

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิม
โดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

EFFECTS OF REBAR CONTINUITY ON CORROSION TEST BY
HALF-CELL POTENTIAL METHOD



T123202

เอกชัย ไชยพลฤทธิ์

EKKACHAI CHAIPHONRIT

อพ.
ค 87 ๖๐

เลขหมู่..... ๒๐๖๓

เลขทะเบียน..... 123202

วัน,เดือน,ปี..... 19 ต.ค. 2555

b..... 12448206
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

KMITL-2012-EN-M-093-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECTS OF REBAR CONTINUITY ON CORROSION TEST BY
HALF-CELL POTENTIAL METHOD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012
KMITL-2012-EN-M-093-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2012

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

Thesis Title Effects of Rebar Continuity on Corrosion Test by Half-Cell Potential Method

นักศึกษา นายเอกชัย ไชยพลฤทธิ์

รหัสประจำตัว 51061505

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2012-EN-M-093-079

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.อำนวยการ	พานิชกุลพงศ์	
ดร.อัฐวิทย์	สุจิตพงษ์	
รศ.ดร.ปิติ	สุคนธ์สุชกุล	
ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ผศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 เวลา 10.30-12.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิม โดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์
นักศึกษา	นายเอกชัย ไชยพลฤทธิ์
รหัสนักศึกษา	51061505
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการศึกษานั้นได้ทำการจัดวางเหล็กเสริม 2 ชั้น ทั้งที่มีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน โดยในการศึกษาได้ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 15 x 30 ซม. ยาว 1.00 ม. โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด 180/210 และ 240 กก./ซม² ที่อายุ 28 วัน เสริมด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. และ 6 มม. โดยมีการจัดวางเหล็กเสริมให้มีระยะหุ้มเหล็ก 2.50 ซม. ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กทั้ง 2 ชั้นต่อเนื่องกัน เมื่อทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กชั้นใดก็ตามแล้วทำการตรวจวัด ค่าที่ได้จะเป็นค่าความต่างศักย์ของเหล็กในชั้นที่อยู่ใกล้กับ Reference electrode มากที่สุด ส่วนตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กเสริมทั้ง 2 ชั้นไม่ต่อเนื่องกัน และทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นที่ 2 แล้วทำการตรวจวัดโดยผ่านเหล็กเสริมในชั้นที่ 1 พบว่าค่าความต่างศักย์ที่ได้มีค่าลดลง 12% เมื่อเทียบกับเหล็กเสริมที่ต่อเนื่องกัน

Thesis Title	EFFECTS OF REBAR CONTINUITY ON CORROSION TEST BY HALF-CELL POTENTIAL METHOD
Student	Mr. Ekkachai Chaiphonrit
Student ID.	51061505
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2012
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Komsan Maleesee

ABSTRACT

This research aimed to study the effect of Half-cell potential measurement of steel reinforced concrete in the same plane with continuous and discontinuous stirrups steel. The specimens were arranged to 2 layers of reinforced concrete with continuous and discontinuous, casted 15x30x100cm. with 180, 210 and 240 ksc. 28 days compressive strength design (cylinder) and reinforced by 12mm. and 6mm. steel by 2.50cm. covering. The result shown that the voltage of 2 layers continuous stirrup on any plane of reinforced concrete beam is the voltage of reference electrode. The result also shown that the voltage of 2 layers discontinuous stirrup on 2nd plane of reinforced concrete beam decrease 12% of continuous stirrup specimen when measure through 1st layer of reinforced concrete steel.

KEYWORDS : Half-cell potential, Corrosion, steel reinforced concrete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. คมสัน มาลีสี เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าสำหรับการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ด้วยคำแนะนำ คำติติง แนวทางในการแก้ไขปัญหา อันเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณแรงสนับสนุนและกำลังใจที่ได้รับจากครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ตลอดจนเพื่อนๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์ลงได้

สุดท้ายนี้ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อบุคคลหรือผู้สนใจอื่นๆในประการใดๆ นับเป็นความ ปิติอย่างยิ่ง และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยไว้ ณ ที่นี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกชัย ไชยพลฤทธิ

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2555

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต.....	4
2.2 วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential).....	7
2.3 งานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	13
2.4 งานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ.....	24
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ.....	24
3.2 การเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 การทดสอบหาโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต.....	26
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบโอกาสการเกิดสนิม.....	26
3.3.2 วิธีการทดสอบหาโอกาสการเกิดสนิมโดยใช้ Half Cell Potential Measurement.....	27
3.3.3 การสรุปผลการทดสอบและการแปลความผลการทดสอบ	28
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	31
4.1 ผลการทดสอบ Half Cell Potential ที่มีปฏิภาคส่วนผสม 180 กก/ชม ²	31
4.2 ผลการทดสอบ Half Cell Potential ที่มีปฏิภาคส่วนผสม 210 กก/ชม ²	34
4.3 ผลการทดสอบ Half Cell Potential ที่มีปฏิภาคส่วนผสม 240 กก/ชม ²	36
4.4 กรณีศึกษาของโครงการ จัดซ่อมและเสริมกำลัง สะพานข้ามคลองในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 28 สะพาน.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการวิจัย	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบ Half Cell Potential ที่อายุการบ่ม 28	47
ภาคผนวก ข. เอกสารตอบรับผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	72
ประวัติผู้เขียน	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลงVต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิด สนิมในโครงสร้างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต.....	10
2.2 ระยะเวลาที่เหล็กเสริมต่ำสุดขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามมาตรฐานการออกแบบต่างๆ.....	21
3.1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต	24
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของ การเกิดสนิมในโครงสร้าง.....	29
4.1 Statistical distribution of the HCP data (180 ksc.).....	33
4.2 Statistical distribution of the HCP data (210 ksc.).....	36
4.3 Statistical distribution of the HCP data (240 ksc.).....	38

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
2.1 แสดงกลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	4
2.2 แสดงการขยายปริมาตรของสนิมเหล็ก.....	6
2.3 ลักษณะของเหล็กเสริมที่สูญเสียพื้นที่หน้าตัดอันเนื่องมาจากการกัดกร่อน.....	6
2.4 วงจรของเครื่องวัดค่าต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ดังแสดงในมาตรฐาน ASTM 876.....	11
2.5 Schematic illustrating the half-cell measurement circuit	12
2.6 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	12
2.7 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	13
2.8 การทดสอบ Slump Test.....	16
2.9 แสดงการวัดค่าความต้านทานโดยเครื่อง Wenner Array (Jaime Lopez-Saband), 2004	22
2.10 HPC data of the upper-side versus HCP data of the lower-side.....	22
2.11 Half-cell potential measurement assembly.....	23
2.12 Equipotential contour maps of PC bridge in summer and winter	23
3.1 เครื่องทดสอบหาโอกาสของการเกิดสนิม Half Cell Potential	25
3.2 แบบหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	25
3.3 แสดงตัวอย่างคานที่ทำที่ได้เทคอนกรีตแล้ว	26
3.4 แสดงตัวอย่างคานที่ทำตำแหน่งเพื่อทดสอบแล้ว.....	27
3.5 ตำแหน่งเหล็กในการทดสอบตัวอย่างด้วย Half-Cell Potential	27
3.6 แสดงการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยเครื่องมือ Half-Cell Potential.....	28
3.7 แสดงโปรแกรม Surfer.v8 ที่ใช้ในการทำเส้นชั้นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential Contour).....	29
3.8 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	30

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.1 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 1-180 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน.....	31
4.2 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 2-180 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน.....	32
4.3 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 3-180 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน.....	32
4.4 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 4-180 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน.....	32
4.5 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 1-210 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน.....	34
4.6 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 2-210 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน.....	34
4.7 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 3-210 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน.....	35
4.8 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 4-210 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน.....	35
4.9 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 1-240 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน.....	36
4.10 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 2-240 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน.....	37
4.11 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 3-240 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน.....	37
4.12 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 4-240 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน.....	37
4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เทียบกันระหว่าง HC.1 กับ HC.4.....	39
4.14 แสดงกราฟค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แปรผันกับระยะหุ้มของคอนกรีต.....	40
4.15 แสดง ตัวอย่างสะพานที่ทำการทดสอบของโครงการ.....	41
4.16 แสดงแสดง การทดสอบ Half cell Potential ที่ สพ.4855 คลองบางด้วน.....	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธา ได้มีการนำคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) มาใช้ในงานก่อสร้างทางด้านวิศวกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคอนกรีตเสริมเหล็กมีคุณสมบัติที่สามารถทนทานแข็งแรงต่อสภาพแวดล้อมและมีราคาถูก แต่โครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็กมีอายุการใช้งานที่จำกัดโดยผลกระทบจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเล และในพื้นที่น้ำกร่อย เป็นต้น จะทำให้โครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็กเริ่มมีการผุกร่อน ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างลดลง เนื่องจากสนิมทำให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมในคอนกรีตมีขนาดเล็กลง สนิมที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้หน้าตัดเหล็กเสริมลดลงแล้วปริมาณของสนิมที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงดันภายในต้นให้คอนกรีตเกิดความเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แตกร้าว หลุดร่อน ทั้งยังอาจเป็นสาเหตุให้โครงสร้างถึงขั้นวิบัติ ดังนั้นการตรวจสอบโครงสร้างเพื่อหาโอกาสของการเกิดสนิมในโครงสร้างที่มีความเสี่ยงเนื่องจากสาเหตุต่างๆจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

การวัดกักร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตนั้นแบ่งได้ 2 วิธีหลักๆ คือ การวัดการกักร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตแบบทำลายตัวอย่าง (Destructive) และการวัดการกักร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive) ซึ่งในปัจจุบันวิธีการตรวจสอบการวัดการกักร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบที่ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้าง โดยวิธีการที่เป็นที่นิยมใช้คือวิธีการตรวจสอบด้วย Half-Cell Potential เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบที่ไม่ซับซ้อนและสามารถเข้าทำการตรวจสอบได้เพียงคนเดียว ซึ่งในหลักการของวิธีการทดสอบดังกล่าวนี้จะวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมและบริเวณผิวคอนกรีตเพื่อประเมินค่าการกักร่อนในช่วงที่ทำการทดสอบโดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เป็นผลจากขบวนการกักร่อนเหล็กเสริม ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะบ่งบอกถึงความเสี่ยงมากของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต แต่ในการทดสอบนั้นเนื่องจากการเป็นทดสอบแบบไม่ทำลาย จึงทำให้ไม่รู้ถึงสภาพความต่อเนื่องของเหล็กเสริมที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีต

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมและบริเวณผิวคอนกรีตจากการทดสอบด้วยวิธี Half-Cell Potential Test วัตถุประสงค์หลักก็คือต้องการที่จะรู้ถึงผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ว่ามีความแตกต่างหรือเหมือนกันอย่างไร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ในปฏิภาคส่วนผสมต่างๆ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระนาบเดียวกันและต่างระนาบที่เหล็กมีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Half-Cell Potential Test บนคอนกรีตที่จัดทำขึ้นตามมาตรฐาน BS 1881 : PART 3 “Method of making and curing test specimens” แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังอัด ที่ 180/210 และ 240 กก./ซม²

ตัวอย่างทดสอบเป็น ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่แตกต่างกันโดยทำการทดสอบที่ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต 3 ปฏิภาคส่วนผสม ดังต่อไปนี้

- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 1 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 180 กก./ซม²
- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 2 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 210 กก./ซม²
- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 3 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 240 กก./ซม²

โดยแต่ละตัวอย่างที่ทำการทดสอบ จะมีการทดสอบ เหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระนาบเดียวกันและต่างระนาบที่เหล็กมีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ระยะหุ้มเหล็กเสริมตั้งแต่ 2.5 ซม. ในแต่ละปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ
2. พิจารณาออกแบบตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ
3. จัดทำตัวอย่างการทดสอบพร้อมเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่ม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย

1. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริมคอนกรีตด้วยวิธี Half-Cell Potential Test
2. กรอบการนำไปใช้ในการทดสอบด้วยวิธี Half-Cell Potential Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

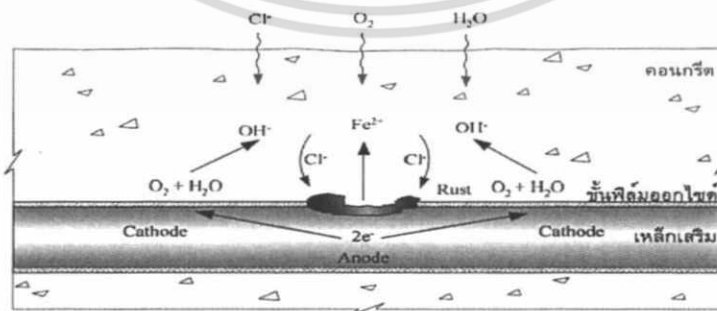
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ผงหินปูน ที่เคยมีการศึกษาทั้งภายในและต่างประเทศ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึง ข้อมูลที่ได้จากการวัด ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) ของเหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระนาบเดียวกันและต่างระนาบทั้งที่เหล็กเสริมมีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต
2. วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential)
3. งานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต

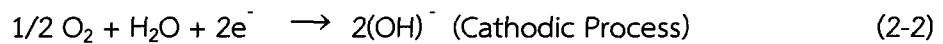
กลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต ดังแสดงในภาพที่ 2.1 จะเริ่มต้นด้วยการที่ความเป็นต่างของคอนกรีตในบริเวณที่หุ้มรอบๆ เหล็กเสริมอยู่มีความเป็นด่างลดลงจนถึงระดับวิกฤต ทำให้ฟิล์มออกไซด์ของเหล็กถูกทำลาย และถ้าบริเวณรอบๆ เหล็กเสริมมีน้ำและออกซิเจนเพียงพอ ทำให้เหล็กเกิดปฏิกิริยา Electrolysis ขึ้น ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วลบ (Anode) ดังสมการที่ 2-1 [1]



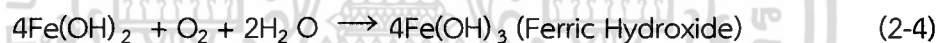
รูปที่ 2.1 แสดงกลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

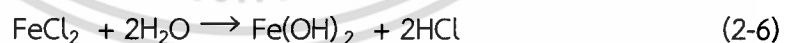
โดยเหล็กจะแตกตัวเป็นอนุภาคของเหล็ก (Fe^{2+}) เข้าสู่สภาพสารละลายและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านไปยังฟิล์มที่ไม่โดนทำลายซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วบวก (Cathode) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า กระบวนการแอโนดิก (Anodic Process) ต่อจากนั้นอิเล็กตรอน ($2e^-$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาแอโนดิกจะไปรวมตัวกับน้ำ และออกซิเจนที่บริเวณเดียวกันหรือบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาแอโนดิก ทำให้เกิดเป็น “ไฮดรอกซิลไอออน ดังสมการที่ 2-2



ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า กระบวนการแคโทดิก (Cathodic Process) หลังจากนั้นก็จะส่งผ่านประจุของไฮดรอกซิลไปยังแอโนด ประจุของไฮดรอกซิลที่เคลื่อนตัวมาถึงพื้นที่แอโนดจะรวมตัวกับอนุภาคของเหล็ก (Fe^{2+}) ที่ละลายอยู่ในน้ำภายในรูปคอนกรีต ทำให้เกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) ดังสมการที่ 2-3 เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนก็จะกลายเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) หรือสนิมเหล็กนั่นเอง ตกตะกอนอยู่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายดังสมการที่ 2-4



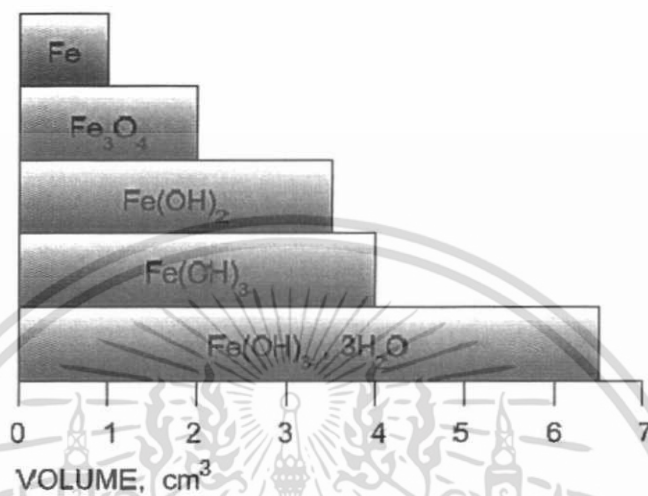
อนุภาคของเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เกิดขึ้นอีกส่วนหนึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของคลอไรด์ (Cl^-) เกิดเป็นเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_2$) และเมื่อสารประกอบนี้ทำปฏิกิริยากับน้ำก็จะกลายเป็นสนิมเหล็กเพิ่มเติม ดังสมการที่ 2-5,2-6



เมื่อสนิมได้เกิดขึ้นในเหล็กเสริมคอนกรีตตามกลไกที่กล่าวมาแล้ว ส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วลบ (Anode) ลดลง ส่วนเหล็กเสริมบริเวณที่รับอิเล็กตรอน ($2e^-$) มีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วบวก (Cathode) สนิมจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งในบางกรณีสนิมเหล็กอาจจะมีปริมาณมากกว่า 6 เท่าของเหล็กเดิม ถ้ามีปริมาณน้ำและออกซิเจนมาก [3] ปริมาตรของสนิมเหล็กที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดแรงดันต่อคอนกรีตบริเวณรอบๆ เหล็กเสริมและเกิดการแตกร้าว ผลกระทบโดยรวมจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคือ กำลังรับแรงต่าง ๆ ของคอนกรีตลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางด้านความต้านทานล้า (Fatigue Strength) และความสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแอ่นตัวหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(Elongation Ability) ของโครงสร้างรวมถึงความยืดหยุ่น (Stiffness) จะลดลง ในขณะที่ผลข้างเคียงจากการทำลาย คือการแตกร้าวของคอนกรีต สูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตกำลังรับแรงของคอนกรีตลดลงและขาดความสวยงาม



รูปที่ 2.2 แสดงการขยายปริมาตรของสนิมเหล็ก



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเหล็กเสริมที่สูญเสียพื้นที่หน้าตัดอันเนื่องมาจากการกัดกร่อน

การกัดกร่อนของคอนกรีต เกิดจากการได้รับผลกระทบจากคลอไรด์ (Chloride attack) คาร์บอนเนชัน(Carbonation attack) กรดทางเคมี(Chemical attack) และน้ำค้างขึ้นกับภูมิประเทศนั้น การกัดกร่อนเกิดจากการแทรกซึมของคลอไรด์และคาร์บอนเนตเป็นผลทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี โดยเหล็กเสริมจะแตกตัวเป็นไอออน (Ions) ส่งผลให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมโดยผ่านอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพร้อมกันที่เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และปฏิกิริยารีดักชัน(Reduction) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential)

2.2.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

- ครึ่งเซลล์ (Half Cell) คอปเปอร์ – คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper-Copper Sulphate Half Cell) เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานที่ประกอบการทดสอบตามเอกสารนี้ ประกอบด้วย

(1) ท่อใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับ คอปเปอร์ หรือ คอปเปอร์ซัลเฟต และต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มม.

(2) สารละลาย คอปเปอร์ซัลเฟต อิ่มตัว เตรียมได้จากการละลายผลึกคอปเปอร์ซัลเฟต ในน้ำกลั่นให้อิ่มตัวโดยที่สารละลาย คอปเปอร์ซัลเฟต ที่เหลือจะตกผลึกเป็นก้อนเมื่อสารละลายอิ่มตัวแล้ว

(3) พลาสติกหรือไม้ที่มีความพรุน ซึ่งต้องเปียก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม.

(4) แท่งทองแดง (คอปเปอร์) เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 6 มม. และยาวไม่น้อยกว่า 50 มม. อยู่ในท่อใส่สารละลายและจุ่มในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

- วัสดุเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างคอนกรีตและอุปกรณ์ (Electrical Junction Device) เป็นตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์วัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปใช้เป็นฟองน้ำเปียกด้วยสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดีและยึดติดที่ปลายของครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีการใช้งานเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

- ต้องดูแลไม่ให้พลาสติกหรือไม้ที่มีความพรุนซึ่งอยู่ในเครื่องเซลล์แห้งเกินไป เพราะว่า ช่องว่างในวัสดุดังกล่าวอาจอุดตันด้วยผลึกของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ตกตะกอน
- กรณีที่การใช้เครื่องเซลล์ให้ผลคลาดเคลื่อน ให้ทำความสะอาดแท่งทองแดง (Copper Rod) ในเครื่องเซลล์โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
- ควรเปลี่ยนสารละลาย คอปเปอร์ซัลเฟต ทุกเดือน หรือก่อนทำการตรวจสอบ โครงสร้างแต่ละครั้ง ไม่ควรใช้ขนสัตว์หรือวัสดุอื่นซึ่งอาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตทำความสะอาดแท่งทองแดง

2.2.3 ขั้นตอนประเมินการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

- การวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ควรวัด ณ ตำแหน่งของเหล็กเสริม โดยระยะห่างระหว่าง จุดที่ตรวจวัดไม่ห่างกันมากหรือน้อยจนเกินไปข้อแนะนำ: ตำแหน่งการวัดที่ห่างกันมากอาจทำให้ ผู้ตรวจสอบพลาดข้อมูลของจุดที่เกิดสนิม ในขณะเดียวกัน หากตำแหน่งที่วัดอยู่ใกล้กันมากจนเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่ตรวจสอบส่วนของโครงสร้าง ขนาดเล็กเช่นส่วนของเสาหรือคานจุดที่ทำกรวัดอาจจะห่างกัน 50 ถึง 100 มม. ในขณะที่การ ตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่เช่นสะพานระยะห่างระหว่างจุดที่ทำกรวัดอาจจะห่างกันประมาณ 0.5 ถึง 1 ม.
- ต่อสายไฟฟ้ากับเหล็กเสริมในโครงสร้าง โดยค่าความต้านทานของรอยต่อต้องต่ำ เพียงพอและไม่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานของทั้งวงจร โดยควรขัดผิวเหล็กเสริมและสายไฟฟ้า ก่อนเชื่อมต่อ ในหลายกรณี ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการแกะคอนกรีตหุ้มเหล็กออก สายไฟฟ้าที่ต่อ จากเหล็กเสริมต้องเชื่อมกับขั้วบวกของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า โดยทั่วไปสายไฟฟ้าต้องต่อโดยตรงกับ เหล็กเสริมในโครงสร้าง ยกเว้นกรณีมีหลักฐานที่เชื่อถือได้ว่ามีวัสดุนำไฟฟ้าอื่นที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริม ในโครงสร้างและเชื่อมต่อได้ง่ายกว่า ให้ตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าจากการวัดค่าความต้านทาน ระหว่างโลหะที่ผิวอย่างน้อยสองจุดขึ้นไป
- การเชื่อมต่อสายไฟเข้าระหว่างครึ่งเซลล์ และ เครื่องมือวัดการเกิดสนิมของเหล็กเสริม
- เชื่อมต่อปลายด้านหนึ่งของสายไฟฟ้ากับครึ่งเซลล์ และปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับขั้วลบของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า
- ในกรณีผิวส่วนใหญ่ของโครงสร้างคอนกรีตแห้ง ต้องทำให้ผิวโครงสร้างคอนกรีต เปียกก่อนวัดศักย์ไฟฟ้า ให้ตรวจสอบเบื้องต้นโดยการต่อครึ่งเซลล์กับผิวคอนกรีตและสังเกตค่า ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์กรณีที่ค่าศักย์ไฟฟ้าไม่คงที่ แสดงว่าผิวคอนกรีตแห้งเกินไป ให้ทำผิวคอนกรีตให้

เบี่ยงจนกระทั่งอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าได้ค่อนข้างคงที่ หรือ มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง ± 0.02 โวลต์ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 นาทีโดยวิธีการทำให้ผิวคอนกรีตเปียกมี 2 วิธีดังนี้

1. พ่นน้ำหรือสารละลาย และเช็ดละอองน้ำที่เหลืออยู่บนผิวคอนกรีตก่อนตรวจวัดความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ วิธีนี้เหมาะสำหรับผิวคอนกรีตที่ต้องการความชื้นเพียงเล็กน้อยเพื่อให้มีสภาพเหมาะสมสำหรับการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

2. ใช้ฟองน้ำที่ชุ่มด้วยสารละลาย วางบนผิวคอนกรีต และไม่จำเป็นต้องเอาฟองน้ำออกระหว่างการวัดค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ แต่ให้ตรวจวัดผ่านฟองน้ำนี้ วิธีนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ไม่สามารถใช้วิธีอื่นได้

- วัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ที่อ่านได้ต้องมีความละเอียดในระดับ 0.01 โวลต์และควรคำนึงถึงผลของอุณหภูมิในกรณีที่อุณหภูมิระหว่างทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลงมากหมายเหตุ: วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถใช้กับโครงสร้างใต้น้ำได้ แต่ต้องระมัดระวังการตีความผลการตรวจสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิม การวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถบอกความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม แต่อาจจะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิมที่แม่นยำ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุระหว่างครึ่งเซลล์และเหล็กที่เกิดสนิมเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการหาตำแหน่งที่เกิดสนิม ในกรณีของโครงสร้างใต้น้ำวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้มักให้ค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกันทุกจุด อย่างไรก็ตามผลการวัดที่ได้แสดงถึงการแนวโน้มความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเหมือนทดสอบโครงสร้างอื่นที่ไม่ได้อยู่ใต้น้ำ

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

- ปัจจัยดังต่อไปนี้มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ด้วยวิธีที่ระบุในมาตรฐานนี้ และอาจทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้ หรือทำให้การตีความผลการทดสอบคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

(1) ผิวคอนกรีตถูกปิดด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ปูนฉาบ กระจัง วัสดุกันซึม และสี

(2) เหล็กเสริมเคลือบผิวด้วยอีพอกซี หรือโลหะอื่น

(3) กระบวนการคาร์บอนชั่นเกิดถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม

(4) ความชื้นของผิวคอนกรีตไม่เพียงพอ ทำให้ค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์มีค่าเป็นลบน้อยลงและอาจไม่สามารถตรวจจับการเกิดสนิมได้

- เนื่องจากในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟของเครื่องมือกับเหล็กเสริมในโครงสร้าง จึงต้องมีการเจาะหรือกะเทาะผิวคอนกรีตบางส่วนออก ทั้งนี้ขั้นตอนนี้ต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวังและต้องมีการซ่อมแซมโครงสร้างอย่างเหมาะสมภายหลังการวัดขอแนะนำ: ในกรณีที่โครงสร้างมีส่วนที่เกิดสนิม จนเกิดการกะเทาะของผิวคอนกรีตแล้วสามารถต่อวงจรกับส่วนของเหล็กเสริมที่เกิดสนิมแล้วได้ โดยต้องมีการทำความสะอาดเหล็กเสริมก่อน

2.2.5 การสรุปผลการทดสอบและการแปลความผลการทดสอบ

- ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากครึ่งเซลล์คอปเปอร์ – คอปเปอร์ซัลเฟต จากโครงสร้างที่อยู่เหนือน้ำขื่อน้ำ: ข้อมูลในตารางที่ 1 เป็นข้อมูลจากผลสำรวจในต่างประเทศ ดังนั้นจึงควรต้องระมัดระวังในการแปลผลการวัดสำหรับวัสดุท้องถิ่น และควรมีการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าในกรณีใช้ครึ่งเซลล์ชนิดอื่นในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างคอนกรีต

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต[3]

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -200 mV. and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เครื่องมือตรวจวัดความผูกพันของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมและบริเวณผิวคอนกรีตเพื่อประเมินค่าการกัดกร่อนและสภาพของชั้นหุ้มเหล็กเสริมในช่วงที่ทำการทดสอบโดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เป็นผลจากขบวนการกัดกร่อนเหล็กเสริม ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะบ่งบอกถึงความเสี่ยงมากในการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

- ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้จากตำแหน่งเดียวกันไม่ควรแตกต่างกันเกิน 10 มิลลิโวลต์เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือชุดเดียวกันในการวัดแต่ละครั้ง

- ความต่างศักย์ไฟฟ้า ครึ่งเซลล์ที่วัดได้จากตำแหน่งเดียวกันไม่ควรแตกต่างกันเกิน 20 มิลลิโวลต์เมื่อวัดด้วยเครื่องมือคนละชุด

ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับการทดสอบ

1. วิธีการวัดค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม เป็นการประเมินความเป็นไปได้ ที่เหล็กเสริมในคอนกรีตจะเกิดสนิมจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

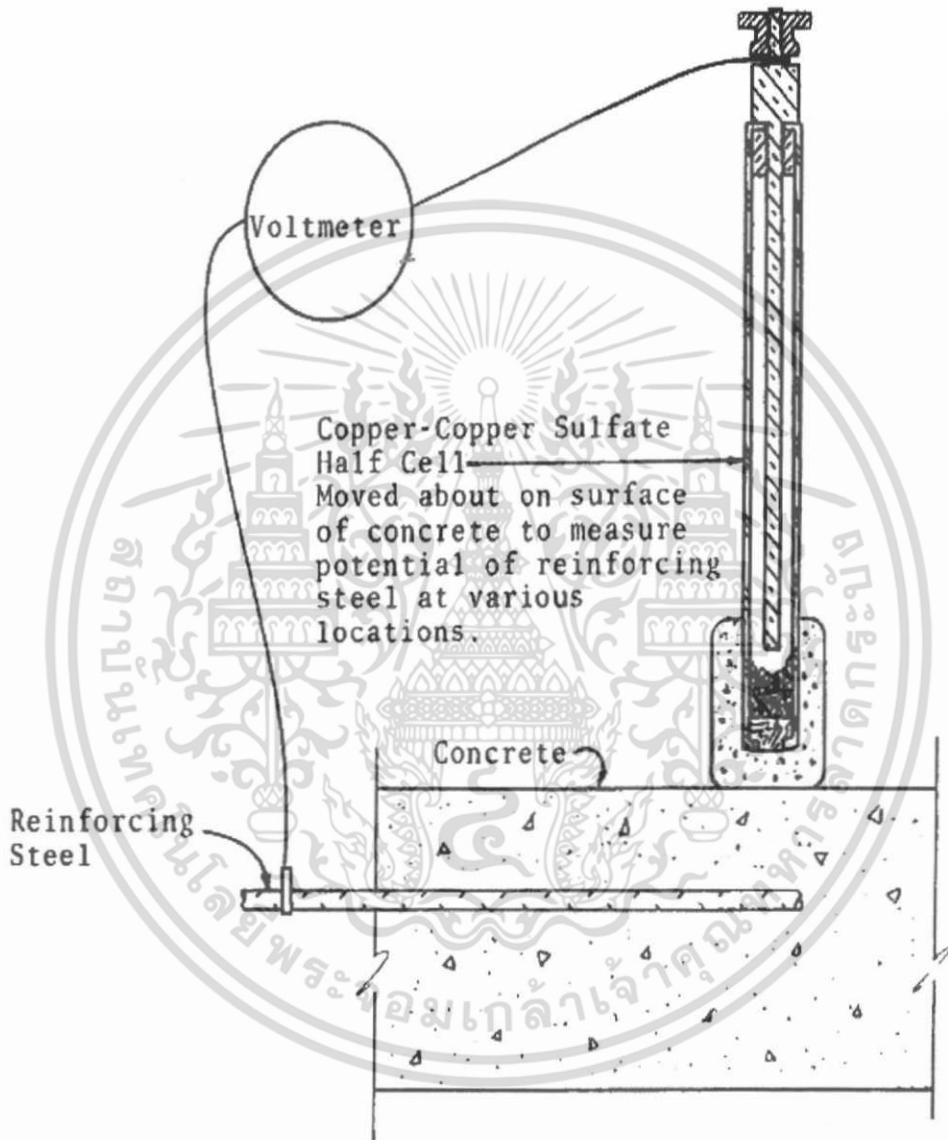
2. วิธีการวัดค่าการสึกกร่อนด้วยการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้ ใช้ได้กับเหล็กเสริมที่ไม่มีการเคลือบผิวด้วยอีพอกซีเท่านั้น

3. เนื่องจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ต้องเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า ดังนั้นผิวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตรวจวัดจึงควรมีความชื้นในระดับที่ทำให้คอนกรีตสามารถนำไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

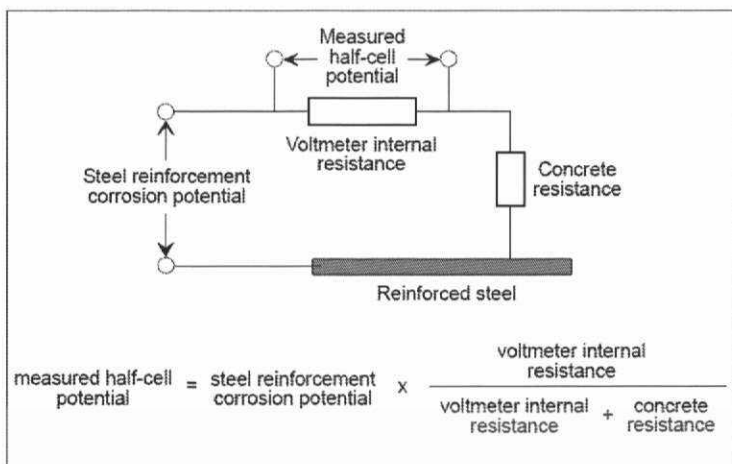
ลักษณะวงจรของเครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

รูปที่ 2.4 แสดงวงจรของเครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ซึ่งมีส่วนประกอบดังที่ระบุในหัวข้อที่ 3 ในการใช้งานอุปกรณ์วัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้ จะต้องมีการต่อวงจรกับเหล็กเสริม และมีการทำให้ผิวคอนกรีตสามารถนำไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง [4-5]



รูปที่ 2.4 วงจรของเครื่องวัดค่าต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ดังแสดงในมาตรฐาน ASTM 876

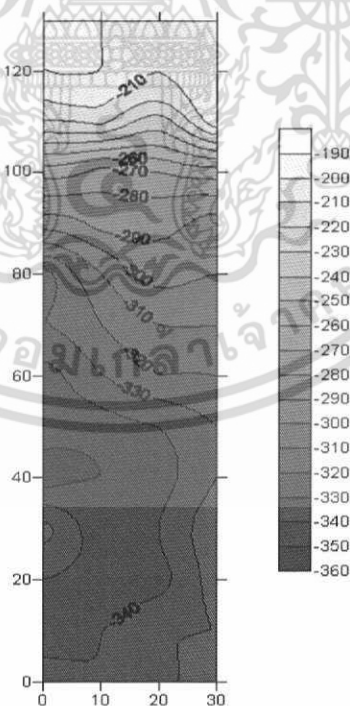
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 Schematic illustrating the half-cell measurement circuit

ตัวอย่างการแสดงผลการตรวจวัด

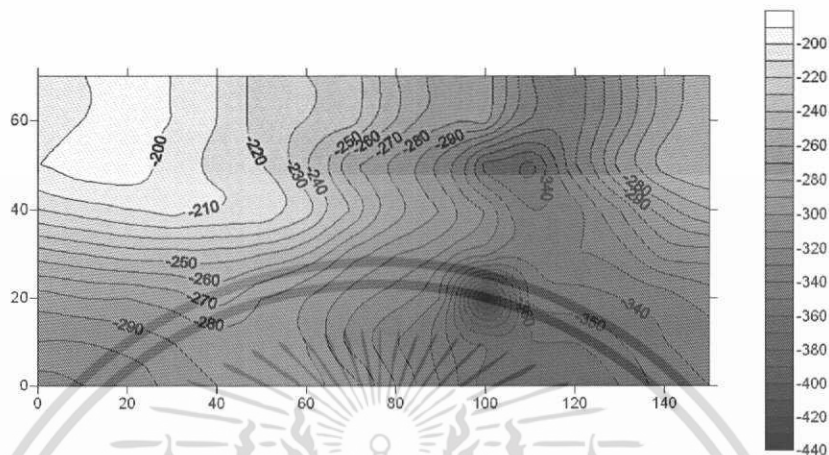
รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็กยาว 1.30 ม. ลึก 0.30 ม. โดยทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ทุก ๆ ระยะ 100 มม. ส่วนที่แสดงสีเทาเข้ม คือจุดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้ต่ำลงมากกว่า -350 มิลลิโวลต์ซึ่งเป็นจุดที่มีแนวโน้มที่กำลังเกิดสนิมอยู่มากที่สุด



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กกว้าง 1.50 ม. สูง 0.70 ม. โดยวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ทุก ๆ ระยะ 100 มม. ส่วนที่แสดง สีเทาเข้ม คือจุดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้ติดลบมากกว่า -350 มิลลิโวลต์ซึ่งเป็นจุดที่มีแนวโน้มที่กำลังเกิดสนิมมากที่สุด



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.3 งานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

งานคอนกรีต หมายถึงก่อสร้างที่ใช้วัสดุทางวิศวกรรมโครงสร้างเป็นคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หิน ทราย และน้ำ ผสมรวมกันตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้เพื่อให้รับกำลังรับแรงอัดได้ตามความต้องการ เมื่อได้รับการบ่มตามวิธีการมาตรฐาน ซึ่งนอกจากส่วนผสมหลักดังกล่าวแล้ว อาจสารเคมีที่ใช้ผสมเพิ่มเพื่อให้ได้คุณสมบัติอื่นๆ ตามความต้องการ สำหรับส่วนผสมหลักต่างๆ ของคอนกรีตนั้น มีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้[7]

1. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมของออกไซด์ของแคลเซียม ซิลิกอน และอลูมิเนียมจนรวมตัวกันสุกพอดี (วินิต:2537) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้าง จะต้องมีความสัมพันธ์ตรงตามตารางมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งจะแบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทคือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา สำหรับใช้การทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายช่าง ทรายพยานาคสีเขี้ยว และทรายแพชรเม็ดเดียว

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ทรายพยานาคเจ็ดเศียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัว ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตรา เอร่าวิณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ซึ่งปูนซีเมนต์ประเภทนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตทลาล เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ในขณะที่เกิดการแข็งตัว

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง มีระยะเวลาการการแข็งตัวช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง

2. วัสดุผสม ในงานคอนกรีตนั้นได้แก่ หินย่อย กรวด และทราย วัสดุผสมนี้จะต้องสะอาด แข็งแกร่ง ทนทาน ไม่มีการขยายตัวมากหรือมีสารจำพวกที่ก่อให้เกิดความเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีต มีสัดส่วนขนาดละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ตามพิภคที่กำหนด โดยขนาดใหญ่มากที่สุดของวัสดุผสมจะต้องไม่ใหญ่กว่า $1/5$ ของด้านในที่แคบที่สุดของแบบหล่อ หรือต้องไม่ใหญ่กว่า $3/4$ ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมและละเส้นหรือแต่ละมัด

3. น้ำ จะต้องมีความสะอาด ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อเหล็กเสริม โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตนั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมและคุณสมบัติของหิน ทรายและซีเมนต์ โดยมากแล้วมักจะกำหนดเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก

4. สารเคมีผสมเพิ่ม หมายถึง สารอื่นๆ นอกเหนือจากซีเมนต์ วัสดุผสมและน้ำที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นก่อนหรือขณะกำลังทำการผสม เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการ เช่น ทำให้ความสามารถในการเทได้สูงขึ้น เร่งหรือหน่วงการก่อตัว การเพิ่มการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น

ในเนื้อคอนกรีตนั้น จะสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) และวัสดุผสม (Aggregates) ในส่วนของซีเมนต์เพสต์นั้น ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์น้ำ และฟองอากาศ โดยเป็นส่วนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยแทรกตามช่องว่างของหิน ทราย และเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและหินทั้งหมดให้เกาะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยคุณภาพของซีเมนต์เพสต์นั้น จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement ratio) ที่ใช้ในส่วนผสม และการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และช้าลงตามลำดับ ในส่วนที่สองนั้น จะเป็นวัสดุผสม ซึ่งแบ่งได้เป็นสองพวกคือ วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) และวัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregates) โดยวัสดุละเอียดนั้น จะหมายถึง วัสดุที่มีขนาดเล็ก สามารถผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ซึ่งได้แก่ ทราย ส่วน

วัสดุผสมหยาบ หมายถึงวัสดุผสมที่มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ได้แก่ หินย่อยและกรวด

ในงานก่อสร้างนั้น การใช้งานคอนกรีตจะต้องทำการผสมส่วนผสมต่างๆ ข้างต้น ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งมาจากการคำนวณเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณลักษณะตามต้องการ ทั้งในขณะทำการก่อสร้าง และเมื่อก่อตัวและรับน้ำหนักบรรทุกแล้ว โดยการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของวัสดุแต่ละอย่างนั้น เรียกว่าการหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design) ซึ่งปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงเมื่อจะทำการหาปฏิภาคส่วนผสมนั้น ได้แก่ ความชื้นเหลวที่เหมาะสมกับลักษณะงาน (Workability) กำลังรับแรงและความทนทานตามความต้องการ (Strength & Durability) และในราคาที่เหมาะสม (Economic)

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตนั้น สามารถทำได้โดยใช้วิธีทดลองผสม หรือวิธีของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาก โดยในการผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่ได้จากการคำนวณนั้นอาจจะไม่ได้ผลตามความต้องการทั้งหมด เนื่องจากวัสดุผสมที่ใช้เป็นวัสดุธรรมชาติ ดังนั้นคุณสมบัติต่างๆ อาจแปรเปลี่ยนได้มาก เพื่อให้ได้สัดส่วนการผสมที่ดีที่สุดนั้น นอกจากการคำนวณเพียงอย่างเดียวแล้ว ยังคงจะต้องทำการทดลองผสมจริง และทำการปรับส่วนผสมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลตามความพึงพอใจสำหรับปัจจัยในการพิจารณาการหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตนั้น ในงานคอนกรีตเทคโนโลยี (วินิต ช่อวิเชียร. 2539 : 83-90) ได้กล่าวไว้ดังต่อไปนี้[8-9]

1. กำลังต้านทาน หรือกำลังรับแรง (Strength) จะเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีตเมื่อก่อตัว หรือแข็งตัวแล้ว เนื่องจากคุณสมบัติสำคัญของคอนกรีตก็คือมีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูง ส่วนคุณสมบัติด้านอื่นซึ่งได้แก่ กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงเฉือนนั้น เป็นคุณสมบัติรองลงมา แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ ก็จะแปรผันตามกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาหนึ่งเป็นหลัก โดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดกำลังรับแรงของคอนกรีตที่มีอายุ 28 วัน คอนกรีตจะต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้

2. อัตราส่วนระหว่างน้ำ ต่อปูนซีเมนต์ (Water-cement ratio) จะเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังต้านทานแรงอัดและความทนทานแรงอัดและความทนทานของคอนกรีตเป็นอย่างมาก ซึ่งถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มีค่ามาก กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตก็จะต่ำ ดังนั้นในการผสมคอนกรีต ถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนนี้ให้คงที่ได้ แม้สัดส่วนของวัสดุอื่นจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง กำลังของคอนกรีตจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (วินิต ช่อวิเชียร. 2539 : 83) [10]

3. ความทนทาน (Durability) จะต้องให้ความสำคัญถึงมากเมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เปิด معرضรุนแรง เช่น โครงสร้างในทะเล ความทนทานของคอนกรีตจะลดลง โดยในกรณีนี้จะต้องใช้ปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษที่เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต จากน้ำทะเลได้

4. ความสามารถเทได้ (Workability) หมายถึงปริมาณพลังงานที่ใส่เข้าไปในเนื้อคอนกรีต เพื่อให้เกิดการอัดแน่น พลังงานที่ใส่เข้าไปจะเอาชนะความเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคต่างๆ ใน

ส่วนผสม แต่การวัดความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตโดยทั่วไปจะรวมเอาพลังงานอื่นด้วย เช่น พลังงานสำหรับการเอาชนะความเสียดทานระหว่างคอนกรีตและแบบหล่อ ดังนั้นการวัดความสามารถเทได้ที่แท้จริงของคอนกรีตจึงไม่ใช่เรื่องง่าย โดยทั่วไปความสามารถเทได้หมายถึง ความง่ายของการเทคอนกรีตโดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว ความสามารถเทได้ของคอนกรีตสำหรับงานแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของคอนกรีตที่เท ความซับซ้อนของรูปร่างของคอนกรีต ปริมาณเหล็กเสริม ลักษณะความชันเหลวของคอนกรีตสด ชนิดและประเภทของการใช้เครื่องสั่นคอนกรีต ความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่นิยมใช้วัดกันมีอยู่หลายชนิดได้แก่ ความชันเหลว(Consistency) ความสามารถไหลได้ (Flow ability) ความสามารถอัดแน่นได้ (Compact ability) ความสามารถสูบส่งได้ (Pump ability) ความสามารถเทเข้าแบบได้(Place ability) การยุบตัว(Slump) ความสามารถแต่งผิวได้ (Finish ability) การเกาะตัว (Cohesive) และความกระด้าง (Hardness) เป็นต้น



รูปที่ 2.8 การทดสอบ Slump Test

5. ขนาดโตสุดของหิน ขนาดของหินที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ไม่คอนจะโตกว่า $3/4$ ส่วนของระยะห่างของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม และต้องไม่เกินกว่า $1/5$ เท่าของด้านแคบของส่วนโครงสร้างที่จะทำการเท

6. ส่วนขนาดคละและลักษณะรูปร่างของวัสดุผสม การกระจายของขนาดคละควรอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานเพื่อให้ได้คอนกรีตที่เหลวมีความสามารถเทได้ โดยใช้ปริมาณน้ำผสมน้อย และได้กำลังต้านทานและความทนทานตามต้องการ ในส่วนของลักษณะรูปร่างและคุณสมบัติของวัสดุผสมนั้นจะต้องพิจารณาถึง ลักษณะผิว รูปร่าง ความละเอียด ความชื้น ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก ตลอดจนสิ่งเจือปนที่ติดมากับวัสดุผสม เนื่องจากจะมีผลโดยตรงกับอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมต่อซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปริมาณของวัสดุผสมในคอนกรีต มักจะเลือกใช้ปริมาณของวัสดุผสมให้มาก แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถทำงานได้ โดยอัตราส่วนระหว่างทรายต่อหิน เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก โดยส่วนผสมที่มีทรายมากเกินไป จะช่วยให้การทำงานง่าย แต่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้ง่าย ไม่ทนทาน และไม่ประหยัด ส่วนผสมที่มีหินมากเกินไป จะทำให้คอนกรีตเป็นโพรงได้ง่าย เนื้อไม่แน่น และทำงานยาก โดยทั่วไปแล้ว อัตราส่วนระหว่างทรายต่อหินควรอยู่ระหว่างร้อยละ 33 ถึง 45 โดยน้ำหนัก

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น เกี่ยวกับการคำนวณเพื่อหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต มีวิธีการที่ได้ยินด้วยกัน 2 วิธี คือ การหาปฏิภาคส่วนผสมด้วยวิธีทดลองผสม และการหหาปฏิภาคส่วนผสมด้วยวิธีของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) ซึ่งในแต่ละวิธีการนั้น ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การหาปฏิภาคส่วนผสมด้วยวิธีทดลองผสม (Trial Mix Method) เป็นการหาอัตราส่วนผสมโดยตรง เพื่อรักษาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดค่ากำลังรับน้ำหนักของคอนกรีต ซึ่งสามารถกระทำได้โดยทำการเลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต้องการเพื่อให้ได้กำลังต้านทาน สามารถหาได้จากตารางที่ได้มีผู้ทดลองกระทำไว้เกี่ยวกับงานคอนกรีตเทคโนโลยี จากนั้นทำการเลือกชนิดและขนาดโตสุดของหินและค่าการยุบตัวที่เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โดยค่าต่างๆที่เลือกใช้นี้จะถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ ทำการเทปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้บนถาดผสมและเติมปริมาณน้ำที่เตรียมไว้แล้วทำการผสมด้วยมือ จะได้เป็นซีเมนต์เฟสท์ ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ตามความต้องการ ทำการชั่งหินและทรายซึ่งอยู่ในสถานะอิมพัลส์และผิวแห้งจำนวนหนึ่ง เติมหินและทรายลงในซีเมนต์เฟสท์ ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นจึงทำการวัดค่าการยุบตัว ถ้าหากว่าค่าการยุบตัวมากเกินไปให้ทำการเติมหินและทรายลงไปอีก แต่หากว่าค่าการยุบตัวมากเกินไป ให้เติมซีเมนต์เฟสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิมเพิ่มขึ้น เมื่อได้ความชื้นเหลวตามต้องการแล้วจึงทำการวัดหาปริมาณของหินและทรายที่ใช้จริง และนำไปสู่การหาอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ต่อทรายต่อหินได้ต่อไป หลังจากที่ได้สัดส่วนผสมที่ให้ความชื้นเหลวตามต้องการแล้ว ให้ทำการผสมอีกหลายๆครั้ง โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณปูนซีเมนต์หรืออัตราส่วนของทรายต่อหิน โดยยังคงรักษาอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์และความชื้นเหลวที่ต้องการได้ ทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับอัตราส่วนของทรายต่อหิน โดยสัดส่วนผสมที่ดีที่สุดคือส่วนผสมที่ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์น้อยที่สุด

2. การหาปฏิภาคส่วนผสมด้วยวิธีของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) จะเป็นวิธีการที่ได้ผลค่อนข้างแน่นอน ซึ่งจะใช้ตารางสำเร็จรูปที่ได้มาจากการทดลองแล้ว แต่การใช้วิธีดังกล่าวนี้จะต้องทราบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ เป็นต้น ในส่วนของขั้นตอนต่างๆนั้นมีดังต่อไปนี้

- เลือกค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน ค่าความยุบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้ทำงานได้สะดวกและได้งานที่มีคุณภาพ

- เลือกขนาดโตสุดของหิน ซึ่งขนาดโตที่สุดของหินไม่ควรเกินกว่า $1/5$ ของส่วนแคบที่สุดของแบบหรือ $1/3$ ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ $3/4$ ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม
- ประมาณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมและปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่ต้องการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของหิน รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม โดยในตารางดังกล่าวยังให้ปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมสำหรับคอนกรีตที่มีและไม่มีสารที่ทำให้เกิดการกระจายกักฟองอากาศ
 - เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งจะขึ้นกับสภาพของคอนกรีตที่จะนำไปใช้งานและกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีต
 - คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ โดยเมื่อทราบปริมาตรน้ำที่ใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตและอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์แล้ว จะสามารถคำนวณหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตได้
 - คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นในส่วนผสม (Bulk volume of Dry-rotted coarse Aggregate) ต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและขนาดโตสุดของหินที่ใช้
 - คำนวณประมาณวัสดุผสมละเอียด จากค่าต่างๆที่ได้ จะสามารถคำนวณปริมาณวัสดุผสมละเอียดได้ 2 แบบ ดังนี้
 - 1 ประมาณจากหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด (Weight Method)
 - 2 ประมาณจากปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ (Absolute Volume Method)
 - ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม ซึ่งในการนำวัสดุผสมมาใช้งานในความจริงนั้น จะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิมตัวผิวแห้ง ดังนั้นจึงจะต้องทำการปรับแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ติดมาและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน แต่ในกรณีที่วัสดุผสมมีความชื้นต่ำกว่าสภาวะอิมตัวผิวแห้ง จะต้องทำการปรับแก้ส่วนผสมในทิศทางตรงข้าม
 - การปรับแก้ส่วนผสมด้วยการทดลองผสม เนื่องจากส่วนผสมที่คำนวณได้นั้นเป็นการคำนวณโดยประมาณ ทั้งนี้จะต้องทำการตรวจสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นแล้วจึงปรับส่วนผสมอีกครั้ง

2.4 งานคอนกรีตเสริมเหล็ก

งานคอนกรีตเสริมเหล็ก หมายถึง งานวิศวกรรมโครงสร้างในงานก่อสร้าง ที่มีการใช้เหล็กเสริมในการออกแบบรับแรงร่วมกับคอนกรีต เนื่องจากการใช้คอนกรีตล้วนเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ไม่สามารถที่จะกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะในแต่ละชั้นส่วนที่รับแรงนั้น โดยปกติแล้วจะมีทั้งแรงอัด แรงดึง แรงดัด และแรงเฉือน ซึ่งคุณสมบัติของคอนกรีตล้วนนั้น มีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูง แต่การรับแรงทางด้านอื่นๆ จะอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นเพื่อเสริมจุดด้อยเหล่านั้น โดยการนำคอนกรีตและเหล็กเสริมมาหล่อรวมกันตามลักษณะการรับแรงต่างๆ เรียกว่า “คอนกรีตเสริมเหล็ก” ซึ่งในการนำเหล็กเสริมมาใช้งานร่วมกับคอนกรีตนั้น เนื่องจากอาศัยแนวคิดว่าเหล็กเสริมเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดและแรงดึงได้ดี แต่ในการใช้เพียงเหล็กเสริมในงานโครงสร้างเพียงอย่างเดียว นั้น จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอย่างมาก สำหรับงานโครงสร้างทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นงานคอนกรีตเสริมเหล็กถึงประมาณร้อยละ 80 ซึ่งมีทั้งการหล่อในที่ และการสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อติดตั้งภายหลัง [10]

ในการเสริมเหล็กนั้น จะต้องกระทำให้ถูกตำแหน่ง ตามพฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ เช่น ในชิ้นส่วนคานที่รับแรงดัดตามปกติ ด้านบนของชิ้นส่วนจะทำหน้าที่รับแรงอัด ส่วนด้านล่างจะทำหน้าที่รับแรงดึง ดังนั้นการเสริมเหล็กจึงต้องวิเคราะห์แรงดึงที่เกิดขึ้นในหน้าตัดเพื่อนำไปคำนวณหาพื้นที่การเสริมเหล็กต่อไป นอกจากนี้แล้ว ในการจัดวางเหล็กเสริมนั้นจะมีการกำหนดมาตรฐานของของบริเวณปลายเหล็กเสริมแต่ละเส้น เพื่อเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมให้ดียิ่งขึ้น โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) ได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับ “ข้ออ” ไว้ดังนี้

1. ส่วนที่ถือเป็นครึ่งวงกลมโดยมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กนั้น แต่ระยะนี้ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม.
2. ส่วนที่ถือเป็นมุมฉาก โดยมีส่วนยื่นออกไปถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 12 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กนั้น
3. สำหรับเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก ให้ออ 90 องศา หรือ 135 องศา โดยมีส่วนที่ยื่นถึงปลายขออีกอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม. และต้องมีรัศมีวัดด้านในของเหล็กไม่สั้นกว่าหนึ่งเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น
4. ของมาตรฐานสามารถต้านทานแรงดึงในเหล็กได้ถึง 700 กก./ซม^2

ในการจัดวางเหล็กเสริมนั้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานของการจัดวางระยะเหล็กเสริมของงานโครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. คานคอนกรีตเสริมเหล็กระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆ ดังนี้
 - ต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

- ต้องไม่น้อยกว่า 1.34 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ
- ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.
- ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม (Covering) ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆดังนี้
- เมื่ออยู่ในที่ร่ม ไม่สัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 2 ซม.
- เมื่อต้องสัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 3 ซม. หากใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 15 มม. และไม่น้อยกว่า 4 ซม. หากใช้เหล็กเสริมขนาดใหญ่กว่า 15 มม.

2. เสาคอนกรีตเสริมเหล็กระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆ ดังนี้

- ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมยื่น
- ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ
- ต้องไม่น้อยกว่า 4 ซม.
- ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม (Covering) ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆดังนี้
- เมื่ออยู่ในที่ร่ม ไม่สัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 3 ซม. หรือ 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ
- เมื่อต้องสัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 4 ซม.

โดยสรุปแล้วในการพิจารณาจัดวางเหล็กเสริมให้มีระยะหุ้มของคอนกรีต (Covering) แตกต่างกันในงานคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่งานคอนกรีตนั้นๆ จะต้องเผชิญอยู่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นตารางที่ 2.2 ดังนี้

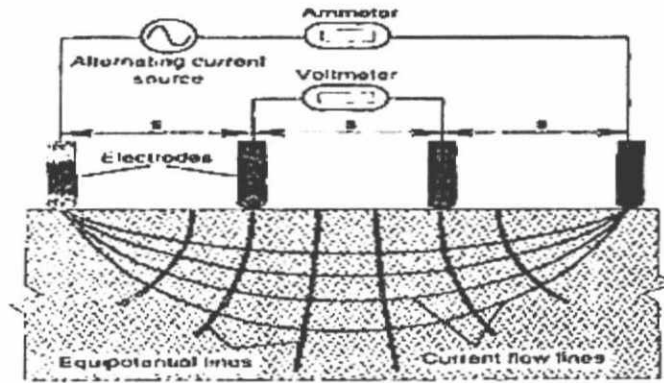
ตารางที่ 2.2 ระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุดขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามมาตรฐานการออกแบบต่างๆ

ลำดับ	(Concrete Structure)	(Minimum covering, cm.)		
		ว.ส.ท.	กทม.	AASHTO
1	ฐานรากและองค์อาคารสำคัญที่สัมผัสดินโดยตรง	7.5	6.0	7.5
2	องค์อาคารที่สัมผัสดินหรือถูกแดดฝน			
	- เหล็กเสริม	5.0	4.0	5.1
	- เหล็กเสริมรอง	4.0	3.0	3.8
3	องค์อาคารที่ไม่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน			
	- เหล็กเสริมหลัก	2.0	ไม่ระบุ	3.8
	- เหล็กเสริมรอง	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	2.5
	- แผ่นพื้นและผนัง	2.0	1.5	ไม่ระบุ
	- คาน	3.0	3.0	ไม่ระบุ
4	เสา ที่มีเหล็กปลอกเกลียว หรือ ปลอกเดี่ยว	3.5**	3.0	ไม่ระบุ
5	แผ่นพื้นสะพานคอนกรีต			
	- เหล็กเสริมบน	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	5.0
	- เหล็กเสริมล่าง	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	2.5
หมายเหตุ ** หรือไม่น้อยกว่า 1 ½ เท่าของขนาดมวลรวมหยาบใหญ่ที่สุด				
ที่มา : บริษัท เยนเนอรัล เอนิเนียริง จำกัด, คู่มือวิศวกรโยธา: 164.				

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jaime Lopez-Sabando (2004) ได้ศึกษาการวัดความต้านทานกระแสไฟฟ้าของคอนกรีต การวัดความต้านทานกระแสไฟฟ้าของคอนกรีต จะวัดจากการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าในเนื้อคอนกรีตซึ่งมีออสซิลโลไรด์เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้าเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนในเนื้อคอนกรีต หากมีออสซิลโลไรด์แผ่กระจายมากในเนื้อคอนกรีตความสามารถในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าก็จะสูงตามไปด้วยส่งผลให้ความต้านทานไฟฟ้าในคอนกรีตต่ำ ดังนั้นความต้านทานทางไฟฟ้าของคอนกรีตสามารถหาได้จากอัตราการกัดกร่อนของคอนกรีต

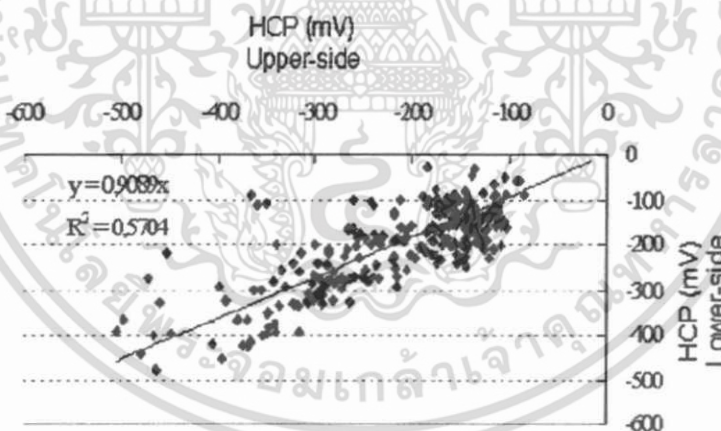
จากการทดสอบโดยการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด 4.6 ซม. x 8 ซม. กำหนดเงื่อนไขที่สามารถวัดความชื้นได้ 100 % ซึ่งน้ำหนักหามาแล้วนำไปบ่มในน้ำและชั่งน้ำหนักหามาทุกวัน จนครบจำนวนวันที่ต้องการต้องการ ส่วนค่าความต้านทานของคอนกรีตวัดโดยเครื่อง Wenner Array ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการวัดค่าความต้านทานโดยเครื่อง Wenner Array (Jaime Lopez-Saband, 2004)

Jamal RHAZI (2009) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่ได้จากการทดสอบส่วนบนและส่วนล่างของพื้นสะพานคอนกรีต ในเมือง Quebec ของประเทศแคนาดาโดยใช้การทดสอบ HCP เพื่อประเมินการเกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมจะมีการกัดกร่อน

จากการทดสอบนี้แสดงให้เห็นค่า HCP ที่ได้จากส่วนล่างของพื้นคอนกรีตที่มีความคล้ายคลึงกันกับการเก็บจากส่วนบน ซึ่งได้ทำการบันทึกผลที่มีความคล้ายกันแต่ไม่ได้ถึงกับเหมือนกันซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้จะมีสาเหตุมาจากสภาพทางกายภาพของส่วนบนและส่วนล่างของพื้นคอนกรีต

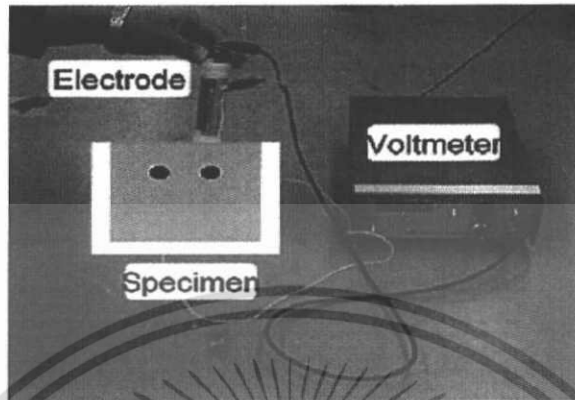


รูปที่ 2.10 HPC data of the upper-side versus HCP data of the lower-side

Raja Rizwan Hussain (2010) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการโอภาสของการกัดกร่อนในโครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกแช่อยู่ในคลอไรด์โดยการเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ 4 สภาวะ (แห้ง, ถูกแช่น้ำ, 95% RH และเปียก-การแห้งสลับกัน) โดยนำค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่อยู่ใต้น้ำในการศึกษาเชิงเปรียบเทียบโดยอ้างอิงกับสภาวะสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาตัวแปรของวัสดุทางวิศวกรรมของพื้นที่ใช้งานจริง เช่น ระยะหุ้มของคอนกรีต อัตราส่วนของปูนซีเมนต์-น้ำ และปริมาณของคลอไรด์ [11]

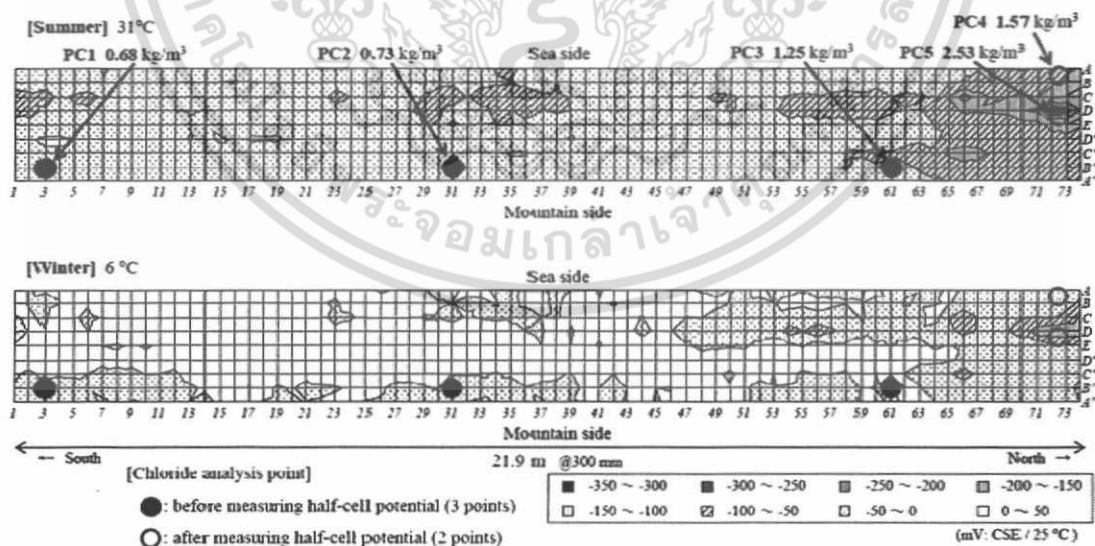
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษา ได้พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดโครงสร้างที่ได้นำไม้ได้เป็นค่าที่แท้จริง ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้นั้นมีค่าเชิงลบสูงมากกว่าปรกติศักยภาพอันเนื่องมาจากคอนกรีตมีค่าความต้านทานลดลงทำให้ การนำไฟฟ้าดีขึ้น



รูปที่ 2.11 Half-cell potential measurement assembly.

E. Nakamura H. Watanabe H. Koga M. Nakamura and K. Ikawa (2008) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์บนคอนกรีตอัดแรงที่มีอยู่ (PC) สะพานที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลในประเทศญี่ปุ่น สะพาน (PC) ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มีความผันผวนเนื่องจากปัจจัยหลายประการ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์บนคอนกรีตอัดแรงมีความผันผวนเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่นอุณหภูมิ, ชนิดของขี้ไฟฟ้าอ้างอิง



รูปที่ 2.12 Equipotential contour maps of PC bridge in summer and winter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดสอบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ว่ามีความแตกต่างหรือเหมือนกันอย่างไร โดยในการศึกษาได้ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 15 x 30 ซม. ยาว 1.00 ม. โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด 180/210 และ 240 กก./ซม² ที่อายุ 28 วัน เสริมด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. และ 6 มม. โดยมีการจัดวางเหล็กเสริมให้มีระยะหุ้มเหล็ก 2.50 ซม. โดยใช้เครื่องมือของ CANIN⁺ Corrosion Analyzing Instrument ในการทดสอบ ในการหาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) ของเหล็กเสริมคอนกรีต ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

คอนกรีต ในการทดสอบนี้ใช้คอนกรีต 3 ส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 3-1 ซึ่งทั้งสองส่วนผสม มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (Water/Binder Ratio) เท่ากับ 0.65 ค่าการยุบตัวระหว่าง 7 ถึง 10 ซม. และกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 210 กก./ซม² ที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

Mix number	Type Cement	Water (kg)	Cement (kg)	Gravel (kg)	Sand (kg)
1	1	190.00	314.52	992.00	826.14
2	1	190.00	325.00	992.00	817.00
3	1	190.00	354.55	992.00	793.10

- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ มอก.15. (2532)
- วัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีต หินขนาดโตสุด 19 มม. ความถ่วงจำเพาะ 2.77 ใช้เป็นมวลรวมหยาบ และ ทราย มีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.56 ความถ่วงจำเพาะ 2.60 ใช้เป็นมวลรวมละเอียด
- น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต บ่มคอนกรีต และทดสอบ เป็นน้ำประปาภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ หล่อตัวอย่าง ใช้แบบไม้ขนาด 0.15×0.35×1.00 ม. ดังแสดงใน รูปที่ 3.2
- แบบหล่อแท่งทดสอบคอนกรีตทรงกระบอกขนาด $\varnothing 15 \times 30$ ซม.
- เหล็กเสริมคอนกรีต ใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. มอก. 24-2536
- เหล็กกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. มอก. 20-2527
- เครื่องทดสอบหากล้างรับแรงอัดคอนกรีต Universal Testing Machine (UTM)
- ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาโอกาสของการเกิดสนิม Half Cell Potential ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบหาโอกาสของการเกิดสนิม Half Cell Potential



รูปที่ 3.2 แบบหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. เตรียมวัสดุตามที่ได้ออกแบบส่วนผสม และจะต้องคำนวณหาปริมาณวัสดุที่ต้องใช้ในการทดสอบแต่ละครั้งโดยชั่งน้ำหนัก ซึ่งสถานภาพของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องล้างไม่ให้มีสารเจือปน มีความหนานาน มีเหลี่ยมคม ทั้งนี้จะต้องอยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้ง

2. ผสมคอนกรีตโดยใช้เครื่องผสม ซึ่งจะต้องผสมคอนกรีตให้ได้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดเท่ากับ 10 ± 2.5 ซม. ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงให้มีความสามารถเทได้และเวลาที่ใช้ในการผสมประมาณ 1 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่พอเหมาะ ทำให้คอนกรีตมีคุณภาพดี และไม่เกิดการความร้อนมากขึ้นรวมทั้งเกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตน้อย หากใช้เวลามากเกินไปจะเป็นเหตุให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตลดลง

3. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบหล่อตัวอย่าง และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่วรวมทั้งใช้ค้อนเคาะข้างแบบเพื่อให้คอนกรีตแทรกซึมเข้าไปทั่วตัวอย่าง อีกทั้งเพื่อไล่ฟองอากาศออกไปให้มากที่สุดและไม่ให้เกิดโพรงในตัวอย่างเสาดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างคานที่ทำที่ได้เทคอนกรีตแล้ว

3.3 การทดสอบหาโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบโอกาสการเกิดสนิม

การทดสอบโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตก่อนที่จะทดสอบนั้น ต้องทำการกำหนดตำแหน่งที่จะทดสอบบนตัวอย่าง ซึ่งในการทดสอบนี้ได้กำหนดระยะ $X = 100$ มม. $Y = 50$ มม.

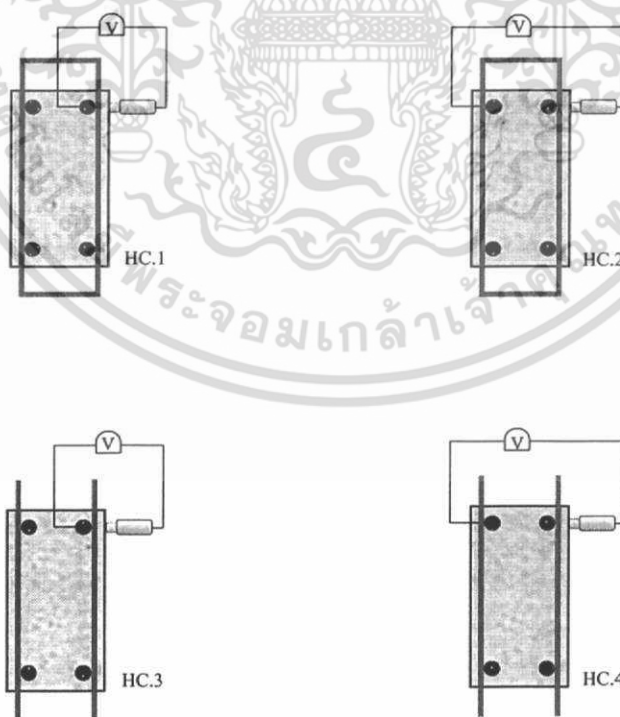
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างที่ทำตำแหน่งเพื่อทดสอบแล้ว

3.3.2 วิธีการทดสอบหาโอกาสการเกิดสนิมโดยใช้ Half Cell Potential Measurement

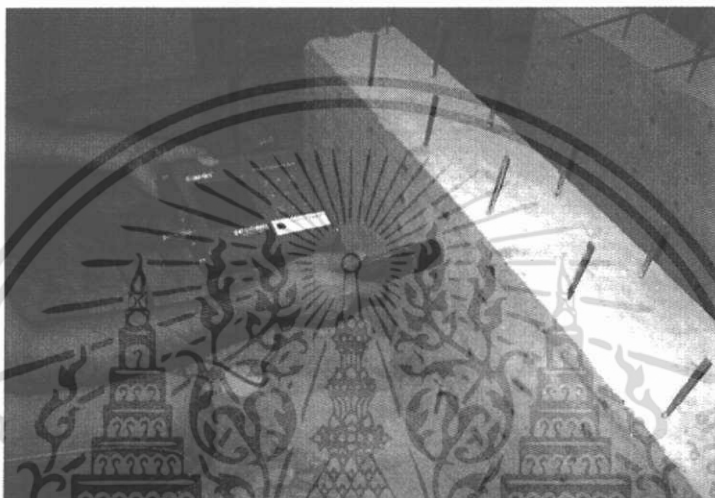
• ในการทดสอบโอกาสของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธี Half-Cell Potential จะทำการทดสอบตัวอย่างที่ได้หล่อไว้ โดยในการทดสอบนั้นได้ทำการทดสอบตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องและลักษณะการต่อวงจรในรูปแบบต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบในการทดสอบตัวอย่างด้วย Half-Cell Potential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อสายไฟฟ้าเข้ากับเหล็กเสริมในโครงสร้าง ให้ตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าจากการวัดค่าความต้านทานระหว่างโลหะที่ผิวอย่างน้อยสองจุดขึ้นไป
- การเชื่อมต่อสายไฟเข้าระหว่างครึ่งเซลล์ และ เครื่องมือวัดการเกิดสนิมของเหล็กเสริม
- เชื่อมต่อปลายด้านหนึ่งของสายไฟฟ้ากับครึ่งเซลล์ และปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับขั้วลบของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า



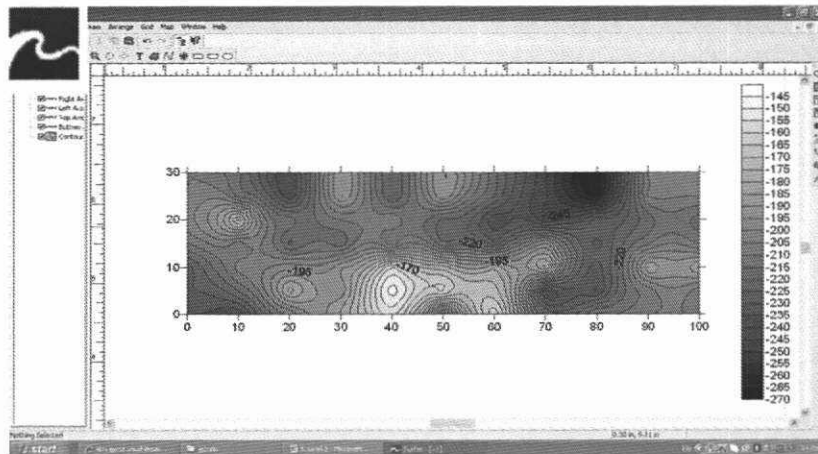
รูปที่ 3.6 แสดงการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยเครื่องมือ Half-Cell Potential

- ในกรณีผิวส่วนใหญ่ของโครงสร้างคอนกรีตแห้ง ต้องทำให้ผิวโครงสร้างคอนกรีตเปียกก่อนวัดศักย์ไฟฟ้า ให้ตรวจสอบเบื้องต้นโดยการต่อครึ่งเซลล์กับผิวคอนกรีตและสังเกตค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์กรณีค่าศักย์ไฟฟ้าไม่คงที่ แสดงว่าผิวคอนกรีตแห้งเกินไป ให้ทำผิวคอนกรีตให้เปียกจนกระทั่งอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าได้ค่อนข้างคงที่ หรือ มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง ± 0.02 โวลต์ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 นาที

3.3.3 การสรุปผลการทดสอบและการแปลความผลการทดสอบ

- นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งอาศัยหลักการตรวจวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง โดยนำค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้มาแสดงผลความแตกต่างด้วยเส้นชั้นความต่างศักย์ไฟฟ้า(Potential Contour) โดยใช้โปรแกรม Surfer.v8 ในการสร้าง เส้นชั้นความต่างศักย์ไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงโปรแกรม Surfer.v8 ที่ใช้ในการทำเส้นชั้นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential Contour)

- การแปลความผลการทดสอบระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากครึ่งเซลล์ คอปเปอร์ – คอปเปอร์ซัลเฟต จากโครงสร้างที่อยู่เหนือน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C876-91(1999) Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete ดังแสดงในตารางที่ 3.2

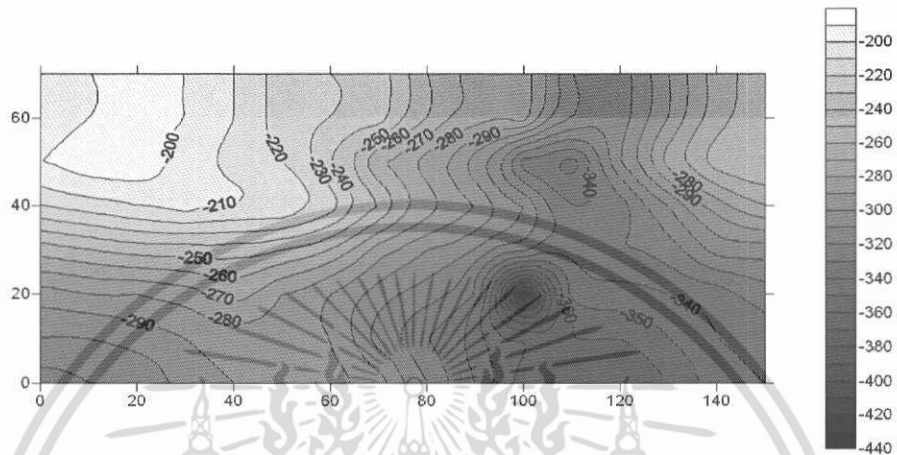
- เครื่องมือตรวจวัดความผูกพันของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมและบริเวณผิวคอนกรีตเพื่อประเมินค่าการกัดกร่อนและสภาพของชั้นหุ้มเหล็กเสริมในช่วงที่ทำการทดสอบโดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เป็นผลจากขบวนการกัดกร่อนเหล็กเสริม ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะบ่งบอกถึงความเสี่ยงมากในการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้าง

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -200 mV. and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 3.8 แสดงผลการของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็กกว้าง 1.50 ม. สูง 0.70 ม. โดยทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ทุก ๆ ระยะ 100 มม. ส่วนที่แสดงสีเทาเข้มคือจุดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้ติดลบมากกว่า -350 มิลลิโวลต์ซึ่งเป็นจุดที่มีแนวโน้มที่กำลังเกิดสนิมอยู่มากที่สุด



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

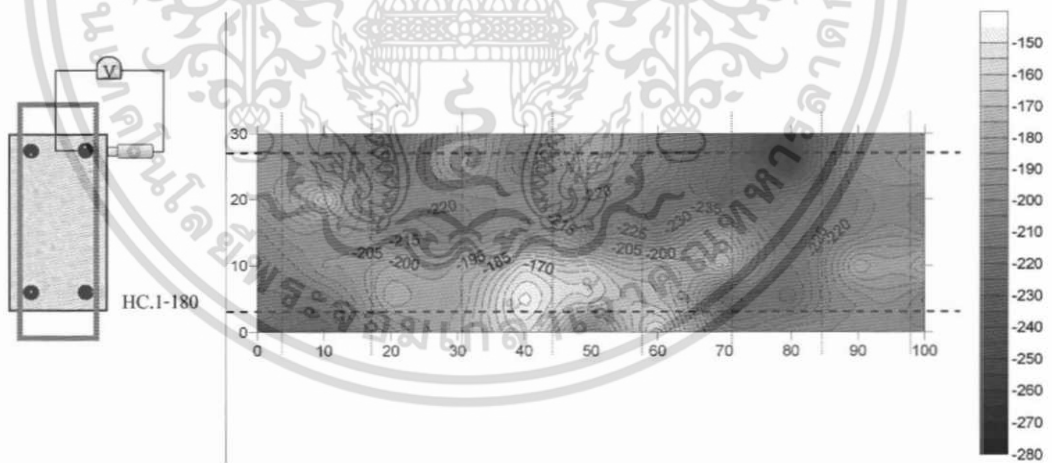
บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 15 x 30 ซม. ยาว 1.00 ม. เพื่อศึกษาข้อมูลที่ได้จากการวัด ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) ที่ใช้ในการหาโอกาสของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการศึกษานั้นได้จัดวางเหล็กเสริม 2 ชั้น ทั้งที่มีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน โดยมีปริมาณส่วนผสม 180/210 ksc และ 240 กก/ชม² ที่ระยะหุ้มเหล็ก 2.5 ซม. และทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อายุ 28 วัน

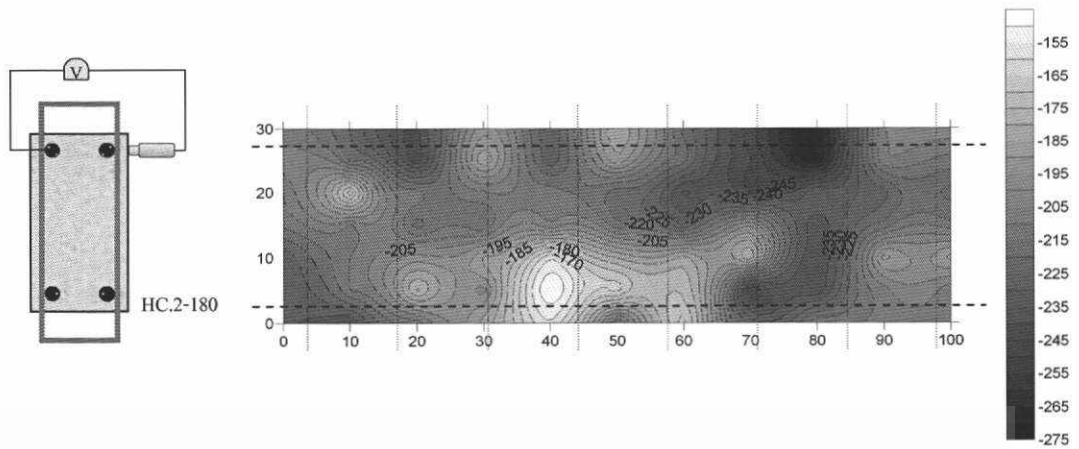
4.1 ผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตมีปริมาณส่วนผสม 180 กก/ชม²

ผลการทดสอบเพื่อผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธี ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยที่คอนกรีตมีปริมาณส่วนผสม 180 กก/ชม² ที่ระยะหุ้มเหล็ก 2.5 ซม. และทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อายุ 28 วัน



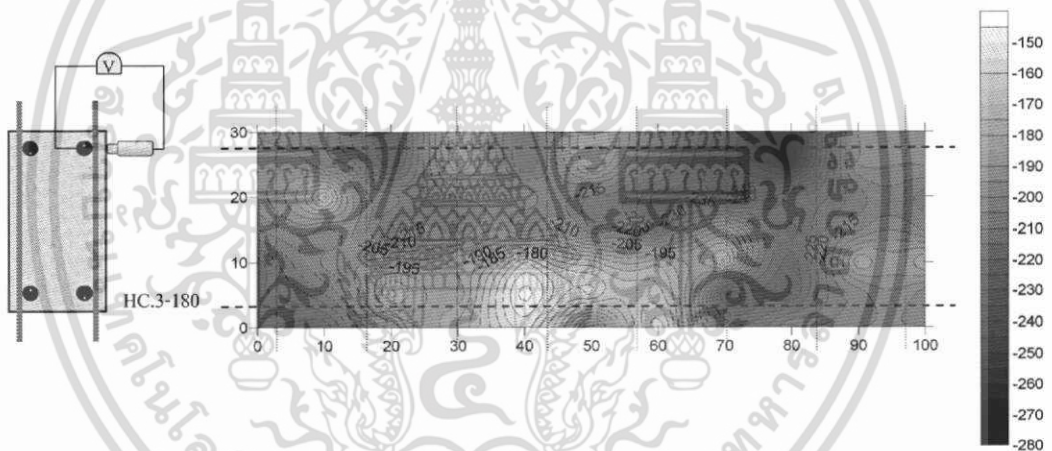
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 1-180 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

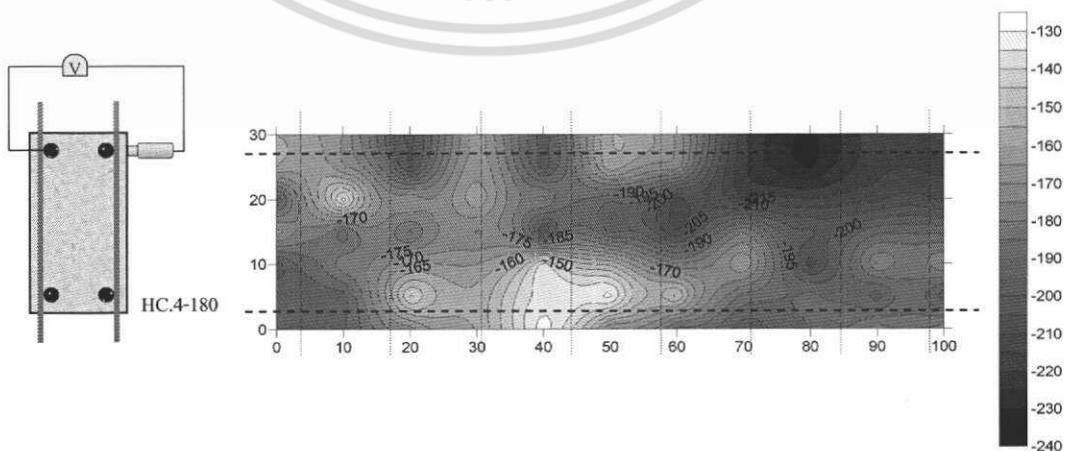


รูปที่ 4.2 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 2-180 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน

รูปที่ 4.1 - 4.2 จากรูปแสดงให้เห็นว่าลักษณะของ Potential Contour ของคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กต่อเนื่องกันทั้ง 2 ชั้น แล้วทำการต่อวงจรในแบบต่างๆ นั้นพบว่าลักษณะของ Potential Contour คล้ายกันและค่าความต่างศักย์ที่ได้นั้นก็มีความใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 3-180 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 4-180 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 - 4.4 จากรูปแสดงให้เห็นว่าลักษณะของ Potential Contour ของคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกัน แล้วทำการต่อวงจรในแบบต่างๆ นั้นพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่าง HC3 - 180 มีค่าความต่างศักย์ใกล้เคียงกับ HC1 - 180, HC2 - 180 แต่ HC4 - 180 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้นั้นมีความแตกต่างซึ่งค่าที่ได้ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ เนื่องมาจากตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกันแล้วทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นที่ 2 ระยะที่ทำการต่อวงจรกับ Reference electrode (Covering) อยู่ห่างกันมากกว่า HC3 - 180 อีกทั้งความไม่ต่อเนื่องของเหล็กเสริมทำให้การเคลื่อนที่ของ electron นั้นยากขึ้นเนื่องจาก ระยะ Covering ส่งผลให้ค่าความต้านทานของวัสดุนั้นเพิ่มขึ้น

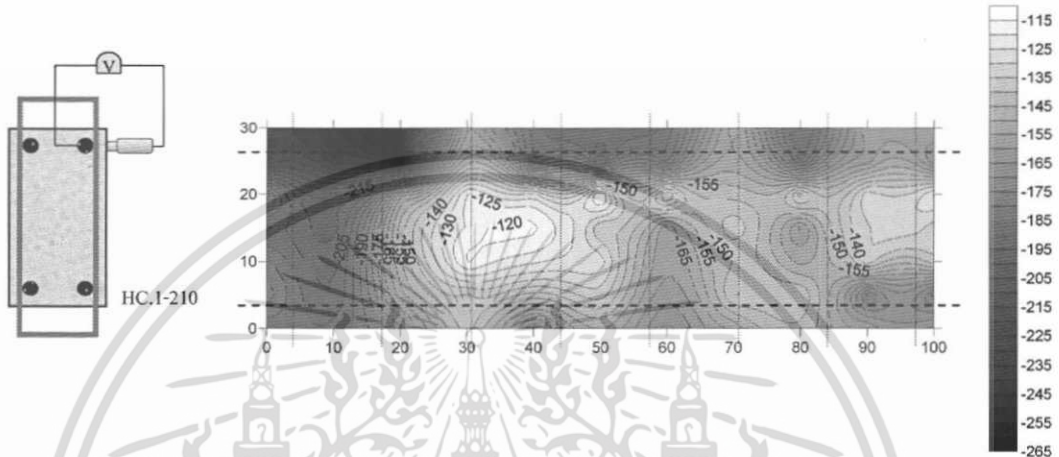
ตารางที่ 4.1 จากตารางแสดงให้เห็นถึงกลุ่มข้อมูลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้ โดยทำการเปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งจากข้อมูลในตารางพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่าง HC4 - 180 ในช่วงข้อมูล (> -150 mV.) มีถึง 9.00% ของข้อมูลทั้งหมดแต่ HC1 - 180, HC2 - 180, HC3 - 180 มีประมาณ 1.00% ของข้อมูลทั้งหมดเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 Statistical distribution of the HCP data (180 ksc)

Half - cell Potential	HC1 - 180	HC2 - 180	HC3 - 180	HC4 - 180
	> -150 mV.	1.00%	1.00%	2.00%
-150 mV. To -200 mV.	70.00%	72.00%	69.00%	65.00%
< -200 mV.	29.00%	27.00%	29.00%	25.00%

4.2 ผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตมีปฏิกิริยาส่วนผสม 210 กก/ชม²

ผลการทดสอบเพื่อผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธี ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยที่คอนกรีตมีปฏิกิริยาส่วนผสม 210 กก/ชม² ที่ระยะหุ้มเหล็ก 2.5 ซม. และทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 1-210 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 2-210 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน

รูปที่ 4.5 - 4.6 จากรูปแสดงให้เห็นว่าลักษณะของ Potential Contour ของคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กต่อเนื่องกันทั้ง 2 ชั้น แล้วทำการต่อวงจรในแบบต่างๆ นั้นพบว่าลักษณะของ Potential Contour คล้ายกันและค่าความต่างศักย์ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 จากตารางแสดงให้เห็นถึงกลุ่มข้อมูลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้ โดยทำการเปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งจากข้อมูลในตารางพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่าง HC4-210 ในช่วงข้อมูล (> -150 mV.) มีถึง 55.00% ของข้อมูลทั้งหมดแต่ HC1-210, HC2-210, HC3-210 มีประมาณ 30.00% ของข้อมูลทั้งหมดเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 Statistical distribution of the HCP data (210 ksc)

Half - cell Potential				
	HC1 - 180	HC2 - 180	HC3 - 180	HC4 - 180
> -150 mV.	32.00%	29.00%	30.00%	55.00%
-150 mV. To -200 mV.	46.00%	47.00%	35.00%	38.00%
< -200 mV.	27.00%	25.00%	25.00%	8.00%

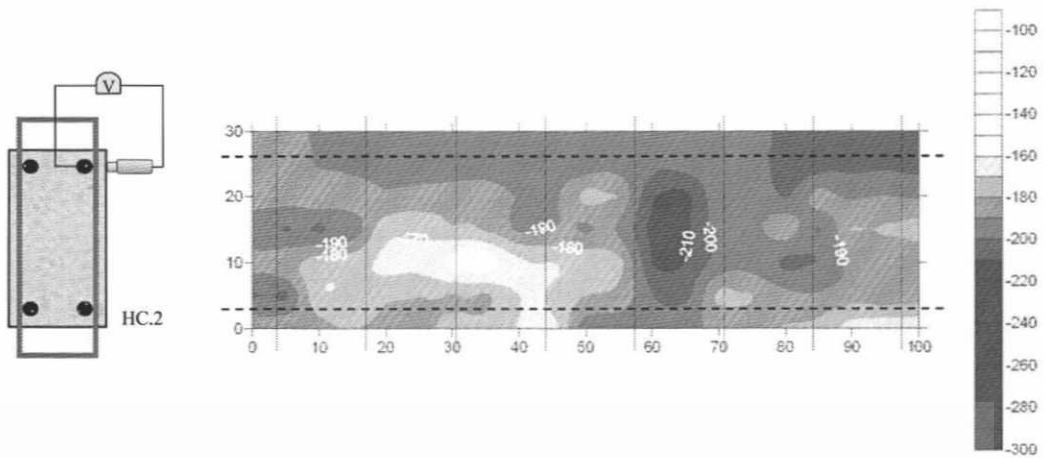
4.3 ผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตมีปริมาณส่วนผสม 240 กก/ชม²

ผลการทดสอบเพื่อผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธี ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยที่คอนกรีตมีปริมาณส่วนผสม 240 กก/ชม² ที่ระยะหุ้มเหล็ก 2.5 ซม. และทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อายุ 28 วัน



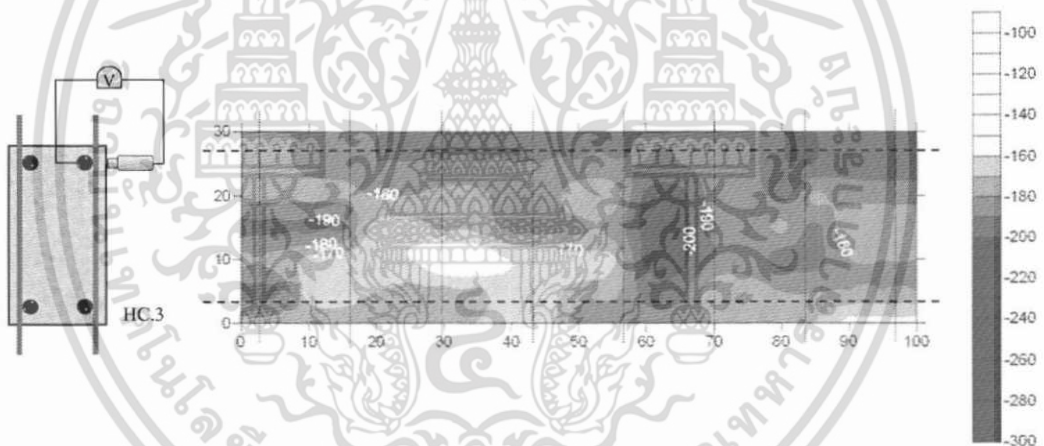
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 1-240 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

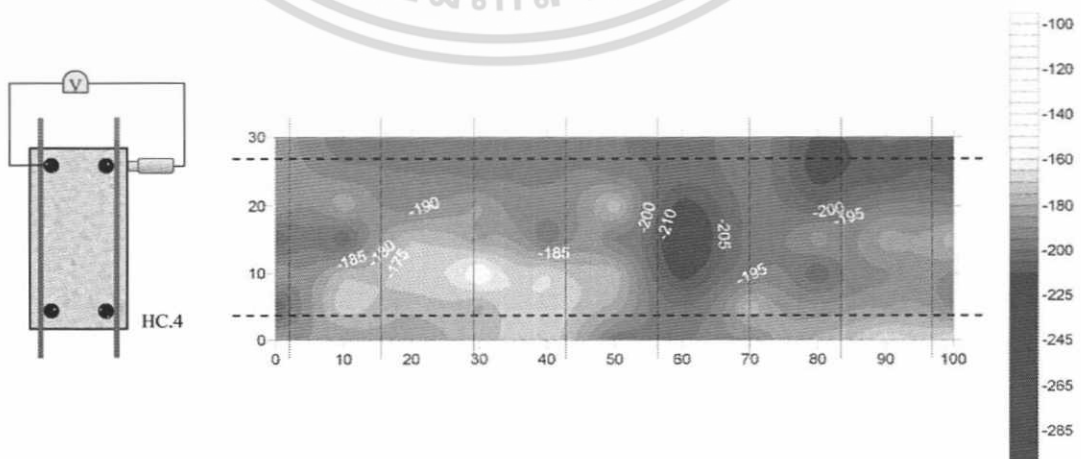


รูปที่ 4.10 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 2-240 ที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน

รูปที่ 4.9 - 4.10 จากรูปแสดงให้เห็นว่าลักษณะของ Potential Contour ของคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กต่อเนื่องกันทั้ง 2 ชั้น แล้วทำการต่อวงจรในแบบต่างๆ นั้นพบว่าลักษณะของ Potential Contour คล้ายกันและค่าความต่างศักย์ที่ได้นั้นมีความใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 3-240 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟ Contour โอกาสของการเกิดสนิม HC 4-240 ที่มีเหล็กไม่ต่อเนื่องกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

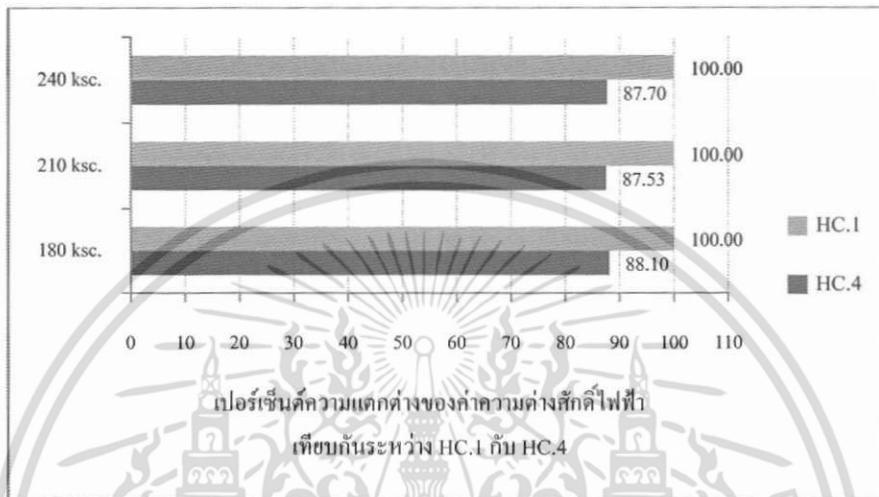
รูปที่ 4.11 - 4.12 จากรูปแสดงให้เห็นว่าลักษณะของ Potential Contour ของคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกัน แล้วทำการต่อวงจรในแบบต่างๆ นั้นพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่าง HC3 - 240 มีค่าความต่างศักย์ใกล้เคียงกับ HC1 - 240, HC2 - 240 แต่ HC4 - 240 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้ นั้นมีความแตกต่างซึ่งค่าที่ได้ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ เนื่องมาจากตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกันแล้วทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นที่ 2 ระยะที่ทำการต่อวงจรกับ Reference electrode (Covering) อยู่ห่างกันมากกว่า HC3 - 240 อีกทั้งความไม่ต่อเนื่องของเหล็กเสริมทำให้การเคลื่อนที่ของ electron นั้นยากขึ้นเนื่องจาก ระยะ Covering ส่งผลให้ค่าความต้านทานของวัสดุนั้นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 จากตารางแสดงให้เห็นถึงกลุ่มข้อมูลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้ โดยทำการเปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งจากข้อมูลในตารางพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่าง HC4 - 240 ในช่วงข้อมูล (> -180 mV.) มีถึง 40.00% ของข้อมูลทั้งหมดแต่ HC1 - 240, HC2 - 240, HC3 - 240 มีประมาณ 26.00% ของข้อมูลทั้งหมดเท่านั้น

ตารางที่ 4.3 Statistical distribution of the HCP data (240 ksc)

Half - cell Potential	HC1 - 180	HC2 - 180	HC3 - 180	HC4 - 180
	> -180 mV.	25.00%	28.00%	24.00%
-180 mV. To -200 mV.	56.00%	55.00%	57.00%	53.00%
< -200 mV.	19.00%	17.00%	19.00%	7.00%

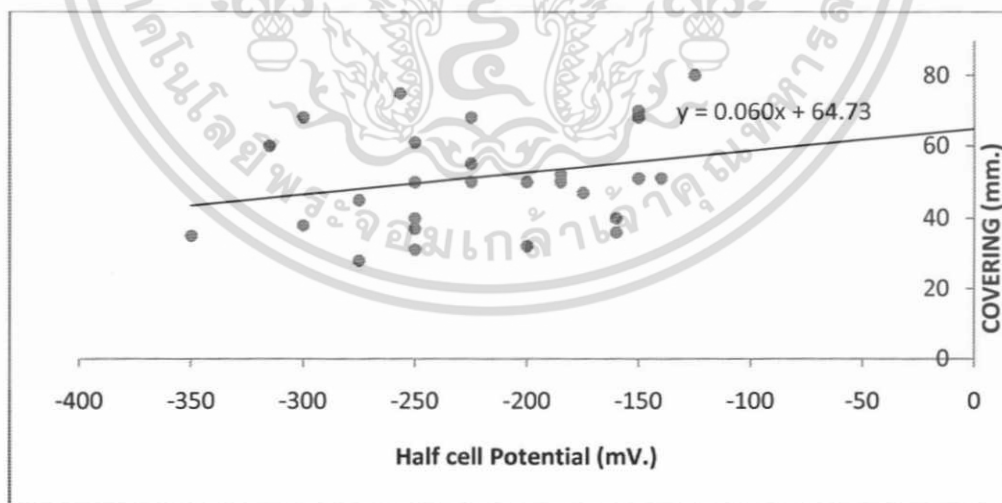
รูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง HC.1 กับ HC.4 ของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของ HC.4 มีค่าน้อยกว่า HC.1 โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัด 180 กก/ซม² ลดลง 11.90% ค่ากำลังรับแรงอัด 210 กก/ซม² ลดลง 12.47% และที่ค่ากำลังรับแรงอัด 240 กก/ซม² ลดลง 12.30%



รูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเทียบกับระหว่าง HC.1 กับ HC.4

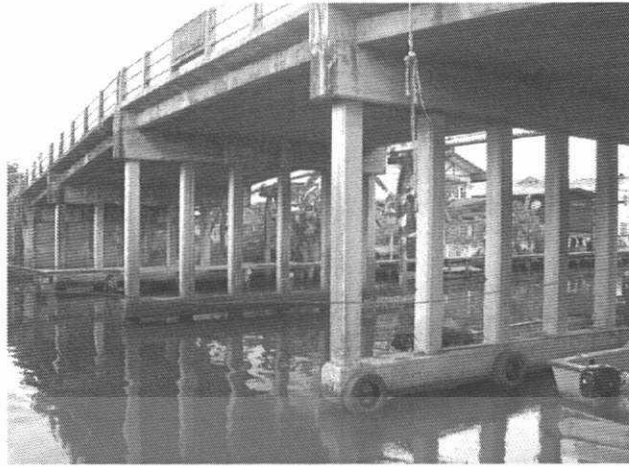
4.4 กรณีศึกษาของโครงการ จัดซ่อมและเสริมกำลังสะพานข้ามคลองในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 28 สะพาน

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาโดยได้จัดทำตัวอย่างชิ้นมานั้นพบว่าในกรณีที่ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กเสริมทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกัน พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้นั้นลดลง เมื่อทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นที่ 2 เนื่องมาจากระยะของเหล็กในชั้นที่ 2 ที่ทำการต่อวงจรไว้ กับ Reference electrode อยู่ห่างกันหรือมีระยะ Covering เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกัน ที่ทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นที่ 1 จึงส่งผลให้การเคลื่อนที่ของ electron นั้นยากขึ้นเนื่องจาก ระยะ Covering ส่งผลให้ค่าความต้านทานของวัสดุนั้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะให้เห็นถึงลักษณะของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเนื่องค่าความต้านทานของวัสดุที่เพิ่มขึ้นที่เกิดจากระยะหุ้มของคอนกรีต (Covering) ที่เปลี่ยนไปจึงได้ทำการเปรียบเทียบ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แปรผันกับระยะหุ้มของคอนกรีต ซึ่งเป็นผลการศึกษา ของโครงการ จัดซ่อมและเสริมกำลังสะพานข้ามคลองในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 28 สะพานในกลุ่มนี้กระจายอยู่ใน พื้นที่ เขตหนองแขม, บางแค, ทวีวัฒนา, และตลิ่งชัน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นแปรผันตามค่าระยะหุ้มของคอนกรีต ซึ่งจากกราฟพบว่าระยะหุ้มของคอนกรีตมากจะทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นมีค่าลด ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แปรผันกับระยะหุ้มของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดง ตัวอย่างสะพานที่ทำการทดสอบของโครงการ



รูปที่ 4.16 แสดง การทดสอบ Half cell Potential ที่ สพ.4855 คลองบางด่วน

รูปที่ 4.15 – 4.16 แสดงตัวอย่างของสะพานที่ทำการตรวจสอบและการทดสอบ Half cell Potential ของโครงการโครงการ จัดซ่อมและเสริมกำลังสะพานข้ามคลองในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษามลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 15 x 30 ซม. ยาว 1.00 ม. เพื่อศึกษาข้อมูลที่ได้จากการวัด ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) ที่ใช้ในการหาโอกาสของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการศึกษานั้นได้จัดวางเหล็กเสริม 2 ชั้น ทั้งที่มีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน โดยมีปฏิภาคส่วนผสม 180/210 ksc และ 240 กก/ชม² ที่ระยะหุ้มเหล็ก 2.5 ซม. และทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อายุ 28 วัน

5.2 สรุปผลจากการทดลอง

จากการศึกษาเพื่อผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิมโดยวิธี ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กต่อเนื่องกันทั้ง 2 ชั้น เมื่อทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นใดก็ตาม แล้วทำการตรวจวัดด้วยวิธี Half-Cell Potential เพื่อหาค่าความต่างศักย์ของโอกาสของการเกิดสนิม พบว่าลักษณะของ Potential Contour คล้ายกันและค่าความต่างศักย์ที่ได้ นั้น มีความใกล้เคียงกัน

5.2.2 ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกัน แล้วทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กที่อยู่ในชั้น ที่ 1 ซึ่งเป็นเหล็กเสริมที่อยู่ใกล้กับ Reference electrode นั้นพบว่ามีค่าความต่างศักย์ของโอกาสของการเกิดสนิมใกล้เคียงกับตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กต่อเนื่องกัน

5.2.3 ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหล็กทั้ง 2 ชั้น ไม่ต่อเนื่องกัน ที่ทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นที่ 2 แล้วทำการตรวจวัดโดยผ่านเหล็กเสริมในชั้นที่ 1 พบว่าค่าความต่างศักย์ที่ได้มีค่าลดลงประมาณ 12% เมื่อเทียบกับเหล็กเสริมที่ต่อเนื่องกัน เนื่องจากเหล็กเสริมทั้ง 2 ชั้น ที่ไม่ต่อเนื่องกันแล้วทำการต่อวงจรเข้ากับเหล็กในชั้นที่ 2 ระยะที่ทำการต่อวงจรกับ Reference electrode อยู่ห่างกัน อีกทั้งความไม่ต่อเนื่องของเหล็กเสริมทำให้การเคลื่อนที่ของ electron นั้นยากขึ้นเนื่องจาก ระยะ Covering ส่งผลให้ค่าความต้านทานของวัสดุเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 จากการศึกษาของโครงการ จัดซ่อมและเสริมกำลังสะพานข้ามคลองในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 28 สะพาน พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นแปรผันตามค่าระยะหุ้มของ คอนกรีต ซึ่งพบว่าระยะหุ้มของคอนกรีตมากจะทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นมีค่าติดลบลดลง เนื่องจากระยะ Covering ส่งผลให้ค่าความต้านทานนั้นเพิ่มขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความต่อเนื่องของเหล็กต่อการทดสอบการเกิดสนิม โดยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์เท่านั้น ซึ่งยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่มีผลต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่ง เซลล์ จึงควรมีการศึกษาวจัยเพิ่มเติมในด้านอื่นๆ และอาจจะมีการปรับวิธีการ เทคนิคการทดสอบ ดังนี้

5.3.1 ควรมีการศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) ที่ตรวจสอบ ในโครงสร้างที่อยู่ในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น โครงสร้างที่อยู่ใกล้ชายทะเลต่อไปในอนาคต

5.3.2 ควรมีการศึกษาเรื่องของอุณหภูมิที่มีผลในการทดสอบด้วยวิธี Half-Cell Potential

5.3.3 ควรมีการศึกษาค่าความต่างศักย์ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) ที่ ตรวจสอบในโครงสร้างที่มีค่าความชื้นต่างๆ

บรรณานุกรม

- [1] Emmons, PH., Vaysburd, AM. (1997) " Corrosion protection in concrete repair: myth and reality. Concrete Int, Vol. 19, Nr 3, 1997, pp. 45 –56.
- [2] J.P. Broomfield, "Assessing Corrosion Damage on Reinforced Concrete Structures," in Corrosion and Corrosion Protection on Steel in Concrete, Proceedings of International Conference, University of Sheffield, U.K., Edited by R.N. Swamy, 1994, Vol. 1, pp. 1-25.
- [3] ASTM C876 "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete". *
- [4] Spellman, D.L. and Stratfull, R.F., "Concrete Variables and Corrosion Testing," Highway Research Record 423, 1973.
- [5] Stratfull, R.F., "Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete," Highway Research Record 433, 1973.
- [6] มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายมยผ. 1501-51 ถึง มยผ. 1507-51กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2551
- [7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มอก.15. (2532). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม,กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [8] เอกสาร "คอนกรีตเทคโนโลยี" ของ คมสัน มาลีสี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2542
- [10] สนั่น เจริญเผ่าและวินิต ช่อวิเชียร, 2537. พิมพ์ครั้งที่ 7.คอนกรีตเสริมเหล็ก.กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [11] Raja Rizwan Hussain," Underwater half-cell corrosion potential bench mark measurements of corroding steel in concrete influenced by a variety of material science and environmental engineering variables," Measurement 44 (2011) 274–280
- [12] ASTM Committee, 1994, Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 : Concrete and Aggregate, American Concrete Institute.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Elsener, B. (1995) " **Condition evaluation of reinforced concrete bridges the benefits of potential mapping** " . Proc. of the Sixth International Conference on Structural Faults and Repair. 3 – 5 July 1995, London, UK, pp. 47–52.
- [14] M. Ohtsu and T. Yamamoto, " **Compensation procedure for half-cell potential Measurement,**" Comntntction and Building Materials, Vol. 11, NOS 7-8, pp. 395-402, 1997.
- [15] Otomaru, M., Murakami, Y. and Ohtsu, M., **Half-cell potential analysis by BEM for corrosion monitoring.** Proceedings of JCI, 1990, 12(I), 539-544
- [16] Yamamura, H. and Ohtsu, M., **CSM analysis of half-cell potentials.** Proceedings of JCI, 1992, 14(I), 717-722



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.1-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-229	30	0	-184	60	0	-160	90	0	-205			
0	5	-225	30	5	-195	60	5	-173	90	5	-209			
0	10	-228	30	10	-190	60	10	-180	90	10	-184			
0	15	-210	30	15	-219	60	15	-230	90	15	-212			
0	20	-202	30	20	-210	60	20	-239	90	20	-218			
0	25	-205	30	25	-189	60	25	-219	90	25	-204			
0	30	-205	30	30	-189	60	30	-219	90	30	-204			
10	0	-235	40	0	-157	70	0	-221	100	0	-205			
10	5	-215	40	5	-147	70	5	-244	100	5	-209			
10	10	-203	40	10	-158	70	10	-177	100	10	-184			
10	15	-209	40	15	-215	70	15	-199	100	15	-212			
10	20	-167	40	20	-205	70	20	-246	100	20	-218			
10	25	-213	40	25	-226	70	25	-244	100	25	-204			
10	30	-213	40	30	-226	70	30	-244	100	30	-200			
20	0	-205	50	0	-217	80	0	-208						
20	5	-177	50	5	-163	80	5	-236						
20	10	-196	50	10	-177	80	10	-232						
20	15	-222	50	15	-221	80	15	-232						
20	20	-212	50	20	-222	80	20	-226						
20	25	-240	50	25	-189	80	25	-269						
20	30	-240	50	30	-189	80	30	-269						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

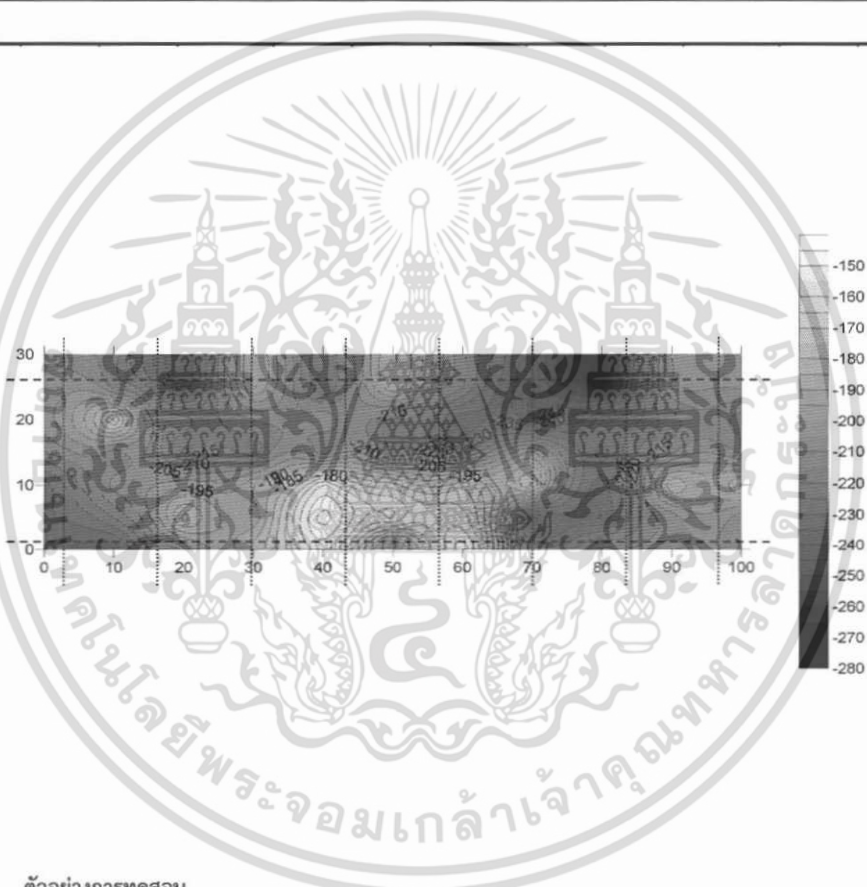
Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.1-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.2-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-231	30	0	-187	60	0	-155	90	0	-206			
0	5	-226	30	5	-193	60	5	-180	90	5	-210			
0	10	-223	30	10	-193	60	10	-183	90	10	-184			
0	15	-217	30	15	-226	60	15	-234	90	15	-216			
0	20	-205	30	20	-219	60	20	-241	90	20	-220			
0	25	-203	30	25	-190	60	25	-223	90	25	-208			
0	30	-208	30	30	-190	60	30	-227	90	30	-212			
10	0	-242	40	0	-158	70	0	-219	100	0	-209			
10	5	-224	40	5	-147	70	5	-246	100	5	-217			
10	10	-204	40	10	-162	70	10	-178	100	10	-182			
10	15	-210	40	15	-217	70	15	-194	100	15	-214			
10	20	-167	40	20	-209	70	20	-253	100	20	-219			
10	25	-217	40	25	-234	70	25	-247	100	25	-199			
10	30	-215	40	30	-224	70	30	-246	100	30	-211			
20	0	-209	50	0	-219	80	0	-209						
20	5	-185	50	5	-164	80	5	-239						
20	10	-194	50	10	-172	80	10	-230						
20	15	-224	50	15	-228	80	15	-235						
20	20	-213	50	20	-225	80	20	-233						
20	25	-235	50	25	-191	80	25	-278						
20	30	-247	50	30	-190	80	30	-270						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.2-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO4)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.3-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-229	30	0	-188	60	0	-167	90	0	-208			
0	5	-229	30	5	-203	60	5	-176	90	5	-207			
0	10	-230	30	10	-188	60	10	-182	90	10	-187			
0	15	-214	30	15	-221	60	15	-231	90	15	-219			
0	20	-210	30	20	-211	60	20	-242	90	20	-227			
0	25	-203	30	25	-184	60	25	-217	90	25	-205			
0	30	-207	30	30	-196	60	30	-222	90	30	-205			
10	0	-236	40	0	-160	70	0	-228	100	0	-206			
10	5	-210	40	5	-149	70	5	-253	100	5	-209			
10	10	-210	40	10	-159	70	10	-178	100	10	-188			
10	15	-212	40	15	-210	70	15	-200	100	15	-214			
10	20	-165	40	20	-212	70	20	-247	100	20	-222			
10	25	-216	40	25	-229	70	25	-244	100	25	-212			
10	30	-220	40	30	-230	70	30	-248	100	30	-202			
20	0	-214	50	0	-219	80	0	-210						
20	5	-178	50	5	-167	80	5	-240						
20	10	-197	50	10	-185	80	10	-240						
20	15	-223	50	15	-219	80	15	-239						
20	20	-212	50	20	-224	80	20	-229						
20	25	-244	50	25	-190	80	25	-271						
20	30	-242	50	30	-184	80	30	-270						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.3-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.4-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-192	30	0	-160	60	0	-188	90	0	-177			
0	5	-191	30	5	-159	60	5	-148	90	5	-199			
0	10	-198	30	10	-165	60	10	-181	90	10	-174			
0	15	-166	30	15	-176	60	15	-211	90	15	-192			
0	20	-197	30	20	-160	60	20	-212	90	20	-212			
0	25	-160	30	25	-166	60	25	-171	90	25	-216			
0	30	-160	30	30	-166	60	30	-171	90	30	-216			
10	0	-191	40	0	-132	70	0	-199	100	0	-177			
10	5	-193	40	5	-139	70	5	-187	100	5	-199			
10	10	-176	40	10	-136	70	10	-164	100	10	-174			
10	15	-189	40	15	-207	70	15	-180	100	15	-192			
10	20	-136	40	20	-177	70	20	-217	100	20	-212			
10	25	-170	40	25	-203	70	25	-219	100	25	-216			
10	30	-170	40	30	-203	70	30	-219	100	30	-216			
20	0	-173	50	0	-172	80	0	-190						
20	5	-143	50	5	-132	80	5	-188						
20	10	-166	50	10	-156	80	10	-208						
20	15	-187	50	15	-197	80	15	-199						
20	20	-169	50	20	-195	80	20	-215						
20	25	-207	50	25	-160	80	25	-231						
20	30	-207	50	30	-160	80	30	-231						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.4-180

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.1-210

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-196	30	0	-143	60	0	-175	90	0	-167			
0	5	-186	30	5	-138	60	5	-171	90	5	-191			
0	10	-199	30	10	-121	60	10	-168	90	10	-134			
0	15	-199	30	15	-123	60	15	-169	90	15	-129			
0	20	-184	30	20	-123	60	20	-124	90	20	-123			
0	25	-236	30	25	-162	60	25	-205	90	25	-167			
0	30	-236	30	30	-162	60	30	-205	90	30	-165			
10	0	-195	40	0	-183	70	0	-157	100	0	-167			
10	5	-197	40	5	-150	70	5	-135	100	5	-191			
10	10	-210	40	10	-128	70	10	-149	100	10	-134			
10	15	-211	40	15	-124	70	15	-140	100	15	-129			
10	20	-213	40	20	-125	70	20	-151	100	20	-123			
10	25	-246	40	25	-203	70	25	-161	100	25	-167			
10	30	-246	40	30	-203	70	30	-161	100	30	-165			
20	0	-173	50	0	-157	80	0	-156						
20	5	-161	50	5	-138	80	5	-138						
20	10	-155	50	10	-124	80	10	-159						
20	15	-152	50	15	-148	80	15	-168						
20	20	-166	50	20	-114	80	20	-134						
20	25	-258	50	25	-216	80	25	-203						
20	30	-258	50	30	-216	80	30	-203						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

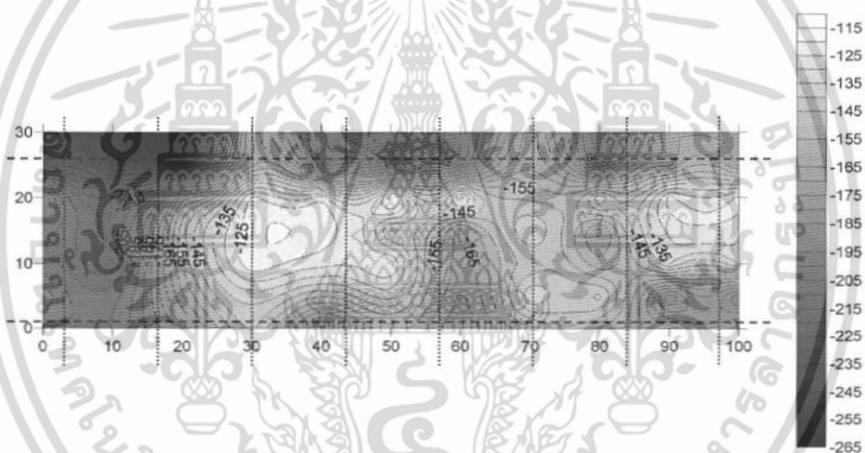
Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.1-210

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.2-210

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-198	30	0	-147	60	0	-182	90	0	-165			
0	5	-187	30	5	-146	60	5	-174	90	5	-193			
0	10	-194	30	10	-119	60	10	-170	90	10	-135			
0	15	-206	30	15	-125	60	15	-170	90	15	-136			
0	20	-187	30	20	-124	60	20	-127	90	20	-132			
0	25	-240	30	25	-157	60	25	-203	90	25	-168			
0	30	-238	30	30	-169	60	30	-208	90	30	-166			
10	0	-199	40	0	-186	70	0	-164	100	0	-168			
10	5	-205	40	5	-152	70	5	-144	100	5	-192			
10	10	-208	40	10	-129	70	10	-150	100	10	-141			
10	15	-213	40	15	-119	70	15	-141	100	15	-138			
10	20	-214	40	20	-132	70	20	-152	100	20	-124			
10	25	-249	40	25	-206	70	25	-163	100	25	-175			
10	30	-253	40	30	-207	70	30	-162	100	30	-166			
20	0	-182	50	0	-159	80	0	-151						
20	5	-162	50	5	-142	80	5	-145						
20	10	-156	50	10	-132	80	10	-162						
20	15	-153	50	15	-146	80	15	-172						
20	20	-166	50	20	-116	80	20	-136						
20	25	-262	50	25	-217	80	25	-207						
20	30	-260	50	30	-211	80	30	-211						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.3-210

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-197	30	0	-146	60	0	-170	90	0	-168			
0	5	-187	30	5	-136	60	5	-178	90	5	-192			
0	10	-199	30	10	-124	60	10	-171	90	10	-134			
0	15	-203	30	15	-130	60	15	-173	90	15	-133			
0	20	-186	30	20	-132	60	20	-126	90	20	-125			
0	25	-240	30	25	-163	60	25	-207	90	25	-171			
0	30	-239	30	30	-163	60	30	-206	90	30	-173			
10	0	-202	40	0	-184	70	0	-152	100	0	-171			
10	5	-206	40	5	-150	70	5	-142	100	5	-199			
10	10	-211	40	10	-132	70	10	-152	100	10	-132			
10	15	-212	40	15	-126	70	15	-138	100	15	-131			
10	20	-213	40	20	-126	70	20	-154	100	20	-124			
10	25	-250	40	25	-198	70	25	-168	100	25	-162			
10	30	-248	40	30	-210	70	30	-170	100	30	-172			
20	0	-177	50	0	-160	80	0	-157						
20	5	-169	50	5	-136	80	5	-141						
20	10	-153	50	10	-127	80	10	-157						
20	15	-154	50	15	-155	80	15	-171						
20	20	-167	50	20	-123	80	20	-141						
20	25	-253	50	25	-218	80	25	-212						
20	30	-265	50	30	-217	80	30	-204						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

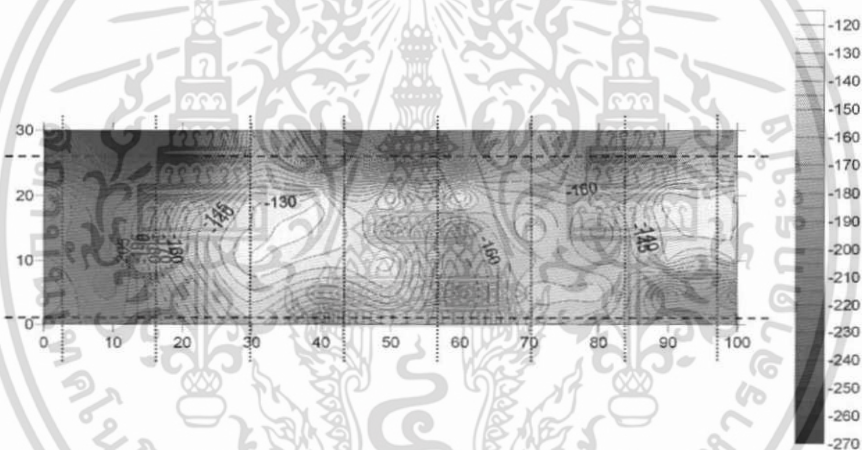
Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.3-210

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876

Half-cell potential reading (Cu/CuSO4)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.4-210

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-166	30	0	-119	60	0	-190	90	0	-139			
0	5	-156	30	5	-102	60	5	-146	90	5	-181			
0	10	-171	30	10	-125	60	10	-169	90	10	-124			
0	15	-169	30	15	-84	60	15	-150	90	15	-109			
0	20	-179	30	20	-98	60	20	-108	90	20	-117			
0	25	-224	30	25	-139	60	25	-176	90	25	-179			
0	30	-207	30	30	-139	60	30	-176	90	30	-177			
10	0	-157	40	0	-158	70	0	-135	100	0	-139			
10	5	-175	40	5	-142	70	5	-78	100	5	-181			
10	10	-183	40	10	-106	70	10	-136	100	10	-124			
10	15	-191	40	15	-116	70	15	-121	100	15	-109			
10	20	-182	40	20	-97	70	20	-122	100	20	-117			
10	25	-226	40	25	-180	70	25	-136	100	25	-179			
10	30	-213	40	30	-180	70	30	-136	100	30	-177			
20	0	-157	50	0	-139	80	0	-138						
20	5	-127	50	5	-107	80	5	-103						
20	10	-125	50	10	-103	80	10	-135						
20	15	-117	50	15	-124	80	15	-135						
20	20	-134	50	20	-97	80	20	-123						
20	25	-225	50	25	-187	80	25	-165						
20	30	-225	50	30	-187	80	30	-165						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

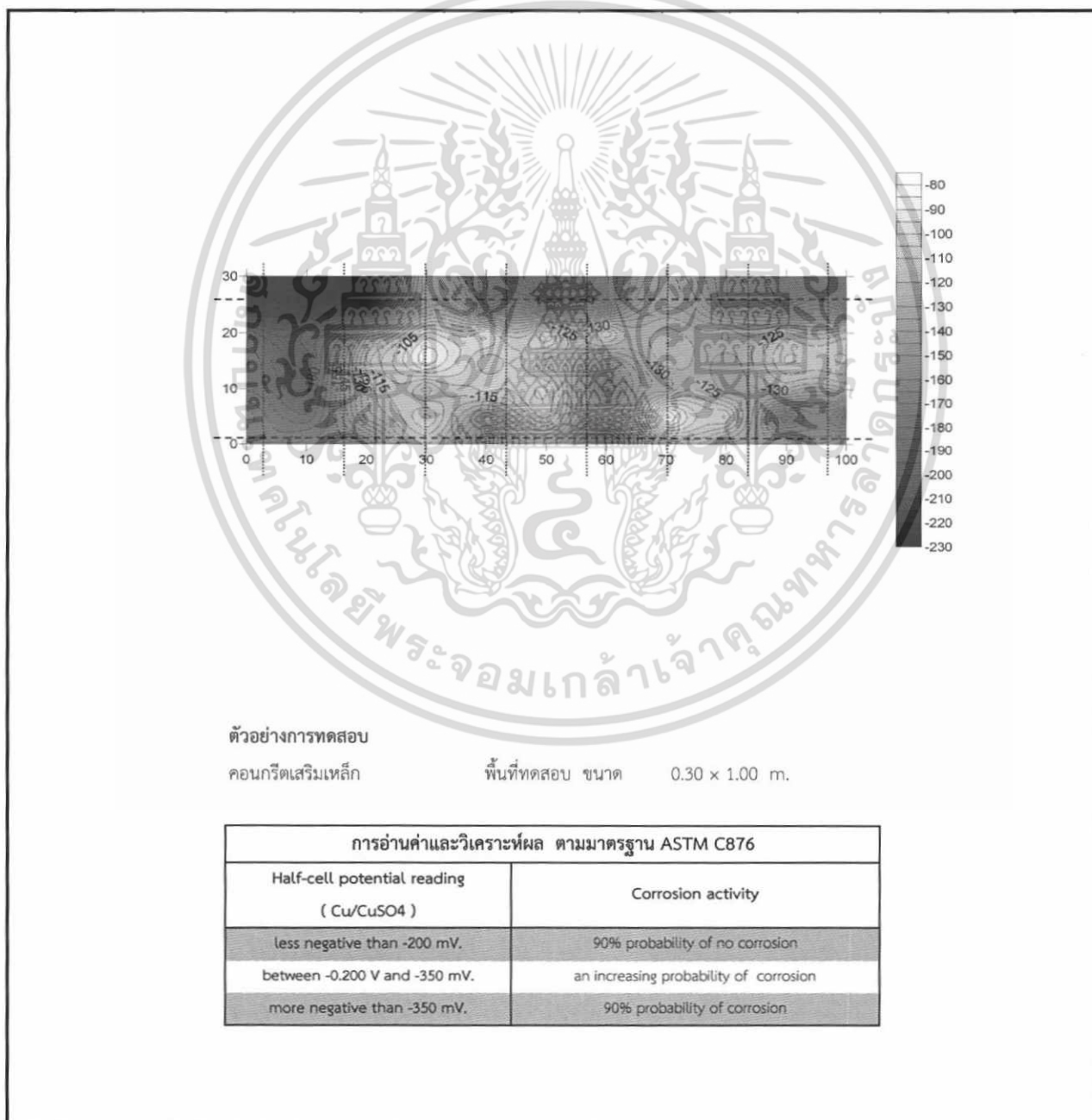
Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.4-210

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.1-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-182	30	0	-176	60	0	-196	90	0	-166			
0	5	-207	30	5	-182	60	5	-200	90	5	-186			
0	10	-184	30	10	-157	60	10	-214	90	10	-191			
0	15	-206	30	15	-186	60	15	-220	90	15	-182			
0	20	-185	30	20	-184	60	20	-213	90	20	-194			
0	25	-189	30	25	-199	60	25	-202	90	25	-210			
0	30	-186	30	30	-197	60	30	-205	90	30	-203			
10	0	-186	40	0	-171	70	0	-191	100	0	-165			
10	5	-171	40	5	-172	70	5	-176	100	5	-193			
10	10	-176	40	10	-169	70	10	-197	100	10	-191			
10	15	-207	40	15	-200	70	15	-197	100	15	-176			
10	20	-180	40	20	-193	70	20	-198	100	20	-196			
10	25	-194	40	25	-197	70	25	-196	100	25	-207			
10	30	-199	40	30	-199	70	30	-195	100	30	-208			
20	0	-184	50	0	-199	80	0	-179						
20	5	-179	50	5	-181	80	5	-189						
20	10	-171	50	10	-176	80	10	-206						
20	15	-175	50	15	-197	80	15	-186						
20	20	-194	50	20	-175	80	20	-205						
20	25	-195	50	25	-199	80	25	-214						
20	30	-199	50	30	-199	80	30	-211						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.1-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.2-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-177	30	0	-173	60	0	-188	90	0	-158			
0	5	-208	30	5	-179	60	5	-205	90	5	-184			
0	10	-180	30	10	-148	60	10	-207	90	10	-183			
0	15	-198	30	15	-180	60	15	-208	90	15	-203			
0	20	-179	30	20	-182	60	20	-210	90	20	-201			
0	25	-178	30	25	-202	60	25	-193	90	25	-198			
0	30	-180	30	30	-202	60	30	-194	90	30	-209			
10	0	-184	40	0	-165	70	0	-183	100	0	-160			
10	5	-167	40	5	-180	70	5	-182	100	5	-183			
10	10	-168	40	10	-164	70	10	-192	100	10	-184			
10	15	-200	40	15	-188	70	15	-188	100	15	-173			
10	20	-178	40	20	-190	70	20	-202	100	20	-190			
10	25	-189	40	25	-203	70	25	-188	100	25	-197			
10	30	-188	40	30	-203	70	30	-189	100	30	-201			
20	0	-180	50	0	-195	80	0	-174						
20	5	-179	50	5	-177	80	5	-183						
20	10	-165	50	10	-168	80	10	-211						
20	15	-172	50	15	-201	80	15	-177						
20	20	-182	50	20	-173	80	20	-203						
20	25	-193	50	25	-205	80	25	-205						
20	30	-195	50	30	-204	80	30	-203						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

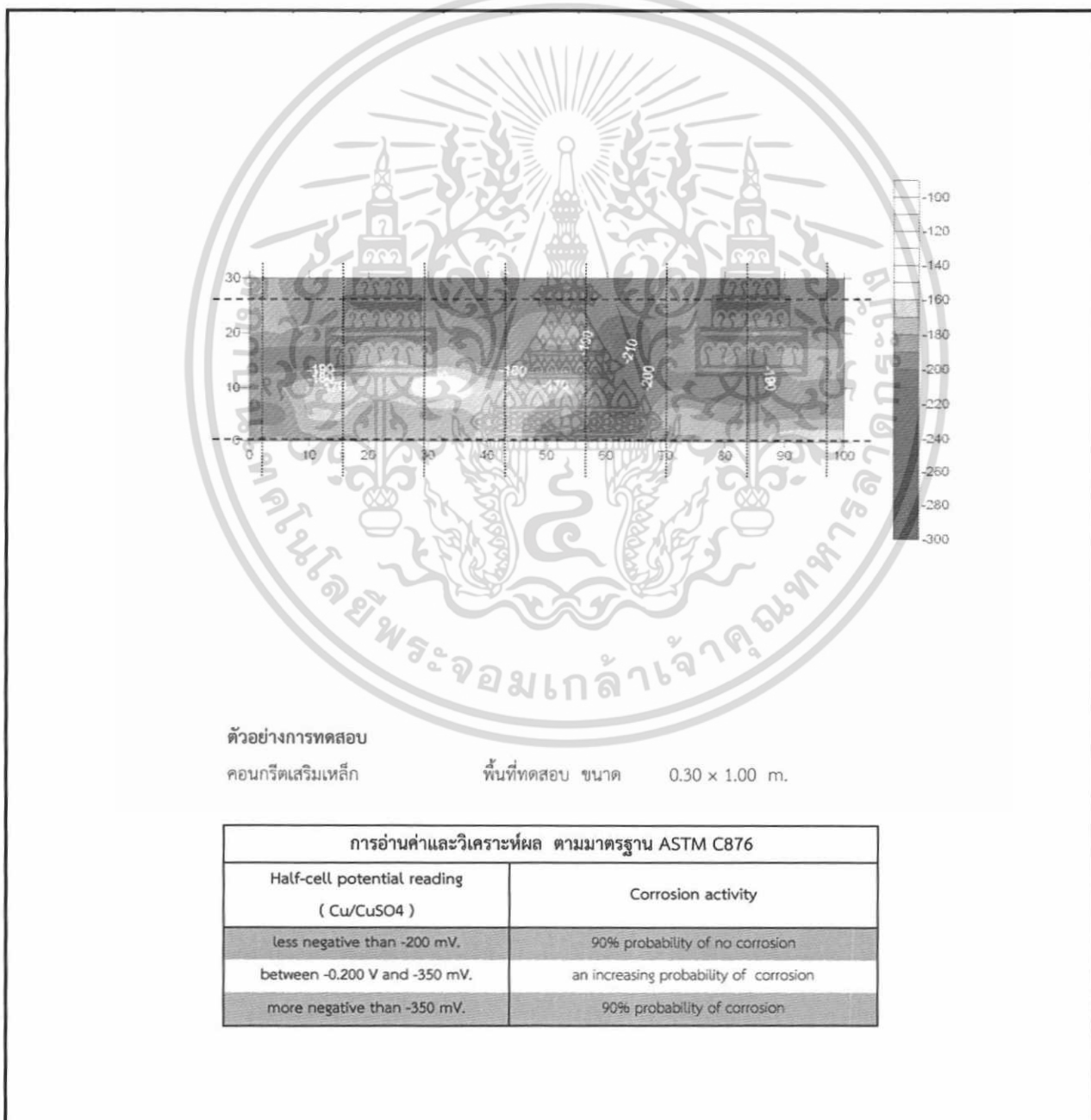
Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.2-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.3-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-180	30	0	-175	60	0	-194	90	0	-164			
0	5	-202	30	5	-182	60	5	-200	90	5	-185			
0	10	-184	30	10	-154	60	10	-212	90	10	-187			
0	15	-200	30	15	-180	60	15	-214	90	15	-179			
0	20	-182	30	20	-182	60	20	-210	90	20	-192			
0	25	-184	30	25	-199	60	25	-197	90	25	-204			
0	30	-180	30	30	-195	60	30	-199	90	30	-200			
10	0	-184	40	0	-169	70	0	-189	100	0	-160			
10	5	-170	40	5	-170	70	5	-175	100	5	-187			
10	10	-172	40	10	-167	70	10	-197	100	10	-189			
10	15	-204	40	15	-194	70	15	-194	100	15	-175			
10	20	-180	40	20	-190	70	20	-192	100	20	-192			
10	25	-192	40	25	-197	70	25	-194	100	25	-204			
10	30	-194	40	30	-199	70	30	-190	100	30	-202			
20	0	-182	50	0	-199	80	0	-179						
20	5	-179	50	5	-180	80	5	-187						
20	10	-165	50	10	-172	80	10	-204						
20	15	-172	50	15	-194	80	15	-180						
20	20	-189	50	20	-175	80	20	-202						
20	25	-195	50	25	-197	80	25	-209						
20	30	-197	50	30	-199	80	30	-205						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

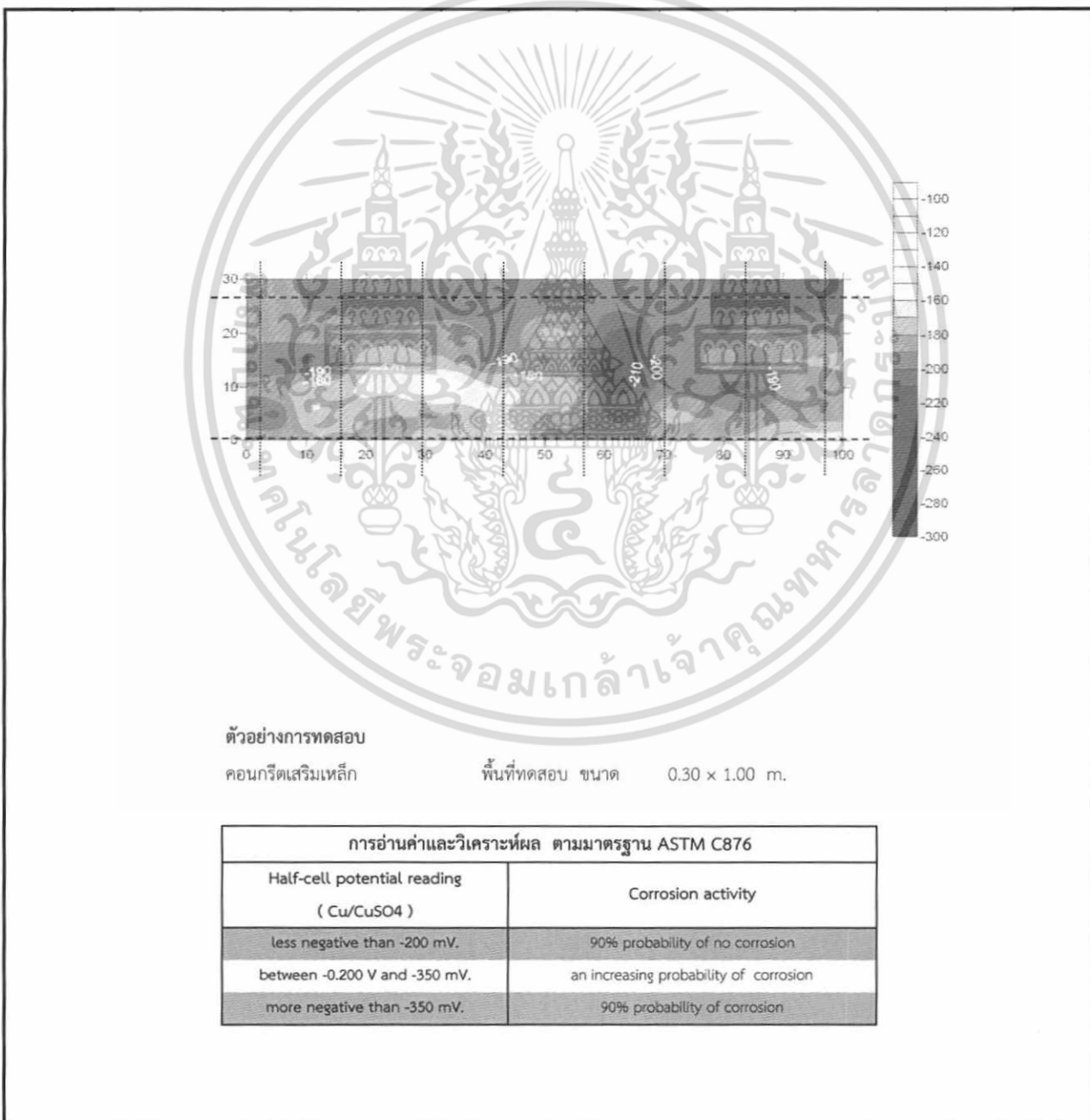
Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.3-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.4-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :

X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.	X	Y	mV.
0	0	-175	30	0	-170	60	0	-185	90	0	-155			
0	5	-195	30	5	-175	60	5	-195	90	5	-180			
0	10	-175	30	10	-145	60	10	-205	90	10	-180			
0	15	-195	30	15	-175	60	15	-205	90	15	-170			
0	20	-175	30	20	-175	60	20	-205	90	20	-185			
0	25	-175	30	25	-190	60	25	-190	90	25	-195			
0	30	-175	30	30	-190	60	30	-190	90	30	-195			
10	0	-175	40	0	-160	70	0	-180	100	0	-155			
10	5	-165	40	5	-165	70	5	-170	100	5	-180			
10	10	-165	40	10	-160	70	10	-190	100	10	-180			
10	15	-195	40	15	-185	70	15	-185	100	15	-170			
10	20	-175	40	20	-185	70	20	-185	100	20	-185			
10	25	-185	40	25	-190	70	25	-185	100	25	-195			
10	30	-185	40	30	-190	70	30	-185	100	30	-195			
20	0	-175	50	0	-190	80	0	-170						
20	5	-170	50	5	-175	80	5	-180						
20	10	-160	50	10	-165	80	10	-195						
20	15	-165	50	15	-185	80	15	-175						
20	20	-180	50	20	-170	80	20	-195						
20	25	-190	50	25	-190	80	25	-200						
20	30	-190	50	30	-190	80	30	-200						

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only.

2) No Erasure or Alterations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND.

Half-Cell Potentials (ASTM C876)

SAMPLE : ตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Cord : HC.4-240

Date of testing 8 August 2011

SHEET NO. :



ตัวอย่างการทดสอบ

คอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่ทดสอบ ขนาด 0.30 x 1.00 m.

การอ่านค่าและวิเคราะห์ผล ตามมาตรฐาน ASTM C876	
Half-cell potential reading (Cu/CuSO ₄)	Corrosion activity
less negative than -200 mV.	90% probability of no corrosion
between -0.200 V and -350 mV.	an increasing probability of corrosion
more negative than -350 mV.	90% probability of corrosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สทค.)

Thailand Concrete Association (TCA)

รัง 3 อาคาร สาขาสถาปัตยกรรมแห่งประเทศไทย 487 ถนนวิภาวดีรังสิต 407 แขวงวิภาวดี เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10310

เลข หมายประจำตัว เลขที่บัญชีธนาคารออมสิน สาขาวิภาวดี 10310

โทร : 0-2935-6793, โทรสาร : 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com http://www.thaitca.or.th

ที่ สทค. 119/2554

26 กันยายน 2554

เรื่อง **ตอบรับบทความฉบับสมบูรณ์**

เรียน **คุณเอกชัย ไชยพอลฤทธิ**

ผศ.ดร. คมสัน นานีซี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ด้วยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สทค.) ร่วมกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรราช นครินทร์ ACI Thailand Chapter และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมรดฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะดำเนินการจัด “การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 7” (The Annual Concrete Conference ACC7) ขึ้นระหว่าง วันที่ 19-21 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมระยอง รีสอร์ท 48 คอนกรีต จังหวัดระยอง โดยการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 7 มีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดโอกาสให้วิศวกร และบุคลากรทั่วไปทั้งภาครัฐและเอกชน ได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และเสนอผลงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านคอนกรีตวัสดุทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ พร้อมยกระดับฐานะงานวิจัย บทความทางวิชาการ และเทคโนโลยีทางด้านคอนกรีตวัสดุ ให้มีความสอดคล้องกับนานาชาติ

ซึ่งจากการที่ท่าน ได้ให้ความสนใจส่งบทความวิจัย เรื่อง “การศึกษาลำไส้กึ่งไฮโดรเจลของพริกเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระนาบเดียวกันและต่างระนาบที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง” เพื่อเข้าร่วมเสนอบทความในการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 7 นั้น ซึ่งคณะกรรมการจัดการประชุม ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรให้สนับสนุนบทความวิจัยของท่านเข้าร่วมในการประชุมวิชาการครั้งนี้ โดยทางสมาคมฯ จะแจ้งกำหนดการและรายละเอียดอื่น ๆ ให้ทราบทาง Website ของสมาคมฯ ค่ะ ไป

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ


(ศาสตราจารย์ ดร. คมสัน นานีซี)

นายกสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ติดต่อประสานงาน : คุณรัตนา กามพันธ์ สมาคมคอนกรีตฯ โทรศัพท์ : 0-2935-6793, 086-3744227 โทรสาร : 0-2935-6538

การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 7
 Annual Concrete Conference

วิชาการและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก



19-21 ตุลาคม 2554
 โรงแรม ระยอง รีสอร์ท
 อำเภอเมือง จังหวัดระยอง

TCA acf

จัดโดย สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย
 ร่วมกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
 ACI Thailand Chapter
 ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูตรานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญบทความ (ต่อ)

บทความวิจัย สาขาคอนกรีตและวัสดุ (MAT)		หน้า
MAT-38	คอนกรีตน้ำหนักรวมผสมหินปูน	MAT-184
MAT-39	<i>Effect of Leaching on Carbonation Resistance and Steel Corrosion in Reinforced Concrete</i>	MAT-191
MAT-40	ศึกษาความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชันในคอนกรีตที่เคลือบด้วยน้ำด้วยสารต่างชนิดกัน	MAT-197
MAT-41	การศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระบบเดียวกันและต่างระบบที่เชื่อมและไม่ต่อเนื่อง	MAT-203
MAT-42	ผลกระทบต่อการหดตัวของซีเมนต์โพสตันอะครีตาริที่ผสมกับปูนซีเมนต์ตัวอนุภาคนาโนซิลิกา	MAT-209
MAT-43	การปรับปรุงคุณสมบัติด้านการรับแรงดัดของคานพื้ยวชนิดผสมเส้นใย	MAT-214
MAT-44	ผลกระทบของแก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อความต้านทานการรุกรานของคลอไรด์ของคอนกรีต	MAT-220
MAT-45	การต้านทานซัลเฟตของคอนกรีตผสมแก๊สไฮโดรเจนและผงดินปูน	MAT-226
MAT-46	ผลกระทบของการใช้สารหน่วงการก่อตัวเกินขนาดที่มีตั้งคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต	MAT-236
บทความวิจัย สาขานำร่องรักษา ซ่อมแซม และเสริมกำลังคอนกรีต (REP)		หน้า
REP-01	<i>Improving the Quality of Carbonated Blast Furnace Slag Cement Mixtures by Using Sodium Monofluorophosphate</i>	REP-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 20 ตุลาคม 2554

08.15 – 10.00 น. การนำเสนอบทความวิจัย (Rayong Grand Ballroom)

ประธานภาค : รศ.ดร. บุรฉัตร ฉัตรวีระ

รองประธานภาค : ดร.ฉัตร สุจินดา

08.15 – 08.30 น.	STR-01	Effect of Horizontal to Vertical Crack-Control Reinforcement Ratio on Strength of Concrete Strut in Strut and Tie Model
08.30 – 08.45 น.	STR-02	พฤติกรรมของแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กบางภายใต้การเปลี่ยนแปลงมุมของแนวแรงกระทำ
08.45 – 09.00 น.	STR-04	การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง (ช่วงเสา 6 – 9 เมตร) โดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติโดยใช้โปรแกรม RAM Concept
09.00 – 09.15 น.	STR-05	การวิเคราะห์โครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต
09.15 – 09.30 น.	STR-11	การวิเคราะห์พฤติกรรมไร้เชิงเส้นทางวัสดุของโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
09.30 – 09.45 น.	STR-12	การเสริมกำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตโดยการโอบรัดด้วยแผ่นเหล็ก
09.45 – 10.00 น.	STR-18	การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียวอย่างเหมาะสมโดยใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

08.15 – 10.00 น. การนำเสนอบทความวิจัย (ห้อง Samed)

ประธานภาค : ผศ.ดร.วันชัย ยอดสุดใจ

รองประธานภาค : ดร.พงษ์ศักดิ์ ไชคทวีกาญจน์

08.15 – 08.30 น.	MAT-41	การศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระนาบเดียวกันและตั้งระนาบที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง
08.30 – 08.45 น.	MAT-27	ผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อการหดตัวแห้งของมอร์ตาร์ที่ผสมแก่กันเท่าบดละเอียด
08.45 – 09.00 น.	MAT-30	ผลกระทบของเจ้าปาล์มน้ำมันคาลังอัด การซึมของน้ำ และการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีต
09.00 – 09.15 น.	MAT-33	กำลังและความต้านทานการซึมผ่านของคอนกรีตผสม, แก้วกลบร่วมกับเจ้าลอย
09.15 – 09.30 น.	MAT-35	พฤติกรรมของคอนกรีตระบบสองและสามประสานต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริม
09.30 – 09.45 น.	MAT-44	ผลกระทบของเจ้าลอยที่มีปูนขาวอิสระสูงต่อความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์
09.45 – 10.00 น.	MAT-16	Modeling Chloride Penetration into Concrete Structures

10.00 – 10.15 น. พักรับประทานอาหารว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระนาบเดียวกันและต่างระนาบ
ที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

**HALF-CELL POTENTIAL OF STEEL REINFORCED CONCRETE STUDY IN THE SAME AND
DIFFERENT PLANES WITH CONTINUOUS AND DISCONTINUOUS STIRRUP CIRCUIT**

พอลอกร ไชยทองดี (Pattakorn Chaiyathongdee)

คนฉันทน์ มณีสี (Kornchan Maneechai)

‘บัณฑิตกมลประดิษฐาโกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง และ Email address: pttakorn_c@kmitl.ac.th

‘ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง และ Email address: kornchanmaneechai@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึง ข้อมูลที่ได้จากการวัด ค่าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) ของ
เหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ใน ระนาบเดียวกันและต่างระนาบที่เหล็กเสริมปลอกคอนกรีตต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง โดยใน
การศึกษาได้ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 15 x 30 ซม. ยาว 1.00 ม. โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับ
แรงอัด 240 กก./ซม^๒. ที่อายุ 28 วัน เสริมด้วยเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. และมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 6 มม. โดยมกละอัตราระหว่างเหล็กเสริมให้มีระยะห่างเหล็ก 2.50 ซม. ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่าความต่าง
ศักย์ไฟฟ้าของ คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กปลอกต่อเนื่องกัน เมื่อทำการตรวจสอบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ในระนาบใดก็ได้
พิจารณาแล้ว ค่าที่ได้จะเพิ่มขึ้นค่าความต่างศักย์ของเหล็กปลอกในระนาบที่ลุ่มใกล้กับขั้วลบ และค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์
คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กปลอกไม่ต่อเนื่องกัน เมื่อทำการตรวจสอบค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ในระนาบใดก็ได้ค่าเฉลี่ยค่า
ค่าที่ได้จะเป็นค่าความต่างศักย์ของเหล็กปลอกในระนาบที่ทำการตรวจสอบเอาไว้

ABSTRACT: This research aimed to study data that obtained from Half-cell potential of steel reinforced concrete
measurement in the same plane with continuous and discontinuous stirrup steel. In the study conducted by casting a
reinforced concrete beam size 15 cm x 30 cm in cross sectional size and 1.00 m long with 240 kg/cm² compressive
strength at 28 days. The beam was reinforced with diameter 12 mm longitudinal bar and diameter 6 mm stirrup with
2.50 cm concrete covering. This study showed that voltage of continuous stirrup concrete beam on any plane showed on
near reference electrode but discontinuous stirrup concrete beam showed on main circuit plane.

KEYWORDS - Half-cell potential , Continuous , steel reinforced concrete

MAT 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายเอกชัย ไชยพลฤทธิ์
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ.2527
 ที่อยู่ เลขที่ 118 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง
 กรุงเทพฯ 10520

ประวัติการศึกษา

2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 2555 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

ทะเบียนวิชาชีพ ภาควิศวกรใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบการวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม
 สาขาวิศวกรรมโยธา เลขที่ กย 48695

ผลงานทางวิชาการ “การศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริมคอนกรีตที่อยู่ในระนาบ
 เดียวกันและต่างระนาบที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง” การประชุมวิชาการ
 คอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 7 พ.ศ. 2554