.)	wt. Sieve (kg)	wt. Sieve + Sample (kg)	wt. sample retained (kg)	Percent retained (%)	Cumulative percent retained (%)	Percent finer or passing (%)
No. 4	4.75	0.488	0.489	0.001	0.10	0.10	99.90
No. 8	2.36	0.696	0.743	0.047	4.70	4.80	95.20
No. 16	1.18	0.659	0.817	0.158	15.80	20.60	79.40
No. 30	600 µm	0.606	0.901	0.295	29.50	50.10	49.90
No. 50	300 µm	0.576	0.894	0.318	31.80	81.90	18.10
No. 100	150 µm	0.814	0.675	0.161	16.10	98.00	2.00
Pan		0.555	0.575	0.020	2.00	-	-

Sample = 1.000 kg Σ = 255.5

F.M. (Sand) = (Cumulative % retained) / 100

Fineness modulus (F.M.) = 255.5 / 100 = 2.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบพบว่า มวลรวมหยาบและละเอียดที่นำมาทดสอบมีความละเอียด ขนาดส่วนคละตามมาตรฐานที่กำหนด โดยค่า F.M.ของมวลรวมละเอียด (ทราย) = 2.56 ตามมาตรฐานเป็นทรายหยาบ สามารถทำงาน (workability) ได้ดีกว่าทรายละเอียด (F.M. น้อย)

2. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมละเอียด เช่น ทรายภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง นอกจากนี้หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กไม่เกิน ¾” ก็สามารถใช้วิธีทดสอบนี้ได้เช่นกัน

2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ทรายประมาณ 1200-1500 กรัม ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
2. พิคโนมิเตอร์
3. ตาชั่งวัดละเอียดถึง 0.1กรัม
4. เครื่องวัดอุณหภูมิ
5. เตาอบ
6. โถแก้วกันความชื้น

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆกัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วยB

2. นำทรายอีกส่วนหนึ่งเข้าเตาอบให้แห้งสนิทประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงเอามาใส่โถกันความชื้น เพื่อทิ้งไว้ให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย A

3. เทน้ำที่ทราบอุณหภูมิลงในขวดพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ 3/4ของขวด นำทรายส่วนB เติมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวดพร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลยเช่นเดียวกัน แล้วจึงปิดฝาแก้ว นำไปชั่ง และบันทึกค่าแทนด้วย W

4. จากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะ(เมื่อวัสดุแห้งสนิท) = A/(Wc+B-W)

ความถ่วงจำเพาะ(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวแห้ง) = B/(Wc+B-W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการดูดซึม = (B-A)/A x100%

โดยที่ A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

Wc = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

W = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำปละมวลรวม

ผลที่ได้จากการทดสอบ

- มวลรวมละเอียด (ทราย)

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท => 992 g

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง => 1000 g

W_C = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด => 1571 g

W = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม => 2174 g

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด (เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

= A/(Wc+B-W)

=992/(1571+1000-2174) = 2.49

อัตราการดูดซึม %

= (B-A/A) x 100%

=(1000-992/992)x 100% = 0.8 %

3. การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะ และอัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. มวลรวมหยาบประมาณ 5 กิโลกรัม สำหรับขนาดโตไม่เกิน 1 ½” และประมาณ 8-10 กิโลกรัม สำหรับขนาดโตกว่า 2” และคัดเอามวลรวมหยาบที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตะกร้าลวดตาข่าย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตรและสูงประมาณ 60 เซนติเมตร สามารถใส่มวลรวมได้ประมาณ 5 กิโลกรัม

3. เตาอบ

4. ชั่งขนาดใหญ่

5. ถังบรรจุน้ำสะอาด

6. โถแก้วกันความชื้น

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1.เตรียมวัสดุที่จะนำมาทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษวัสดุอื่นๆที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และนำไปทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3ชั่วโมง

2.จากนั้นแช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง

3.นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงบนผืนผ้าใหญ่ๆที่สามารถดูดซับน้ำได้ กลิ้งวัสดุไปมา เพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิววัสดุ แม้ว่าที่จริงผิวยังชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าเป็นวัสดุก้อนใหญ่มากอาจจับมาเช็ดเป็นก้อนๆได้

4.วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันทีและบันทึกค่าไว้เช่นกัน

5.หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาใส่โถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติอีกประมาณ 1-3 ชั่วโมง หรือเย็นพอที่จะสัมผัสได้ จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

6.จากนั้นนำค่าต่างๆมาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม(เมื่อวัสดุมีความชื้นอากาศ) = $A/(B-C)$

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) = $B/(B-C)$

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม(เมื่อวัสดุแห้งสนิท) = $A/(A-C)$

อัตราการดูดซึม = $(B-A)/A \times 100\%$

โดยที่ A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการทดสอบ

- มวลรวมหยาบ (หิน)

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว => 5.000 kg

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง => 5.035 kg

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ => 3.200 kg

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ (เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

=A/A-C

=5.000/5.000-3.200 = 2.78

อัตราการดูดซึม %

=B-A/Ax 100%

= (5.035-5.000/5.000) x 100% = 0.7 %

4. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ทั้งในสภาพที่อัดตัวแน่นและหลวมตัว ไม่ว่าจะเป็นทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

4.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์การทดสอบ

มวลรวม อาทิ ทราย หิน และกรวดเตรียมไว้ประมาณ 125-200% ของจำนวนทีต้องการใส่ในภาชนะ นำไปอบในเตาอบภายใต้อุณหภูมิ 110$\pm$5°C

ตาชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 % ของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ

เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายด้านกระทุ้งเป็นลักษณะครึ่งวงกลม

ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะโลหะรูปทรงกระบอกผิวเรียบ ควรมีมือจับทั้งสองข้าง ขนาดของภาชนะต้องเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ5. ตารางแสดงขนาดของภาชนะ

ปริมาตร (ลิตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มม.)	ความสูงภายใน (มม.)	ความหนาน้อยสุด		ขนาดโตสุดของมวลรวม (มม.)
			ก้นภาชนะ (มม.)	ผนังข้าง (มม.)	
3	155±2	160±2	5.0	2.5	12.5
10	205±2	305±2	5.0	2.5	25.0
15	255±2	295±2	5.0	3.0	37.5
30	355±2	305±2	5.0	3.0	100.0

4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ก)การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

1 .เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็มและทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส

2. วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยเทียบจากตารางแสดงหน่วยน้ำหนักของน้ำ

3. หาค่าแฟคเตอร์ (ความจุ) ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำในภาชนะด้วยน้ำหนักน้ำ

ตารางที่ ผ6. ตารางแสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ		กก./ลบ.ม.	ปอนด์/ลบ.ฟ.
°F	°C		
60	15.6	999.01	62.366
65	18.3	998.53	62.336
70	21.1	997.97	62.301
73.4	23.0	997.53	62.274
75	23.9	997.32	62.261
80	26.7	996.60	62.216
85	29.4	995.80	62.166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม. (1 ½”)

   1.1 เทมวลรวมที่จะทดสอบลงในภาชนะที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ให้แต่ละส่วนหนาประมาณ 1/3 ของความสูงของภาชนะ เกลี่ยผิวหน้าให้เรียบและใช้เหล็กกระทุ้งๆ ให้เกือบถึงด้านล่าง โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นเติมมวลรวมลงไปอีกเป็นชั้นที่สอง ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและเติมลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบบนของภาชนะ อย่าให้บุ๋มหรือโปนเป็นอันขาด

   1.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียด 0.1 % แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

2. โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนากโตเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 60 มม. (6”)

   2.1 แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง แต่วิธีนี้ ภาชนะควรถูกนำมาวางลนพื้นแข้ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะ เพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 50 มม. และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้นเป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่ง เพื่อใหด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้น ยกลอยขึ้นมา 50 มม.บ้าง และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลรวมให้เรียบไม่ให้ปูดหรือบุ๋ม แล้วนำไปชั่ง

   2.2 เมื่อได้น้ำหนักที่แท้ของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) การหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

1. แฟคเตอร์หรือความจุของภาชนะ หาได้จากสมการ

$$V = W_w/R_w$$

โดยที่

V = ความจุภาชนะ, ลบ.ม.

W_w = น้ำหนักของน้ำในภาชนะ, กก.

R_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน, กก/ลบ.ม.

2. หน่วยน้ำหนักของมวลรวม หาได้จากสมการ

$$R_a = W_a/V$$

โดยที่

R_a = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กก/ลบ.ม.

W_a = น้ำหนักสุทธิของมวลรวม, กก.

V = ความจุของภาชนะ, ลบ.ม.

ง) การหาค่าปริมารช่องว่าง (Void content) โดยอาศัยค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม ที่คำนวณได้จากข้อ ค) และนำมาหาค่าปริมารช่องว่างได้จากสมการ

$$\%\text{ของช่องว่าง} = (100[(S \times Rw)-Ra])/(S \times Rw)$$

โดยที่

S = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุแห้งสนิท)

Rw = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 18.3°C

= 998 กก/ลบ.ม.

Ra = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการทดสอบ

ตารางที่ ผ7. ตารางแสดงผลการทดสอบการหาน้ำหนักมวลรวมเฉลี่ย

No.	1	2
น้ำหนักมวลรวมตัวอย่าง+น้ำหนักภาชนะที่ใช้ทดสอบ (kg), W	7.083	7.104
น้ำหนักของภาชนะที่ใช้ทดสอบ (kg) , W_1	2.964	2.973
น้ำหนักของมวลรวมตัวอย่าง (kg) , $W_a = W-W_1$	4.119	4.131
หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน (kg/m^3) , R_W	996	996
น้ำหนักของภาชนะที่ใช้ทดสอบรวมกับน้ำ (kg) , A	5.560	5.578
น้ำหนักของน้ำในภาชนะ (kg) , $W_W = A-W_1$	2.596	2.605
ปริมาตรของภาชนะที่ใช้ทดสอบ (m^3) , $V = W_W/R_W$	2.606×10^{-3}	2.615×10^{-3}
หน่วยน้ำหนักของมวลรวม (kg/m^3) , $R_a = W_a/V$	1580.58	1579.73

หน่วยน้ำหนักมวลรวมเฉลี่ย = (1580.58+1579.73)/2 = 1580.155 kg/m^3

5. การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

เพื่อทดสอบหาอัตราของความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับชั่งผสมคอนกรีต

5.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. มวลรวมประมาณ 2-6 กิโลกรัม สำหรับมวลรวมหยาบ และประมาณ 0.5-1.5 กิโลกรัม สำหรับมวลรวมละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตาชั่ง ที่วัดละเอียดถึง 0.1%

3. เตาเผา

4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง เช่น ปี๊ป

5. แท่งเหล็กสำหรับคนมวลรวม

5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชื้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุ นำไปใส่หรือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน

2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

$$P = 100(W-D)/D$$

โดยที่ P = ปริมาณความชื้น

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนอบ

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังอบ

ตารางที่ ผ8. แสดงค่าใกล้เคียงของปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม

สภาพของมวลรวม	ปริมาณความชื้น%
กรวดหรือหินชื้น	1.5-2
ทรายเปียกมาก	5-8
ทรายเปียกธรรมดา	2-4
ทรายชื้น	0.5-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการทดสอบ

P $= (100(W-D))/D$

โดยที่ P = ปริมาณความชื้น , %

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนอบ ,(kg)

D = น้ำหนักมวลรวมหลังอบ ,(kg)

- มวลรวมหยาบ (หิน)

$W_{หิน}$ = 5.000 kg $D_{หิน}$ = 4.863 kg

$P_{หิน}$ = 100(5.000-4.863)/4.863

$P_{หิน}$ = 2.82 %

- มวลรวมละเอียด (ทราย)

$W_{ทราย}$ = 1.000 kg $D_{ทราย}$ = 0.935 kg

$P_{ทราย}$ = 100(1.000-0.935)/0.935

$P_{ทราย}$ = 6.95 %

เมื่อได้ผลจากการทดลองต่างๆแล้ว นำผลที่ได้มาทำการคำนวณ สำหรับใช้ในการผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังตาที่ต้องการ คือ 180KSC และ 350KSC

6. การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการไหล และความสามารถในการเทลงแบบของคอนกรีตสด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตนั้น หากมากเกินไปหรือน้อยเกินไป จะมีผลต่อการเทและจี้เขย่าให้แน่น อาจเป็นหตุให้คอนกรีตเสียกำลังเมื่อแข็งตัวเต็มที่

6.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ

2. แบบทดสอบมาตรฐานที่ทำด้วยโลหะ ซึ่งซีเมนต์ไม่ยึดเกาะผิว ลักษณะเป็นแบบรูปกรวยกลมปลายเปิดทั้งสองด้าน โดยปลายส่วนที่เป็นฐานสำหรับวางสัมผัสพื้น จะมีเส้นผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลาง 203 มม. และรูปกรวยทดสอบจะเล็กลงจนเหลือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายด้านบนขนาด 102 มม. มีความสูง 305 มม. แผ่นโลหะที่นำมาทำเป็นแบบดังกล่าว ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 1.61 มม. และมีที่สำหรับเท้าเหยียบและมือจับอยู่ตรงข้ามกันทั้งสองด้าน

3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และมีความยาวประมาณ 600 มม. ปลายด้านกระทุ้งจะเป็นมนโค้งครึ่งวงกลม

4. เกรียงเหล็ก

5. ไม้บรรทัดเหล็ก

6. ที่ตักคอนกรีต

7. ถาดหรือแผ่นเหล็ก

6.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมพื้นที่สำหรับวางกรวย ควรเป็นพื้นที่แข็ง ราบเรียบและไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อวางกรวยเรียบร้อยแล้ว ใช้เท่าทั้งสองข้างเหยียบกดลงบนที่สำหรับเท้าเหยียบให้แน่น

2.นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆเทใส่กรวย โดยเทแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรเฉลี่ยเท่าๆกัน และแต่ละชั้นให้ใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง การกระทุ้งชั้นล่างสุด ให้พยายามกระทุ้งด้วยการตั้งท่อนเหล็กให้ตรงขณะกระทุ้งบริเวณรอบศูนย์กลางกรวย และเอียงเหล็กตามขอบกรวยเมื่อกระทุ้งแถวขอบกรวย การกระทุ้งชั้นบนสุด ให้พยายามเติมคอนกรีตให้เต็มแบบตลอดเวลาที่กระทุ้งเสร็จแล้วปาดผิวบนให้เรียบ

3.ค่อยๆยกกรวยขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมออย่าให้กรวยเอียงหรือก่อให้เกิดการบิดใดๆในคอนกรีตเป็นอันขาด ยกกรวยให้พ้นภายใน 5-10 วินาที และเวลาตั้งแต่เริ่มเทคอนกรีตลงในกรวยจนถึงขั้นสุดท้ายนี้ไม่ควรเกิน 2 นาที

4.ให้วัดระยะการยุบตัวของคอนกรีตทันที โดยนำกรวยที่ยกออกแล้ว มาวางข้างๆ เอาเหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบกรวย ให้ปลายเหล็กยื่นเข้ามาเหนือตัวอย่างคอนกรีตที่ยุบตัว แล้วใช้ไม้บรรทัดเหล็กวัดระยะ

ผลที่ได้จากการทดสอบ

จากการทดสอบวัดค่ายุบตัวของคอนกรีต 9 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การปรับแก้ส่วนผสมจากการทดลองผสม</u> คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 180 ksc

จากการทดลองผสมคอนกรีตจำนวน 0.024 m^3 ที่กำลังอัดคอนกรีต design 180 ksc ซึ่งจะต้องใช้วัสดุในสภาพเปียกดังนี้

น้ำ 2.4 kg ปูนซีเมนต์ 5.68 kg หิน(เปียก) 28.7 kg ทราย (เปียก) 20.6 kg แต่เพื่อให้เกิดความสามารถเทได้ ปรากฏว่าต้องใช้น้ำผสมถึง 5.40 kg ซึ่งมากกว่าที่คาดไว้ แต่วัดความยุบตัวได้ 9 cm. ชั่งหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตได้เท่ากับ 2423 kg/m^3 ฉะนั้นต้องปรับส่วนผสมใหม่โดยให้คอนกรีตมีค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม ดังนี้

1. ปริมาณคอนกรีตที่ได้จริง

= น้ำหนักของวัสดุทั้งหมดที่ใช้ทำคอนกรีต หารด้วย หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

= (4+5.68+28.7+20.6)/2423= 0.0243 m3

2. ปรับปริมาณน้ำที่ต้องใช้

= (4+[(1162.9 x 0.0212) + (801.78 x 0.0615)] x 0.024)/0.0243

= 237.6 kg

3. ปรับปริมาณปูนซีเมนต์

อัตราส่วนน้ำต่อคอนกรีตเท่าเดิมคือ 0.74

ดังนั้นปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ = 237.6 / 0.74 = 321.1 kg

4. ปรับปริมาณของหิน

หิน (เปียก) ที่ต้องใช้	= 28.7 / 0.0243	= 1181.1	kg
หิน (แห้ง) ที่ต้องใช้	= 1181.1 / 1.0282	= 1148.71	kg

5. หาปริมาตรฟองอากาศ เพื่อใช้ในการหาปริมาณของทราย

ปริมาตรของน้ำ	5.775/1000	= 0.0058	m^3
ปริมาตรของซีเมนต์	5.68/3.15x1000	= 0.0018	m^3
ปริมาตรของหิน (แห้ง)	27.91/2.78x1000	= 0.0100	m^3
ปริมาตรของทราย (แห้ง)	19.26/2.49x1000	= 0.0077	m^3
รวม		= 0.0253	m^3
ดังนั้น จะมีปริมาตรฟองอากาศ= 0.0253-0.0243		= 0.0010	m^3

6. หาปริมาณของทราย

ปริมาตรของน้ำ	= 237.6/1000	= 0.2376	m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของซีเมนต์ = 321.1/3.15x1000 = 0.102m^3

ปริมาตรของหิน = 1148.71/ 2.78x1000 = 0.413m^3

ปริมาตรฟองอากาศ = 0.010m^3

ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้ = 0.237m^3

= 0.237x2.49x1000

= 590.13 m^3

7. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นในวัสดุผสม

น้ำหนักของหิน (เปียก) = 1148.71x1.0282 = 1181.1 kg

น้ำหนักของทราย (เปียก) = 590.13x1.0695 = 631.14 kg

ปริมาณน้ำที่ต้องใช้จริง = 237.6 – 1148.71(0.0212) – 590.13(0.0615) = 176.95 kg

ฉะนั้นคอนกรีตใน 1 m^3 จะต้องใช้วัสดุต่าง ๆ ดังนี้

น้ำ	= 176.95	kg
ปูนซีเมนต์	= 321.1	kg
หิน (เปียก)	= 1181.1	kg
ทราย (เปียก)	= 631.1	kg

<u>การปรับแก้ส่วนผสมจากการทดลองผสม</u> คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 350 ksc

จากการทดลองผสมคอนกรีตจำนวน 0.024 m^3 ที่กำลังอัดคอนกรีต design 350 ksc ซึ่งจะต้องใช้วัสดุในสภาพเปียกดังนี้

น้ำ 2.6 kg ปูนซีเมนต์ 8.75 kg หิน(เปียก) 28.7 kg ทราย (เปียก) 18.0 kg แต่เพื่อให้เกิดความสามารถเทได้ ปรากฏว่าต้องใช้น้ำผสมถึง 3.8 kg ซึ่งมากกว่าที่คาดไว้ แต่วัดความยุบตัวได้ 9 cm. ชั่งหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตได้เท่ากับ 2385 kg/m^3 ฉะนั้นต้องปรับส่วนผสมใหม่โดยให้คอนกรีตมีค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม ดังนี้

1. ปริมาณคอนกรีตที่ได้จริง

= น้ำหนักของวัสดุทั้งหมดที่ใช้ทำคอนกรีต หารด้วย หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

= (3.8+8.75+28.7+18)/2385 = 0.0248 m3

2. ปรับปริมาณน้ำที่ต้องใช้

= (3.8 + [(1162.9 x 0.0212) + (699.69 x 0.0615)] x 0.024)/0.0248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 218.7 kg

3. ปรับปริมาณปูนซีเมนต์

อัตราส่วนน้ำต่อคอนกรีตเท่าเดิมคือ 0.48

ดังนั้นปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ = 218.7 / 0.48 = 455.6 kg

4. ปรับปริมาณของหิน

หิน (เปียก) ที่ต้องใช้ = 28.7 / 0.0212 = 1353.8 kg

หิน (แห้ง) ที่ต้องใช้ = 1353.8 / 1.0282 = 1316.7 kg

5. หาปริมาตรฟองอากาศ เพื่อใช้ในการหาปริมาณของทราย

ปริมาตรของน้ำ 5.424/1000 = 0.0054 m^3

ปริมาตรของซีเมนต์ 8.75/3.15x1000 = 0.0028 m^3

ปริมาตรของหิน (แห้ง) 27.91/2.78x1000 = 0.0100 m^3

ปริมาตรของทราย (แห้ง) 16.83/2.49x1000 = 0.0068 m^3

รวม = 0.0250 m^3

ดังนั้น จะมีปริมาตรฟองอากาศ= 0.0250-0.0248 = 0.0002 m^3

6. หาปริมาณของทราย

ปริมาตรของน้ำ = 218.7/1000 = 0.219m^3

ปริมาตรของซีเมนต์ = 455.6/3.15x1000 = 0.144m^3

ปริมาตรของหิน = 1316.7/ 2.78x1000 = 0.474m^3

ปริมาตรฟองอากาศ = 0.002m^3

ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้ = 1-(0.219+0.144+0.474+0.002)

= 0.161 m^3

= 0.161x2.49x1000

= 400.9m^3

7. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นในวัสดุผสม

น้ำหนักของหิน (เปียก) = 1316.7x1.0282 = 1353.8 kg

น้ำหนักของทราย (เปียก) = 400.9x1.0695 = 428.8kg

ปริมาณน้ำที่ต้องใช้จริง = 218.7 – 1316.7(0.0212) – 400.9(0.0615) = 166.1 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นคอนกรีตใน 1 m^3 จะต้องใช้วัสดุต่าง ๆ ดังนี้

น้ำ	= 166.1	kg
ปูนซีเมนต์	= 455.6	kg
หิน (เปียก)	= 1353.8	kg
ทราย (เปียก)	= 428.8	kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ9 เฉลี่ยก้อน1-3ที่กำลังอัด180KSCในน้ำธรรมดา

เฉลี่ยก้อน1-3/180KSC/water	เฉลี่ย4ด้าน (mV)										
ชั้น/วันที่	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012	3/2/2012	10/2/2012	23/2/2012	1/3/2012	8/3/2012	15/3/2012	22/3/2012	29/3/2012
5cm	-127.25	-143.83	-142.92	-150.08	-154.50	-146.08	-169.75	-185.25	-189.75	-211.92	-213.58
10cm	-125.33	-128.00	-130.08	-140.33	-151.58	-152.00	-156.92	-186.58	-199.83	-208.33	-218.08
15cm	-118.58	-119.83	-127.67	-128.17	-141.17	-144.92	-136.00	-174.33	-186.83	-197.50	-205.33
20cm	-107.75	-104.83	-112.50	-120.58	-127.75	-138.92	-123.83	-169.67	-175.25	-192.25	-196.58
25cm	-135.00	-129.42	-132.83	-129.92	-153.08	-151.58	-127.83	-191.00	-206.75	-206.25	-213.92
30cm	-193.33	-177.08	-194.33	-207.83	-224.92	-210.25	-232.83	-264.58	-280.42	-277.17	-298.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ10 เฉลี่ยก้อน4-6ที่กำลังอัด180KSCในNaCl0.75%

เฉลี่ยก้อน4-6/180KSC/NaCl 0.75%	เฉลี่ย4ด้าน (mV)										
ชั้น/วันที่	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012	3/2/2012	10/2/2012	23/2/2012	1/3/2012	8/3/2012	15/3/2012	22/3/2012	29/3/2012
5cm	-235.75	-239.50	-241.75	-248.67	-266.42	-284.83	-304.50	-319.08	-323.58	-327.00	-329.83
10cm	-245.83	-243.83	-240.58	-257.00	-276.58	-287.42	-311.83	-323.17	-326.00	-323.25	-332.92
15cm	-251.83	-251.67	-256.67	-267.75	-296.08	-304.83	-330.58	-340.08	-346.08	-330.33	-334.83
20cm	-265.00	-263.83	-273.67	-294.25	-337.83	-330.42	-336.83	-357.50	-362.17	-349.83	-350.67
25cm	-274.25	-276.58	-305.00	-326.33	-367.25	-361.67	-366.42	-400.00	-399.50	-382.50	-377.83
30cm	-282.75	-289.33	-320.42	-331.25	-355.08	-387.00	-373.83	-409.00	-416.92	-408.17	-422.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ11 เฉลี่ยก้อน7-9ที่กำลังอัด180KSCในNaCl1.5%

เฉลี่ยก้อน7-9/180KSC/NaCl 1.5%	เฉลี่ย4ด้าน (mV)										
ชั้น/วันที่	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012	3/2/2012	10/2/2012	23/2/2012	1/3/2012	8/3/2012	15/3/2012	22/3/2012	29/3/2012
5cm	-257.00	-316.17	-321.25	-325.50	-334.83	-340.00	-341.25	-344.50	-352.92	-437.67	-450.75
10cm	-267.00	-322.33	-324.25	-343.83	-353.67	-348.67	-353.08	-353.33	-370.58	-444.33	-452.92
15cm	-274.00	-323.58	-328.33	-356.92	-364.67	-378.75	-362.83	-359.83	-368.25	-461.25	-474.92
20cm	-285.67	-339.83	-349.08	-387.25	-397.17	-401.17	-380.67	-367.83	-389.33	-502.17	-510.42
25cm	-313.25	-343.50	-355.08	-405.58	-403.17	-434.75	-416.17	-397.00	-394.67	-507.92	-526.50
30cm	-356.08	-362.17	-367.75	-434.00	-439.17	-439.33	-426.75	-441.75	-422.25	-530.50	-557.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ12 เฉลี่ยก้อน10-12ที่กำลังอัด180KSCในNaCl3%

เฉลี่ยก้อน10-12/180KSC/NaCl 3%	เฉลี่ย4ด้าน (mV)										
ชั้น/วันที่	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012	3/2/2012	10/2/2012	23/2/2012	1/3/2012	8/3/2012	15/3/2012	22/3/2012	29/3/2012
5cm	-383.50	-394.17	-408.33	-428.33	-437.42	-447.67	-467.25	-471.83	-474.42	-486.42	-496.00
10cm	-382.00	-398.00	-412.50	-418.50	-436.00	-441.25	-466.25	-472.00	-488.50	-486.58	-505.25
15cm	-369.58	-392.83	-406.25	-414.08	-431.50	-441.08	-462.17	-468.83	-485.67	-495.00	-504.83
20cm	-394.50	-391.50	-410.17	-426.58	-433.75	-439.33	-461.92	-463.58	-489.08	-508.17	-514.33
25cm	-413.83	-423.33	-429.00	-444.50	-455.58	-448.92	-469.75	-476.92	-521.17	-526.33	-536.17
30cm	-431.75	-458.17	-457.42	-461.25	-468.58	-460.00	-505.33	-509.33	-527.50	-535.67	-553.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ13 เฉลี่ยก้อน1-3ที่กำลังอัด350KSCในน้ำธรรมดา

เฉลี่ยก้อน1-3/350KSC/water	เฉลี่ย4ด้าน							
ชั้น/วันที่	4/11/2011	18/11/2011	2/12/2011	9/12/2011	16/12/2011	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012
5cm	-94.42	-105.17	-104.83	-107.67	-117.58	-118.08	-131.42	-151.67
10cm	-86.67	-90.50	-98.67	-90.50	-84.67	-97.75	-120.25	-135.42
15cm	-92.83	-95.92	-100.00	-99.25	-95.75	-104.08	-140.67	-114.58
20cm	-94.25	-92.75	-97.50	-103.42	-98.25	-97.83	-139.67	-117.08
25cm	-101.00	-126.92	-134.33	-141.33	-120.92	-137.17	-162.00	-156.50
30cm	-121.50	-138.33	-113.83	-127.00	-118.17	-99.08	-123.50	-142.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ14 เฉลี่ยก้อน4-6ที่กำลังอัด350KSCในNaCl 0.75%

เฉลี่ยก้อน4-6/350KSC/0.75%	เฉลี่ย4ด้าน							
ชั้น/วันที่	4/11/2011	18/11/2011	2/12/2011	9/12/2011	16/12/2011	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012
5cm	-57.92	-63.67	-70.33	-90.17	-104.67	-156.17	-210.50	-370.00
10cm	-54.83	-72.00	-71.17	-86.17	-92.33	-148.33	-204.00	-364.75
15cm	-54.92	-76.67	-72.92	-83.42	-86.00	-147.00	-201.67	-360.17
20cm	-58.75	-76.67	-68.50	-79.50	-92.67	-136.33	-194.00	-366.58
25cm	-95.50	-115.83	-126.25	-138.92	-122.67	-131.00	-201.50	-428.83
30cm	-182.58	-200.33	-220.92	-186.92	-224.67	-224.67	-228.83	-493.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ15 เฉลี่ยก้อน7-9ที่กำลังอัด350KSCในNaCl 1.5%

เฉลี่ยก้อน7-9/350KSC/1.5%	เฉลี่ย4ด้าน							
ชั้น/วันที่	4/11/2011	18/11/2011	2/12/2011	9/12/2011	16/12/2011	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012
5cm	-126.83	-131.50	-129.58	-176.50	-184.42	-202.67	-252.50	-446.17
10cm	-121.00	-129.17	-130.58	-160.67	-171.17	-198.67	-246.67	-430.00
15cm	-121.50	-122.50	-131.83	-151.33	-163.00	-200.33	-244.67	-423.42
20cm	-123.58	-127.83	-131.42	-148.83	-155.67	-203.00	-240.33	-423.83
25cm	-163.33	-167.50	-157.67	-175.83	-175.67	-191.50	-251.83	-445.67
30cm	-231.50	-218.67	-230.83	-244.00	-247.50	-252.33	-259.17	-508.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ16 เฉลี่ยก้อน10-12ที่กำลังอัด350KSCในNaCl 3%

เฉลี่ยก้อน10-12/350KSC/3%	เฉลี่ย4ด้าน							
ชั้น/วันที่	4/11/2011	18/11/2011	2/12/2011	9/12/2011	16/12/2011	6/1/2012	13/1/2012	27/1/2012
5cm	-155.83	-166.25	-174.25	-177.50	-180.50	-432.25	-539.67	-546.83
10cm	-136.25	-153.42	-172.58	-178.67	-189.92	-425.50	-543.08	-557.83
15cm	-124.92	-151.42	-170.25	-177.50	-184.00	-422.58	-545.75	-559.25
20cm	-132.58	-152.33	-179.17	-166.83	-178.17	-431.33	-561.08	-573.92
25cm	-157.92	-179.42	-203.67	-190.58	-204.00	-384.00	-594.67	-613.42
30cm	-192.25	-194.92	-204.58	-190.58	-249.25	-477.25	-591.58	-599.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้