

การศึกษาเกี่ยวกับการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่รอยต่อระหว่างฐานรากและเสาตอม่อ

STUDY ON WATER PENETRATION THROUGH JOINT BETWEEN FOUNDATION AND  
PIER



T119440

โดย

นายวิวัฒน์ ไชยสดี  
นายศักดิ์สิทธิ์ เลิศบรรลือชัย  
นายสุกเกียรติ บุญมาติด

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **119440**  
วัน,เดือน,ปี..... - 7 S.ค. 2554

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON WATER PENETRATION THROUGH JOINT BETWEEN FOUNDATION AND  
PIER**



BY  
MR. WEERAWAT CHAISALEE  
MR. SAKSIRI LERTBANLUECHAI  
MR. SUPAKIAT BUNMATID

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาเกี่ยวกับการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่รอยต่อระหว่างฐานรากและเสาตอม่อ			
	STUDY ON WATER PENETRATION THROUGH JOINT BETWEEN			
	FOUNDATION AND PIER			
นักศึกษา	นาย วีรวัฒน์ ไชยสาลี	รหัสนประจำตัว	50011506	
	นาย ศักดิ์สิทธิ์ เลิศบรรลือชัย	รหัสนประจำตัว	50011553	
	นาย สุกเกียรติ บุญมาติด	รหัสนประจำตัว	50011583	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศักดิ์ชัย สกานพงษ์			
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี			
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา			
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์			
ปีการศึกษา	2553			

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการก่อสร้างอาคาร โดยทั่วไป มักจะนิยมก่อสร้างฐานรากและเสาตอม่อโดยหล่อคอนกรีตขึ้นส่วนซึ่งจะหล่อฐานรากอาคารก่อนแล้วจึงหล่อเสาต่อซึ่งการหล่อวิธีนี้มักจะเกิดรอยต่อขึ้นระหว่างฐานรากและตัวเสาเป็นเหตุให้น้ำที่มีอยู่ใต้ดินอยู่แล้ว สามารถแทรกซึมเข้าสู่ภายในคอนกรีตผ่านระยะ Covering คู่เหล็กเสริมได้โดยง่าย ยังผลให้เกิดความเสียหายเนื่องจากคลอไรด์ที่มีเจือปนอยู่ในน้ำไปทำลายและกัดกร่อนเหล็กเสริมให้เกิดสนิมได้ ถึงแม้ว่าสาเหตุของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมจะเป็นไปได้หลากหลายสาเหตุก็ตาม แต่ทั้งนี้ผู้ศึกษาโครงการวิจัยนี้ได้อธิบายขอบเขตของการศึกษาว่ามันเป็นปัจจัยที่ไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อเหล็กเสริมได้โดยตรงแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออ้อมอันเนื่องมาจากคอนกรีต เพราะฉะนั้นผู้ศึกษาจึงได้วิจัยในขอบเขตของการซึมผ่านของน้ำเข้าทางบริเวณรอยต่อระหว่างฐานรากอาคารและเสาตอม่อ

Title : STUDY ON WATER PENETRATION THROUGH JOINT  
BETWEEN FOUNDATION AND PIER

Name : MR. WEERAWAT CHAISALEE  
MR. SAKSIRI LERTBANLUECHAI  
MR. SUPAKIAT BUNMATID

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Advisor : ASST PROF. SUKCHAI SAKANUPONG  
DR. KOMSAN MALEESEE

## ABSTRACT

At the present time, the pier, in general, are separately constructed between the groundwork and prop. By setting the groundwork before putting the prop, this method always cause the fissure between groundwork and prop and result the underground water infiltrate into concrete and steel rod through coving interval. So, steel rod can be rusted and eroded by chlorite that contaminated inside underground water.

Even though, rusted steel rod can be caused by various process, but we will describe that the chlorite is not the direct factor of rusted steel rod, but it's just indirect factor that causing by concrete. So, we will do the research in the term of infiltration of the water into fissure between groundwork and prop.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ และ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศศ.ดร.คมสัน มาลีสี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้เกี่ยวกับ การใช้อุปกรณ์ ตลอดแนวทางการทำงาน และในตลอดระยะเวลาที่ได้ทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ท่านได้ให้คำแนะนำ และ การสั่งสอนสิ่งต่างๆมากมาย นอกจากนี้ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ต่างๆทั้งในความรู้ทางด้านการศึกษาและความรู้ทั่วไปจนทำให้ข้าพเจ้าได้นำความรู้ที่อาจารย์ได้สอนมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และ ข้าพเจ้าหวังว่าปริญญานิพนธ์ที่ข้าพเจ้าได้ทำมาจะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่มาพัฒนาต่อไปในอนาคต

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณมานิตย์ คุณสมบัติ เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการงานวิศวกรรมโยธา และ อีกหลายบุคคลที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ที่มอบความหวังใจและให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์และขอบคุณหอสมุดกลาง KMITL สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงคุณค่า

นายวิวัฒน์	ไชยสดี
นายศักดิ์สิริ	เลิศบรรลือชัย
นายศุภเกียรติ	บุญมาติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอ努ุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฌ
	สารบัญรูป	ญ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าววนำ	1
	1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.5. ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
	1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. กล่าววนำ	5
	2.2. หลักการหล่อแบบฐานรากและเสาตอม่อคอนกรีตโดยทั่วไป	5
	2.3. การเทคอนกรีตเสาตอม่อ	7
	2.4. การกััดกร่อนเนื่องจากสารเคมี	8
	2.1.1. การกััดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์	9
	2.1.2. วิธีการวัดคลอไรด์และความต้านทานคลอไรด์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.4.3. หลักการเลือกคอนกรีตที่อาจมีปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์	11
	2.4.4. การเกิดสนิมในสภาพแวดล้อมคลอไรด์สูง	12
	2.5. หลักการ Capillary	13
	2.6. ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีของ ACI	14
	2.7. หลักการทดสอบหาค่าการสึกกร่อนในเหล็กเสริม	26
3	<b>ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน</b>	
	3.1. ขั้นตอนการดำเนินงาน	28
	3.2. แผนการทำงานตลอดโครงการวิจัย	29
	3.3 ขั้นตอนการทดลอง	30
	3.3.1. ออกแบบตัวอย่างการทดลอง	30
	3.3.2. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์	32
	3.3.3. ขั้นตอนการสร้างตัวอย่างทดลอง	33
4	<b>ผลการทดลองและการวิเคราะห์</b>	
	4.1. สาเหตุของการที่น้ำซึมผ่าน	37
	4.1.1. อ้างอิงจากตัวอย่างที่ 1 และ 2	37
	4.1.2. อ้างอิงจากตัวอย่างทดลองที่ 3 และ 4	40
	4.2. เปรียบเทียบปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น	41
	4.2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดสนิมกับจำนวน วันที่ตัวอย่างแช่ในน้ำ	41
	4.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดสนิมกับระยะ Covering	46
	4.3. เปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น	46

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.3.1. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็ก เมื่อเทียบกับจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น	46
	4.3.2. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเกิดสนิมเหล็กกับ ระยะ Covering	49
	4.4. วิเคราะห์ผลการทดสอบการ Capillary เมื่อ Void แตกต่างกัน	50
	4.5. การเปรียบเทียบตัวอย่างที่หล่อเสาและฐานรากพร้อมกัน โดยใช้สีผสม	51
	4.6 การเปรียบเทียบ มีผลกระทบต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ครึ่งเซลล์จากเครื่อง Half-Cell Potential	52
	4.6.1 ผลกระทบจากความชื้น	52
	4.6.2 ผลกระทบจากคลอไรด์ (NaCl)	53
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	54
	5.1 สรุปผลการทดลอง	54
	5.1.1 สาเหตุของการที่น้ำซึมผ่าน	54
	5.1.2. เปรียบเทียบปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อ ระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น	55
	5.1.3 เปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น	55
	5.1.4 ผลการทดสอบการ Capillary เมื่อ Void แตกต่างกัน	56
	5.1.5 การเปรียบเทียบตัวอย่างที่หล่อเสาและฐานรากพร้อมกัน โดยใช้สีผสม	56
	5.2 ข้อเสนอแนะ	57
	5.2.1 สาเหตุของการที่น้ำซึมผ่าน	57
	5.2.2 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อ ระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น	57

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.2.3 เปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อ ระยะ Coveringแตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น	57
	5.2.4 การทดสอบการ Capillary เมื่อ Void ต่างกัน	
	5.2.5 การเปรียบเทียบตัวอย่างที่หล่อเสาและฐานรากพร้อมกัน โดยใช้สีผสม	
	<b>บรรณานุกรม</b>	61
	<b>ภาคผนวก ก ผลการทดลองและตารางคำนวณ</b>	ผก.1
	<b>ภาคผนวก ข กราฟ</b>	ผข.1
	<b>ภาคผนวก ค รูปภาพ</b>	ผค.1

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ปริมาณสูงสุดของคลอไรด์ไอออนเพื่อป้องกันการเกิดสนิม	10
2.2	ค่าความขุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ	19
2.3	ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	20
2.4	ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความขุบตัวและวัสดุผสมต่างๆ	21
2.5	อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง	22
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กำลังอัดประลัยของคอนกรีต	23
2.7	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ	24
2.8	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต	25
2.9	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และแนวโน้มของการเกิดสนิม	26
3.1	แสดงแผนการทำงานตลอดโครงการพิเศษ	29
4.1	แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในชั้นตัวอย่างที่ 1 ด้านระยะ Covering ที่ 7 cm. ณ วันที่ 56	37
4.2	ตารางคำนวณเปรียบเทียบหาระยะสนิมที่ค่าความต่างศักย์-400 mV ณ วันที่ 7	39
4.3	ตารางคำนวณเปรียบเทียบหาระยะสนิมที่ค่าความต่างศักย์-400 mV ณ วันที่ 56	39
4.4	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลาที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm.	41
4.5	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลาที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.	42
4.6	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลาที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.	43
4.7	ตารางแสดงระดับของสนิมเหล็กกับจำนวนวันที่แช่น้ำ	47
ผ.ก.1.	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 วันที่ 7	ผ.ก.2
ผ.ก.2.	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 วันที่ 14	ผ.ก.4
ผ.ก.3.	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3 วันที่ 21	ผ.ก.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.4.	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 4 วันที่ 28	ผก.8
ผ.ก.5.	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 5 วันที่ 35	ผก.10
ผ.ก.6.	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 6 วันที่ 42	ผก.12
ผ.ก.7	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 7 วันที่ 49	ผก.14
ผ.ก.8	บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 8 วันที่ 56	ผก.16
ผ.ก.9	ตาราง คำนวณสนิม วันที่ 7	ผก.18
ผ.ก.10	ตารางคำนวณสนิม วันที่ 14	ผก.18
ผ.ก.11	ตารางคำนวณสนิม วันที่ 21	ผก.19
ผ.ก.12	ตารางคำนวณสนิม วันที่ 28	ผก.19
ผ.ก.13	ตารางคำนวณสนิม วันที่ 35	ผก.20
ผ.ก.14	ตารางคำนวณสนิม วันที่ 42	ผก.20
ผ.ก.15	ตารางคำนวณสนิม วันที่ 49	ผก.21
ผ.ก.16	ตารางคำนวณสนิม วันที่ 56	ผก.21
ผ.ก.17	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ เวลา ที่มีค่า Half-cell เท่ากับ -400 mV	ผก.22
ผ.ก.18	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm.	ผก.22
ผ.ก.19	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.	ผก.23
ผ.ก.20	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.	ผก.23

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	กระบวนการซึมของน้ำเข้าไปในช่องว่างระหว่าง ฐานราก และ ตอม่อ	14
2.2	ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบพลังงานศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์	27
3.1	ตัวอย่างทดลองที่ออกแบบ	30
3.2	ตัวอย่างทดลองที่ 1 และ 2	31
3.3	ตัวอย่างทดลองที่ 3 และ 4	31
3.4	ตัวอย่างทดลองที่ 5	32
3.5	ตัวอย่างการทดสอบ Void	32
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระดับบนเสา ณ วันที่ 7	40
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และจำนวนวันที่ระดับ 75 cm. จากโคนเสา	43
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และจำนวนวันที่ระดับ 50 cm. จากโคนเสา	44
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และจำนวนวันที่ระดับ 25 cm. จากโคนเสา	44
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจาก โคนเสากับจำนวนวันที่ตัวอย่างแช่น้ำ	48
4.6	แสดง Potential Map ของวันที่ 7	48
4.7	แสดง Potential Map ของวันที่ 56	49
4.8	แสดงตัวอย่างทดลองที่ 5	50
4.9	แสดงคราบสีที่ซึมเข้าไปในรอยต่อระหว่างเสาและฐานราก	51
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ เวลา ที่มีค่า Half-cell เท่ากับ -400 mV	59
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm.	59
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.	60

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.	60
ผ.ข. 1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 7	ผข.2
ผ.ข. 2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 14	ผข.2
ผ.ข. 3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 21	ผข.3
ผ.ข. 4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 28	ผข.3
ผ.ข. 5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 35	ผข.4
ผ.ข. 6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 42	ผข.4
ผ.ข. 7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 49	ผข.5
ผ.ข. 8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 56	ผข.5
ผ.ข. 9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 7	ผข.6
ผ.ข.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 14	ผข.6
ผ.ข. 11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 21	ผข.7
ผ.ข. 12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 28	ผข.7

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ข. 13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 35	ผข.8
ผ.ข. 14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 42	ผข.8
ผ.ข. 15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 49	ผข.9
ผ.ข. 16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. ณ วันที่ 56	ผข.9
ผ.ข. 17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 7	ผข.10
ผ.ข. 18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 14	ผข.10
ผ.ข. 19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 21	ผข.11
ผ.ข. 20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 28	ผข.11
ผ.ข. 21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 35	ผข.12
ผ.ข. 22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 42	ผข.12
ผ.ข. 23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 49	ผข.13
ผ.ข. 24	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. ณ วันที่ 56	ผข.13
ผ.ข. 25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 7	ผข.14

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ข. 26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 14	ผข.14
ผ.ข. 27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 21	ผข.15
ผ.ข. 28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 28	ผข.15
ผ.ข. 29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 35	ผข.16
ผ.ข. 30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 42	ผข.16
ผ.ข. 31	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 49	ผข.17
ผ.ข. 32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. ณ วันที่ 56	ผข.17
ผ.ข. 33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ เวลา ที่มีค่า Half-cell เท่ากับ $-400$ mV	ผข.18
ผ.ข. 34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm.	ผข.18
ผ.ข. 35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.	ผข.19
ผ.ข. 36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.	ผข.19
ผ.ค.1	แสดง Potential Map ที่ ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 7	ผค.2
ผ.ค.2	แสดง Potential Map ที่ ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 14	ผค.2
ผ.ค.3	แสดง Potential Map ที่ ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 21	ผค.3
ผ.ค.4	แสดง Potential Map ที่ ระยะ Covering 7 cm. ณ วันที่ 28	ผค.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ณ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ค.5	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 35	ผค.4
ผ.ค.6	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 42	ผค.4
ผ.ค.7	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 49	ผค.5
ผ.ค.8	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 56	ผค.5
ผ.ค.9	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 7	ผค.6
ผ.ค.10	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm.ณ วันที่ 14	ผค.6
ผ.ค.11	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm.ณ วันที่ 21	ผค.7
ผ.ค.12	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 28	ผค.7
ผ.ค.13	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 35	ผค.8
ผ.ค.14	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 42	ผค.8
ผ.ค.15	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 49	ผค.9
ผ.ค.16	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 56	ผค.9
ผ.ค.17	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 7	ผค.10
ผ.ค.18	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 14	ผค.10
ผ.ค.19	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 21	ผค.11
ผ.ค.20	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 28	ผค.11
ผ.ค.21	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 35	ผค.12
ผ.ค.22	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 42	ผค.12
ผ.ค.23	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 49	ผค.13
ผ.ค.24	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 56	ผค.13
ผ.ค.25	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 7	ผค.14
ผ.ค.26	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 14	ผค.14
ผ.ค.27	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 21	ผค.15
ผ.ค.28	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 28	ผค.15
ผ.ค.29	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 35	ผค.16
ผ.ค.30	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 42	ผค.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ค.31	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 49	ผค.17
ผ.ค.32	แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 56	ผค.17
ผ.ค.33	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 7	ผค.18
ผ.ค.34	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 14	ผค.19
ผ.ค.35	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 21	ผค.20
ผ.ค.36	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 28	ผค.21
ผ.ค.37	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 35	ผค.22
ผ.ค.38	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 42	ผค.23
ผ.ค.39	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 49	ผค.24
ผ.ค.40	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm. ณ วันที่ 56	ผค.25
ผ.ค.41	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 7	ผค.26
ผ.ค.42	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 14	ผค.27
ผ.ค.43	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 21	ผค.28
ผ.ค.44	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 28	ผค.29
ผ.ค.45	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 35	ผค.30
ผ.ค.46	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 42	ผค.31
ผ.ค.47	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 49	ผค.32
ผ.ค.48	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm. ณ วันที่ 56	ผค.33
ผ.ค.49	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 7	ผค.34
ผ.ค.50	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 14	ผค.35
ผ.ค.51	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 21	ผค.36
ผ.ค.52	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 28	ผค.37
ผ.ค.53	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 35	ผค.38
ผ.ค.54	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 42	ผค.39
ผ.ค.55	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 49	ผค.40
ผ.ค.56	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm. ณ วันที่ 56	ผค.41

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ค.57	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 7	ผค.42
ผ.ค.58	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 14	ผค.43
ผ.ค.59	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 21	ผค.44
ผ.ค.60	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 28	ผค.45
ผ.ค.61	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 35	ผค.46
ผ.ค.62	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 42	ผค.47
ผ.ค.63	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 49	ผค.48
ผ.ค.64	แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm. ณ วันที่ 56	ผค.49
ผ.ค.65	สาร คอปเปอร์ซัลเฟต ที่ใช้ในเครื่องมือ Half-Cell Potential Instrument	ผค.50
ผ.ค. 66	เครื่อง Half-Cell Potential Instrument	ผค.50
ผ.ค.67	เครื่องมือตรวจสอบนิมในเหล็กเสริมคอนกรีตแบบไม่ทำลาย	ผค.51
ผ.ค.68	การเทคอนกรีตฐานราก	ผค.52
ผ.ค.69	การเทคอนกรีตฐานรากชั้นที่สอง	ผค.52
ผ.ค.70	การเข้าแบบเสา	ผค.53
ผ.ค.71	หลังจากถอดแบบเสา	ผค.54
ผ.ค.72	เข้าแบบเสาก่อนเท	ผค.55
ผ.ค.73	ก๊อบบอล์ค้ำแผงกั้นน้ำ	ผค.55
ผ.ค.74	หลังจากก่อสร้างตัวอย่างทดลองทั้งห้าแล้วเสร็จ	ผค.56
ผ.ค.75	แสดงตัวอย่างทดลองแต่ละชิ้น	ผค.56
ผ.ค.76	การตีตาราง16ช่องสำหรับตรวจค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่14วัน	ผค.57
ผ.ค.77	ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่อง Schmidt Hammer	ผค.57
ผ.ค.78	ตัวอย่างที่1 ระยะ Covering 3 และ 4 cm. ใส่สารละลาย NaCl	ผค.58
ผ.ค.79	ตัวอย่างที่2 ระยะ Covering 7 และ 5 cm. ใส่สารละลาย NaCl	ผค.59
ผ.ค.80	ตัวอย่างที่ 3 ระยะ Covering 5 cm. ใส่สีผสมอาหาร	ผค.60
ผ.ค.81	ตัวอย่างที่ 4 ระยะ 5 cm. ใส่สีผสมอาหาร โดยหล่อเสาและฐานรากพร้อมกัน	ผค.61
ผ.ค.82	ตัวอย่างที่ 5 ระยะ Covering 5 cm. ใส่น้ำประปา ทดสอบ void	ผค.62

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ค.83	ขณะทำลายตัวอย่างทดลอง	ผค.63
ผ.ค.84	หลังจากทุบทำลายตัวอย่างทดลองที่ 3	ผค.63
ผ.ค.85	แสดงแนวขอบเสาเข็ม(สีน้ำเงิน)และคราบสีผสมอาหาร(สีแดง)บนฐานราก	ผค.64
ผ.ค.86	แสดงการวัดระยะของสีผสมอาหารที่ซึมในรอยต่อด้วย Vernia caliper	ผค.64
ผ.ค.87	แสดงถึงสีผสมอาหารที่ซึมเข้าไปเกินแนวขอบเสา	ผค.65
ผ.ค.88	แสดง ตัวอย่างทดลองที่ 4 เมื่อทุบทำลาย	ผค.65
ผ.ค.89	แสดงตัวอย่างทดลองที่ 4 ที่หล่อเป็นชั้นเดียวไม่พบคราบสีแดง	ผค.66
ผ.ค.90	แสดงการซึมของน้ำสีผ่านเข้าสู่ช่องว่างในเนื้อคอนกรีต	ผค.66
ผ.ค. 91	แสดงการกำหนดจุดเพื่อทำการวัดด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument	ผค.67
ผ.ค. 92	แสดงการตรวจวัดการเกิดสนิมด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument	ผค.67
ผ.ค. 93	แสดงการตรวจวัดการเกิดสนิมด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument	ผค.68
ผ.ค. 93	แสดงการตรวจวัดการเกิดสนิมด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument	ผค.68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารโดยทั่วไป มักจะนิยมก่อสร้างฐานรากและเสาตอม่อ โดยหล่อคอนกรีตขึ้นส่วนซึ่งจะหล่อฐานรากอาคารก่อนแล้วจึงหล่อเสาต่อซึ่งการหล่อวิธีนี้มักจะเกิดรอยต่อขึ้นระหว่างฐานรากและตัวเสาเป็นเหตุให้น้ำที่มีอยู่ใต้ดินอยู่แล้ว สามารถแทรกซึมเข้าสู่ภายในคอนกรีตผ่านระยะ Covering สู่เหล็กเสริมได้โดยง่าย ยังผลให้เกิดความเสียหายเนื่องจากคลอไรด์ที่มีเจือปนอยู่ในน้ำไปทำลายและกัดกร่อนเหล็กเสริมให้เกิดสนิมได้ ถึงแม้ว่าสาเหตุของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมจะเป็นไปได้หลากหลายสาเหตุก็ตาม เช่น ปฏิกริยาคาร์บอนเนชั่นที่เกิดกับคอนกรีตหรือความพรุนของคอนกรีตที่ทำให้สารเคมีสามารถซึมเข้าไปหุ้มเหล็กเสริมได้ แต่ทั้งนี้ผู้ศึกษาโครงการงานวิจัยนี้ได้อธิบายขอบเขตของการศึกษาว่านั่นเป็นปัจจัยที่ไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อเหล็กเสริมได้โดยตรงแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออ้อมอันเนื่องมาจากคอนกรีต เพราะฉะนั้นผู้ศึกษาจึงได้วิจัยในขอบเขตของการซึมผ่านของน้ำเข้าทางบริเวณรอยต่อระหว่างฐานรากอาคารและเสาตอม่อ

### 1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Problem Identification)

เนื่องจากการก่อสร้างอาคาร โดยทั่วไปส่วนมากแล้วมักจะพบว่าบริเวณ โคนเสาเกิดการแตกร้าวเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งมักจะพบเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ บริเวณเสาจะพบว่าเนื้อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว จนถึงเหล็กเสริมที่อยู่ภายใน และ เหล็กเสริมนั้นเกิดการเป็นสนิมโดยที่ปัญหานี้ส่งผลถึง โครงสร้างของอาคาร

ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าน่าจะเกิดจากการซึมผ่านของน้ำใต้ดินผ่านทางรอยต่อระหว่างฐานรากกับเสาตอม่อ และซึมผ่านเข้าไปจนถึงบริเวณผิวของเหล็กเสริมซึ่งระหว่างเหล็กเสริมและผิวคอนกรีตนั้นมีช่องว่างที่เล็กพอจะทำให้ น้ำที่ซึมเข้ามานั้นอาศัยแรงตึงผิวดันตัวเองขึ้นสู่ด้านบนเสาซึ่งเรียกว่า การซึมแบบ Capillary และ ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเหล็กเสริมจนเกิดเป็นสนิม และปฏิกิริยานี้ได้ดำเนินต่อไปเรื่อยๆ โดยอาศัยการซึมน้ำแบบ Capillary นี้ จนถึงตอม่อและเสา ทำให้เนื้อคอนกรีตนั้นไม่อาจจะยึดเกาะกับเหล็กเสริม และเกิดการแตกร้าวในที่สุด ส่งผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้างอาคาร ดังนั้นคณะวิจัยจึงได้สังเกตเห็นปัญหานี้และรวบรวมข้อสันนิษฐานที่เป็นไปได้มากที่สุดมาศึกษาและวิจัยเพื่อหาทางแก้ไขต่อไป

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการแตกร้าวและการเกิดสนิมในเหล็กเสริมบริเวณเสา
2. เพื่อพิสูจน์ข้อสันนิษฐานของการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ฐานรากรอยต่อระหว่างฐานรากและเสาตอม่อ
3. เพื่อศึกษากระบวนการ เปรียบเทียบและหาระยะเวลาของการซึมของน้ำเข้าสู่เหล็กเสริมเมื่อระยะ covering แตกต่างกัน
4. เพื่อศึกษากระบวนการ Capillary ในเหล็กเสริม
5. นำสาเหตุดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อหาทางแก้ปัญหาดังกล่าวต่อไป

### 1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ปัญหาของการแตกร้าวและเกิดสนิมของเหล็กเสริมบริเวณเสาของตัวอาคาร โดยจะเน้นศึกษาที่บริเวณฐานรากเป็นหลักตามข้อสันนิษฐานที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งจะศึกษาในเรื่องต่างๆดังนี้

1. สาเหตุของการที่น้ำซึมผ่าน
2. เปรียบเทียบปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ covering แตกต่างกับกับจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น
3. เปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ covering แตกต่างกับกับจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น
4. เปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็กเสริมระหว่างตัวอย่างที่หล่อคอนกรีตตามปกติกับตัวอย่างที่หล่อคอนกรีตพร้อมกันทั้งเสาและตอม่อ
5. เปรียบเทียบลักษณะการซึมผ่านแบบ Capillary เมื่อขนาดของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตมีความแตกต่างกัน

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้าเพื่อที่จะออกแบบทำการทดลอง
2. จากการศึกษาข้อมูลและนำมาทำการทดลองโดยจะทำตัวอย่างการทดลอง 5 ตัวอย่าง
3. เริ่มสร้างแบบจำลอง 3 รูปแบบจำนวน 5 ตัวอย่าง โดยที่ฐานรากทั้ง 5 มีขนาด  $80 \times 80 \times 20$  cm และเสาตอม่อมีขนาด  $20 \times 20 \times 100$  cm และมีกำแพงกั้นน้ำความหนา 5 cm สูง 40 cm ล้อมรอบเสาตอม่อ
4. โดยที่ 2 ตัวอย่างแรกเพื่อศึกษาการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเมื่อระยะ covering แตกต่างกัน คือ 3 , 4 , 5 และ 7 cm ตัวอย่างที่ 3 และ 4 เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่าง ตัวอย่างที่มีรอยต่อและตัวอย่างที่ปิดรอยต่อ ว่าการเกิดสนิมมีความแตกต่างกันอย่างไร โดยให้ตัวอย่างที่ 3 หล่อคอนกรีตเสาและตอม่อพร้อมกัน ส่วนตัวอย่างที่ 4 เป็นฐานรากที่มีรอยต่อตามปกติ และตัวอย่างที่ 5 เพื่อศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่างที่แตกต่างกัน คือ 3 , 4.5 , 6 , 9 mm.
5. นำน้ำผสมตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิม (สารจำพวกกรด) ใส่ลงในตัวอย่างที่ 1, 2 เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิมให้เร็วขึ้น และนำน้ำผสมสีใส่ในตัวอย่างที่ 3, 4 ส่วนตัวอย่างที่ 5 ใส่สีประปา
6. นำเครื่อง Half-cell potential Instrument มาตรวจสอบระยะเวลาการเกิดสนิมและระยะเวลาการเกิดสนิมทุกๆ 1 สัปดาห์ พร้อมบันทึกผลการทดลอง (เฉพาะตัวอย่าง 1, 2 )
7. ตรวจสอบระดับความสูงของน้ำสีในตัวอย่างที่ 5 ทุกๆ 1 สัปดาห์ โดยการใช้แท่งโพนที่ระบุระยะเป็นเซนติเมตรจุ่มลงในรูของตัวอย่างทดลองและวัดระดับน้ำ

8. เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำตัวอย่างที่ 3 และ 4 มาทาบทำลายเพื่อดูระดับสีของน้ำภายในช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตเนื่องจากกระบวนการ Capillary และเปรียบเทียบ

9. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ และ เปรียบเทียบกระบวนการเกิดสนิมของตัวอย่าง 1 , 2 เมื่อระยะ covering แตกต่างกัน

10. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการพร้อมทั้งหาข้อมูลเพื่อสำหรับหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

11. หาและสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาจากข้อมูล

12. ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาสาเหตุของการแตกร้าวของคอนกรีต และ การเกิดสนิมในเหล็กเสริมของเสาได้
2. สามารถหาแนวทางการแก้ปัญหการแตกร้าวของคอนกรีต และ การเกิดสนิมในเหล็กเสริมของเสาได้
3. สามารถคาดการณ์ระยะเวลาการเกิดความเสียหายของโครงสร้างดังกล่าวได้
4. สามารถเปรียบเทียบกระบวนการเกิดสนิมในเหล็กเสริมได้เมื่อระยะ Covering แตกต่างกัน

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ จะได้กล่าวถึงที่มาของแนวคิดและเอกสารอ้างอิงต่างๆที่เป็นแหล่งความรู้ของงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากการศึกษาวิจัยชิ้นนี้ได้กล่าวถึงปัญหาทาง โครงสร้างและวัสดุของอาคารที่ทำการก่อสร้างตามหลักการต่างๆไปในประเทศ และพบปัญหาที่การแตกร้าวของคอนกรีตอันเนื่องมาจากการเกิดสุมิภายในเหล็กเสริมตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมา ดังนั้น หลังการและที่มาจากจริงนำมาจากการวิเคราะห์ความข้อเท็จจริงในบทนี้

#### 2.2 หลักการหล่อแบบฐานรากและเสาตอม่อคอนกรีตโดยทั่วไป

ความชื้นเหลว (Consistency) เป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณาเมื่อนำน้ำที่สะอาดใส่ในส่วนผสมคอนกรีต ถ้าใส่น้ำมากคอนกรีตก็จะเหลวกำลังของคอนกรีตก็จะน้อย ถ้าใส่น้ำน้อยให้คอนกรีตขึ้นๆพอที่จะเทให้เต็มแบบแล้ว กำลังก็จะเกิดขึ้นมาก ฉะนั้นจึงให้ความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนปูนซีเมนต์และน้ำ เรียกว่า Water cement ratio (W/C Ratio) ควรมีอัตราส่วนที่ใช้ไม่เหลวกว่า 0.6 ในคอนกรีตอาคารขนาดปานกลางโดยที่

$$W/C \text{ Ratio} = \text{น.น. น้ำ} / \text{น.น. ปูน} \quad (2.1)$$

นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือวัดความชื้นเหลวได้ด้วยการทดสอบความยุบ (Slump Test) โดยใช้กรวยเหล็กใส่คอนกรีตใช้ที่ตอก ตอกคอกจกริตบนกรวย 25 ครั้ง แล้วยกกรวยขึ้น คอนกรีตจะยุบลงไปถ้ายุบมากก็ จะเทียบได้กับคอนกรีตเหลว ยุบน้อยคอกจกริตก็จะขึ้น สามารถกำหนดระยะเวลาการยุบได้ 5-10 ซม. , 10-15 ซม.

จะเหลวขึ้นเป็นลำดับ

การผสม(Mixing) โดยทั่วไปงานก่อสร้างไม่ใหญ่มากนักมักใช้เครื่องผสมชนิดเอียง (Tilting) จะมีขนาดใช้ปูนซีเมนต์ 1 ถุง และรวมส่วนผสมอื่นนับว่าเต็ม โม่พอที่เครื่องจะจับหมุนไปได้ ต้องเอียงทำมุมประมาณ 30 ,45 ,60 องศา ถ้าใส่ส่วนผสมมาก เอียงมากก็จะหก โม่ทำมุมเกิน 60 องศาใบผสมภายในโม่จะทำงานไม่ได้มากนัก เวลารับส่วนผสมก็ควรทำมุมขึ้นหน่อย หลังจากนั้นก็จะเอียงให้โม่ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ใช้เวลา 1-3 นาทีโม่จะหมุนประมาณ 30 รอบต่อนาที ปูนซีเมนต์ 1 ถุงมีปริมาตรประมาณ 0.038 ลบ.ม.จึงควรทำถึงตวงสูง 30 ซม. กว้างภายใน 35.5 ซม. ยาว 35.5 ซม. เพื่อใช้ตวงวัสดุเข้าไม่ตามส่วน จุดเสียของโม่อยู่ที่เฟืองตรงเพลา ใช้ไปเฟืองจะสึก ถ้าใช้สายพานเป็นยางก็จะขาดบ่อย

เมื่อใช้งานแล้วทุกครั้งจะต้องล้างโม่โดยใส่หินลงไปแล้วใส่น้ำลงไปด้วยให้โม่หมุน หินจะไปเซาะทำให้เศษปูนซีเมนต์ที่เกาะอยู่ภายใน โม่ออก ส่วนภายนอกก็ล้างเสีย ถ้าทิ้งไว้ปูนซีเมนต์จะเกาะที่ผิวเหล็กจะทำให้ชุดออกยากในภายหลัง

การเท(Placing) ก่อนเทจะต้องตรวจสอบสถานที่ว่าเรียบร้อยและแบบหล่อแข็งแรงพอ ควรเทให้คอนกรีตลงเป็นกลุ่มก้อนเทในที่ต่ำที่สุดก่อน ส่วนผสมที่น้ำไปเทต่อกันควรควนเป็นสภาพคล้ายกันจะไม่เทให้คอนกรีตไปกระทบเหล็กหรือมุงให้คอนกรีตไหลลงไปควรเทในส่วนที่ต้องการหล่อเป็นพืดต่อกันไป รู้จักวิธีกักน้ำปูนที่เหลวไม่ให้ไหลหนีแยกจากคอนกรีต

การเขย่า(Vibration) อาจหมายถึงการกระทุ้ง การอัดการกระแทก รวมถึงการเขย่าด้วย ปกติกระทุ้งด้วยเหล็กเส้น แต่ถ้าต้องการให้คอนกรีตขึ้นเทได้ก็ใช้เครื่องเขย่า (Vibrator) จะมีหัวแห่ขนาดต่างๆ วิธีนี้แบบจะต้องแข็งแรง แต่เมื่อใช้เหล็กกระทุ้งคอนกรีตจะต้องค่อยข้างเหลวจึงทำให้แน่นดีได้ การเขย่าดังกล่าวก็เพื่อที่จะให้เนื้อส่วนผสมต่างๆ ในคอนกรีตแทรกตัวกันแน่นจะไล่ฟองอากาศออกคอนกรีตก็จะอัดตัวกันเป็นคอนกรีตที่รับกำลังได้สูง

## 2.3 การเทศอนกริตเสาดม่อ

การที่จะทำคอนกริตเพื่อหล่อเสาดม่อจะต้องกำหนดอัตราส่วนผสมตามกำลังรับน้ำหนักที่ต้องการ เมื่อได้ตั้งแบบและติดตั้งเหล็กยึดแน่นไม่ให้เหล็กตะแกรงเคลื่อนที่ในเวลาเทตอกระดบข้างแบบเพื่อจะได้เทคอนกริตให้ส่วนริมฐานให้มีความหนาเสมอทุกด้านของฐาน ส่วนเหล็กเสาด้าต้องการหล่อเสาให้ยาวก็ควรใช้ไม้เคร่าหรือเหล็กเส้นยันให้เหล็กเสาที่ผูกเหล็กปลอกตั้งตรงไว้ก่อนเทและจะต้องให้เหล็กเสาคงตำแหน่งอยู่จนกว่าคอนกริตที่หล่อฐานรากแข็งตัวพอสมควรอย่างน้อย 3 วันถ้าจะต้องปรับแบบเสาต้องระมัดระวังไม่ให้เหล็กไปกดหรือดันเนื้อคอนกริตให้แตกได้ง่ายส่วนความหนาตรงโคนเสาจะต้องทำเครื่องหมายโดยนำลวดผูกเหล็กมัดกับเหล็กแกนไว้

การหล่อส่วนฐานราก คอนกริตควรผสมให้เข้ากันดี มีความชื้นเพราะเหล็กที่เสริมไม้สับสนทำให้เทให้เต็มแบบได้ง่าย น้ำปูครั้งแรกของการเทควรใส่ส่วนโดยเสาก่อนซัก 2 กระป๋องเพื่อเป็นการยึดเหล็กแกนเสาและเหล็กตะแกรงไว้จากนั้นเทคอนกริตได้จากริมด้านใดด้านหนึ่งให้เต็มเป็นด้านๆ ให้ได้ระดับของตะปูให้เนื้อปูนทรายที่ลอยอยู่บนคอนกริตสูงกว่าระดับตะปูสัก 2 มม. เมื่อผิวแห้งคอนกริตจะหดตัวลดระดับลงพอดีกับระดับ แต่ถ้าผสมคอนกริตเหลว น้ำปูนจะสะสมลอยตัวขึ้นให้ปาดน้ำส่วนเกินนี้ออกควรเทให้คอนกริตรวมตัวเป็นก้อน และค่อยๆ ขยายตัวออก โดยพิจารณาว่าหินไปรวมตัวที่ใดให้โยกหินให้กระจายตัวกัน แล้วกระทุ้งตามขอบแบบเพื่อไม่ให้เกิดโพรง เมื่อคอนกริตที่ขอบเต็มแล้วให้ให้เทส่วนกลางให้สูงเท่าระดับที่ทำเครื่องหมาย การแต่งจะกระทำอีกครั้งเมื่อทิ้งคอนกริตไว้ประมาณ 2-3 ชั่วโมงหรือก่อนหน้านั้นเมื่อเห็นว่าผิวเริ่มหมาดและแห้ง ใช้เกรียงแต่งผิว หรืออาจใช้มอลด้ามเมลาดแล้วแต่งให้ตรงตามแบบก็ได้ ข้อสำคัญคือจะต้องปาดปูนส่วยโคนเสาให้เรียบเป็นระดับเดียวกันทั้ง 4 ด้าน เพื่อจะได้ตั้งแบบหล่อเสาได้ แล้วจึงหล่อเสาได้ใน 1-2 วัน

การตั้งแบบไม้หล่อเสา ก่อนอื่นจะต้องตรวจดูตำแหน่งของเหล็กแกนเสาว่าอยู่ถูกต้องหรือไม่โดยจึงเชือกหลังฝ้งเพื่อหาศูนย์กลางของเสา และขีดเส้นตัดกันของศูนย์กลางโดยทิ้งดิ่งให้เลยออกมานอกแนวเสา จากนั้นก็วัดขนาดเสาออกไปจากศูนย์กลางเสาทั้งสองด้านแล้วขีดเส้นรอบทั้งสี่เส้นให้วังเลยออกไป

อย่างชัดเจนด้านละ 2 นิ้วเพื่ออาศัยแนวนี้เป็นตำแหน่งของแบบถ้าพบว่าเหล็กไม่อยู่ในกรอบเสาหรืออยู่ตามมุมเกินกว่า 2.5 ซม. ก็ต้องใช้ประแจตัดให้เหล็กได้ตำแหน่งแต่ก็ต้องให้คอนกรีตโคนเสากระทบกระเทือนน้อยที่สุดเมื่อเหล็กแกนได้ตำแหน่งปรับเหล็กปลอกให้ได้ระยะแล้ว นำลูกปูนที่มีความหนาตามระยะ Covering มาผูกข้างเหล็กปลอกและให้อยู่คนละด้านของเสาตลอดระยะความยาวเสา การประกอบไม้แบบที่ใช้ไม้แผ่น 1x6 นิ้ว หรือ 1x8 นิ้ว ตีประกบกันถ้าต้องการจะเปลาะให้เป็นแผ่นกึ่งไม้ไคร้ 1.5 x 3 นิ้ว ประทับไว้ได้ ประกอบไม้แบบโดยตอกตะปูขนาด 2.5 นิ้ว แล้วโพล์หัวไว้ และย้ำโอบทับหัวตะปูเพื่อถอนตะปูได้ ตอกตะปูห่างกันประมาณ 20 ซม. ตลอดแนว ข้อสังเกตจะต้องให้ปลายไม้ที่นำมาประกอบในส่วนหัวเสมอกัน เพื่อจะได้วางบนฐานรากได้กระชับไม่มีรูโพรง

#### 2.4 การกักร่อนเนื่องจากสารเคมี

ในสภาพทั่วไป สารเคมีที่เป็นผงหรือแข็งทำอันตรายต่อคอนกรีตได้น้อยมาก ส่วนใหญ่แล้วการกักร่อนที่เกิดจากสารเคมีมักอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นของเหลว และสารละลายต้องมีความเข้มข้นสูงพอที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีต ความดันช่วยเร่งการกักร่อนของสารเคมีต่อคอนกรีตให้เร็วมากยิ่งขึ้นโดยทำให้สารละลายซึมเข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้ง่ายและเร็ว สารเคมีเหล่านี้มีผลต่อการกักร่อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิ การบ่มคอนกรีต อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เป็นต้น องค์ประกอบซึ่งมีผลในการเร่งการกักร่อน ได้แก่ อุณหภูมิสูงการเพิ่มความเร็วยของสารเคมีที่กระทบต่อคอนกรีต คอนกรีตไม่ได้ทำให้แน่นอนอย่างที่ บ่มคอนกรีตไม่ดี เกิดสภาวะการแข็งตัวและละลายของน้ำสลับกัน เกิดการกักร่อนเหล็กเสริมในคอนกรีต เป็นต้น ส่วนองค์ประกอบที่มีผลในการลดการกักร่อน ได้แก่ คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ใช้ชนิดของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน มีการบ่มอย่างเพียงพอ คอนกรีตมีค่าการดูดซึมน้ำและการซึมผ่านน้ำต่ำ เป็นต้น

#### 2.4.1 การกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์

การกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์แตกต่างจากการกัดกร่อนทางเคมีอื่นตรงที่ คลอไรด์ทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมและคอนกรีตบริเวณรอบๆเหล็กเสริมเท่านั้นที่เสียหายเนื่องจากการขยายตัวของเหล็กเสริมและเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ลายของค้ำอาคารคอนกรีตเหล็กเสริม เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดฟิล์มบางๆของ $Fe_2O_3$ เคลือบผิวเหล็กไว้ และฟิล์มนี้ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดสนิมเหล็ก อย่างไรก็ตามออรอนของคลอไรด์สามารถทำลายฟิล์มนี้ได้ และเมื่อมีน้ำและก๊าซออกซิเจนตรงบริเวณเหล็กเสริมที่ไม่มีฟิล์มป้องกันอยู่เหล็กจะเป็นสนิม

การเกิดสนิมในเหล็กเกิดจากความต่างศักย์ทางไฟฟ้าของเหล็กเสริมในคอนกรีตซึ่งทำให้เกิดเซลล์ไฟฟ้าเคมีขึ้น มีขั้วบวก(anode) และขั้วลบ(cathode) เชื่อมกันโดยน้ำซึ่งมีคลอไรด์ในโพรงของซีเมนต์ทำหน้าที่เป็นสื่ออิเล็กโทรไลต์(electrolyte) ประจุไฟฟ้า $Fe^{++}$ ที่มีขั้วบวกจะวิ่งไปสู่ขั้วอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กตรอนที่มีประจุไฟฟ้าลบวิ่งตามเหล็กเสริมไปที่ขั้วบวก อิเล็กตรอนเหล่านี้จะรวมกับน้ำและออกซิเจนทำให้เกิด $(OH)^-$  ซึ่งวิ่งผ่านสื่ออิเล็กโทรไลต์ไปรวมกับ $Fe^{++}$ ทำให้เกิด $Fe(OH)_3$ และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอีกทำให้เกิดสนิมของเหล็ก

ความต่างศักย์เกิดจากการที่คอนกรีตมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น จากความแตกต่างของความชื้น ความแตกต่างของความเข้มข้นของเกลือของน้ำในโพรงความแตกต่างของสภาพแวดล้อม และความแตกต่างของความหนาของคอนกรีตหุ้ม เป็นต้น เซลล์ไฟฟ้าในลักษณะนี้ของคอนกรีตเซลล์หนึ่งอาจยาว 10 มม.จนถึง 6 ม.

คอนกรีตอาจมีคลอไรด์เนื่องจากการใช้ส่วนผสมของวัสดุที่มีคลอไรด์ เช่น ใช้น้ำ ทราฮิน ปูนซีเมนต์ หรือสารเคมีผสมเพิ่มที่มีคลอไรด์ปนอยู่ ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบว่ามีปริมาณคลอไรด์อยู่ในปริมาณที่ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อคอนกรีต ว.ส.ท.[14,21] ได้กำหนดปริมาณคลอไรด์อิสระที่ละลายน้ำได้ในคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิมต้องมีค่าไม่เกินพิคัดตามตารางที่ 2.1 โดยคลอไรด์อิสระในคอนกรีตอัดแรงจะกำหนดไว้ค่อนข้างต่ำคือไม่เกินร้อยละ 0.06 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสูงสุดของคลอไรด์ไอออนเพื่อป้องกันการเกิดสนิม

ชนิดขององค์อาคาร	ปริมาณสูงสุดของคลอไรด์ไอออน (Cl) ที่ละลาย น้ำได้ในคอนกรีต ( ร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ )
คอนกรีตอัดแรง	0.06
คอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับครอไรด์ในขณะใช้ งาน	0.15
คอนกรีตเสริมเหล็กในสถานะแห้งหรือที่มีการ ป้องกันความชื้นในขณะใช้งาน	1.00
งานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ	0.30

2.4.2 วิธีการวัดคลอไรด์และความต้านทานคลอไรด์

การทดสอบปริมาณคลอไรด์ที่ซึมเข้าไปในคอนกรีตในระยะความลึกต่างๆนิยมใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี โดยต้องเจาะหรือเอาคอนกรีตบริเวณที่ต้องการหาปริมาณคลอไรด์ไปบดให้ละเอียดและวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่มีอยู่ซึ่งการทดสอบกระทำตามมาตรฐาน ASTM C1152[22]

การทดสอบความต้านทานต่อการแทรกซึมของคลอไรด์สามารถทำได้โดยวิธีการทดสอบตาม ASTM C1202[23] ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ประจุไฟฟ้าที่วิ่งผ่านชั้นคอนกรีตระหว่างสารละลายโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ความต่างศักย์ 60 โวลต์ ปริมาณประจุไฟฟ้าวัดเป็นคูลอมป์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการแทรกซึมของคลอไรด์ วิธีนี้สามารถบอกผลได้อย่างรวดเร็วว่าคอนกรีตสามารถต้านทานต่อการแทรกซึมได้มากน้อยเพียงใด

#### 2.4.3 หลักการเลือกคอนกรีตที่อาจมีปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์

การเลือกคอนกรีตที่มีปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์ จะคล้ายกับหลักการเลือกคอนกรีตในกรณีที่สร้างบริเวณทะเล การกำหนดปริมาณของคลอไรด์ไอออนตามตารางที่ 14.4 สามารถช่วยลดปัญหาคลอไรด์ได้ การใช้เถ้าถ่านหินหรือตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด หรือซิลิกาฟูมในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยลดการแทรกซึมของคลอไรด์ที่เข้าสู่คอนกรีต ตัวอย่าง เช่น การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 30 และ 50 ในเพสต์ พบว่าเพสต์ที่แทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 สามารถเก็บกักคลอไรด์ได้ดีกว่าซีเมนต์เพสต์ธรรมดา แต่การแทนที่ร้อยละ 50 ให้ผลตรงกันข้าม วัสดุปอซโซลานจำนวนมากยิ่งขึ้นในคอนกรีตที่ใช้งานในที่ที่มีอากาศร้อนการใช้ระยะหุ้มคอนกรีตที่หนาขึ้นกว่าปกติทำให้คลอไรด์ไอออนต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการแทรกซึมจนถึงผิวเหล็ก ข้อเสนอแนะในการเลือกใช้ความหนาของระยะหุ้มคอนกรีตสามารถดูได้จาก ว.ส.ท.[21] การใช้คอนกรีตที่มีความชื้นผ่านน้ำต่ำทำได้โดยกำหนด W/C ที่ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งอาจต้องใช้สารลดน้ำเข้าช่วย แต่ถ้าคอนกรีตเสริมเหล็กสัมผัสกับน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลหรือละอองของน้ำดังกล่าว W/C ควรไม่เกิน 0.40

การใช้สารบางชนิดเพื่อป้องกันการกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์โดยเฉพาะ เช่น พวกโซเดียมไนไตร (sodium nitrite) หรือแคลเซียมไนไตร (calcium nitrite) ใช้ได้ผลดีในการทดลองในห้องปฏิบัติการแต่อาจมีปัญหาของปฏิกิริยาอัลคาไลกับมวลรวม การใช้ลาเทกซ์โมดิฟายด์คอนกรีตร่วมกับเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะร้อยละ 10 พบว่าให้ผลดีทั้งการรับแรงอัดและกำลังดัด นอกจากนี้การแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10-30 มีส่วนช่วยลดค่าการซึมผ่านคลอไรด์จากระดับปานกลางและระดับต่ำจนถึงระดับต่ำและต่ำมาก การใช้เถ้าถ่านหินจากแม่เมาะและระยะของที่มีแคลเซียมออกไซด์สูงและต่ำ (ร้อยละ 15.2 และ 1.6 ตามลำดับ) แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่าเพิ่มความสามารถในการจับยึดคลอไรด์อิสระในคอนกรีตได้ดีจนกระทั่งอัตราส่วนของ  $\text{SiO}_2$  ต่อ  $\text{CaO}$  ในวัสดุประสานสูงกว่า 0.8 เมื่อการแทนที่เถ้าถ่านหินที่สูงกว่านี้จนทำให้อัตราส่วนของ  $\text{SiO}_3$  ต่อ  $\text{CaO}$  สูงกว่า 0.8 พบว่าความสามารถในการจับยึดคลอไรด์อิสระของคอนกรีตต่ำลง การใช้ฮีพอกซีเคลือบผิวของเหล็กเสริมสามารถช่วยป้องกันการเกิดสนิมได้ดีเพราะฮีพอกซีจะหุ้มเหล็กเสริมให้ปลอดภัยจากการทำลายของคลอไรด์ แต่ราคาของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ฮีพอกซีหุ้มเหล็กเสริมจะแพงขึ้นมาก

#### 2.4.4 การเกิดสนิมในสภาพแวดล้อมคลอไรด์สูง

สารคลอไรด์ (Chloride) พบมากบริเวณที่อยู่ใกล้ในน้ำเค็มหรือน้ำทะเล กระบวนการเกิดสนิมโดยมีคลอไรด์เข้าไปเกี่ยวข้องสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ช่วงดังนี้

-ช่วงที่ 1 การแตกร้าวเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างประจุคลอไรด์และแคลเซียมอลูมินेट โดยช่วงนี้เมื่อคอนกรีตสัมผัสกับน้ำทะเลครั้งแรก ประจุคลอไรด์ (Chloride Ion) จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไตรแคลเซียมอลูมินेट ( $C_3A$ ) เกิดเป็น  $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_2O$  และ  $Ca(OH)_2 \cdot CaCl_2 \cdot H_2O$  ซึ่งเป็นสารประกอบเกลือที่มีปริมาตรสูง ทำให้เกิดแรงดันภายในและนำไปสู่การปริร้าวที่ผิว การปริร้าวที่ผิวนี้อาจเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้ประจุคลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้ลึกยิ่งขึ้น

-ช่วงที่ 2 ช่วงการเกิดสนิมหลังจากที่เกิดการแตกร้าวเล็กๆที่ผิวแล้ว ประจุคลอไรด์จะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีต ทำให้เนื้อคอนกรีตมีสภาพเป็นกรด ( มีค่า pH ลดต่ำลง ) ซึ่งผลกระทบโดยตรงคือทำให้ฟิล์มป้องกันถูกทำลายลงและพื้นที่ของเหล็กในบริเวณนั้นกลายสภาพเป็นขั้วให้ประจุ ( Anode ) นอกจากนี้รอยร้าวที่เกิดขึ้นยังเปิดโอกาสให้ออกซิเจนและน้ำเข้ามา ทำให้กระบวนการเกิดสนิมโดยไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้นได้สมบูรณ์

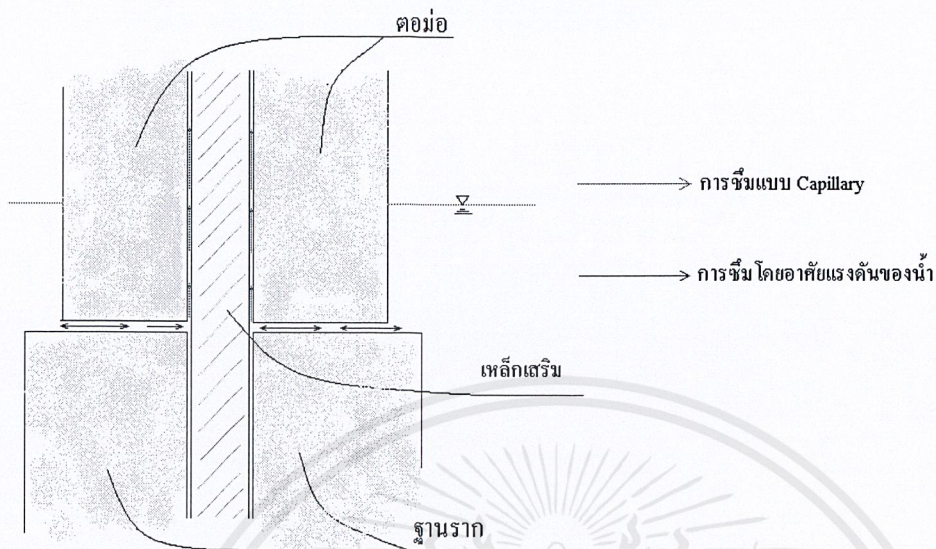
นอกจากนี้ประจุคลอไรด์ที่แทรกซึมเข้ามาก็ยังอาจทำให้เกิดสนิมได้โดยตรงด้วยการกระทำปฏิกิริยากับประจุเหล็กเกิดเป็น  $FeCl^+$  แล้วทำให้ปฏิกิริยากับประจุไฮดรอกซิลเกิดเป็นสนิมพรุน (Porous Rust,  $Fe(OH)_2$ ) และให้ประจุคลอไรด์ออกมาใหม่อีกครั้ง โดยกระบวนการนี้ก็จะวนรอบเป็นวัฏจักรเพราะผลผลิตที่ได้จะประกอบไปด้วยประจุคลอไรด์ในทุกๆครั้ง

## 2.5 หลัการ Capillary

ความตึงผิว(Surface Tension) และ Capillaryแรงตึงผิว คือ แรงที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของไหลที่สัมผัสกับพื้นผิวอื่นๆ โดยมีพลังงานเพียงพอต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล สำหรับของเหลวหน่วยแรงตึงผิว  $\sigma$  หมายถึง แรงในผิวของของเหลวต่อหนึ่งหน่วยความยาว( $\sigma = F/L$ )

ภายใต้ผิวของของเหลว จะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เท่ากันทุกทิศทุกทาง แต่บริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับของแข็งหรือของไหลอื่นๆ โมเลกุลของของเหลวจะได้รับแรงภายในซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวด้วยกันไม่เท่ากับแรงภายนอกซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของแข็ง (Adhesive force) ขึ้นอยู่กับสภาพของผิวที่สัมผัส ถ้า Adhesive force มากกว่าแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของของเหลวด้วยกัน (Cohesive force) ของเหลวก็จะกระจายตัวออกและทำให้ผิวสัมผัสที่เปียก แต่หาก Cohesive force มากกว่าของเหลวจะดูดติดกันแน่นเป็นหยดน้ำเล็กๆและจะไม่ทำให้ผิวที่สัมผัสเปียก จะเห็นได้ว่ามุมที่ผิวของของเหลวกระทำกับผิวสัมผัสจะเป็นมุมป้านเช่นเดียวกัน หากเรานำหลอดแก้วเล็กๆจุ่มลงไปใต้น้ำกับจุ่มลงไปในปรอทผิวน้ำบริเวณที่สัมผัสกับหลอดแก้วจะโค้งขึ้น มีมุมสัมผัสเป็นมุมแหลม เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำมีค่าน้อยกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับแก้ว ส่วนปรอทบริเวณที่สัมผัสกับหลอดแก้วจะโค้งลง มีมุมสัมผัสเป็นมุมป้าน เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของปรอทมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของปรอทกับแก้ว และที่ผิวสัมผัสนี้ปรอทจะไม่ทำให้แก้วเปียก แรงตึงผิวที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัส ระหว่างหลอดแก้วกับน้ำหรือปรอทจะเท่ากับ  $\sigma \cdot \pi \cdot D$

ความสูงของน้ำภายในหลอดแก้วที่เพิ่มขึ้น (Capillary rise) หรือความสูงของปรอทที่ลดลง (Capillary depression) คือสภาพที่สมดุลโดยมี Adhesive force ระหว่างของเหลวกับหลอดแก้วเท่ากับน้ำหนักของแท่งของเหลวที่อยู่เหนือหรือต่ำกว่าระดับของเหลวภายนอกหลอดเมื่อไม่คิดปริมาตรเล็กๆ ของของเหลวบริเวณที่อยู่เหนือหรืออยู่ใต้โค้ง



รูปที่ 2.1 กระบวนการซึมของน้ำเข้าไปในช่องว่างระหว่าง ฐานราก และ ตอม่อ

## 2.6 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีของ ACI

การคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปซึ่งหล่อในที่อาจดำเนินการเป็นขั้น ๆ ตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI 211.1-74) ดังต่อไปนี้ ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอน ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและถูกต้อง ตามวิธีการนี้จะต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะหน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึม เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีส่วนขนาดละเอียดอยู่ในพิสัยที่กำหนดด้วย

### 2.6.1. เลือกค่าความยวบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าความยวบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าความชื้นเหลวพอทำงานได้สะดวก ในกรณีที่มีได้กำหนดค่าความยวบตัวมาให้ หรือไม่มีข้อมูลในอดีตให้เลือกใช้จากตารางที่ 2.2 ซึ่งให้

ค่าความยวบยัวที่เหมاسبกับประเภทองงาน

### 2.6.2. เลือคนาดโตุคองห็น

คนาดโตุคองห็น ไม้ควรงเกินคว่า 0.2 ของส่วนแคบที่ตุคององแบบ หรือ 0.33 ของควอนหนนของแผ่นพื้น หรือ 0.75 ของระยะห่างระหว่างเหล้กเสรม

คนาดโตุคองห็นที่เหมاسبกับงานก่อสร่างประเภทต่างๆ

### 2.6.3. ประมาณปรณมน้ำที่ผสมและปรณมฟองอากศที่เกตุค่น

ตารางที่ 2.4 ให้ปรณมน้ำที่ตองการ ในหน่งหน่วยปรณมตรของคอนกรตุเพื่อให้ได้ ค่ำการยวบยัวตามที่กำหนด ซ่งค่นอยู่กบคนาดโตุคองห็น รูปร่างและส่วนคนาดคละของวตุผสม ใน ตารางด่งกล่วยงให้ปรณมฟองอากศที่ค่นในส่วผสมสำหรับคอนกรตุที่มีและไม้มีสารที่เกตุการ กระจายกัฟองอากศ

### 2.6.4. เลืออัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมاسب ค่นอยู่กบสภณของคอนกรตุที่จะ นำไปใช้งาน และกบค่ำล่งอตุเจลล่ยของคอนกรตุที่ตองการ ในกรณที่ไม้มีข้อมูลเกตุยวกับความส่มพันธ์ ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กบค่ำล่งอตุเจลล่ยของคอนกรตุสำหรับวตุผสมที่จะใช้ผสมคอนกรตุ ก็ให้ เลือคใช้ค่ำอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากตารางที่ 2.5 และ 2.6 ตารางที่ 2.5 ให้ค่ำอัตราส่วนของน้ำต่อ ซีเมนต์โดยน้าหนักที่มากที่ตุคสุดสำหรับประเภทงาน และสภณวะแวดลุ่มต่างๆ ส่วนตารางที่ 2.6 ให้ค่ำ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ โคนน้าหนักที่มากที่ตุคสุดสำหรับค่ำเจลล่ยของค่ำล่งอตุเจลล่ยคอนกรตุที่ตองการ และให้เลือคใช้ค่ำอัตราส่วนด่งกล่วที่ต่ำที่ตุคสุดซ่งหาได้จากสองตารางนี้

### 2.6.5. กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต ย่อมหาได้ ซึ่งเท่ากับ ปริมาณน้ำจากขั้นตอนที่ 3 หารด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จากขั้นตอนที่ 4 อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตมาให้ ก็ให้เลือกใช้ค่าที่มากที่สุดจากที่คำนวณได้หรือที่กำหนดให้

### 2.6.6. กำหนดปริมาณวัสดุผสมหยาบ

ตารางที่ 2.7 แสดงปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นในส่วนผสม (Bulk Volume of Dry-rodded Coarse Aggregate) ต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและขนาดโตสุดของหินที่ใช้ ปริมาณของวัสดุผสมหยาบเมื่อคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบ (dry-rodded bulk density)

### 2.6. 7. กำหนดปริมาณวัสดุผสมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ของส่วนผสมจนถึงขั้นตอนที่ 6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะหาได้ 2 แบบ ดังนี้

ก) ประมวลจากหน่วยน้ำหนักคอนกรีตสด (weight method)

น้ำหนักทราย = น้ำหนักของคอนกรีตสด - น้ำหนักของส่วนผสมต่างๆ(ยกเว้นน้ำหนักทราย)

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด (plastic density) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$U = 10Ga(100-A) + C(1-Ga/Gc) - W(Ga-1) \quad (2.2)$$

U = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด , กก. / ลบ.เมตร

Ga = ความถ่วงจำเพาะของหินและทรายรวมกันที่ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

Gc = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (ปกติใช้ 3.15)

A = ปริมาณฟองอากาศ , เปอร์เซนต์

W = ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม , กก. / ลบ.เมตร

C = ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผสม , กก. / ลบ.เมตร

หน่วยน้ำหนักโดยประมาณของคอนกรีตสดที่มีและไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ ตามขนาดโตสุดของหิน หาได้จากตารางที่ 2.8 ซึ่งคำนวณได้จากสมการข้างต้นโดยใช้ ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 330 กก. / ลบ.เมตร ความถ่วงจำเพาะของหินและทรายเท่ากับ 2.7 ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมหาได้จากตารางที่ 2.3 เมื่อใช้ค่าความยุบตัวเท่ากับ 8 ถึง 10 ซม. ในกรณีที่มีข้อมูลซึ่งแตกต่างออกไป อาจปรับแก้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดที่ให้ไว้ในตารางที่ 2.8 ได้ดังนี้ เมื่อปริมาณน้ำแตกต่างไป 5 กก.(จากตารางที่ 2.3 เมื่อความยุบตัว 8-10 ซม.) ให้ปรับหน่วยน้ำหนัก 8 กก. ในทางตรงกันข้าม เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์แตกต่างไปทุกๆ 20 กก.(จาก 330 กก.) ให้ปรับน้ำหนักอีก 3 กก. ในทางเดียวกัน เมื่อความถ่วงจำเพาะของหินและทราย แตกต่างไปทุกๆ 0.1 (จาก 2.7) ให้ปรับน้ำหนักอีก 70 กก. ในทางเดียวกัน

ข) ประมาณจากปริมาณเนื้อแท้ของวัสดุ (Absolute Volume Method)

ปริมาณเนื้อแท้ของวัสดุ (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) คำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ (G) และน้ำหนักของวัสดุ(W) และหน่วยน้ำหนักของน้ำ (w)คือ

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้} = W/(G \times w)$$

ปริมาตรเนื้อแท้ของทราย = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมต่างๆ(ยกเว้นทราย)

## 2.6.8. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

เมื่อวัสดุผสมที่จะนำมาใช้งานมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิมตัวและผิวแห้งจะต้องปรับแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ติดมาและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน แต่ในกรณีที่วัสดุผสมมีความชื้นต่ำกว่าสภาวะอิมตัวและผิวแห้ง จะต้องปรับแก้ส่วนผสมในทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวข้างต้น

## 2.6.9. การปรับส่วนผสมด้วยการทดลองผสม

ส่วนผสมของคอนกรีตที่คำนวณได้ เป็นเกณฑ์โดยประมาณทั้งสิ้น ซึ่งจะต้องตรวจสอบดูด้วย ถึงผลที่ได้ทั้งในด้านกำลังของคอนกรีตและความยากง่ายในการทำงาน โดยการทดลองผสมจริง จากนั้นตรวจสอบดูหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาณที่ใช้และปริมาณฟองอากาศ และจึงปรับส่วนผสมต่างๆ ให้เหมาะสมอีกครั้งหนึ่ง

หากต้องการให้คอนกรีตมีค่าความยุบตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 ซม. จะต้องเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในส่วนผสม 2 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.เมตร ซึ่งจะไม่มีผลให้กำลังของคอนกรีตน้อยลงหรือมากขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังคงเดิม จะต้องปรับปรุงปริมาณปูนซีเมนต์หรือหินและทรายร่วมไปด้วย

ตารางที่ 2.2 ค่าความยวบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยวบตัว(ซม.)	
	ค่าสูงสุด*	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	8.0	2.0

\*อาจเพิ่มได้อีก 2 ซม. สำหรับการทำคอนกรีตให้แน่นตัวโดยวิธีการอื่น ที่นอกเหนือไปจากการใช้เครื่องสั่น(Vibrator)

หากต้องการให้คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศมีปริมาณฟองอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลงร้อยละ 1 จะต้องลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม 3 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.เมตร

ตารางที่ 2.3 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความ หนา ของโครงสร้าง	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คานผนังและเสา คสล.		ผนังคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีต รับน้ำหนักน้อย	
(ซม.)	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0-15.0	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	12.5-20	$\frac{3}{4}$ 4	20	$\frac{3}{4} - 1$ 4	20-25	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$ 4	20-40
15.0-30.0	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$ 4	20-40	$1\frac{1}{2}$ 2	40	$1\frac{1}{2}$ 2	40	$1\frac{1}{2} - 3$ 2	40-75
30.0-75.0	$1\frac{1}{2} - 3$ 2	40-75	3	75	$1\frac{1}{2} - 3$ 2	40-75	3	75
มากกว่า75.0	$1\frac{1}{2} - 3$ 2	40-75	6	150	$1\frac{1}{2} - 3$ 2	40-75	3-6	75-150

ตารางที่ 2.4 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความขุ่นตัวและวัสดุผสมต่างๆ

ค่าความขุ่นตัว (ชม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม. สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	$\frac{3}{8}$ " (10 มม.)	$\frac{1}{2}$ " (12.5 มม.)	$\frac{3}{4}$ " (20 มม.)	1" (25 มม.)	$1\frac{1}{2}$ " (40 มม.)	2" (50 มม.)	3" (75 มม.)	6" (150 มม.)

คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ

3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟอง อากาศ %โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

คอนกรีตที่สารกระจายกักฟองอากาศ

3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟอง อากาศ %โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

หมายเหตุ ปริมาณน้ำที่แสดงนี้เป็นปริมาณสูงสุดสำหรับหินที่มีรูปร่างดี ช่วยให้ทำงานง่ายและลดต้นทุนได้ตามข้อกำหนด

ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสม จะต้องเพิ่มปูนซีเมนต์ เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์คงที่นอกจากผลการทดสอบแสดงว่าคอนกรีตมีกำลังเสริมตามต้องการ

ถ้าส่วนผสมต้องการน้ำน้อยกว่าการกำหนด ยังไม่ควรลดปริมาณปูนซีเมนต์นอกจากผลการทดลองแสดงว่าคอนกรีตให้กำลังสูงกว่าต้องการ

ตารางที่ 2.5 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปื่อยตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำเค็มหรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม. <sup>3</sup>	0.45	0.4
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	0.5	0.45*

\*ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต(ประเภทสองหรือประเภทห้า)อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของ คอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ซม. <sup>3</sup> )	อัตราส่วนต่อน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากตารางนี้ สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน  $\varnothing 15 \times 30$  ซม.

ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ตารางที่ 2.7 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุดของหิน นิ้ว	หน่วยน้ำหนักคอนกรีตสด , กก. ต่อลบ. เมตร	
	คอนกรีตไม่กระจายกัก ฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกัก ฟองอากาศ
3/8	2285	2190
1/2	2315	2235
3/4	2355	2280
1	2375	2315
1 1/2	2420	2355
2	2445	375
3	2465	2400
6	2505	2435

ตารางที่ 2.8 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆกัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
$\frac{3}{8}$ " (10มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
$\frac{1}{2}$ " (12.5มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
$\frac{3}{4}$ " (20มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
$1\frac{1}{2}$ " (40มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้นี้เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10%

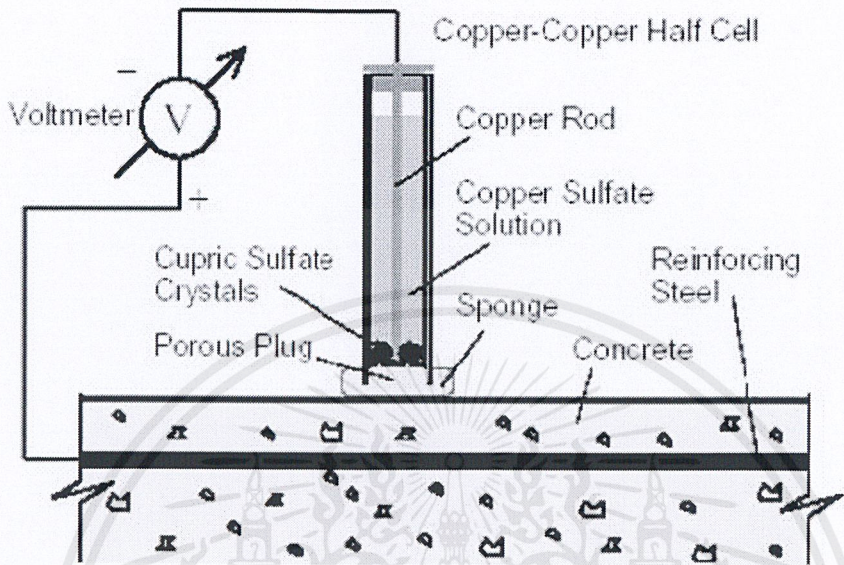
## 2.7 หลักการทดสอบค่าการสึกกร่อนในเหล็กเสริม ( Half-Cell Potential Test)

เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งจะบอกปริมาณการเกิดสนิมเหล็กที่เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเหล็ก ที่ต้องการตรวจสอบได้ รวมถึงความต้านทานของคอนกรีตเพื่อประเมินโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 867-91 “Standard Test Method For Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete”

โดยจะทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Half-Cell Potential Instrument ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดความสึกกร่อนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริมและบริเวณผิวคอนกรีตเพื่อประเมินค่าการกัดกร่อนและสภาพของชั้นหุ้มเหล็กเสริมในช่วงที่ทำการทดสอบ โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เป็นผลจากกระบวนการกัดกร่อนเหล็กเสริม ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะบ่งบอกถึงความเสี่ยงมากของการกัดกร่อนของเหล็กเสริม โดยเปรียบเทียบจากค่าตารางแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ที่ใช้วัสดุเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยปกติจะใช้คอปเปอร์ซัลเฟตส่วนการแปลความผลทดสอบจะแสดงให้เห็นดังตาราง

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ คอปเปอร์ซัลเฟต (Cu/CuSO <sub>4</sub> )	สภาพการเกิดสนิม
มากกว่า -0.2 โวลต์ CSE	แนวโน้มร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม
ระหว่าง -0.2 ถึง -0.35 โวลต์ CSE	ไม่แน่นอน
น้อยกว่า -0.35 โวลต์ CSE	แนวโน้มร้อยละ 90 ที่จะเกิดสนิมแล้ว

ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และแนวโน้มของการเกิดสนิม



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบพลังงานศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้าเพื่อที่จะออกแบบทำการทดลอง
2. จากการศึกษาข้อมูลและนำมาทำการทดลอง โดยจะทำตัวอย่างการทดลอง 5 ตัวอย่าง
3. เริ่มสร้างแบบจำลอง 3 รูปแบบจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยที่ฐานรากทั้ง 5 มีขนาด  $80 \times 80 \times 20$  cm. และเสาตอม่อมีขนาด  $30 \times 30 \times 100$  cm. และมีกำแพงกั้นน้ำความหนาสูง 40 cm. ล้อมรอบเสาตอม่อ
4. โดยที่ 2 ตัวอย่างแรก เพื่อศึกษาการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเมื่อระยะ covering แตกต่างกัน คือ 3, 4, 5, และ 7 cm. โดยที่ตัวอย่างที่ 4 และ 5 เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่าง ตัวอย่างที่มีรอยต่อและตัวอย่างที่ปิดรอยต่อว่าการเกิดการเกิดสนิมแตกต่างกันอย่างไร โดยที่ตัวอย่างที่ 4 จะหล่อฐานรากและเสาพร้อมกันเพื่อปิดรอยต่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 5 โดยที่ฐานรากที่มีรอยต่อตามปกติ และตัวอย่างที่ 5 เพื่อศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่างที่แตกต่างกันคือ 3, 4.5, 6, 9 mm
5. นำน้ำผสมตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิม (สารจำพวกกรด) ใส่ลงในตัวอย่างที่ 1, 2 เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิมให้เร็วขึ้น และนำน้ำผสมสีใส่ในตัวอย่างที่ 3 และ 4
6. นำเครื่อง Half-cell potential instrument มาตรวจสอบระยะการเกิดสนิมและระยะเวลาการเกิดสนิมทุกๆ 1 สัปดาห์ พร้อมบันทึกผลการทดลอง (เฉพาะตัวอย่าง 1, 2)
7. ตรวจสอบระดับความสูงของน้ำสีในตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์ โดยการใส่แท่งโพลีเอทิลีนระยะเป็นเซนติเมตรจุ่มลงในรูของตัวอย่างทดลองและวัดระดับน้ำ
8. เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำตัวอย่างที่ 3 และ 4 มาทุบทำลายเพื่อดูระดับของน้ำภายในช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตเนื่องจากกระบวนการ Capillary และเปรียบเทียบ
9. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ และ เปรียบเทียบกระบวนการเกิดสนิมของตัวอย่าง 1, 2, 3 เมื่อระยะ Covering แตกต่างกัน พร้อมทั้งเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ 4 ซึ่งถูกพอกด้วยคอนกรีต (ป้องกันรอยต่อ)

10. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองพร้อมทั้งหาข้อมูลเพื่อสำหรับหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

11. หาและสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหามาจากข้อมูล

12. ทำรูปเล่มปริยฐานิพนธ์

### 3.2 แผนการทำงานตลอดโครงการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงแผนการทำงานตลอดโครงการงานพิเศษ

หัวข้อ	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
	53	53	53	53	53	53	54	54
1. เลือกหัวข้อที่จะทำการวิจัย และการเลือกปัญหาของหัวข้อโครงการวิจัย	↔							
2. การสืบค้น และค้นหาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ	↔↔							
3. รวบรวมปัญหาของหัวข้อ หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ และรวบรวมหลักการหรือทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง		↔↔						
4. เริ่มสร้างฐานรากจำลองและทดลองตามหลักการและข้อสันนิษฐาน			↔↔					
5. สรุปผลการทดลอง และหาข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา						↔↔		
6. การวิเคราะห์ และหาแนวทางในการแก้ปัญหาโครงการวิจัยที่ทำ							↔↔	
7. สรุปผลการวิจัยและทำรูปเล่มปริยฐานิพนธ์								↔↔

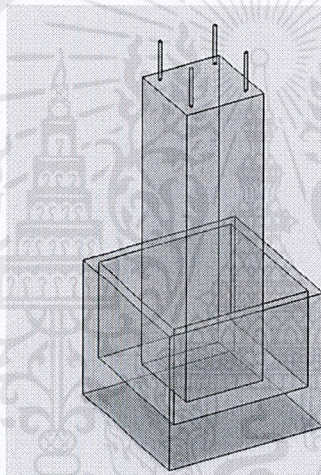
### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 ออกแบบตัวอย่างการทดลอง

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบตัวอย่างทดลองโดยแบ่งการทดลองเป็น 3 เรื่องตามจุดประสงค์นี้

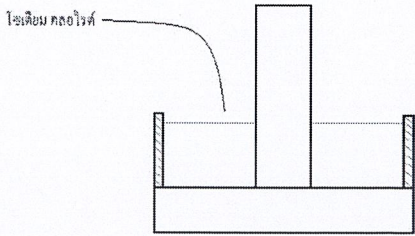
-เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบระดับการเกิดสนิมบนเหล็กเสริมเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันคือ 3,

4, 5 และ 7 ซม. โดยจะได้ตัวอย่างการทดลองดังรูปที่ 3.1

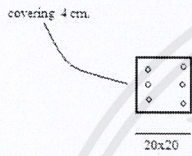
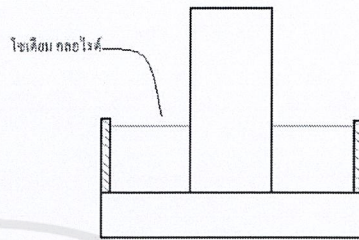


รูปที่ 3.1 ตัวอย่างทดลองที่ออกแบบ

ตัวอย่างหมายเลข 1



ตัวอย่างหมายเลข 2



covering 3 cm.

covering 7

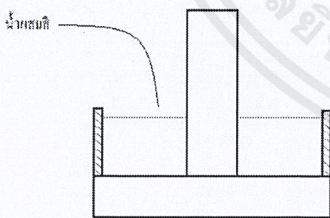


covering 5

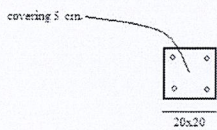
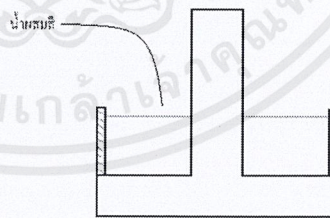
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างทดลองที่ 1 และ 2

-เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบหาระดับการเกิดสนิมบนเหล็กเสริมเมื่อแบ่งเป็นสองตัวอย่างโดยตัวอย่างแรกเป็นการหล่อฐานรากและเสาตามหลักการก่อสร้างทั่วไปส่วนตัวอย่างที่สองเป็นการหล่อฐานรากและเสาพร้อมกันเพื่อปิดรอยต่อโดยจะได้รูปแบบดังแสดงในรูป

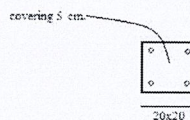
ตัวอย่างหมายเลข 3



ตัวอย่างหมายเลข 4



20x20

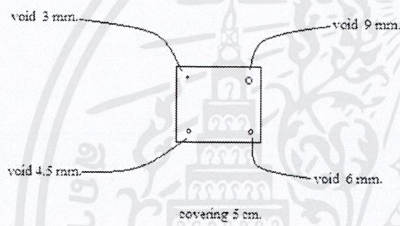
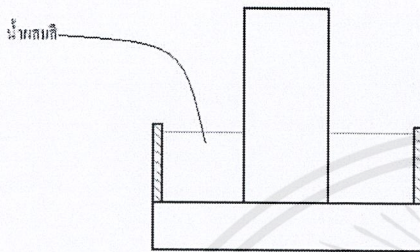


20x20

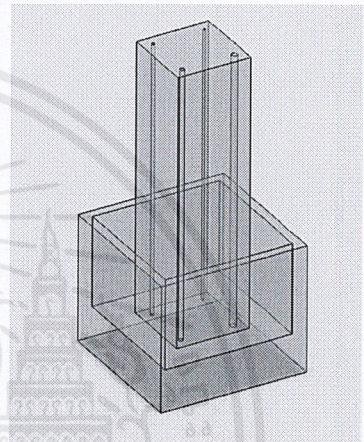
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างทดลองที่ 3 และ 4

-เพื่อทดสอบการซึมผ่านของน้ำแบบ Capillary เมื่อช่องว่างการซึมผ่าน(Void)มีเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 3, 4.5, 6, และ 9 มม. โดยจะได้รูปแบบของตัวอย่างดังรูปที่ 3.2

ตัวอย่างหมายเลข 5



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างทดลองที่ 5



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการทดสอบ Void

### 3.3.2 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

- |                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 1. แบบไม้หล่อฐานรากขนาด 0.8*0.8*0.2 ม. | 1 ชุด |
| 2. แบบไม้หล่อเสาขนาด 0.2*0.2*1 ม.      | 1 ชุด |
| 3. แบบไม้หล่อเสาขนาด 0.3*0.3*1 ม.      | 1 ชุด |
| 4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง  |       |
| 5. น้ำ                                 |       |
| 6. ทรายหยาบ                            |       |
| 7. ทรายละเอียด                         |       |
| 8. หิน                                 |       |

9. บั้งกิ
10. เกรียง
11. ถังน้ำ 20 ลิตร
12. อีจูปลือก 100 ก้อน
13. เหล็กข้ออ้อย Ø 12 มม. ยาว 1.2 ม. 20 ท่อน
14. เหล็กท่อนกลม Ø 6,9 มม. ยาว 1.2 ม. อย่างละ 1 ท่อน
15. เหล็กท่อนกลม Ø 3,4.5 มม. ยาว 1.2 ม. อย่างละ 1 ท่อน
16. สารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 4500 กรัม
17. สี
18. ค้อน
19. ตะปู
20. เครื่องผสมคอนกรีต
21. พลั่ว

### 3.3.3 ขั้นตอนการสร้างตัวอย่างทดลอง

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาสามเรื่องตามจุดประสงค์ของงานวิจัยดังนั้นจึงต้องแบ่งวิธีการสร้างตัวอย่างการทดลองออกเป็นสามประเภทดังต่อไปนี้

-ประเภทที่หนึ่ง (สำหรับตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3)

1. ประกอบแบบหล่อฐานรากคอนกรีตโดยใช้ถุงกระสอบรองด้านล่างเพื่อไม่ให้ตัวอย่างการทดลองติดกับพื้นห้อง

2. ผสมคอนกรีตตามหลักการหา ภูมิภาคผสมของคอนกรีตโดยวิธี ACI ให้ได้กำลังรับแรงอัด 350 ksc

3. เทคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วลงในแบบหล่อที่ประกอบไว้

4. ระหว่างรอให้คอนกรีตเซตตัวประมาณ 30 นาที เพื่อจะได้ปัดเหล็กเสริมได้ ให้นำเหล็กเสริมพร้อมเหล็กปลอกประกอบกันตามทีออกแบบ

5. นำเหล็กเสริมที่ประกอบปีกลงบนคอนกรีตที่เซตตัวแล้ว โดยใช้สายเอ็นซิงทั้งสี่ด้านให้เป็นเส้นทะแยงมุมเพื่อหาจุดศูนย์กลางของฐานราก

6. ปลดปล่อยคอนกรีตแข็งตัวโดยใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง

7. นำแบบหล่อเสามาประกอบพร้อมเช็กระยะ Covering ระหว่างแบบไม้กับเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามที่ออกแบบ โดยนำลูกปูนมาหนุนตลอดแนวแกนเหล็ก

8. ถอดแบบฐานรากแล้วนำไปประกอบเป็นแบบหล่อสำหรับตัวอย่างชิ้นต่อไป

9. ผสมคอนกรีตตามขั้นตอนที่ 2 พร้อมทั้งเทคอนกรีตในแบบหล่อเสาที่เตรียมไว้

10. เทคอนกรีตในตัวอย่างถัดไปตามขั้นตอนที่ 3-6

11. ปลดปล่อยคอนกรีตเสาแข็งตัวโดยใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงแล้วถอดแบบออก

12. ผสมปูนก่อและปูนฉาบเพื่อก่อกำแพงอิฐบล็อกพร้อมฉาบให้เรียบร้อยโดยรอบขอบของฐานทั้งสี่ด้าน

13. นำน้ำผสมสารเคมีตามที่ได้ออกแบบการทดลองใส่ลงในตัวอย่างทดลอง

-ประเภทที่สอง(สำหรับตัวอย่างที่4)

1. ประกอบแบบหล่อฐานรากคอนกรีตโดยใช้ถุงกระสอบรองด้านล่างเพื่อไม่ให้ตัวอย่างการทดลองติดกับพื้นห้อง

2. ผสมคอนกรีตตามหลักการหา ภูมิภาคผสมของคอนกรีตโดยวิธี ACI ให้ได้กำลังรับแรงอัด 350 ksc

3. เทคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วลงในแบบหล่อที่ประกอบไว้

4. ระหว่างรอให้คอนกรีตเซตตัวประมาณ 30 นาทีเพื่อจะได้ปักเหล็กเสริมได้ ให้นำเหล็กเสริมพร้อมเหล็กปลอกประกอบกันตามที่ได้ออกแบบ

5. เมื่อคอนกรีตเริ่มเซตตัวนำเหล็กเสริมที่ประกอบปีกลงบนคอนกรีตที่เซตตัวแล้ว โดยใช้สายเอ็นซิงทั้งสี่ด้านให้เป็นเส้นทะแยงมุมเพื่อหาจุดศูนย์กลางของฐานรากพร้อมทั้งนำแบบหล่อเสามาประกอบพร้อมเช็กระยะ Covering ระหว่างแบบไม้กับเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามที่ออกแบบ โดยนำลูกปูนมาหนุนตลอดแนวแกนเหล็ก

- 6.ปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวโดยใช้เวลาประมาณ24ชั่วโมง
- 7.ถอดแบบฐานรากและเสาแล้วนำไปประกอบเป็นแบบหล่อสำหรับตัวอย่างชิ้นต่อไป
- 8.ผสมปูนก่อและปูนฉาบเพื่อก่อกำแพงอิฐบล็อกพร้อมฉาบให้เรียบร้อยโดยรอบขอบของฐานทั้งสี่ด้าน
- 9.นำน้ำผสมสารเคมีตามที่ได้ออกแบบการทดลองใส่ลงในตัวอย่างทดลอง

-ประเภทที่สาม(สำหรับตัวอย่างที่ 5)

- 1.ประกอบแบบหล่อฐานรากคอนกรีตโดยใช้ถุงกระสอบรองด้านล่างเพื่อไม่ให้ตัวอย่างการทดลองติดกับพื้นห้อง
- 2.ผสมคอนกรีตตามหลักการทำ ปฏิภาคผสมของคอนกรีตโดยวิธี ACI ให้ได้กำลังรับแรงอัด 350 ksc
- 3.เทคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วลงในแบบหล่อที่ประกอบไว้
- 4.ปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวโดยใช้เวลาประมาณ24ชั่วโมง
- 5.นำแบบหล่อเสามาประกอบโดยใช้สายเอ็นจิ้งทั้งสี่ด้านมให้เป็นเส้นทะแยงมุมเพื่อหาจุดศูนย์กลางของฐานราก
- 6.ผสมคอนกรีตตามขั้นตอนที่2พร้อมทั้งเทคอนกรีต
- 7.ระหว่างรอให้คอนกรีตเซตตัวประมาณ30นาที ให้นำเหล็กเสริมและเพลลาที่ทำน้ำมันแล้วตามขนาดที่ออกแบบปักลงจากยอดเสาถึงโคนเสาพร้อมทั้งคอกยหมุนเหล็กเสริมจนกว่าคอนกรีตจะเริ่มเซตตัว
- 8.เมื่อคอนกรีตเซตตัวให้ดึงเหล็กเสริมออกแล้วปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวโดยใช้เวลาประมาณ24ชั่วโมงแล้วถอดแบบออก
- 9.ผสมปูนก่อและปูนฉาบเพื่อก่อกำแพงอิฐบล็อกพร้อมฉาบให้เรียบร้อยโดยรอบขอบของฐานทั้งสี่ด้าน
- 10.นำน้ำผสมสารเคมีตามที่ได้ออกแบบการทดลองใส่ลงในตัวอย่างทดลอง

แผนการดำเนินงานการทำแบบจำลอง

วันที่	1	2	3	4	5	6	7
ฐานราก	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 5	-	ตัวอย่าง 4	-
ตอม่อ		ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 5	ตัวอย่าง 4	-
กำแพงกั้น น้ำ	-	-	-	-	-	-	ตัวอย่าง 1,2,3,4 และ5

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

#### 4.1 สาเหตุของการที่น้ำซึมผ่าน

##### 4.1.1 อ้างอิงจากตัวอย่างที่ 1 และ 2

ประเด็นที่ 1 จากตัวอย่างที่ 1 และ 2 ผลการตรวจอัตราและระยะของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมด้วยเครื่องมือ Half-cell potential Instrument ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าในตัวอย่างการทดลองทั้งสองตัวอย่างมีการเกิดสนิมขึ้นจริงในเหล็กเสริม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในชั้นตัวอย่างที่ 1 ด้าน ระยะ Covering ที่ 7 cm. เมื่อวันที่ 56

Covering 7 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-309	-316	-297
90	-299	-317	-298
85	-316	-324	-334
80	-317	-337	-332
75	-332	-361	-337
70	-325	-359	-348
65	-347	-347	-352
60	-364	-355	-362

55	-367	-371	-370
50	-415	-422	-426
Covering 7 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
45	-420	-430	-434
40	-432	-463	-455
35	-467	-450	-483
30	-483	-489	-497
25	-498	-499	-502
20	-500	-492	-492
15	-516	-525	-498
10	-534	-497	-509
5	-533	-516	-506

จากตาราง จะเห็นว่าประมาณชั้นความสูงที่ 50 cm. ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจด้วยเครื่องมือมีค่ามากกว่า -400 mV ซึ่งถือว่าเกิดสนิมขึ้นแล้วตามทฤษฎี

**ประเด็นที่ 2** เมื่อคำนวณระยะเวลาของการเกิดสนิมของเมื่อวันที่ เมื่อวันที่ 7 เปรียบเทียบกับระยะเวลาของการเกิดสนิม เมื่อวันที่ 56 โดยใช้บัญญัติไตรยางศ์ เปรียบเทียบระหว่างค่าความต่างศักย์เฉลี่ยช่วง -400 mV เพื่อหาระยะเวลาการเกิดสนิมที่ -400 mV ดังตาราง ที่ 4.2 และ 4.3 ตารางที่ 4.2

ตารางคำนวณเปรียบเทียบหาระยะสนิมที่ค่าความต่างศักย์ -400 mV เมื่อวันที่ 7

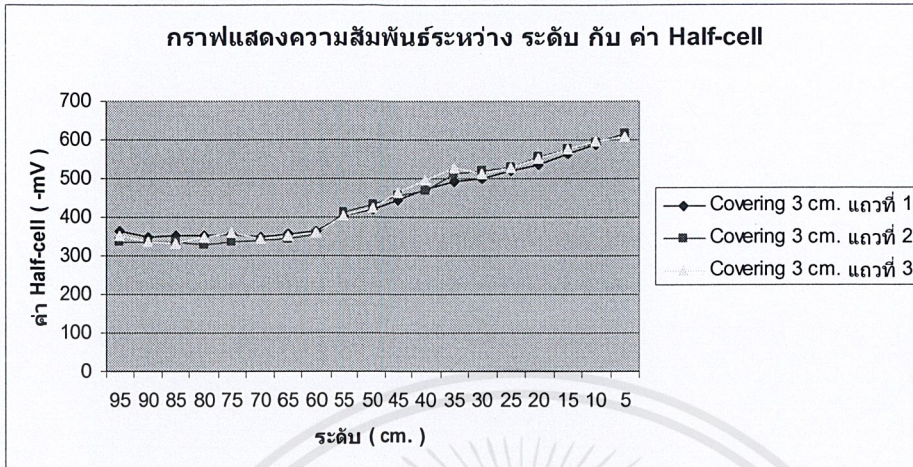
Covering	ระดับ(cm)	ค่าต่างศักย์(mV)	ระดับที่ -400 mV(cm.)
7 cm.	50	-383	46.96
	45	-411	
5 cm.	55	-389.67	50.69
	50	-401.67	
4 cm.	60	-379.33	56.8
	55	-411.67	
3 cm.	60	-361.67	55.7
	55	-406.33	

ตารางที่ 4.3 ตารางคำนวณเปรียบเทียบหาระยะสนิมที่ค่าความต่างศักย์ -400 mV เมื่อวันที่ 56

Covering	ระดับ(cm)	ค่าต่างศักย์(mV)	ระดับที่ -400 mV(cm.)
7 cm.	55	-369.33	52.03
	50	-421	
5 cm.	60	-309.33	55.24
	55	-404.67	
4 cm.	65	-328.33	60.11
	60	-401.67	
3 cm.	65	-335.33	61.12
	60	-418.67	

จากตารางดังกล่าวที่ระยะ Covering 7 cm. จะพบว่าเมื่อวันที่ 7 สนิมอยู่ที่ระดับ 46.96 cm. และได้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 52.03 cm. เมื่อวันที่ 56 นั่นจึงสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าการ ซึมของน้ำแบบ Capillary เกิดขึ้นจริง

ประเด็นที่ 3 เมื่อให้ค่าความต่างศักย์เป็นแกนตั้งและให้ระดับบนเสาทุกๆ 5 cm. เป็นแกนนอนมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระดับบนเสา เมื่อวันที่ 7

จากกราฟ ดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสนิมเกิดขึ้น (ที่  $-400$  mV) ในช่วงระดับตั้งแต่ 0-52.5 cm. โดยที่ปริมาณสนิมจะเกิดมากขึ้นเรื่อยๆจากโคนเสาขึ้นไปถึงระยะประมาณ 52.5 cm. นั่นจึงแสดงให้เห็นได้ว่าน้ำได้ซึมผ่านเข้าสู่เหล็กเสริมจากรอยต่อที่โคนเสาและ Capillary สูงขึ้นไปเรื่อยๆ ส่วนในช่วงระดับเสาที่ 52.5-100 cm. กราฟค่อนข้างเป็นเส้นตรงและคงที่เนื่องจากสนิมยังไม่เกิด

#### 4.1.2 อ้างอิงจากตัวอย่างทดลองที่ 3 และ 4

จากตัวอย่างการทดลองที่ 3 และ ตัวอย่างการทดลองที่ 4 พบว่าเมื่อทำการทูปตัวอย่างทั้งสอง ปรากฏว่าตัวอย่างที่ 3 ที่หล่อแบบ ปกติมีน้ำสีผสมอาหาร ซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างรอยต่อกับเสา เพียงเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างที่ 4 ไม่มีการซึมของน้ำแต่พบการซึมสีแดงเข้าไปในคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองที่น้อยเกินไปและสีผสมอาหารไม่ใช่สารละลายแต่เป็นอนุภาคเม็ดสี จึงทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าไปได้ยากและไม่ถึงเหล็กเสริม แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถทำให้ผู้ทดลองสามารถสรุปได้ว่าการแทรกซึมเข้าไปในรอยต่อระหว่างเสาและตอม่อจริง

## 4.2 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

### 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดสนิมกับจำนวนวันที่ตัวอย่างแช่ในน้ำ

จากการทดลองของตัวอย่างการทดลองที่ 1 และตัวอย่างการทดลองที่ 2 โดยการแช่ไว้ในน้ำ สารละลาย NaCl ที่มีความเข้มข้นอิ่มตัวเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์หรือ 56 วัน จากผลการทดลองเมื่อนำเอาค่าความต่างศักย์ของเหล็กทั้งสามเส้นมาเฉลี่ยเทียบกับระยะเวลาโดยแบ่งช่วงการพิจารณาออกเป็น 3 ช่วงเสา คือ 75 ,50 และ 25 cm. จะได้ตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm.

เวลา (วัน)	ค่า Half-cell (mV)			
	Covering 7 cm.	Covering 5 cm.	Covering 4 cm.	Covering 3 cm.
7	-393.67	-401.67	-420.33	-426.67
14	-404.33	-410	-424.67	-432
21	-395	-414	-428	-440.67
28	-389.33	-407	-431.67	-451.33
35	-396	-417	-436.67	-445.33
42	-406.67	-424	-443	-454
48	-413.33	-426.67	-449.67	-460
56	-421	-429.67	-454.33	-470.33

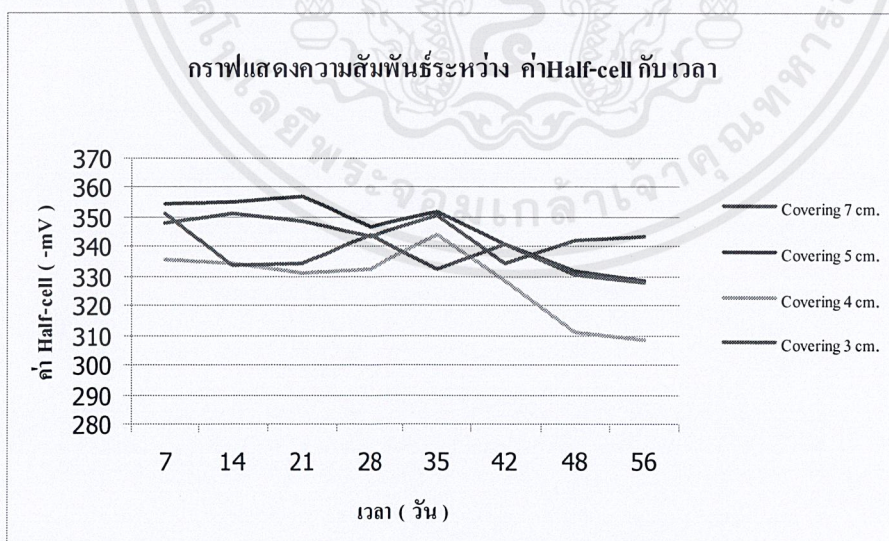
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.

เวลา(วัน)	ค่า Half-cell (mV)			
	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.
7	-393.67	-401.67	-420.33	-426.67
14	-404.33	-410	-424.67	-432
21	-395	-414	-428	-440.67
28	-389.33	-407	-431.67	-451.33
35	-396	-417	-436.67	-445.33
42	-406.67	-424	-443	-454
48	-413.33	-426.67	-449.67	-460
56	-421	-429.67	-454.33	-470.33

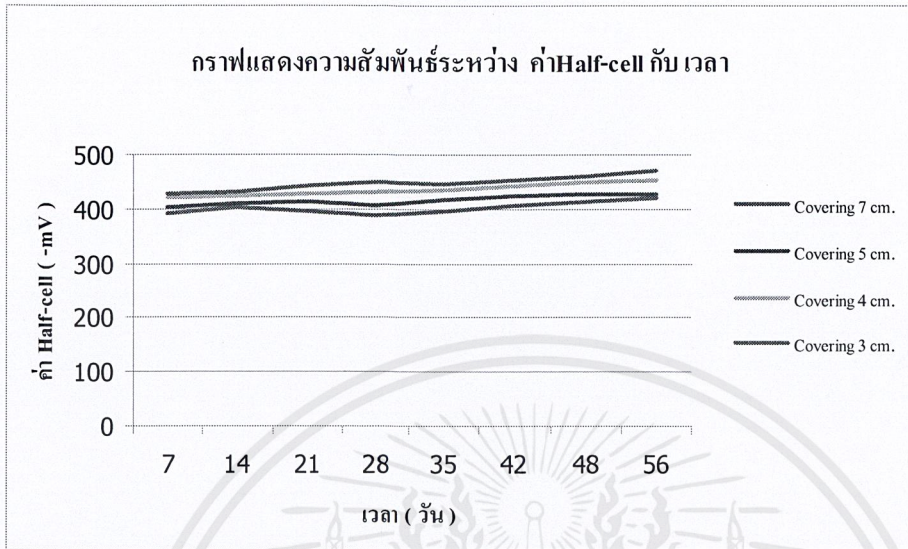
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.

เวลา (วัน)	ค่า Half-cell (mV)			
	Covering 7 cm.	Covering 5 cm.	Covering 4 cm.	Covering 3 cm.
7	-457.67	-461.67	-528.67	-526.67
14	-465.33	-482.67	-533.33	-532.67
21	-466.33	-493.67	-534	-555.67
28	-472	-496.67	-543	-561
35	-478	-504.33	-546.33	-572.33
42	-479.67	-508.67	-550	-569.67
48	-467.67	-512.33	-550.33	-576
56	-499.67	-520	-559	-579

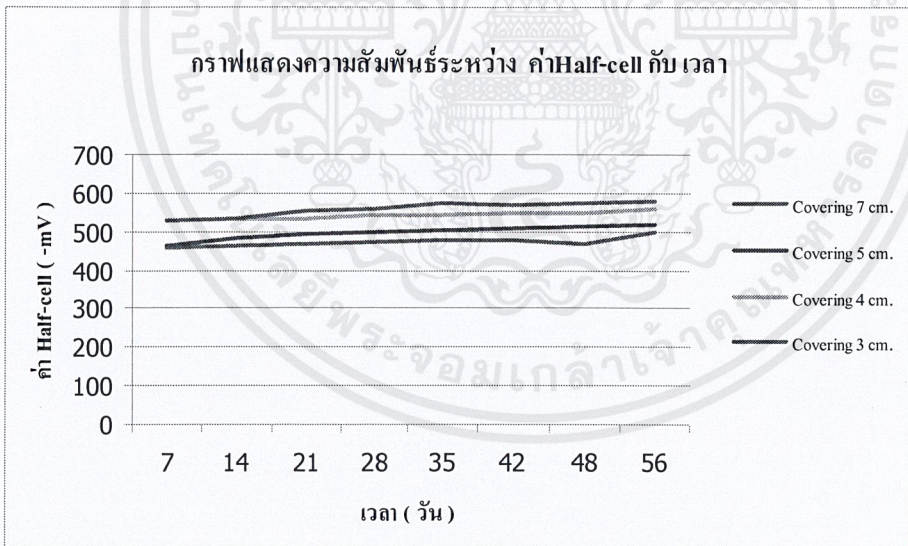
จากตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และจำนวนวัน ที่ระดับ 75 cm. จากโคนเสา



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และจำนวนวัน ที่ระดับ 50 cm. จาก โคนเสา



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และจำนวนวัน ที่ระดับ 25 cm. จาก โคนเสา

การคำนวณหาค่า Slope ของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า half-cell กับ เวลา

$$\text{จากสมการ Slope} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.

$$\text{Covering 7 cm. Slope} = \frac{421 - 393.67}{56 - 7} = 0.55$$

$$\text{Covering 5 cm. Slope} = \frac{429.67 - 401.67}{56 - 7} = 0.57$$

$$\text{Covering 4 cm. Slope} = \frac{454.33 - 420.33}{56 - 7} = 0.69$$

$$\text{Covering 3 cm. Slope} = \frac{470.33 - 426.67}{56 - 7} = 0.89$$

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.

$$\text{Covering 7 cm. Slope} = \frac{499.67 - 457.67}{56 - 7} = 0.86$$

$$\text{Covering 5 cm. Slope} = \frac{520 - 461.67}{56 - 7} = 1.19$$

$$\text{Covering 4 cm. Slope} = \frac{559 - 528.67}{56 - 7} = 0.62$$

$$\text{Covering 3 cm. Slope} = \frac{579 - 526.67}{56 - 7} = 1.07$$

จากกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในช่วงระยะ 75 cm. จากโคนเสาจะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับที่เรียกว่าไม่เกิดสนิมลักษณะกราฟของแต่ละระยะ Covering จึงขึ้นลงไม่เป็นระเบียบ ผลไม่ชัดเจนซึ่งเหตุที่เป็นเช่นนั้น น่าจะสามารถอธิบายได้ว่าที่ระยะ 75cm. จากโคนเสานั้นเป็นระยะที่อยู่สูงเกินกว่าระยะที่เกิดสนิม ค่าที่อ่านได้จึงขึ้นอยู่กับสถานะของเครื่องมือ ส่วนช่วงระยะ 50 cm. จากโคนเสานั้นเป็นช่วงระยะที่เกิดสนิมกำลังจะเกิดขึ้นซึ่งบางช่วงก็เกิดสนิมไปแล้วแต่บางช่วงก็ยังไม่เกิดสนิม เมื่อดูจากปริมาณการเกิดสนิมที่วัดได้ และช่วงระยะ 25 cm. จากโคนเสาเป็นช่วงเสาที่ค่อนข้างบอกได้ว่าเกิดสนิมแล้วแน่นอนเนื่องจากเส้นกราฟอยู่ในช่วง -400 mV ถึง -600 mV นอกจากนี้เมื่อดูจากความชันของกราฟที่ระยะ 50 และ 25 cm. จากโคนเสาเส้นกราฟทั้งหมดยังมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างช้าๆอีกด้วย ซึ่งหมายความว่าปริมาณการเกิดสนิมนั้นเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา

## 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดสนิมกับระยะ Covering

สิ่งที่น่าสังเกตอีกประการหนึ่งคือ เมื่อดูจาก รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ระยะ Covering ที่แตกต่างกันคือ 7, 5, 4 และ 3 จะมีเส้นกราฟที่ไล่ระดับกันตามระดับซึ่งหมายความว่าเมื่อระยะ Covering เพิ่มมากขึ้น ปริมาณการเกิดสนิมก็เพิ่มสูงตามไปด้วยเช่นกัน

## 4.3 เปรียบเทียบระยะการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

### 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อเทียบกับจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองของตัวอย่างการทดลองที่ 1 และตัวอย่างการทดลองที่ 2 โดยการแช่ไว้ใน น้ำ สารละลาย NaCl ที่มีความเข้มข้นอิ่มตัวเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์หรือ 56 วัน จากตารางที่ 2.8 ในบทที่ 2 จะเห็นว่า เมื่อศักย์ไฟฟ้า ครึ่งเซลล์ อยู่ต่ำกว่า  $-0.35$  V นั้นหมายความว่ามีโอกาสเกิดสนิม ถึง 90 % เพราะฉะนั้นจากข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ให้เลือกดูช่วงระดับชั้นความสูงจาก โคนเสาที่เห็นว่า มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ  $-400$  mV หรือ  $-0.40$  V อยู่ในระหว่างช่วงระดับชั้น นั้นๆ มาหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตแล้ว ใช้วิธีการเทียบ บัญญัติไตรยางศ์ ระหว่างระดับชั้นความสูงกับค่า ความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นๆ เพื่อนำมาหาค่าความสูงจาก โคนเสาถึงระดับที่มีค่าความต่างศักย์  $-400$  mV ซึ่งคาดว่าจะเกิดสนิมแล้ว โดยจะยกตัวอย่างตารางคำนวณ ของ ดังต่อไปนี้

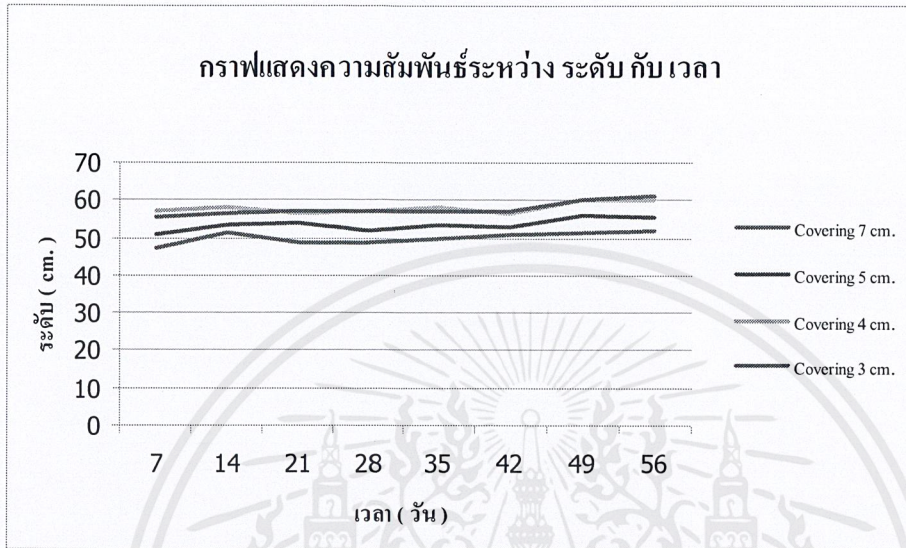
Covering	ระดับ(cm)	ค่าต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย (mV)	ระดับที่400 mV (cm.)
7 cm.	50	383	46.96
	45	411	
5 cm.	55	389.67	50.69
	50	401.67	
4 cm.	60	379.33	56.8
	55	411.67	
3cm.	60	361.67	55.7
	55	406.33	

เมื่อนำค่าระดับ ณ -400 mV ที่ได้จากการคำนวณมาสร้างตารางเปรียบเทียบกับจำนวนวันที่  
ตัวอย่างเช่นน้ำจะได้นี้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงระดับของสนิมเหล็กกับจำนวนวันที่แช่น้ำ

เวลา (วัน)	ระยะจากโคนเสา (cm.)			
	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.
7	46.96	50.69	56.8	55.7
14	51.2	53.65	57.93	56.51
21	48.75	53.75	56.42	56.78
28	48.82	51.92	57.21	56.95
35	49.58	53.4	57.83	56.96
42	50.96	53.13	56.7	57.17
49	51.34	56.09	60.13	60.03
56	52.03	55.24	60.11	61.12

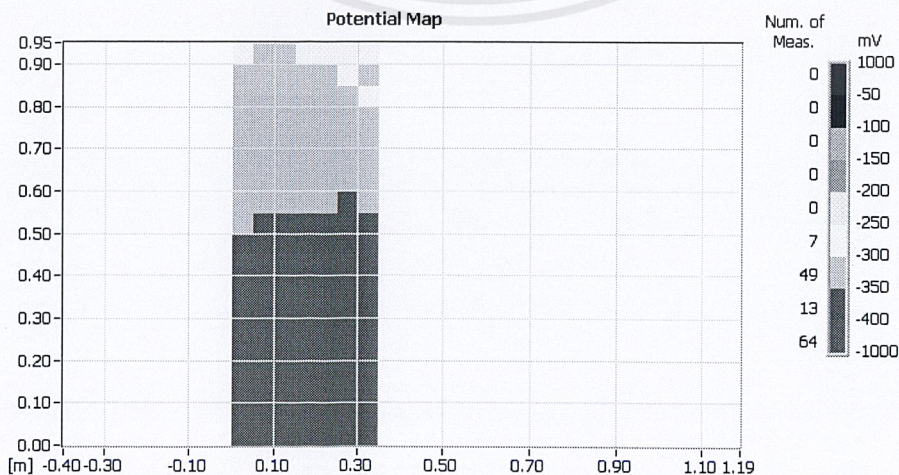
จากตารางที่ 4.7 นำมาเขียนกราฟโดยให้ ระยะจาก โคนเสาเป็นแกนตั้งส่วน จำนวนวันที่ ตัวอย่างแช่เป็นแกนนอนจะได้กราฟดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจาก โคนเสา กับจำนวนวันที่ ตัวอย่างแช่

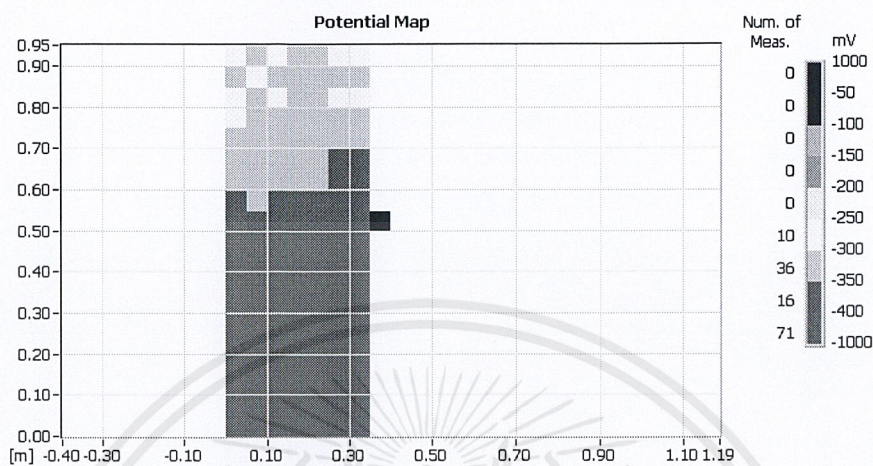
จากรูปที่ 4.5 และจากตารางที่ 4.7 จะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่ายิ่งเวลาผ่านไปมากเท่าไรระดับของสนิมที่เครื่องมืออ่านได้เท่ากับ  $-400$  mV ยิ่งสูงขึ้น และถ้าหากดูจากความชันของเส้นกราฟจะพบว่ามีความโน้มสูงชันอย่างช้าๆเช่นกัน เพื่อที่จะให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น จะยกตัวอย่างให้ดูรูป Potential Map ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบ Potential Map ระหว่าง วันที่ 7 กับวันที่ 56

รูปที่ 4.6 แสดง Potential Map ของวันที่ 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดง Potential Map ของวันที่ 56



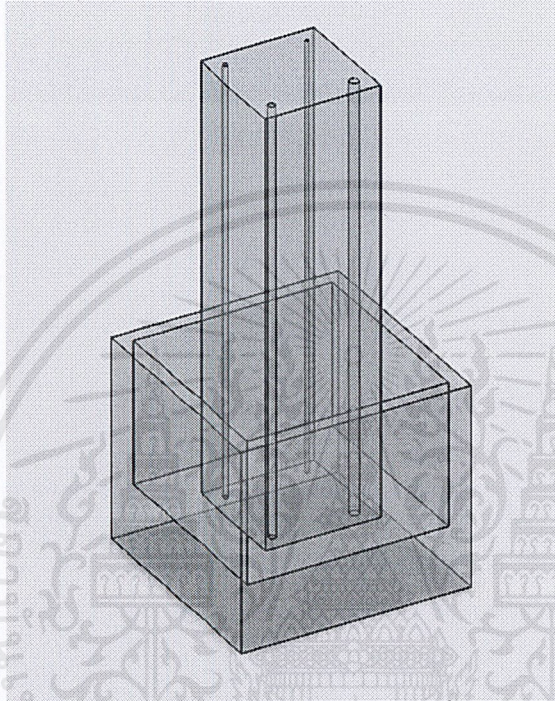
จะเห็นได้ว่าวันที่ 7 ระดับของ ค่าต่างศักย์ไฟฟ้า -400 mV อยู่ที่ 0.45 cm. แต่เมื่อถึงวันที่ 7 ปรากฏว่า ระดับของ ค่าต่างศักย์ไฟฟ้า -400 mV เพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.50 cm. เช่นกัน

#### 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเกิดสนิมเหล็กกับระยะ Covering

สิ่งที่น่าสังเกตอีกประการหนึ่งคือ เมื่อดูจาก รูปที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ระยะ Covering ที่แตกต่างกันคือ 7 ,5 ,4 และ 3 จะมีเส้นกราฟที่ไล่ระดับกันตามระดับซึ่งหมายความว่าเมื่อระยะ Covering เพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาการเกิดสนิมก็เพิ่มสูงตามไปด้วยเช่นกัน

#### 4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบการ Capillary เมื่อ Void แตกต่างกัน

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำแบบ Capillary เมื่อช่องว่างการซึมผ่าน (Void) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 3, 4, 5, 6 และ 9 mm.



รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างทดลองที่ 5

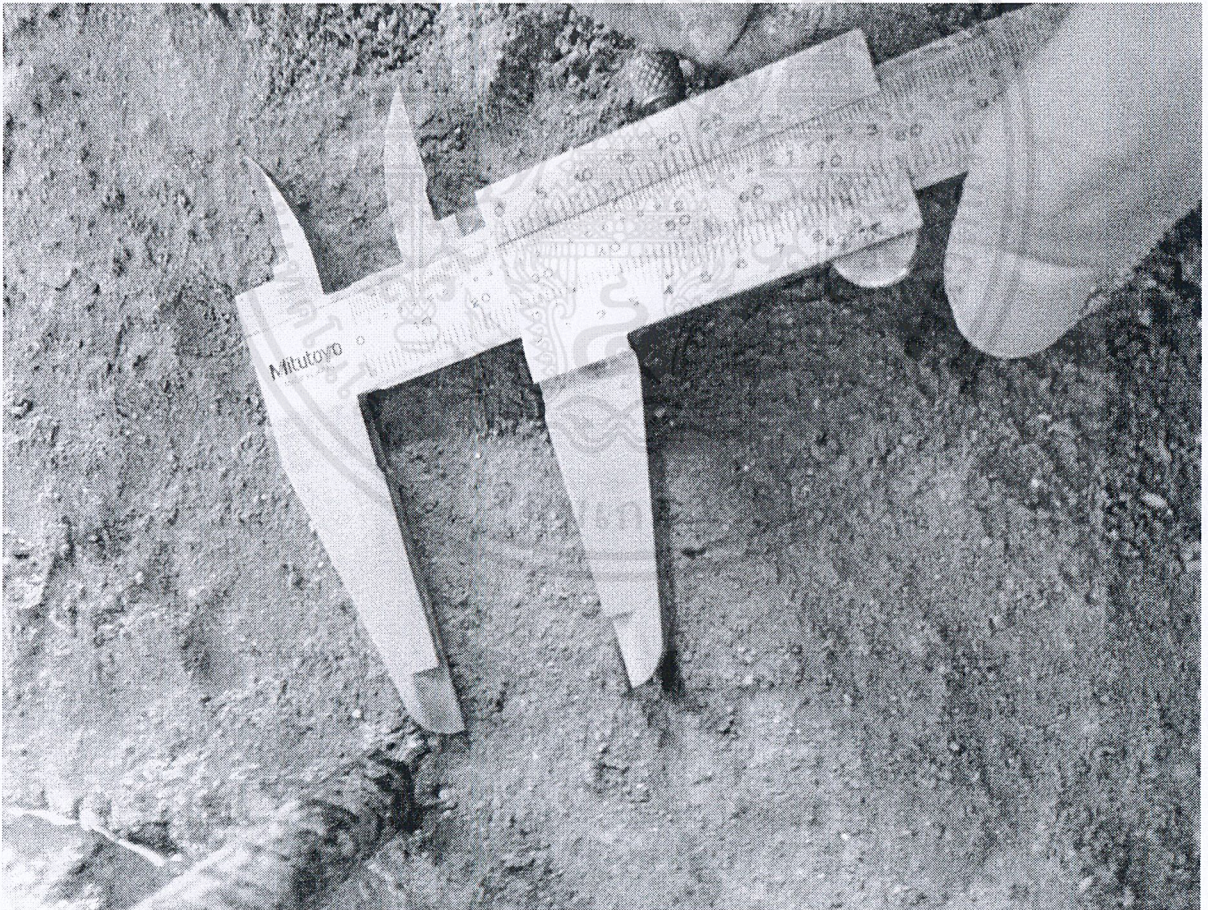
จากการทดสอบผู้ศึกษาไม่ได้ผลการทดสอบคือเมื่อทำการตรวจวัดระดับการซึมผ่านของน้ำเข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างของแบบจำลองกลับไม่พบว่างมีการซึมผ่านของน้ำเข้ามาอาจเป็นเนื่องจากหลายสาเหตุเช่น

1. ช่องว่างที่ทำการทดลองมีขนาดใหญ่เกินไปจึงทำให้ไม่เกิดการ Capillary ขึ้น
2. น้ำที่ซึมผ่านเข้ามาถูกดูดซึมด้วยคอนกรีตจนหมด
3. ปริมาณน้ำที่มีการซึมผ่านมีปริมาณน้อยจึงไม่สามารถตรวจสอบพบได้
4. การศึกษาการทดลองนี้จำเป็นต้องมีเวลาการทดลองที่ยาวนานไม่สามารถเห็นผลได้ด้วยระยะเวลา

อันสั้น

#### 4.5 การเปรียบเทียบตัวอย่างที่หล่อเสาและฐานรากพร้อมกันโดยใช้สีผสม

จากตัวอย่างการทดลองที่ 3 และ ตัวอย่างการทดลองที่ 4 พบว่าเมื่อทำการทาบตัวอย่างทั้งสอง ปรากฏว่าตัวอย่างที่ 3 ที่หล่อแบบ ปรกติมีน้ำสีผสมอาหาร ซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างรอยต่อกับเสา โดยที่ระยะลึกที่สุดที่น้ำผสมสีสามารถแทรกซึมเข้าไปได้คือ 2.72 cm. ส่วนระยะน้อยสุดคือ 1.4 cm. ส่วนตัวอย่างที่ 4 ไม่มีการซึมของน้ำแต่พบการซึมสีแดงเข้าไปในคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองที่น้อยเกินไปและสีผสมอาหารไม่ใช่สารละลายแต่เป็นอนุภาคเม็ดสี จึงทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าไปได้ยากและไม่ถึงเหล็กเสริม แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถทำให้ผู้ทดลองสามารถสรุปได้ว่าเกิดการแทรกซึมเข้าไปในรอยต่อระหว่างเสาและตอม่อจริง

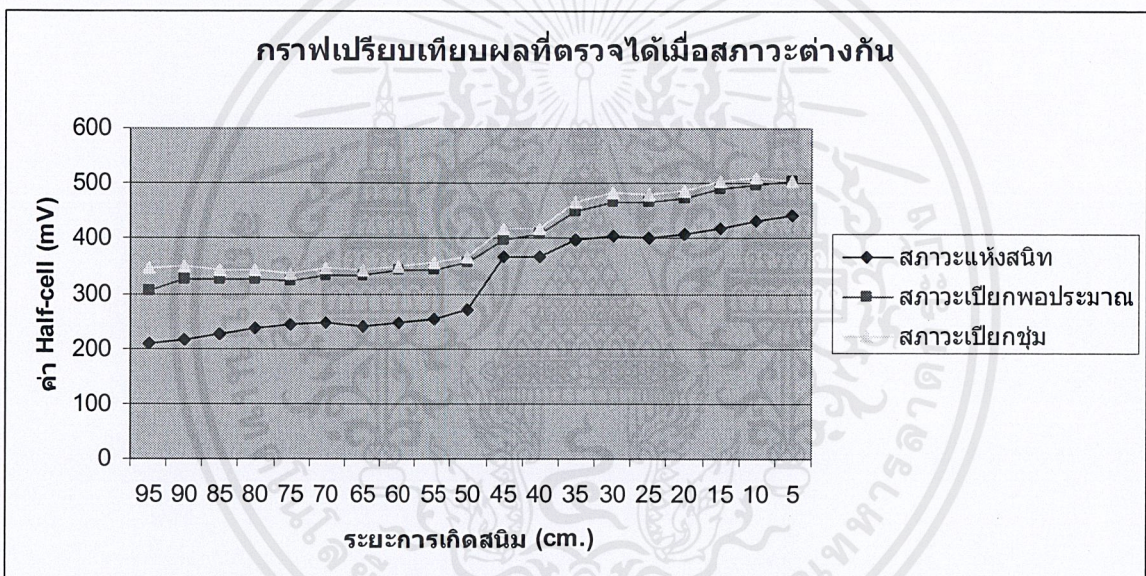


รูปที่ 4.9 แสดงคราบสีที่ซึมเข้าไปในรอยต่อระหว่างเสาและฐานราก

#### 4.6 การเปรียบเทียบ มีผลกระทบต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์จากเครื่อง Half-Cell Potential

##### 4.6.1 ผลกระทบจากความชื้น

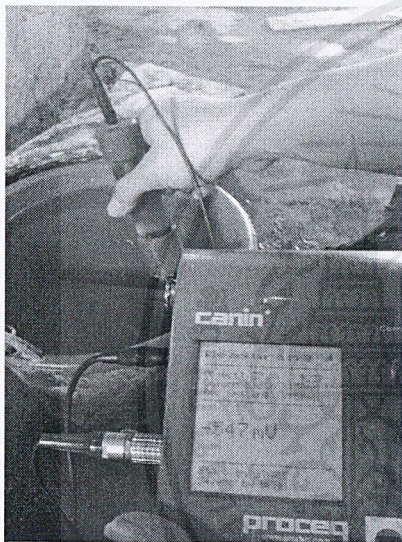
ผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือ Half-Cell Potential วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบนตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาวะแห้งสนิทเปรียบเทียบกับตัวอย่างเสาคอนกรีตต้นเดิมที่มีการพรมน้ำลงบนตัวอย่าง และฉีดน้ำลงบนตัวอย่างในให้ชุ่มอีก สองสภาวะรวมแล้วเป็นการเปรียบเทียบกัน ทั้งหมด สามสภาวะ คือผิวแห้งสนิท, เปียกน้ำพอประมาณ และเปียกชุ่มผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นดังกราฟรูปที่ 4.10



จากกราฟดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าความชื้นนั้นส่งผลกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่อ่านได้จากเครื่องมือ Half-Cell Potential เป็นอย่างมากโดย สังเกตจากเส้นกราฟของตัวอย่างตอนแห้งสนิทจะมีระดับของค่าความต่างศักย์ที่ต่ำกว่าเส้นกราฟของตัวอย่างหลังจากฉีดน้ำให้ชุ่มแล้ว นี่จึงแสดงให้เห็นว่าความชื้นมีผลต่อการอ่านค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยเครื่องมือ Half-Cell Potential ในทันที

#### 4.6.2 ผลกระทบจากคลอไรด์ (NaCl)

ผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบโดยการเตรียมถังน้ำไว้ 2 ถัง โดยถังใบที่ 1 ใส่ น้ำประปา ส่วนถังใบที่สองใส่ สารละลาย NaCl ที่สภาวะความเข้มข้นแบบอิ่มตัว หลังจากนั้นนำเหล็กเส้นขนาด DB 16 mm. จำนวนสองเส้นมาจุ่มในถังทั้งสองใบ อย่างละเส้น แล้วใช้เครื่องมือ Half-Cell Potential ตรวจวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12



รูป 4.11



รูป 4.12

จะเห็นว่าผลการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องมือ Half-Cell Potential ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ถังน้ำ	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (mV)
น้ำธรรมดา(ประปา)	-547
สารละลาย เกลือแกง (NaCl)	-597

จากตารางที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่าคลอไรด์มีผลทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่อ่านจากเครื่องมือ Half-Cell Potential มีค่าติดลบสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นส่วนเหตุผลที่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองนี้มีค่าที่สูงมากทั้งที่เหล็กมิได้เป็นสนิม เป็นผลผลกระทบมาจากน้ำและความชื้น

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

#### 5.1.1 สาเหตุของการที่น้ำซึมผ่าน

##### 5.1.1.1 อ้างอิงจากตัวอย่างที่ 1 และ 2 จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลเมื่อพิจารณา

ในตัวอย่างทดลองที่ 1 และตัวอย่างทดลองที่ 2 จะสามารถสรุปได้อยู่สามประเด็นคือ

1. พบว่าในตัวอย่างการทดลองทั้งสองตัวอย่างมีการเกิดสนิมขึ้นจริงในเหล็กเสริมเนื่องจากการใช้เครื่องมือ Half-cell potential Instrument ตรวจซึ่งพบการเกิดสนิมจริง
2. เมื่อเปรียบเทียบการเกิดสนิมเมื่อทิ้งระยะเวลาไว้พบว่าสนิมมีปริมาณที่สูงขึ้นจากล่างขึ้นบนเสาอย่างช้าๆจึงสามารถสรุปได้ว่าเกิดการ Capillary จริงในเสา
3. เมื่อสังเกตจากพฤติกรรมของปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กพบว่าเมื่ออัตราที่เพิ่มสูงขึ้นจากโคนเสาไปที่ส่วนบนของเสา ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการกัดกร่อนของสนิมค่อยๆเกิดขึ้นจากโคนเสา ซึ่งนั่นหมายถึงการซึมผ่านของน้ำผ่านรอยต่อระหว่างฐานรากและเสาตอม่อ

5.1.1.2 อ้างอิงจากตัวอย่างทดลองที่ 3 และ 4 เมื่อทุบทำลายทั้งสองตัวอย่างพบว่ามีคราบของสีผสมอาหารอยู่ในบริเวณรอยต่อระหว่างเสาและตอม่อ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า มีการซึมของน้ำเข้าสู่รอยต่อจริง

## 5.1.2 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

### 5.1.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดสนิมกับจำนวนวันที่ตัวอย่างแช่ในน้ำ

จากการสังเกตพฤติกรรมของการเกิดสนิมและกราฟที่นำมาวิเคราะห์ทำให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า ปริมาณการเกิดสนิมบนเหล็กเสริมนั้น แปรผันตามกาลเวลา และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างช้าๆ หากดูจากความชันของกราฟ

### 5.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดสนิมกับระยะ Covering

จะเห็นว่าที่ระยะ Covering ที่แตกต่างกันคือ 7, 5, 4 และ 3 จะมีเส้นกราฟที่ไล่ระดับกันตามระดับซึ่งหมายความว่าเมื่อระยะ Covering เพิ่มมากขึ้น ปริมาณการเกิดสนิมก็เพิ่มสูงตามไปด้วยเช่นกัน

## 5.1.3 เปรียบเทียบระยะการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

### 5.1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อเทียบกับจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.5 และจากตารางที่ 4.7 จะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่ายิ่งเวลาผ่านไปมากเท่าไรระดับของสนิมที่เครื่องมืออ่านได้เท่ากับ  $-400$  mV ยิ่งสูงขึ้น และถ้าหากดูจากความชันของเส้นกราฟจะพบว่าแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างช้าๆเช่นกัน

### 5.1.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเกิดสนิมเหล็กกับระยะ Covering

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ระยะ Covering ที่แตกต่างกันคือ 7, 5, 4 และ 3 จะมีเส้นกราฟที่ได้ระดับกันตามระดับซึ่งหมายความว่าเมื่อระยะ Covering เพิ่มมากขึ้น ระยะการเกิดสนิมก็เพิ่มสูงตามไปด้วยเช่นกัน

### 5.1.4 ผลการทดสอบการ Capillary เมื่อ Void แตกต่างกัน

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำแบบ Capillary เมื่อช่องว่างการซึมผ่าน (Void) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 3, 4, 5, 6 และ 9 mm ได้ผลการทดสอบคือเมื่อทำการตรวจวัดระดับการซึมผ่านของน้ำเข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างของแบบจำลองกลับไม่พบว่างมีการซึมผ่านของน้ำเข้ามาอาจเป็นเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น

1. ช่องว่างที่ทำการทดลองมีขนาดใหญ่เกินไป จึงทำให้ไม่เกิดการ Capillary ขึ้น
2. น้ำที่ซึมผ่านเข้ามาถูกดูดซึมด้วยคอนกรีตจนหมด
3. ปริมาณน้ำที่มีการซึมผ่านมีปริมาณน้อยจึงไม่สามารถตรวจสอบพบได้
4. การศึกษาการทดลองนี้จำเป็นต้องมีเวลาการทดลองที่ยาวนานไม่สามารถเห็นผลได้ด้วยระยะเวลาอันสั้นทางผู้ทดสอบจึงขอสรุปว่าผลการทดลองนี้ประสบความสำเร็จ

### 5.1.5 การเปรียบเทียบตัวอย่างที่หล่อเสาและฐานรากพร้อมกันโดยใช้สีผสม

จากตัวอย่างการทดลองที่ 3 และ ตัวอย่างการทดลองที่ 4 พบว่าเมื่อทำการทาบตัวอย่างทั้งสอง ปรากฏว่าตัวอย่างที่ 3 ที่หล่อแบบ ปกติมีน้ำสีผสมอาหาร ซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างรอยต่อกับเสา โดยที่ระยะลึกที่สุดที่น้ำผสมสีสามารถแทรกซึมเข้าไปได้คือ 2.72 cm. ส่วนระยะน้อยสุดคือ 1.4 cm. ส่วนตัวอย่างที่ 4 ไม่มีการซึมของน้ำแต่พบการซึมสีแดงเข้าไปในคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองที่น้อยเกินไปและสีผสมอาหารไม่ใช่สารละลายแต่เป็นอนุภาคเม็ดสี จึงทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าไปยากและไม่ถึงเหล็กเสริม แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถทำให้ผู้ทดลองสามารถสรุปได้ว่าเกิดการแทรกซึมเข้าไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 สาเหตุของการที่น้ำซึมผ่าน

เนื่องจากการทดลองมีความจำเป็นที่ใช้เครื่องมือในการทดสอบคือ เครื่อง Half-cell potential Instrument ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายแต่มีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากความชื้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลองที่ไม่ค่อยแม่นยำมากนักแต่ก็ถือว่าได้ผลการทดลองทำเป็นที่น่าพอใจ และสามารถตั้งข้อสันนิษฐานทั้งสามประเด็นได้

### 5.2.2 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

เนื่องจากปริมาณการเกิดสนิมนั้นดูจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่เครื่องมือ Half-cell potential Instrument ตรวจได้ว่ามีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแค่นั้น แต่เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงอันเนื่องมาจากความชื้นของชิ้นตัวอย่าง ทำให้กราฟที่เขียนออกมาในบางช่วงพบ Error ค่อนข้างมากผู้ตรวจจึงต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก และนอกจากนี้ปัญหาในเรื่องของการก่อสร้างตัวอย่างทดลองที่ผู้ทดลองไม่ชำนาญทำให้ระยะ Covering ที่ได้กำหนดไว้ไม่แม่นยำมากนัก

### 5.2.3 เปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดสนิมในเหล็กเมื่อระยะ Covering แตกต่างกันและจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น

การเปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดสนิมด้วยการใช้วิธี บัญญัติไตรยางศ์ ซึ่งทางผู้ทดลองได้วิเคราะห์เฉพาะช่วงที่คาดว่าระดับค่าความต่างศักย์ที่  $-400$  mV จะอยู่ในช่วงนั้นๆ อาจไม่แม่นยำนักแต่สามารถได้ผลการทดลองที่อยู่ในระดับที่เป็นที่น่าพอใจพอสมควร และ ข้อเสนอแนะอีกประการหนึ่งที่ทาง

ผู้ทดสอบได้คาดการณ์ไว้ตั้งแต่ช่วงต้น ทดลองว่าจะเป็นปัญหา นั่นคือเรื่องของระยะเวลาการทดลองที่สั้นเกินไปคือเพียง 8 สัปดาห์เท่านั้นเนื่องจากกระบวนการเกิดสนิมเหล็กใน โครงสร้างคอนกรีตนั้นดำเนินไปอย่างช้าๆ ใช้เวลานานหลายปี

#### 5.2.4 การทดสอบการ Capillary เมื่อ Void แตกต่างกัน

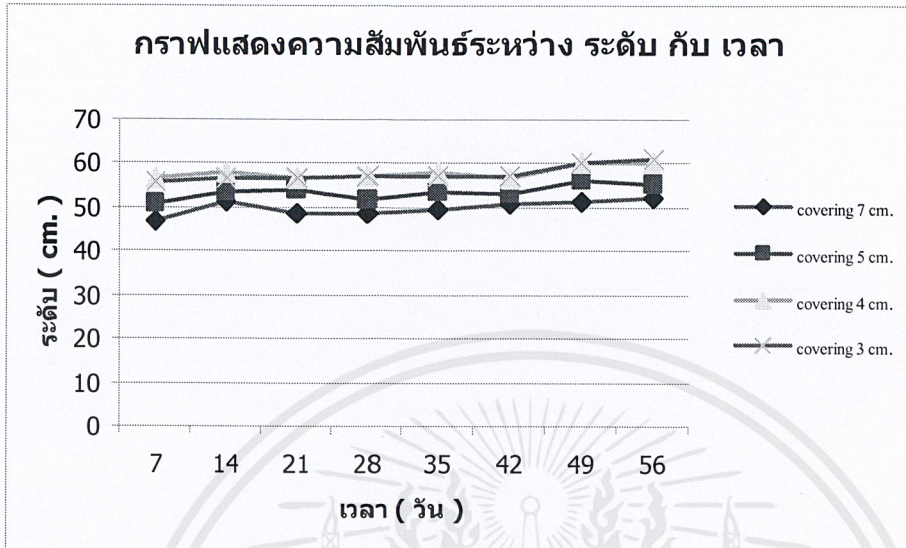
ผู้ศึกษาไม่ได้ผลการทดสอบคือเมื่อทำการตรวจวัดระดับการซึมผ่านของน้ำเข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างของแบบจำลองกลับไม่พบว่างมีการซึมผ่านของน้ำเข้ามาอาจเป็นเนื่องจากหลายสาเหตุเช่น

1. ช่องว่างที่ทำการทดลองมีขนาดใหญ่เกินไปจึงทำให้ไม่เกิดการ Capillary ขึ้น
2. น้ำที่ซึมผ่านเข้ามาถูกดูดซึมด้วยคอนกรีตจนหมด
3. ปริมาณน้ำที่มีการซึมผ่านมีปริมาณน้อยจึงไม่สามารถตรวจสอบพบได้
4. การศึกษาการทดลองนี้จำเป็นต้องมีเวลาการทดลองที่ยาวนานไม่สามารถเห็นผลได้ด้วยระยะเวลาอันสั้น

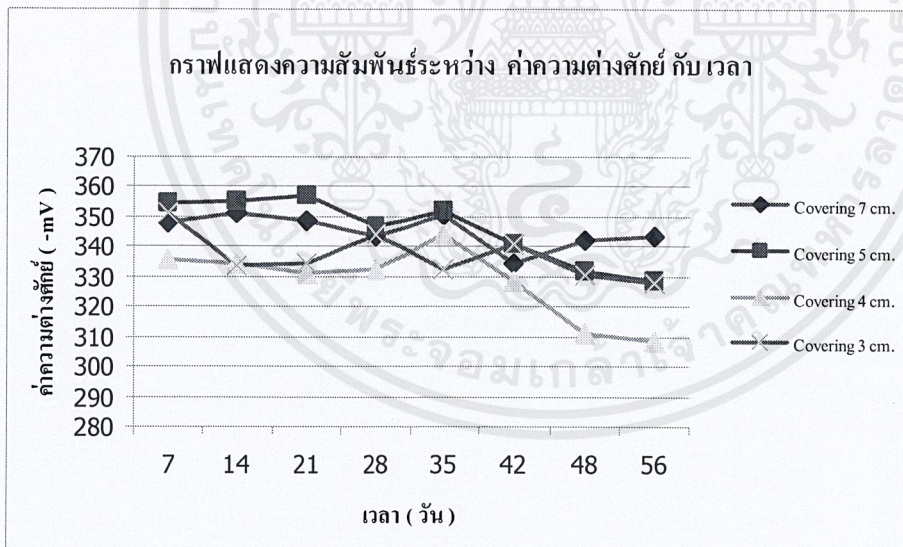
#### 5.2.5 การเปรียบเทียบตัวอย่างที่หล่อเสาและฐานรากพร้อมกันโดยใช้สีผสม

เนื่องจากผู้ทดลองได้ออกแบบกำลังของคอนกรีตไว้ค่อนข้างสูงคือ 350 KSC ซึ่งสูงเกินไปสำหรับการทုบทำลายด้วยมือเปล่าจึงเกิดอุปสรรคในการทုบทำลายเพื่อดูผลการทดลอง

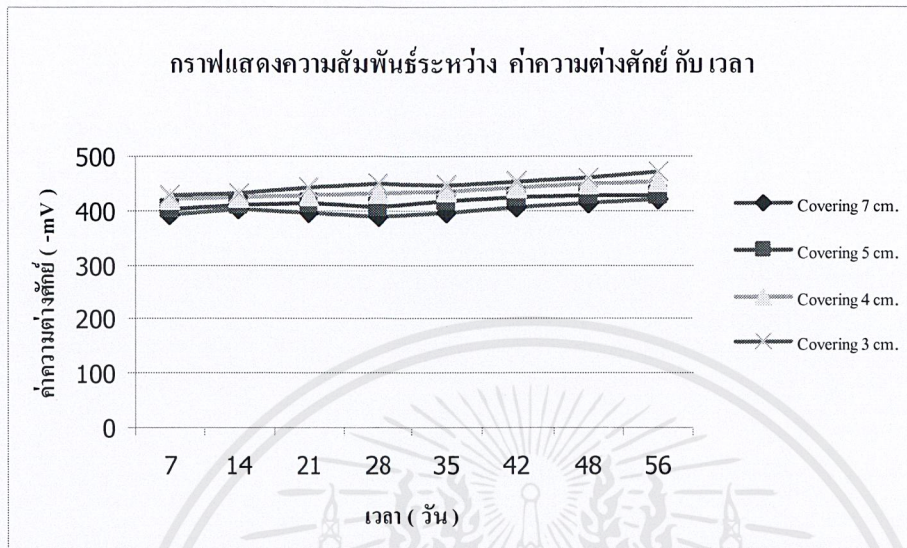
จากตัวอย่างการทดลองที่ 3 และ ตัวอย่างการทดลองที่ 4 พบว่าเมื่อทำการทုบตัวอย่างทั้งสองปรากฏว่าตัวอย่างที่ 3 ที่หล่อแบบ ปกติมีน้ำสีผสมอาหาร ซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างรอยต่อกับเสาเพียงเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างที่ 4 ไม่มีการซึมของน้ำแต่พบการซึมสีแดงเข้าไปในคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองที่น้อยเกินไปและสีผสมอาหารไม่ใช่สารละลายแต่เป็นอนุภาคเม็ดสี จึงทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าไปได้ยากและไม่ถึงเหล็กเสริม



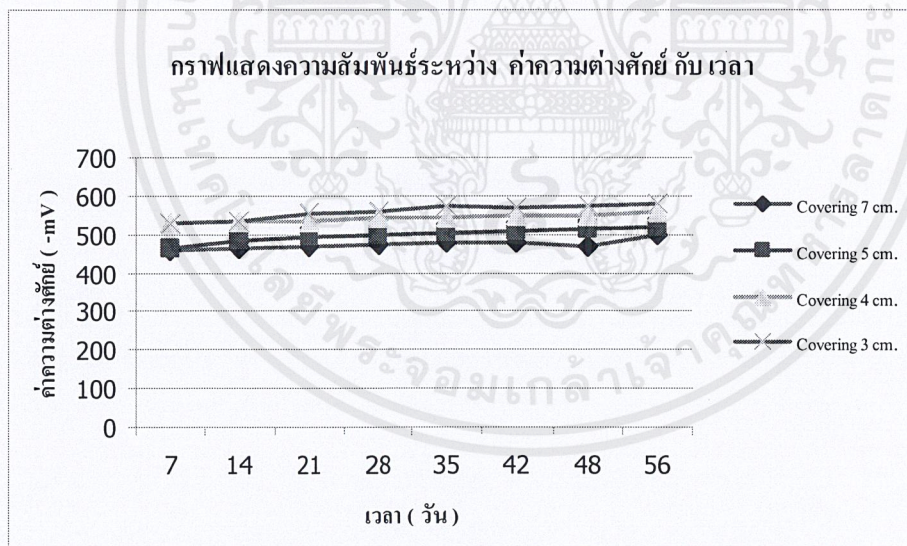
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ เวลา ที่มีค่า Half-cell เท่ากับ -400 mV



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm.



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.

## บรรณานุกรม

- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์,มาตรฐานสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก, พิมพ์ครั้งที่ 6
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์,ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้าง สำหรับโครงสร้างคอนกรีต(ปรับปรุงครั้งที่ 1),พิมพ์ครั้งที่ 3
- ทดสอบการสึกกร่อนของเหล็กเสริม ,สำนักงานก่อสร้างและบูรณะ สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร
- ทดสอบการสึกกร่อนของเหล็กเสริม,สำนักงานส่งเสริมบริการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เอกสารประกอบความรู้,โครงการจัดสร้างและเสริมสะพานข้ามคลองในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร กลุ่ม 2
- มยพ.1506-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย,วิธีการทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-cell Potential)
- ASTM C876-91 Standard Test Method for Half-cell Potential of uncoated Reinforcing Steel in Concrete



ภาคผนวก ก

ผลการทดลองและตารางคำนวณ

ผก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 1 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-339	-333	-345	95	-340	-335	-346
90	-356	-338	-345	90	-357	-337	-348
85	-354	-335	-356	85	-356	-334	-348
80	-355	-343	-355	80	-353	-337	-353
75	-351	-344	-348	75	-362	-345	-357
70	-370	-353	-359	70	-366	-348	-357
65	-374	-356	-365	65	-373	-353	-367
60	-390	-363	-367	60	-383	-367	-370
55	-391	-373	-380	55	-398	-381	-390
50	-397	-386	-398	50	-401	-400	-404
45	-418	-405	-410	45	-413	-409	-415
40	-423	-424	-428	40	-425	-412	-424
35	-446	-445	-434	35	-445	-435	-436
30	-457	-452	-442	30	-457	-446	-452
25	-459	-466	-448	25	-467	-454	-464
20	-548	-532	-509	20	-503	-496	-515
15	-510	-518	-516	15	-509	-498	-521
10	-512	-511	-506	10	-501	-496	-513
5	-504	-495	-503	5	-496	-488	-496

ผก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-329	-331	-346	95	-363	-338	-353
90	-329	-333	-316	90	-350	-335	-335
85	-325	-328	-310	85	-351	-335	-333
80	-336	-331	-317	80	-354	-330	-349
75	-348	-336	-323	75	-357	-335	-362
70	-352	-354	-326	70	-350	-342	-345
65	-373	-364	-348	65	-357	-345	-351
60	-387	-375	-376	60	-366	-357	-362
55	-419	-407	-409	55	-403	-411	-405
50	-423	-417	-421	50	-421	-433	-426
45	-443	-429	-436	45	-443	-456	-464
40	-486	-443	-458	40	-473	-470	-497
35	-519	-478	-487	35	-493	-513	-528
30	-524	-496	-509	30	-501	-519	-513
25	-534	-524	-528	25	-521	-530	-529
20	-542	-543	-554	20	-537	-557	-554
15	-564	-573	-577	15	-566	-578	-578
10	-578	-588	-597	10	-590	-594	-595
5	-601	-600	-613	5	-612	-615	-610

ผก.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 2 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่	ค่าความต่างศักย์(mV)		
(cm.)	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3	(cm.)	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-338	-347	-334	95	-324	-336	-335
90	-342	-356	-338	90	-330	-347	-348
85	-351	-350	-355	85	-338	-350	-355
80	-352	-353	-354	80	-339	-360	-359
75	-352	-355	-347	75	-342	-361	-363
70	-366	-367	-360	70	-353	-362	-367
65	-372	-369	-366	65	-362	-368	-376
60	-384	-373	-370	60	-367	-375	-384
55	-387	-386	-386	55	-386	-398	-405
50	-406	-403	-404	50	-394	-412	-424
45	-413	-423	-423	45	-449	-451	-460
40	-428	-448	-435	40	-458	-456	-463
35	-457	-462	-457	35	-508	-495	-495
30	-460	-464	-468	30	-511	-496	-499
25	-462	-452	-482	25	-483	-482	-483
20	-509	-501	-503	20	-517	-501	-490
15	-510	-505	-509	15	-515	-505	-498
10	-507	-503	-505	10	-499	-498	-492
5	-504	-497	-503	5	-501	-498	-492

ผก.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-320	-326	-315	95	-282	-313	-312
90	-316	-324	-309	90	-290	-313	-310
85	-312	-325	-305	85	-287	-319	-312
80	-325	-328	-329	80	-296	-324	-338
75	-335	-334	-334	75	-306	-334	-362
70	-343	-350	-339	70	-307	-339	-343
65	-368	-369	-373	65	-323	-349	-356
60	-384	-379	-406	60	-338	-365	-373
55	-412	-406	-426	55	-416	-414	-424
50	-421	-422	-431	50	-427	-435	-434
45	-446	-452	-458	45	-461	-467	-476
40	-486	-479	-475	40	-480	-496	-496
35	-507	-492	-502	35	-505	-545	-552
30	-534	-513	-523	30	-508	-546	-528
25	-540	-524	-536	25	-524	-546	-552
20	-560	-555	-581	20	-549	-559	-565
15	-588	-586	-598	15	-570	-587	-589
10	-592	-599	-611	10	-596	-591	-603
5	-608	-604	-613	5	-617	-620	-608

ผก.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 3 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-355	-351	-342	95	-334	-343	-346
90	-368	-357	-342	90	-341	-349	-353
85	-361	-345	-349	85	-356	-351	-355
80	-364	-348	-353	80	-353	-351	-359
75	-353	-348	-344	75	-351	-359	-361
70	-371	-357	-356	70	-364	-357	-359
65	-377	-361	-354	65	-374	-360	-374
60	-390	-363	-368	60	-380	-368	-376
55	-390	-374	-381	55	-402	-383	-401
50	-400	-389	-396	50	-412	-412	-418
45	-415	-421	-423	45	-438	-443	-457
40	-428	-432	-445	40	-459	-444	-454
35	-433	-446	-468	35	-508	-484	-499
30	-452	-452	-474	30	-491	-469	-492
25	-458	-469	-472	25	-501	-481	-499
20	-515	-491	-493	20	-516	-496	-517
15	-510	-502	-507	15	-505	-508	-512
10	-511	-502	-508	10	-498	-503	-493
5	-484	-486	-490	5	-489	-482	-485

ผก.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-318	-318	-311	95	-297	-303	-308
90	-315	-318	-305	90	-300	-301	-305
85	-317	-318	-302	85	-303	-309	-321
80	-325	-324	-319	80	-308	-313	-333
75	-332	-330	-331	75	-323	-323	-358
70	-344	-345	-330	70	-329	-331	-344
65	-367	-363	-350	65	-331	-336	-353
60	-381	-372	-389	60	-367	-365	-369
55	-404	-407	-412	55	-421	-418	-416
50	-423	-426	-435	50	-446	-435	-441
45	-475	-464	-470	45	-462	-465	-466
40	-487	-488	-480	40	-487	-489	-484
35	-508	-513	-514	35	-503	-536	-533
30	-523	-523	-526	30	-534	-553	-540
25	-532	-536	-534	25	-546	-565	-556
20	-569	-567	-567	20	-554	-583	-572
15	-608	-607	-594	15	-604	-621	-601
10	-625	-622	-620	10	-608	-626	-623
5	-617	-608	-619	5	-618	-620	-617

ผก.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 4 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 4 เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-324	-312	-292	95	-313	-339	-331
90	-350	-338	-307	90	-309	-351	-343
85	-348	-332	-333	85	-332	-354	-346
80	-360	-340	-338	80	-325	-356	-351
75	-349	-344	-338	75	-329	-358	-354
70	-354	-353	-349	70	-342	-361	-356
65	-368	-350	-353	65	-360	-365	-369
60	-380	-360	-359	60	-357	-370	-370
55	-387	-370	-377	55	-389	-389	-391
50	-395	-385	-388	50	-408	-406	-407
45	-441	-426	-436	45	-438	-457	-451
40	-440	-432	-434	40	-441	-490	-461
35	-493	-484	-486	35	-465	-507	-499
30	-464	-460	-456	30	-487	-475	-487
25	-472	-473	-471	25	-495	-490	-505
20	-510	-502	-487	20	-505	-502	-509
15	-522	-523	-512	15	-525	-512	-505
10	-514	-521	-517	10	-526	-543	-503
5	-495	-499	-508	5	-500	-516	-486

ผก.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่	ค่าความต่างศักย์(mV)		
(cm.)	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3	(cm.)	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-306	-310	-307	95	-286	-317	-309
90	-306	-320	-306	90	-301	-310	-306
85	-309	-320	-303	85	-307	-319	-329
80	-322	-330	-327	80	-316	-324	-334
75	-331	-332	-335	75	-335	-329	-368
70	-344	-355	-341	70	-332	-340	-358
65	-368	-371	-360	65	-342	-346	-365
60	-381	-384	-386	60	-364	-365	-382
55	-408	-412	-419	55	-425	-412	-421
50	-425	-437	-433	50	-448	-455	-451
45	-444	-446	-457	45	-463	-476	-477
40	-478	-483	-463	40	-499	-512	-496
35	-507	-504	-492	35	-527	-562	-549
30	-532	-521	-525	30	-530	-552	-535
25	-540	-545	-544	25	-557	-571	-555
20	-575	-571	-573	20	-561	-591	-577
15	-603	-616	-594	15	-610	-648	-619
10	-642	-644	-640	10	-619	-658	-649
5	-633	-631	-634	5	-623	-643	-622

ผก.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 5 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 5 เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-333	-340	-321	95	-314	-318	-327
90	-355	-355	-330	90	-328	-332	-344
85	-355	-344	-341	85	-350	-347	-344
80	-356	-355	-347	80	-346	-348	-352
75	-354	-351	-346	75	-346	-351	-358
70	-364	-358	-355	70	-357	-353	-357
65	-370	-353	-352	65	-371	-356	-365
60	-388	-365	-363	60	-379	-365	-365
55	-386	-380	-379	55	-402	-386	-388
50	-400	-387	-401	50	-429	-408	-414
45	-449	-433	-449	45	-464	-445	-444
40	-453	-438	-453	40	-463	-443	-443
35	-480	-443	-476	35	-507	-462	-453
30	-454	-429	-448	30	-465	-444	-478
25	-489	-460	-485	25	-510	-498	-505
20	-506	-492	-519	20	-522	-488	-494
15	-495	-489	-503	15	-525	-508	-488
10	-493	-497	-506	10	-524	-513	-496
5	-490	-485	-490	5	-509	-488	-482

ผก.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-323	-328	-311	95	-307	-301	-311
90	-316	-322	-321	90	-305	-300	-298
85	-317	-326	-316	85	-300	-307	-310
80	-333	-338	-340	80	-309	-315	-314
75	-344	-339	-350	75	-326	-323	-349
70	-341	-356	-355	70	-334	-337	-325
65	-381	-377	-367	65	-331	-342	-347
60	-370	-384	-395	60	-359	-360	-365
55	-421	-423	-423	55	-425	-427	-431
50	-432	-442	-436	50	-451	-440	-445
45	-492	-478	-518	45	-486	-465	-481
40	-517	-548	-530	40	-491	-509	-516
35	-515	-525	-515	35	-488	-516	-503
30	-535	-539	-532	30	-518	-521	-499
25	-546	-550	-543	25	-591	-539	-587
20	-555	-585	-572	20	-611	-585	-617
15	-620	-626	-608	15	-624	-615	-621
10	-639	-642	-637	10	-620	-638	-628
5	-643	-635	-639	5	-631	-643	-629

ผก.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 6 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 6 เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-298	-316	-343	95	-328	-322	-310
90	-282	-359	-345	90	-324	-317	-324
85	-312	-347	-352	85	-343	-321	-326
80	-313	-347	-348	80	-336	-324	-334
75	-328	-348	-348	75	-341	-340	-342
70	-328	-358	-358	70	-341	-346	-342
65	-336	-360	-368	65	-357	-359	-354
60	-343	-366	-368	60	-369	-367	-368
55	-360	-374	-382	55	-373	-386	-398
50	-403	-405	-412	50	-432	-418	-422
45	-422	-418	-423	45	-446	-425	-430
40	-429	-430	-430	40	-463	-435	-453
35	-454	-452	-460	35	-487	-469	-476
30	-469	-463	-468	30	-499	-487	-496
25	-474	-478	-487	25	-512	-508	-506
20	-481	-476	-480	20	-485	-479	-477
15	-485	-506	-506	15	-500	-481	-495
10	-503	-513	-523	10	-507	-500	-490
5	-501	-525	-532	5	-511	-494	-495

ผก.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-320	-316	-306	95	-314	-310	-303
90	-327	-314	-310	90	-322	-310	-303
85	-312	-310	-302	85	-324	-314	-310
80	-324	-312	-315	80	-332	-316	-327
75	-334	-328	-323	75	-352	-327	-344
70	-345	-338	-336	70	-342	-325	-329
65	-363	-349	-349	65	-360	-345	-378
60	-372	-362	-362	60	-374	-378	-396
55	-425	-413	-418	55	-410	-405	-425
50	-445	-444	-440	50	-458	-453	-451
45	-467	-467	-458	45	-460	-459	-465
40	-476	-487	-472	40	-456	-478	-485
35	-495	-503	-493	35	-473	-500	-520
30	-520	-532	-526	30	-489	-524	-533
25	-545	-555	-550	25	-576	-564	-569
20	-552	-554	-540	20	-517	-544	-555
15	-561	-559	-562	15	-574	-574	-583
10	-598	-595	-607	10	-578	-605	-611
5	-608	-599	-615	5	-599	-617	-611

ผก.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 7 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 7 เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-294	-314	-292	95	-288	-305	-289
90	-284	-337	-304	90	-291	-304	-312
85	-306	-335	-330	85	-298	-325	-314
80	-303	-345	-340	80	-316	-334	-316
75	-325	-354	-347	75	-320	-336	-340
70	-326	-355	-354	70	-324	-351	-358
65	-329	-359	-351	65	-349	-359	-352
60	-330	-366	-364	60	-354	-362	-359
55	-344	-374	-373	55	-411	-414	-410
50	-415	-418	-407	50	-425	-429	-426
45	-459	-452	-453	45	-459	-434	-435
40	-462	-458	-456	40	-468	-460	-459
35	-507	-498	-496	35	-526	-525	-499
30	-499	-514	-499	30	-514	-521	-491
25	-475	-470	-458	25	-516	-511	-510
20	-500	-497	-488	20	-517	-485	-514
15	-519	-526	-505	15	-552	-533	-530
10	-522	-531	-518	10	-545	-535	-515
5	-509	-502	-514	5	-509	-506	-494

ผก.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-301	-296	-283	95	-284	-305	-309
90	-305	-299	-290	90	-282	-312	-310
85	-308	-302	-282	85	-300	-313	-315
80	-318	-314	-288	80	-310	-318	-322
75	-324	-315	-294	75	-317	-328	-346
70	-326	-326	-303	70	-325	-338	-340
65	-352	-341	-326	65	-333	-348	-356
60	-402	-398	-405	60	-401	-398	-402
55	-428	-422	-419	55	-427	-415	-418
50	-452	-446	-451	50	-455	-465	-460
45	-480	-477	-469	45	-477	-484	-485
40	-486	-500	-480	40	-499	-510	-495
35	-527	-527	-509	35	-526	-534	-549
30	-557	-528	-524	30	-554	-568	-554
25	-566	-541	-544	25	-573	-579	-576
20	-598	-585	-576	20	-577	-614	-598
15	-613	-618	-600	15	-607	-633	-624
10	-625	-630	-624	10	-617	-634	-628
5	-623	-623	-627	5	-625	-635	-625

ตาราง ผ.ก. 8 บันทึกผลการทดลองครั้งที่ 8 เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน

Covering 7 cm.				Covering 5 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-309	-316	-297	95	-302	-304	-271
90	-299	-317	-298	90	-271	-295	-292
85	-316	-324	-334	85	-286	-300	-298
80	-317	-337	-332	80	-274	-302	-300
75	-332	-361	-337	75	-302	-344	-340
70	-325	-359	-348	70	-304	-340	-332
65	-347	-347	-352	65	-351	-348	-343
60	-364	-355	-362	60	-386	-398	-387
55	-367	-371	-370	55	-402	-409	-403
50	-415	-422	-426	50	-423	-437	-429
45	-420	-430	-434	45	-459	-467	-472
40	-432	-463	-455	40	-470	-474	-474
35	-467	-450	-483	35	-509	-515	-512
30	-483	-489	-497	30	-510	-524	-515
25	-498	-499	-502	25	-525	-515	-520
20	-500	-492	-492	20	-497	-499	-503
15	-516	-525	-498	15	-505	-510	-506
10	-534	-497	-509	10	-552	-534	-537
5	-533	-516	-506	5	-551	-523	-513

ผก.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Covering 4 cm.				Covering 3 cm.			
ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)			ชั้นที่ (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)		
	เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3		เส้นที่1	เส้นที่2	เส้นที่3
95	-276	-282	-269	95	-290	-288	-280
90	-279	-296	-282	90	-296	-288	-296
85	-296	-300	-282	85	-302	-295	-304
80	-309	-316	-295	80	-307	-296	-310
75	-312	-316	-297	75	-330	-311	-342
70	-311	-333	-297	70	-333	-325	-337
65	-320	-340	-325	65	-335	-327	-344
60	-407	-401	-397	60	-423	-421	-412
55	-427	-423	-415	55	-457	-449	-437
50	-446	-453	-464	50	-474	-475	-462
45	-485	-492	-498	45	-475	-480	-497
40	-500	-517	-500	40	-527	-516	-505
35	-535	-553	-540	35	-531	-565	-558
30	-563	-578	-552	30	-544	-583	-563
25	-564	-563	-550	25	-558	-597	-582
20	-575	-604	-571	20	-560	-603	-587
15	-617	-642	-603	15	-591	-624	-609
10	-653	-670	-633	10	-623	-661	-645
5	-650	-669	-638	5	-633	-647	-652

ผก.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางคำนวณสนิม

ตาราง ผ.ก. 9 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่ -400mV
7 cm.	50	383	46.96
	45	411	
5 cm.	55	389.67	50.69
	50	401.67	
4 cm.	60	379.33	56.8
	55	411.67	
5 cm.	60	361.67	55.7
	55	406.33	

ตาราง ผ.ก. 10 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่ -400mV
7 cm.	55	386.33	51.2
	50	404.33	
5 cm.	55	396.33	53.65
	50	410	
4 cm.	60	389.67	57.93
	55	414.67	
3 cm.	60	358.67	56.51
	55	418	

ผก.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณสนิม

ตาราง ผ.ก. 11 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่-400mV
7 cm.	50	395	48.75
	45	415	
5 cm.	55	395.33	53.75
	50	414	
4 cm.	60	380.67	56.42
	55	401.67	
3 cm.	60	367	56.78
	55	418.33	

ตาราง ผ.ก. 12 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่-400mV
7 cm.	50	389.33	48.82
	45	434.33	
5 cm.	55	389.67	51.92
	50	407	
4 cm.	60	383.67	57.21
	55	413	
3 cm.	60	370.33	56.95
	55	419	

ผก.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณสนิม

ตาราง ผ.ก. 13 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่-400mV
7 cm.	50	396	49.58
	45	443.67	
5 cm.	55	392	53.4
	50	417	
4 cm.	60	383	57.83
	55	422.33	
3 cm.	60	361.33	56.96
	55	427.67	

ตาราง ผ.ก. 14 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่-400mV
7 cm.	55	372	50.96
	50	406.67	
5 cm.	55	385.67	53.13
	50	424	
4 cm.	60	365.33	56.7
	55	418.67	
3 cm.	60	382.67	57.17
	55	413.33	

ตารางคำนวณสนิม

ตาราง ผ.ก. 15 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่-400mV
7 cm.	55	363.67	51.34
	50	413.33	
5 cm.	60	358.33	56.09
	55	411.67	
4 cm.	65	339.67	60.13
	60	401.67	
3 cm.	65	345.67	60.03
	60	400.33	

ตาราง ผ.ก. 16 ตารางคำนวณสนิม เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน

Covering	ระดับจากโคนเสา (cm.)	ค่าความต่างศักย์(mV)	ระดับที่-400mV
7 cm.	55	369.33	52.03
	50	421	
5 cm.	60	309.33	55.24
	55	404.67	
4 cm.	65	328.33	60.11
	60	401.67	
3 cm.	65	335.33	61.12
	60	418.67	

ผก.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 17 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ เวลา ที่มีค่า Half-cell เท่ากับ -400 mV

เวลา (วัน)	ระยะจาก โคนเสา (cm.)			
	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.
7	46.96	50.69	56.8	55.7
14	51.2	53.65	57.93	56.51
21	48.75	53.75	56.42	56.78
28	48.82	51.92	57.21	56.95
35	49.58	53.4	57.83	56.96
42	50.96	53.13	56.7	57.17
49	51.34	56.09	60.13	60.03
56	52.03	55.24	60.11	61.12

ตาราง ผ.ก. 18 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm.

เวลา (วัน)	ค่า Half-cell (mV)			
	Covering 7 cm.	Covering 5 cm.	Covering 4 cm.	Covering 3 cm.
7	-393.67	-401.67	-420.33	-426.67
14	-404.33	-410	-424.67	-432
21	-395	-414	-428	-440.67
28	-389.33	-407	-431.67	-451.33
35	-396	-417	-436.67	-445.33
42	-406.67	-424	-443	-454
48	-413.33	-426.67	-449.67	-460
56	-421	-429.67	-454.33	-470.33

ผก.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ก. 19 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.

เวลา(วัน)	ค่า Half-cell (mV)			
	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.	Covering 7 cm.
7	-393.67	-401.67	-420.33	-426.67
14	-404.33	-410	-424.67	-432
21	-395	-414	-428	-440.67
28	-389.33	-407	-431.67	-451.33
35	-396	-417	-436.67	-445.33
42	-406.67	-424	-443	-454
48	-413.33	-426.67	-449.67	-460
56	-421	-429.67	-454.33	-470.33

ตาราง ผ.ก. 20 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Half-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.

เวลา (วัน)	ค่า Half-cell (mV)			
	Covering 7 cm.	Covering 5 cm.	Covering 4 cm.	Covering 3 cm.
7	-457.67	-461.67	-528.67	-526.67
14	-465.33	-482.67	-533.33	-532.67
21	-466.33	-493.67	-534	-555.67
28	-472	-496.67	-543	-561
35	-478	-504.33	-546.33	-572.33
42	-479.67	-508.67	-550	-569.67
48	-467.67	-512.33	-550.33	-576
56	-499.67	-520	-559	-579

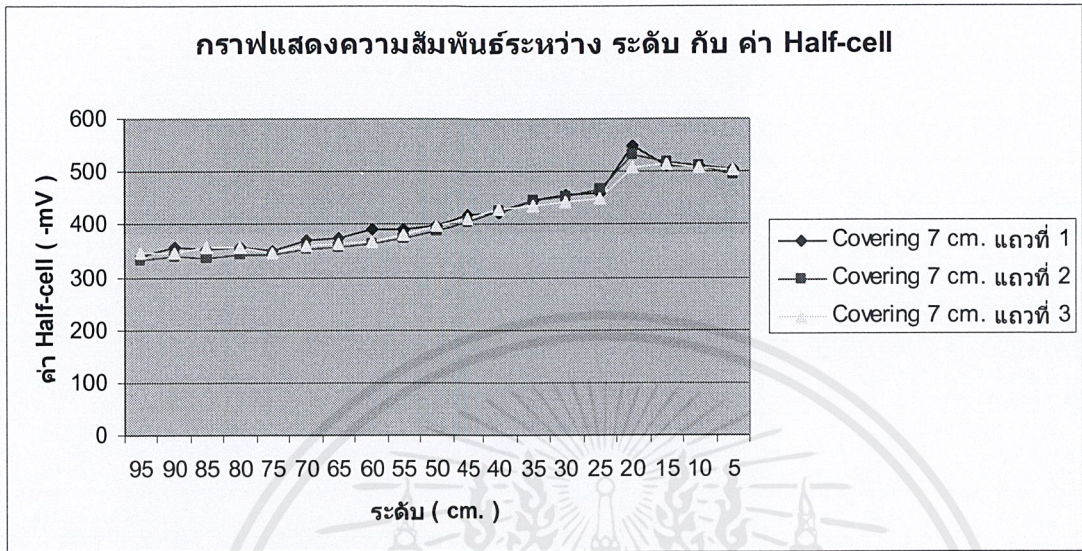
ผก.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

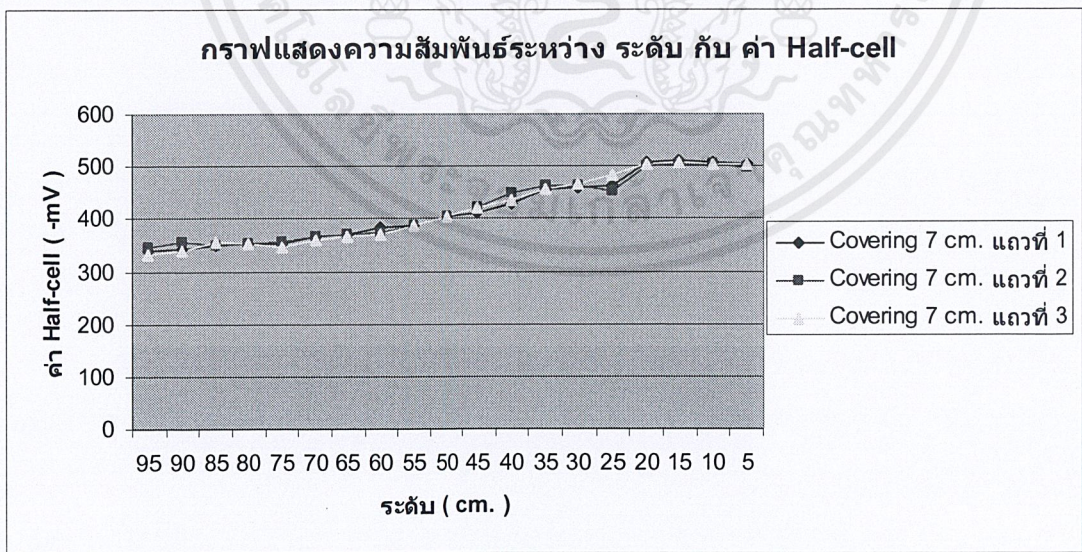


ผข.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



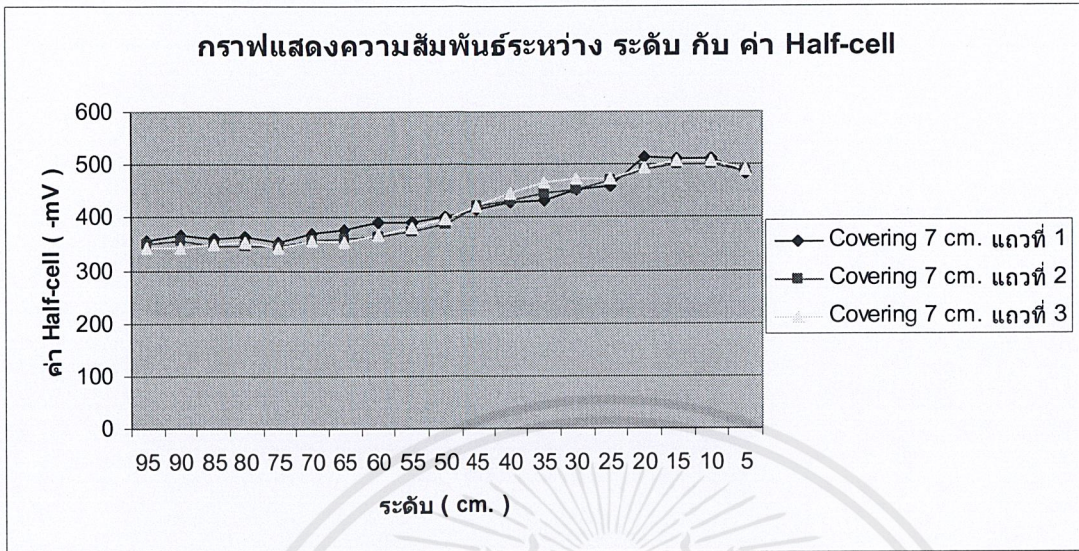
รูปที่ ผ.ข. 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 7



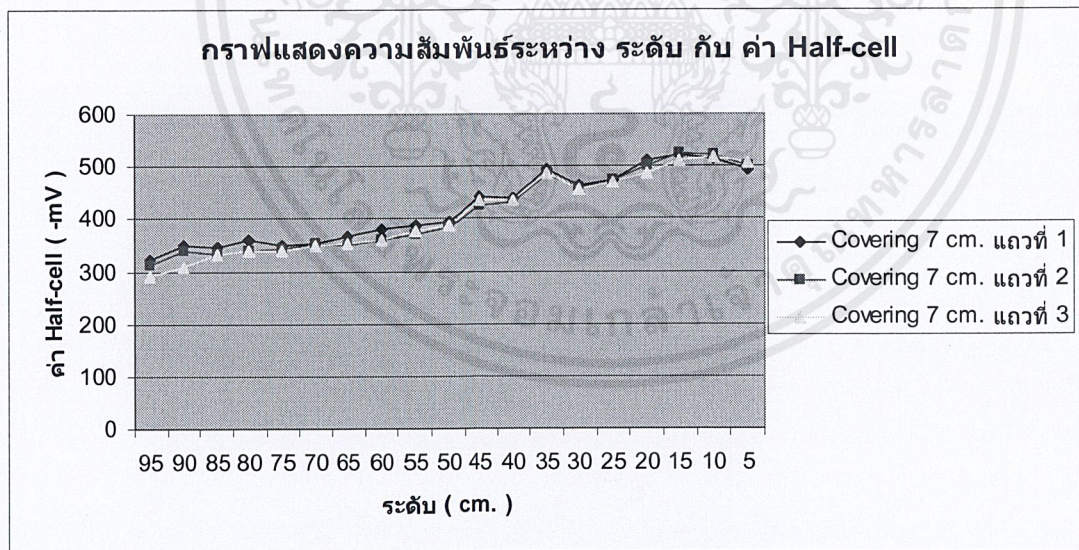
รูปที่ ผ.ข. 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 14

ผ.ข.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



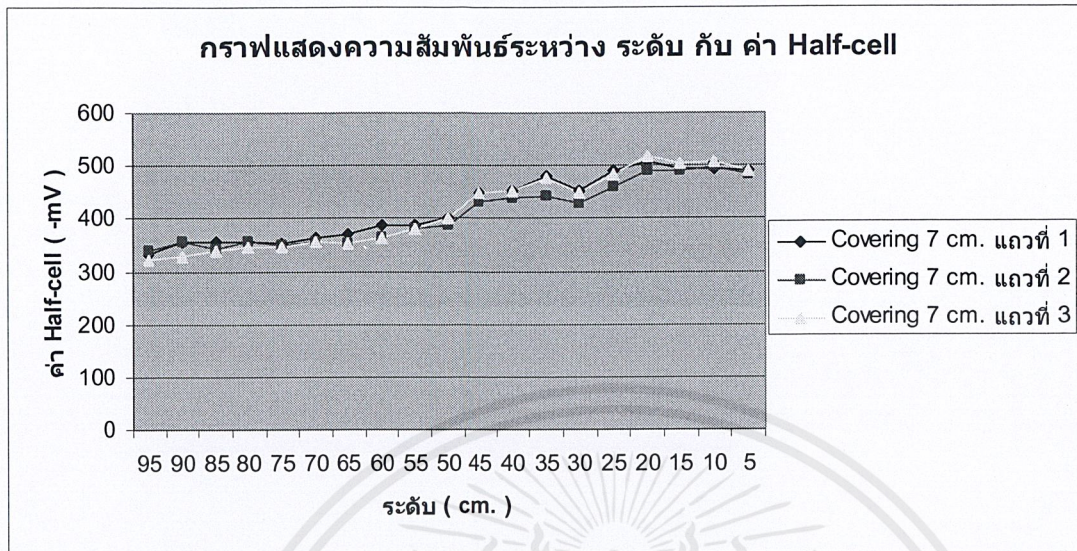
รูปที่ ผ.ข. 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 21



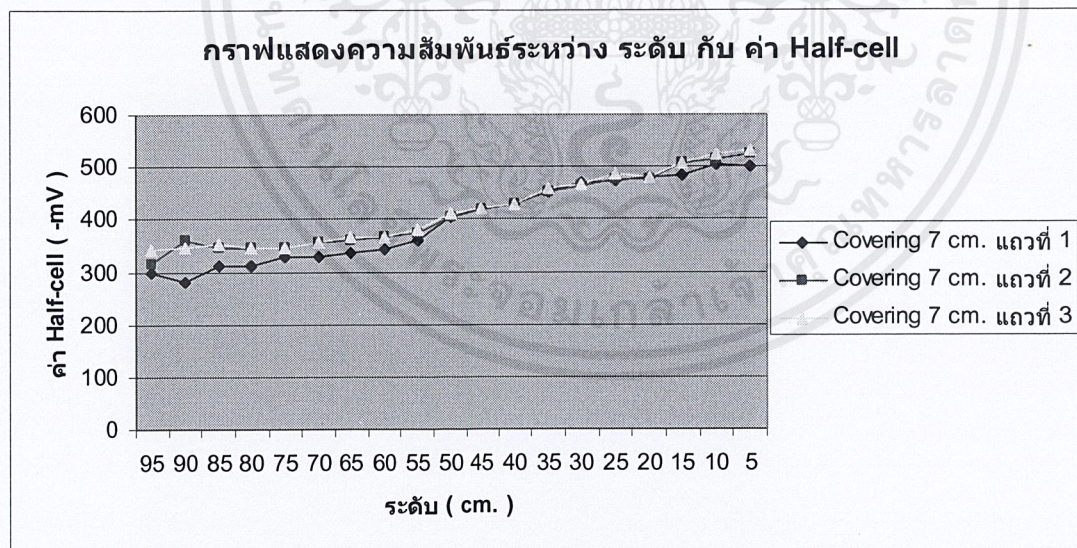
รูปที่ ผ.ข. 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 28

ผ.ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



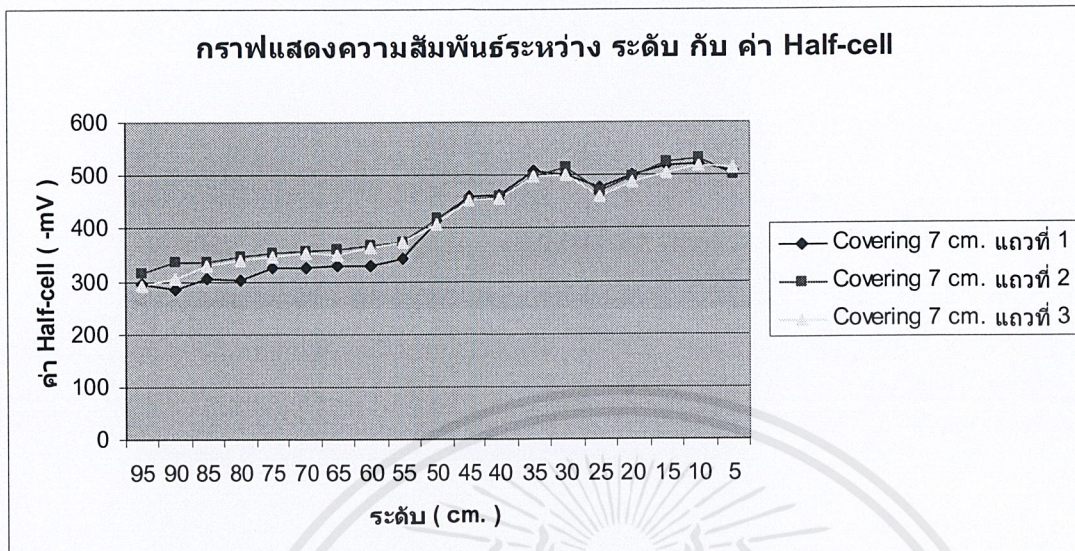
รูปที่ ผ.ข. 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 35



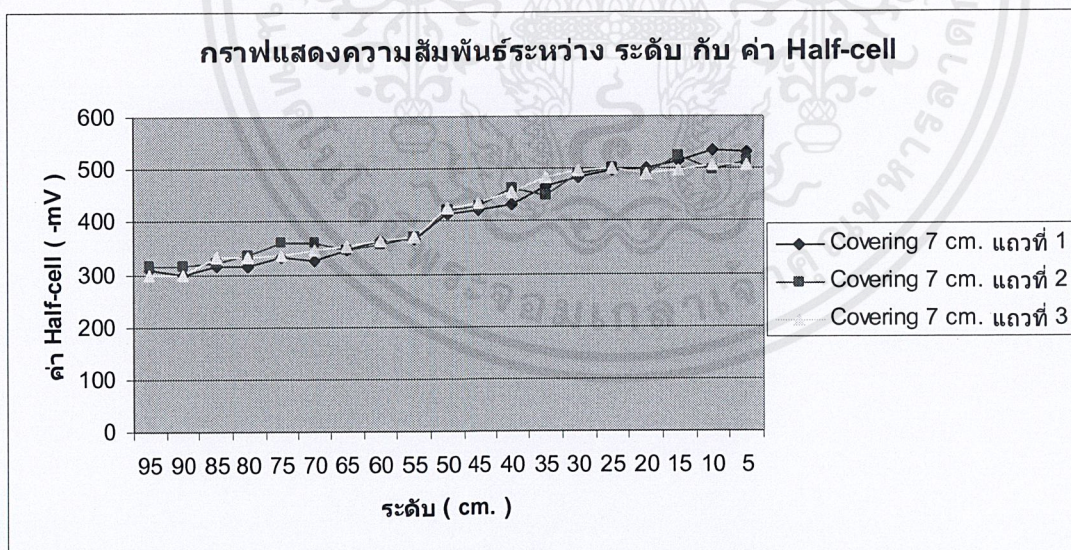
รูปที่ ผ.ข. 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 42

ผ.ข.4

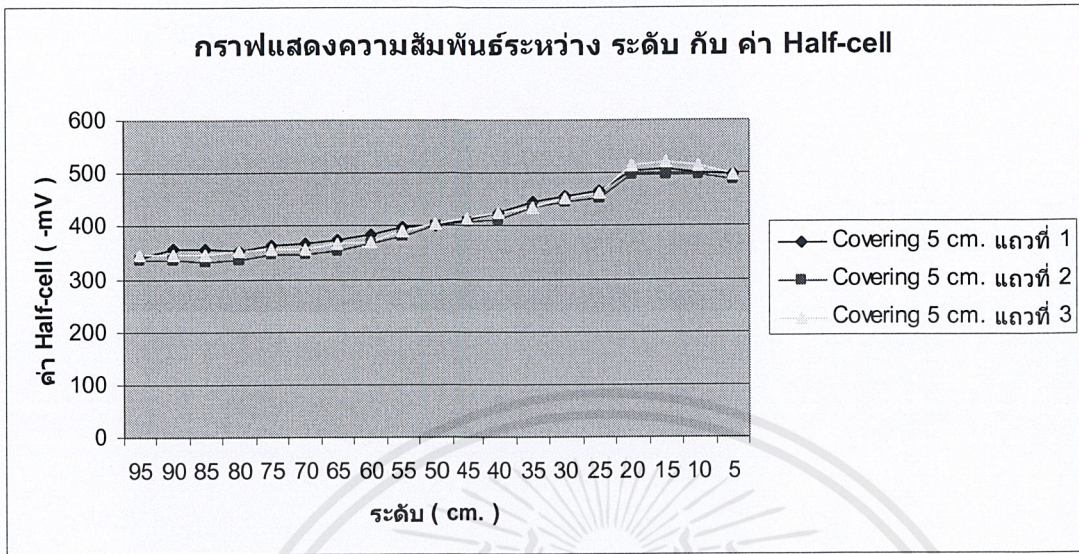
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



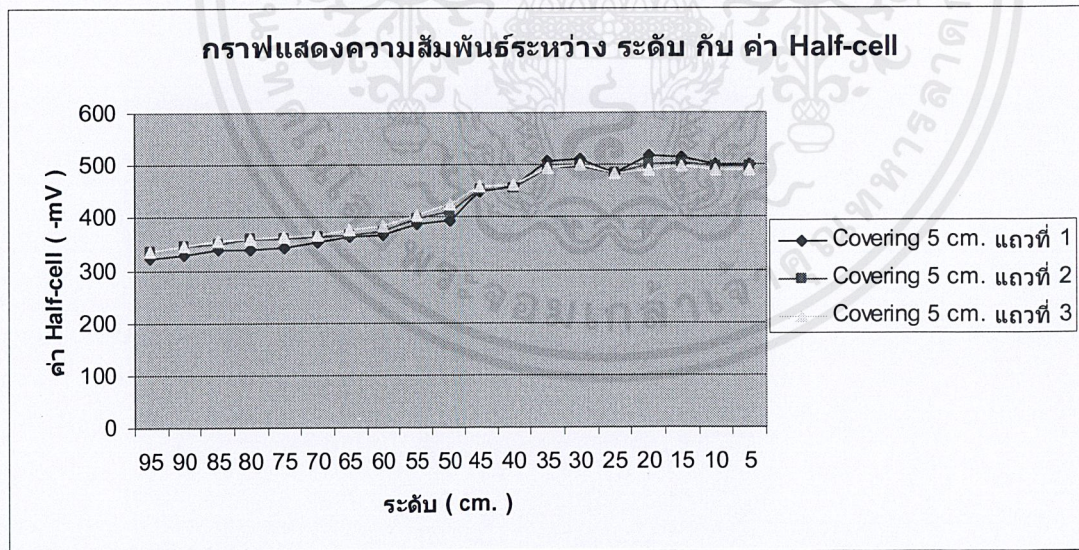
รูปที่ ผ.ข. 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 49



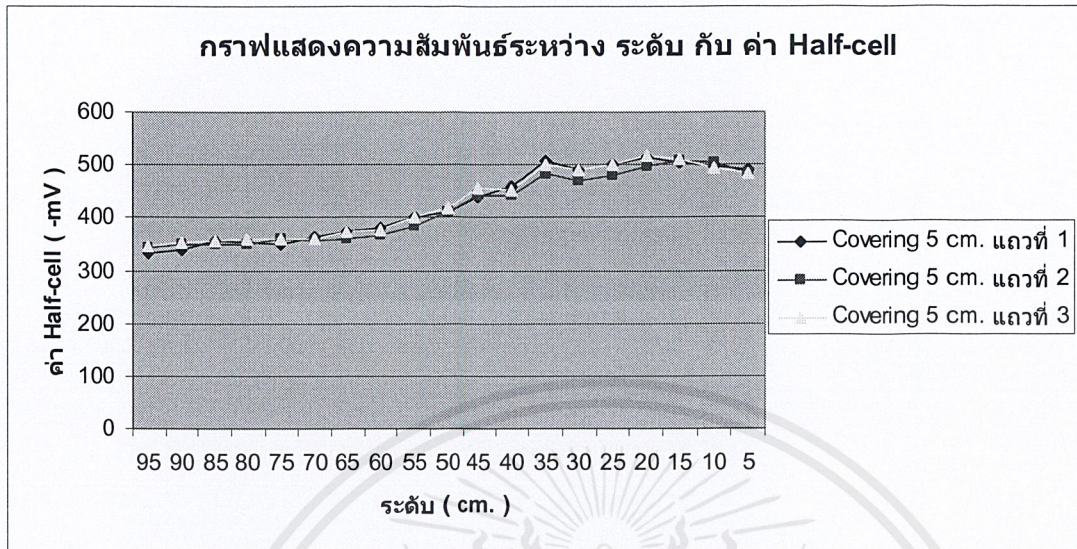
รูปที่ ผ.ข. 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 7 cm. เมื่อวันที่ 56



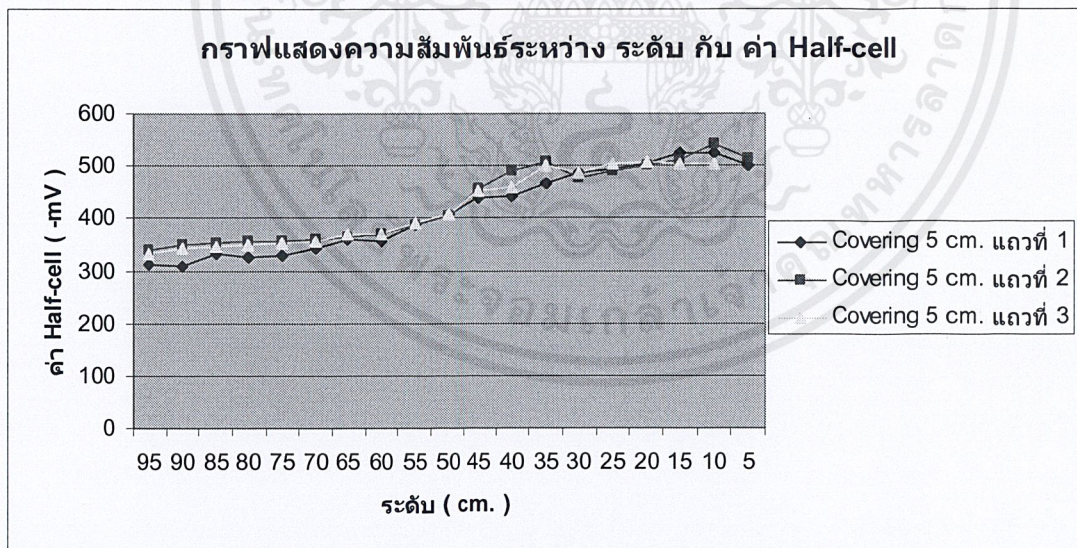
รูปที่ ผ.ข. 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 7



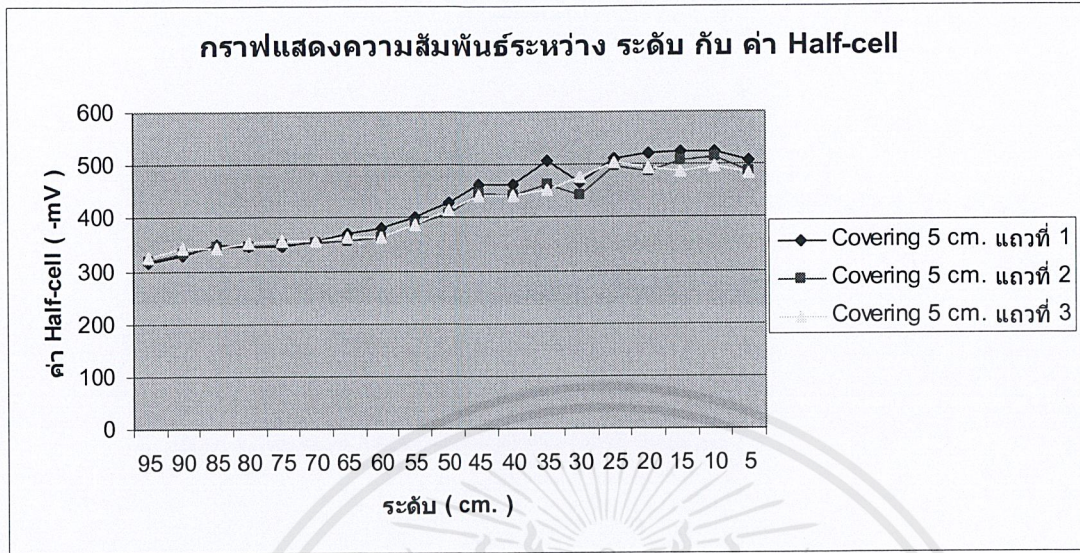
รูปที่ ผ.ข.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 14



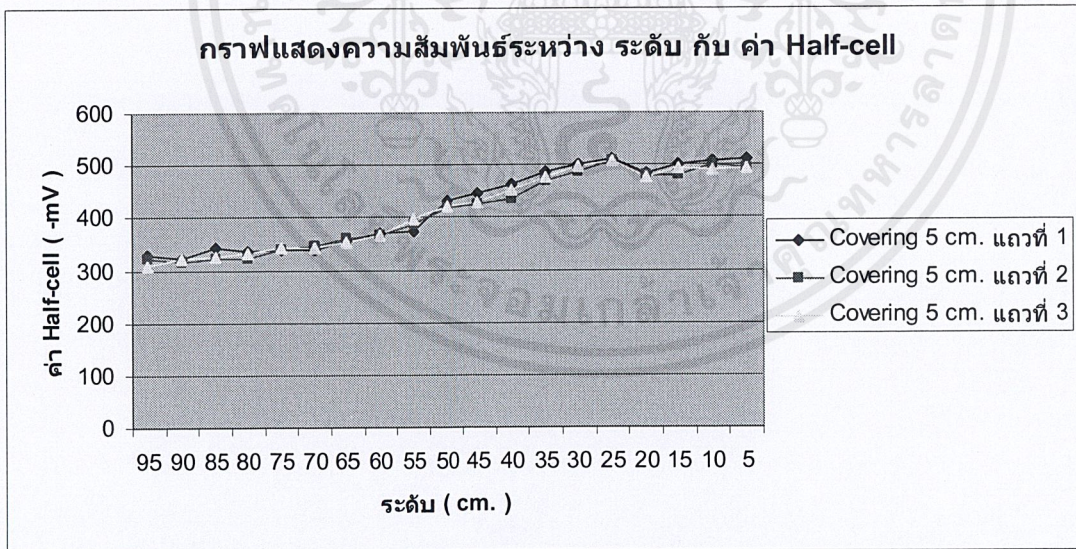
รูปที่ ผ.ข. 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 21



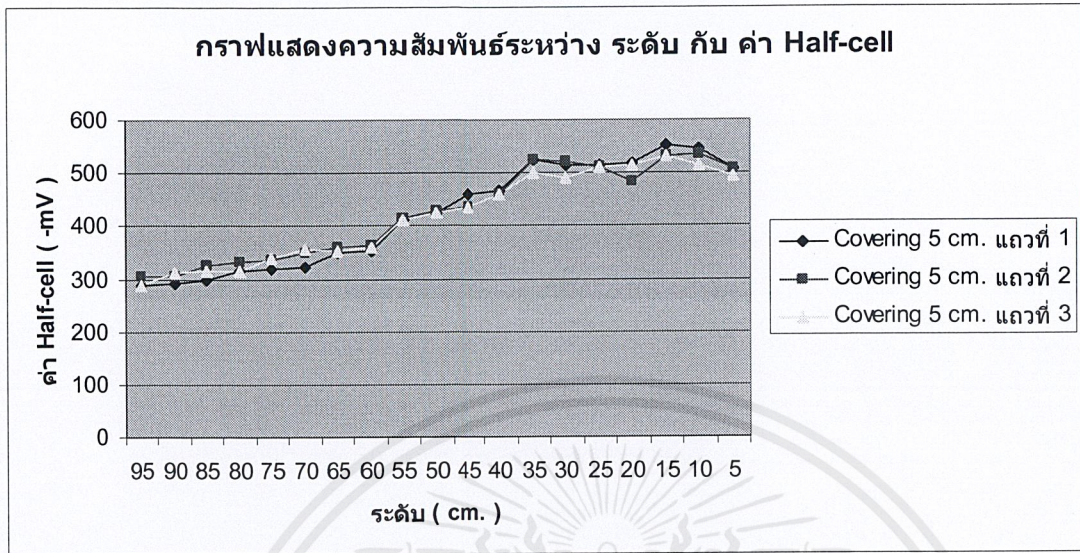
รูปที่ ผ.ข. 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 28



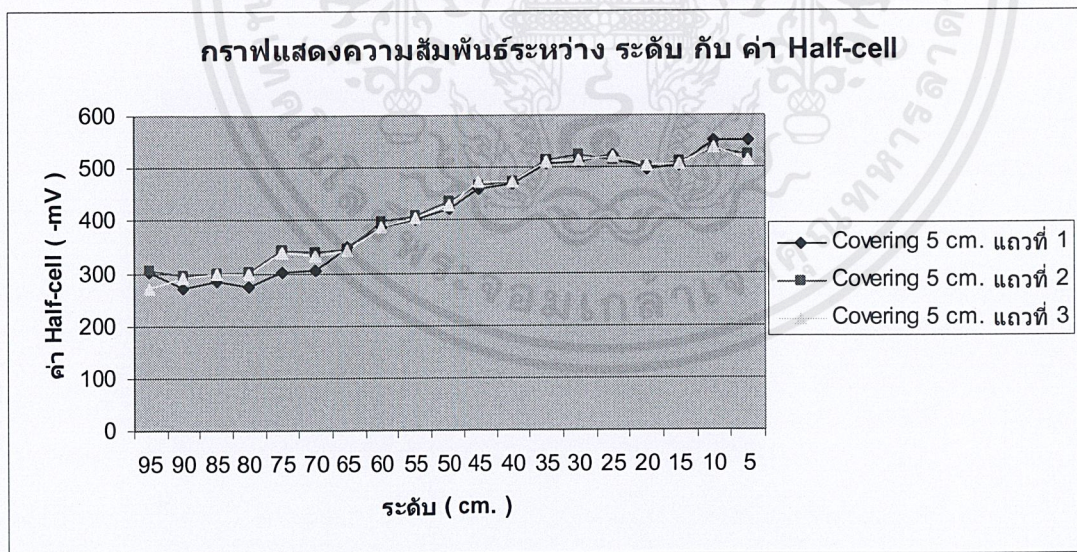
รูปที่ ผ.ข. 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 35



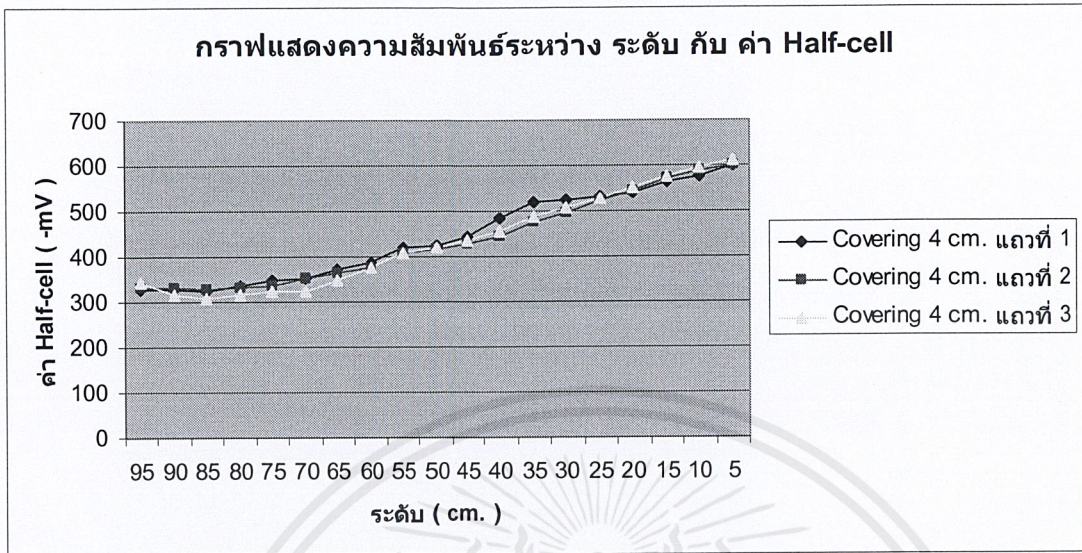
รูปที่ ผ.ข. 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 42



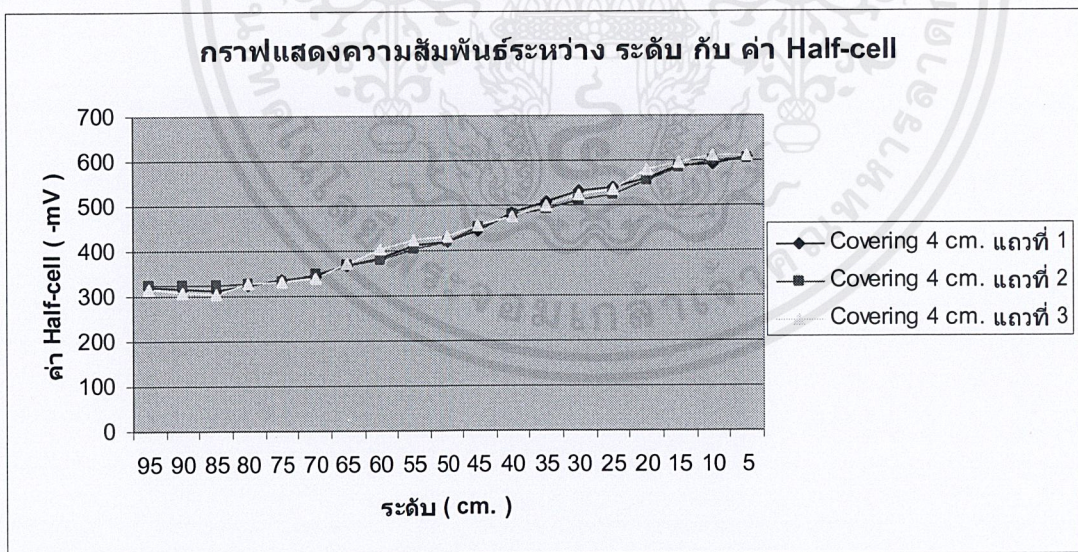
รูปที่ ผ.ข. 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 49



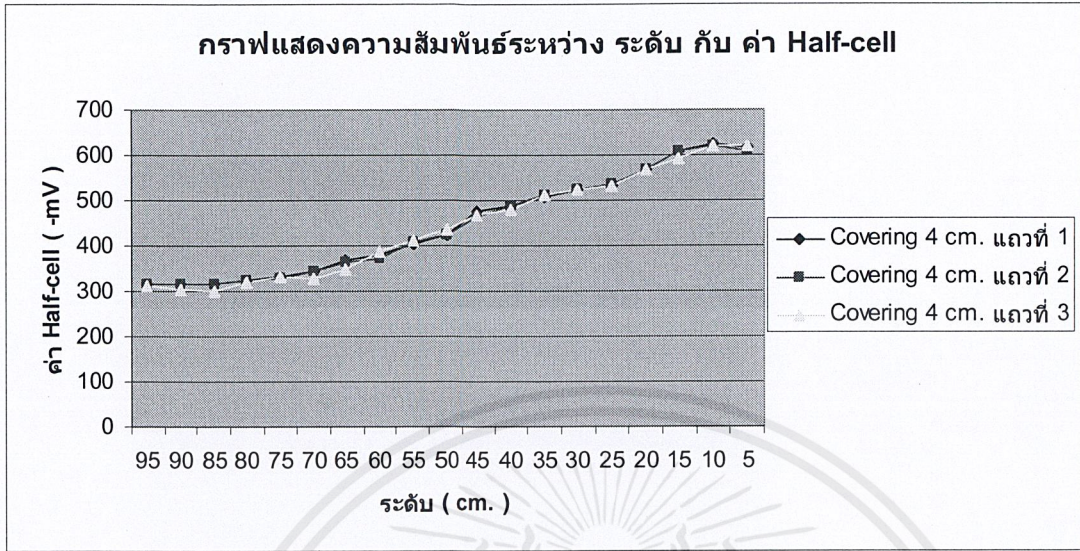
รูปที่ ผ.ข. 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 5 cm. เมื่อวันที่ 56



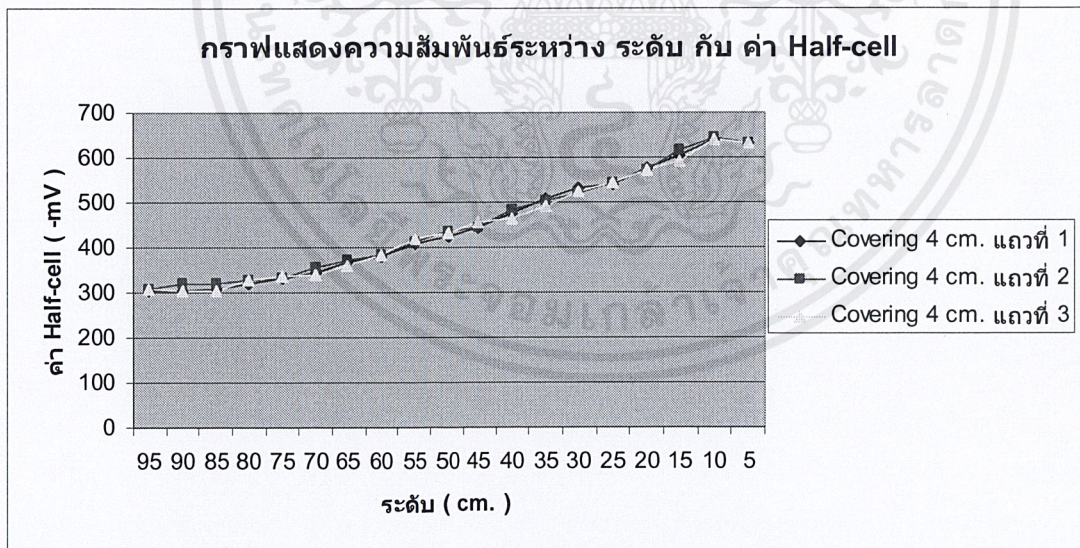
รูปที่ ผ.ข. 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 7



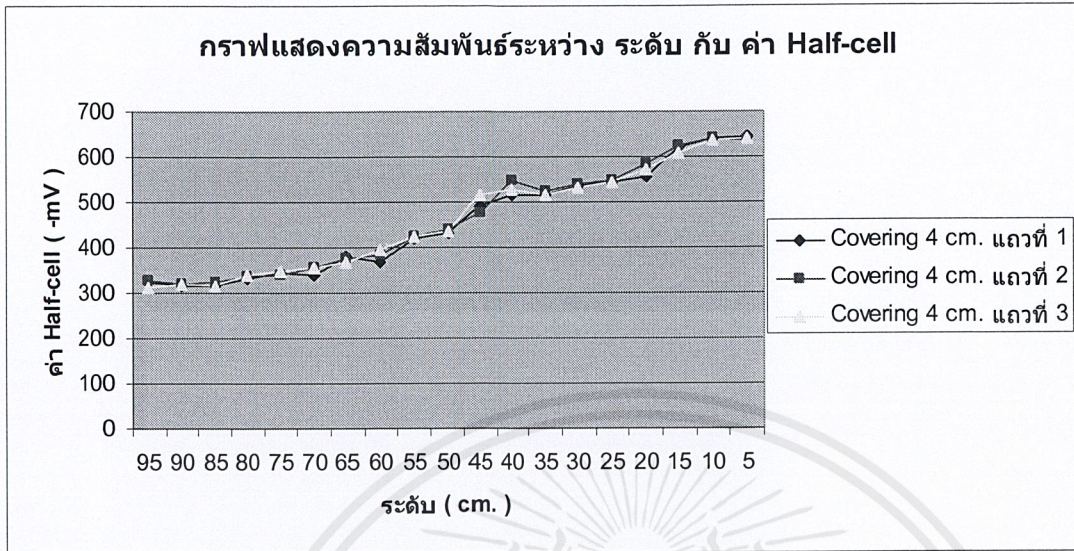
รูปที่ ผ.ข. 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 14



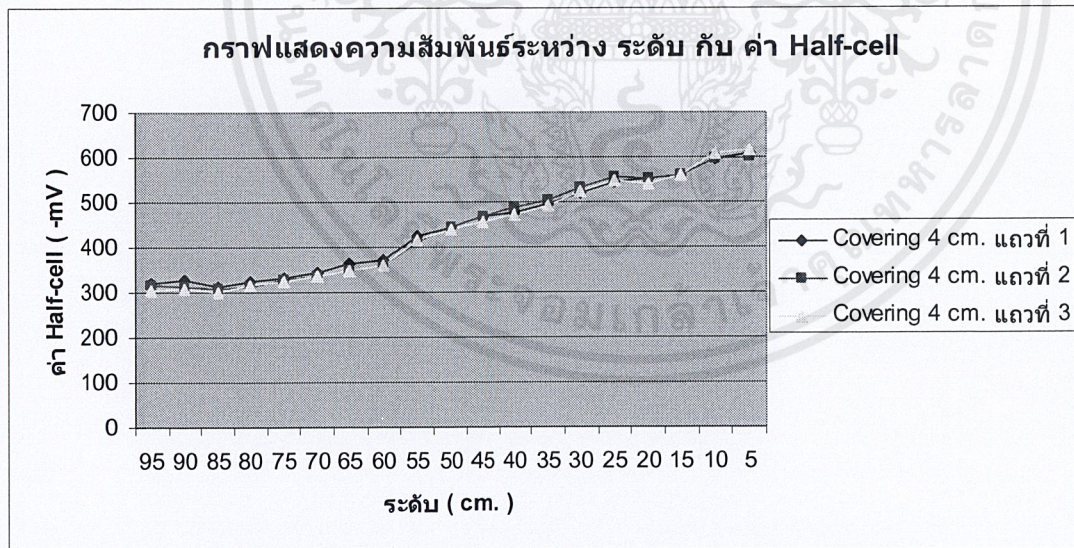
รูปที่ ผ.ข. 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 21



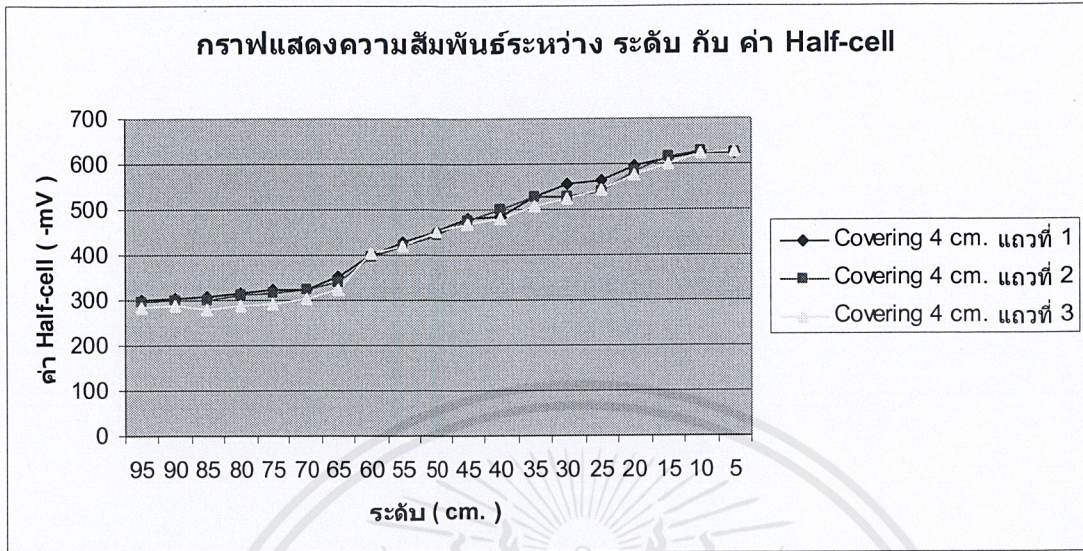
รูปที่ ผ.ข. 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 28



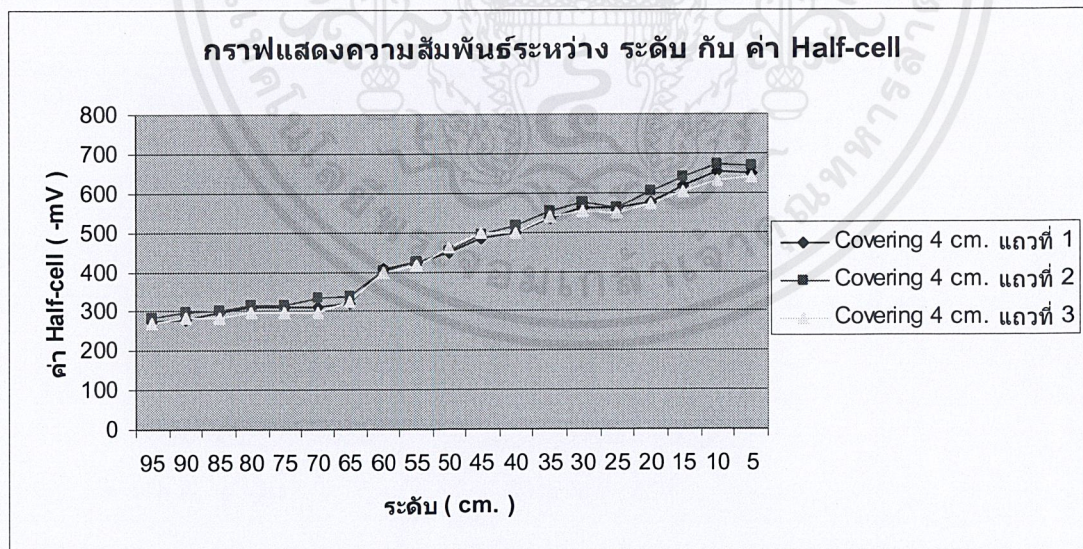
รูปที่ ผ.ข. 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 35



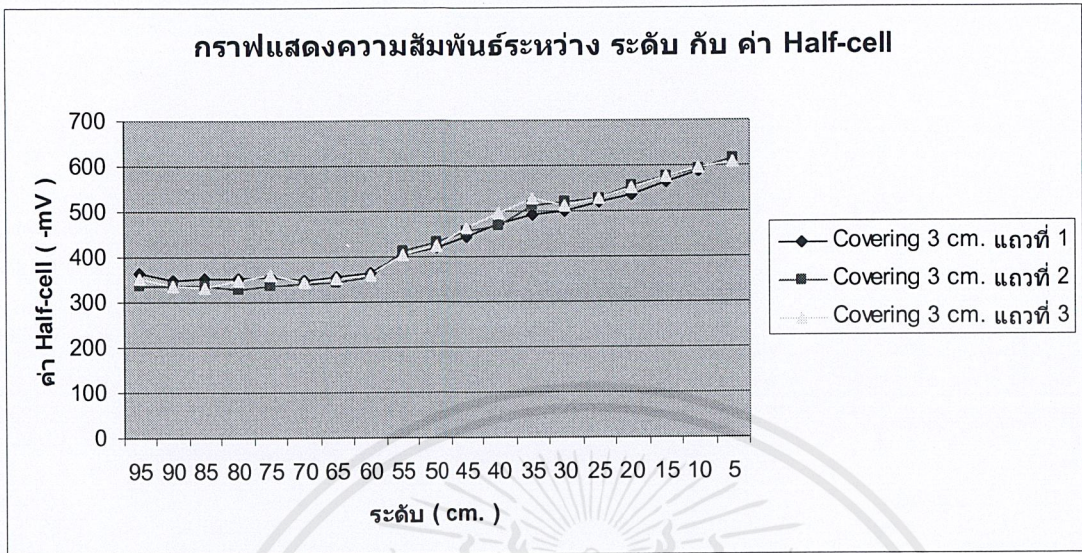
รูปที่ ผ.ข. 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 42



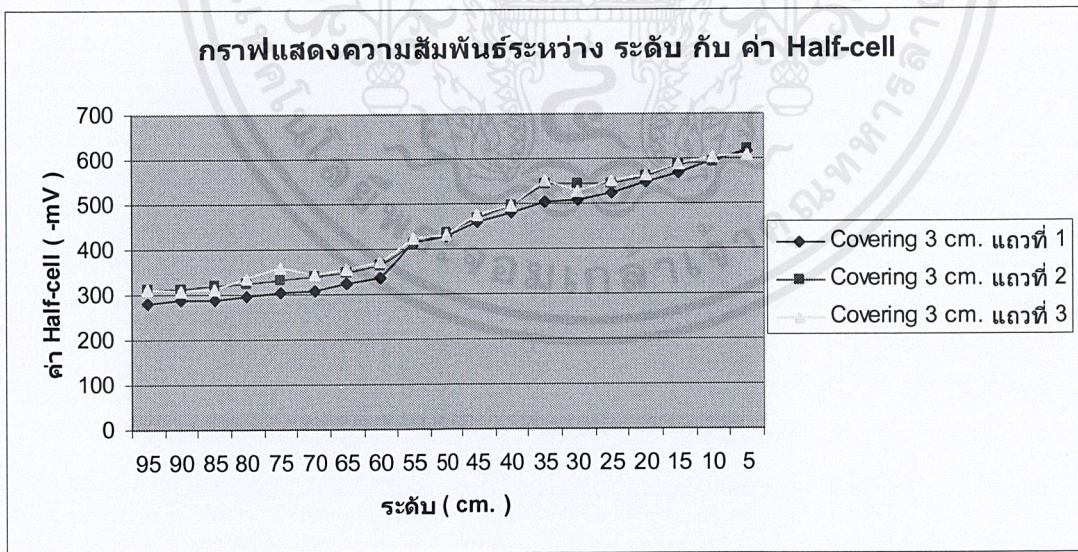
รูปที่ ผ.ข. 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 49



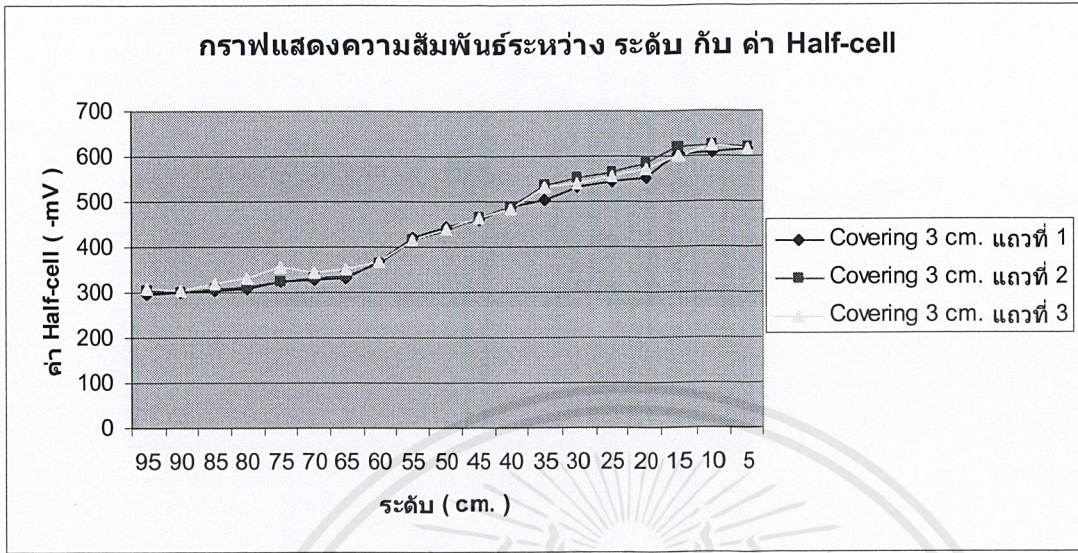
รูปที่ ผ.ข. 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 4 cm. เมื่อวันที่ 56



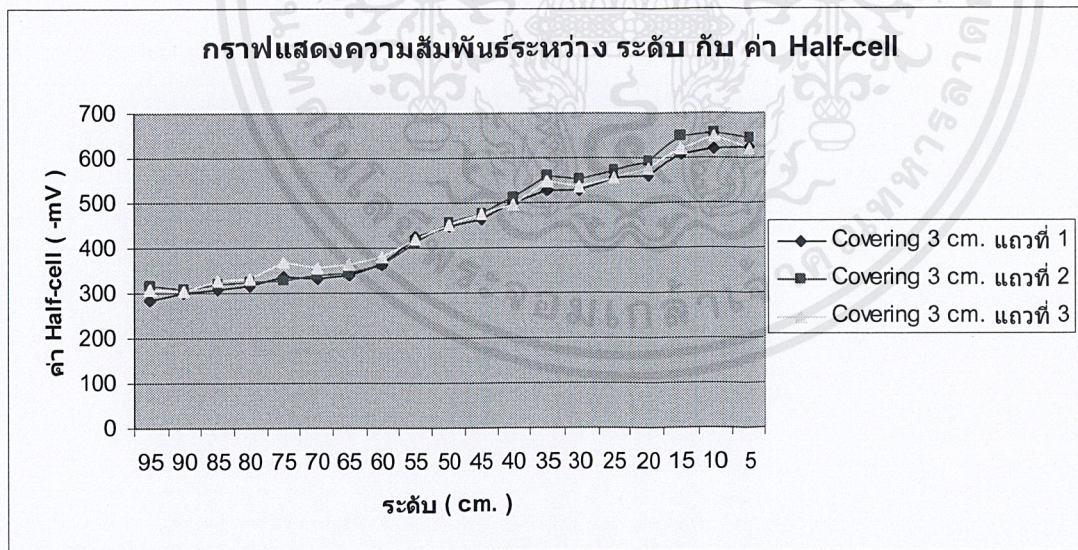
รูปที่ ผ.ข. 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 7



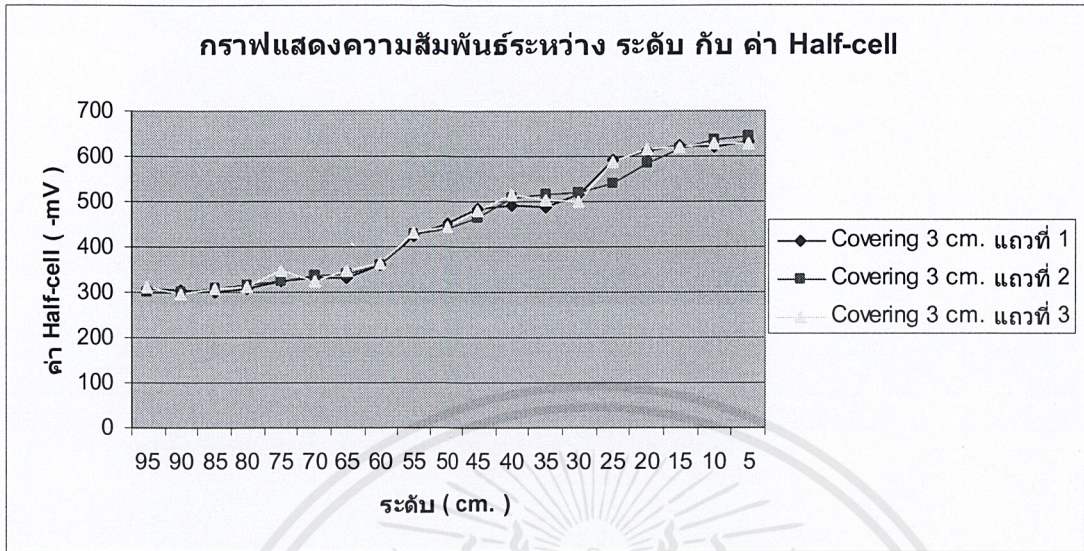
รูปที่ ผ.ข. 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 14



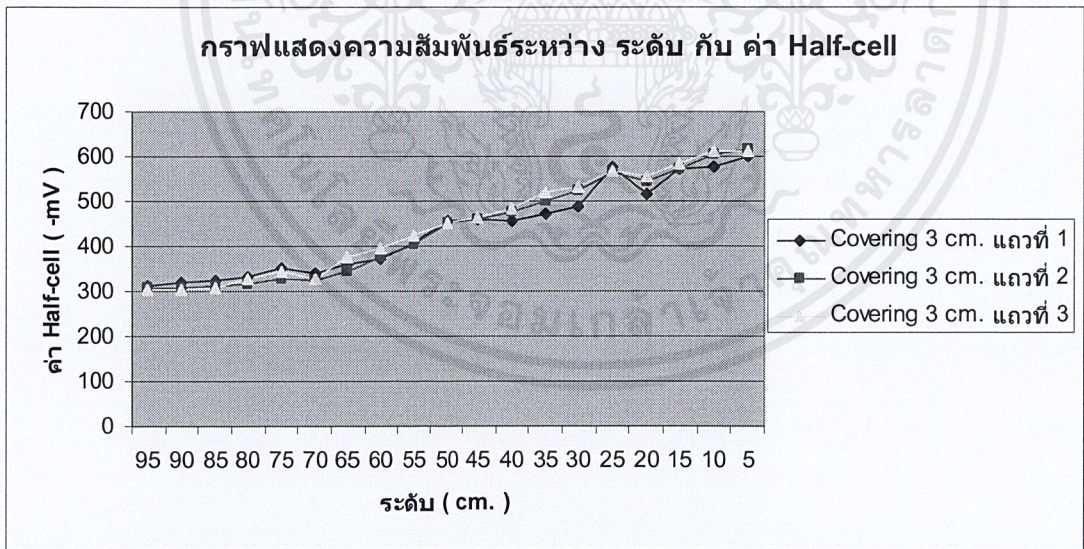
รูปที่ ผ.ข. 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 21



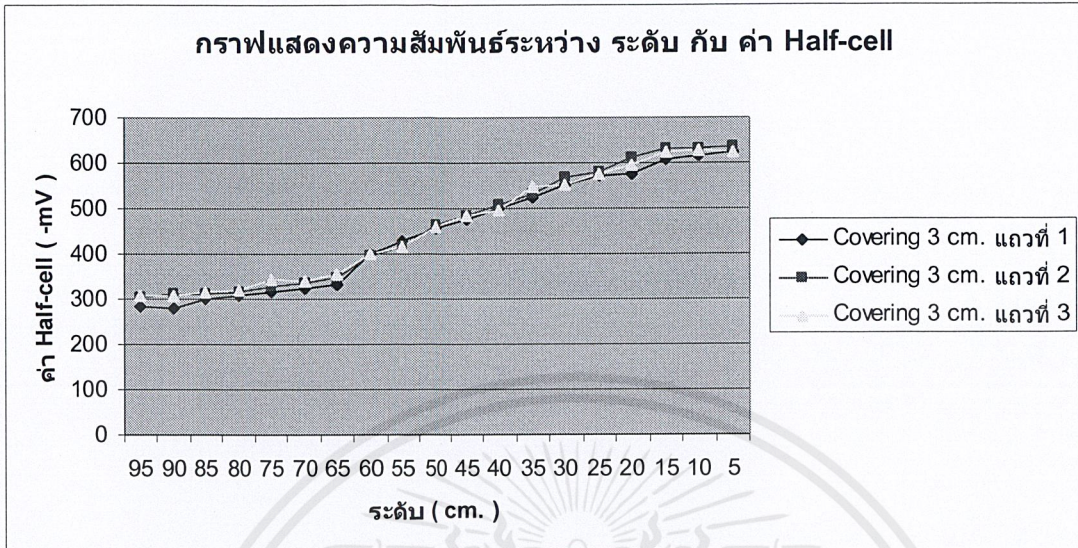
รูปที่ ผ.ข. 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 28



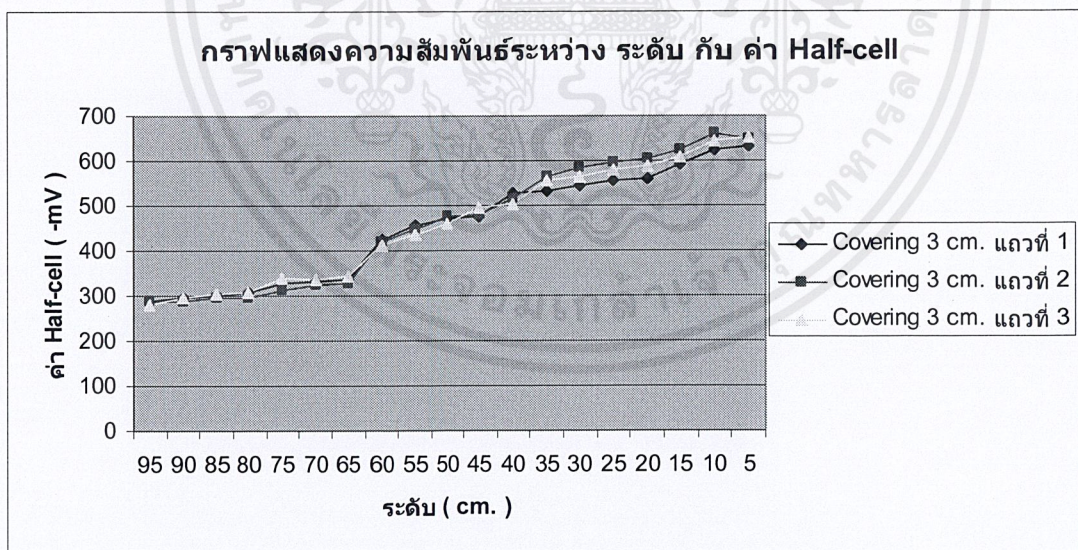
รูปที่ ผ.ข. 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 35



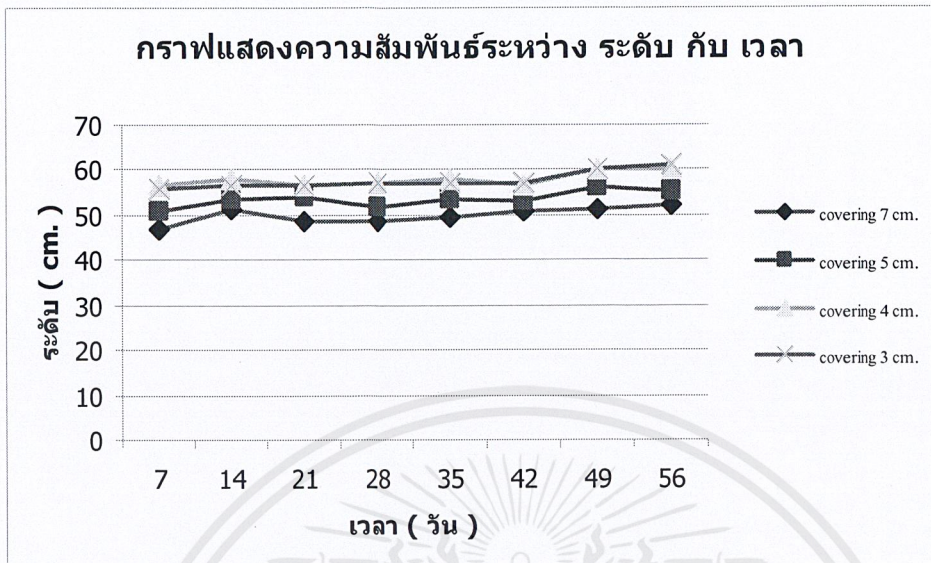
รูปที่ ผ.ข. 30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 42



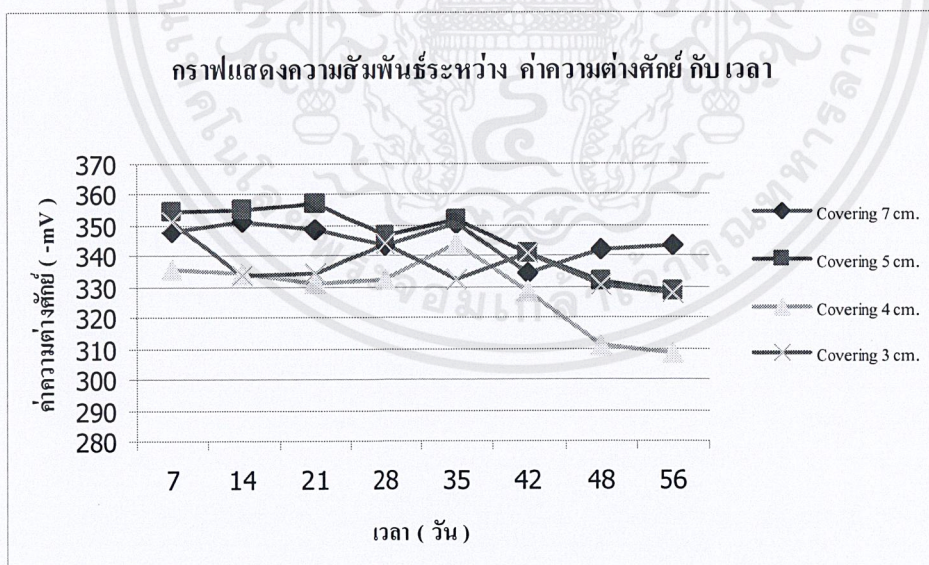
รูปที่ ผ.ข. 31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 49



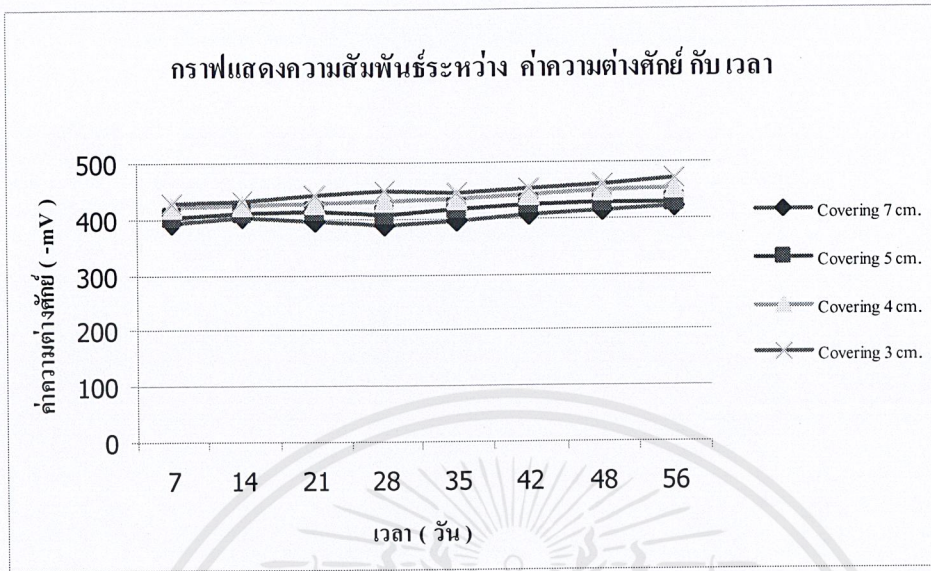
รูปที่ ผ.ข. 32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ ค่า Half-cell ที่ระยะ Covering 3 cm. เมื่อวันที่ 56



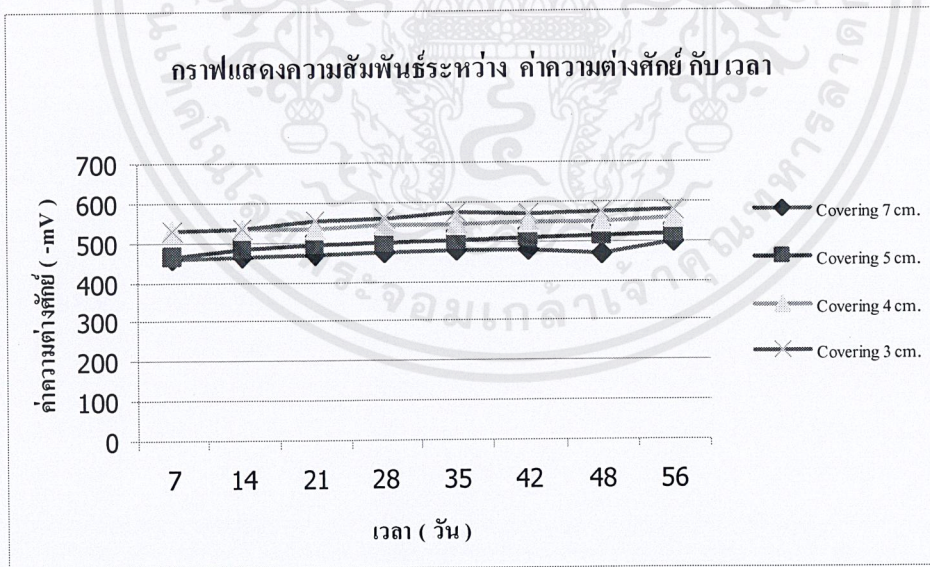
รูปที่ ผ.ข. 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ กับ เวลา ที่มีค่า Half-cell เท่ากับ  $-400\text{ mV}$



รูปที่ ผ.ข. 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 75 cm

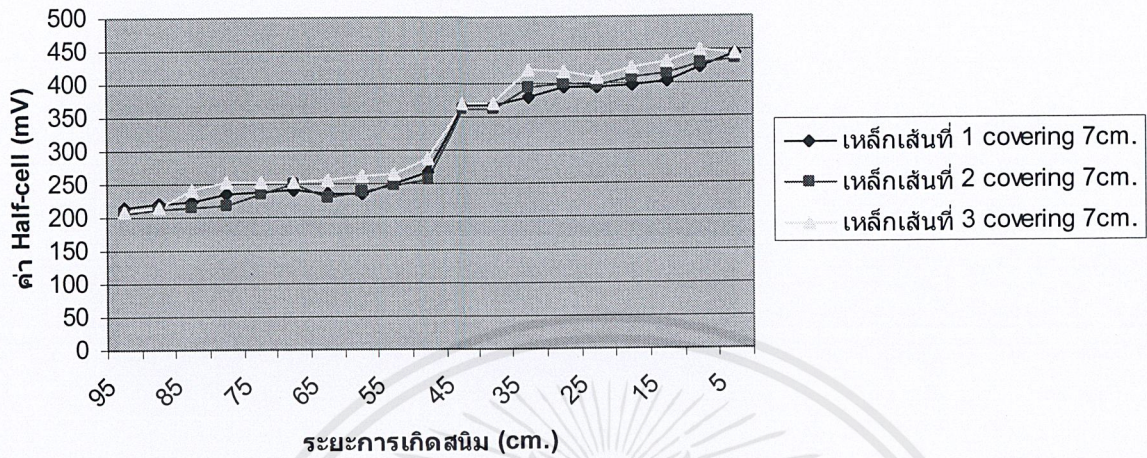


รูปที่ ผ.ข. 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 50 cm.



รูปที่ ผ.ข. 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าHalf-cell กับ เวลา ที่ระดับสูงกว่าฐานราก 25 cm.

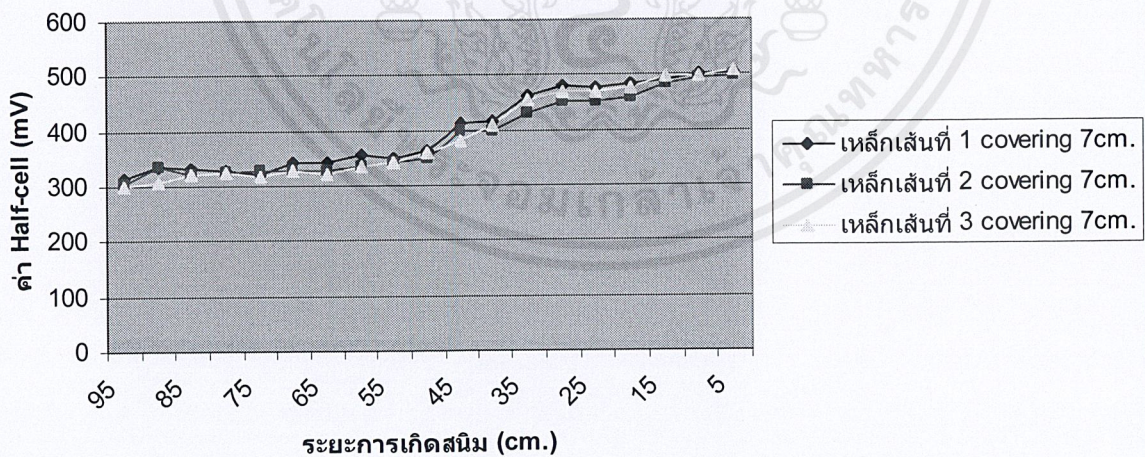
กราฟแสดงผลการตรวจสอบสนิทในสภาวะแห้งสนิท



รูปที่ ผ.ข. 37 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเกิดสนิมในสภาวะแห้งสนิท ของเสา covering 7 cm.

เหล็กเส้นที่ 1

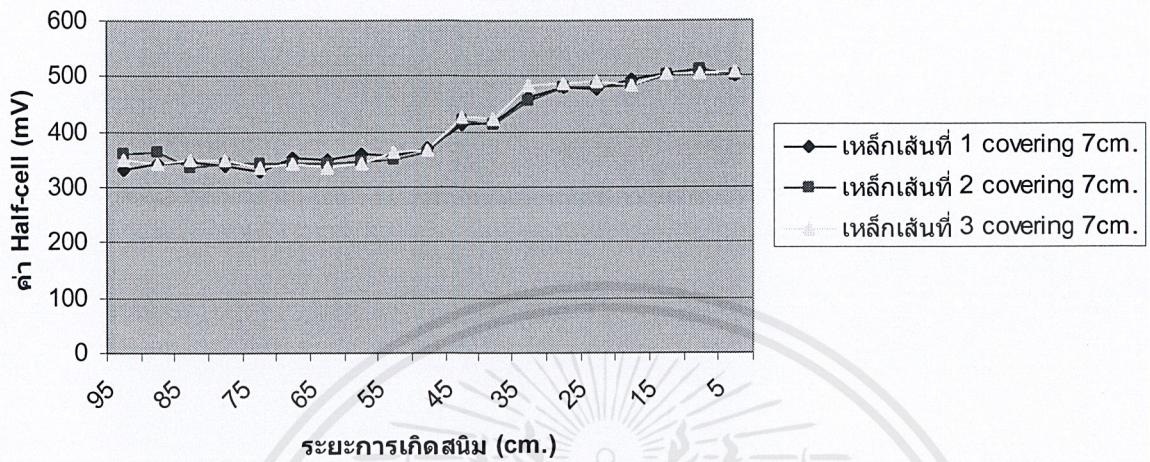
กราฟแสดงผลการตรวจสอบสนิทในสภาวะแห้งสนิท



รูปที่ ผ.ข. 38 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเกิดสนิมในสภาวะเปียกพอประมาณของเสา covering 7

cm. เหล็กเส้นที่ 2

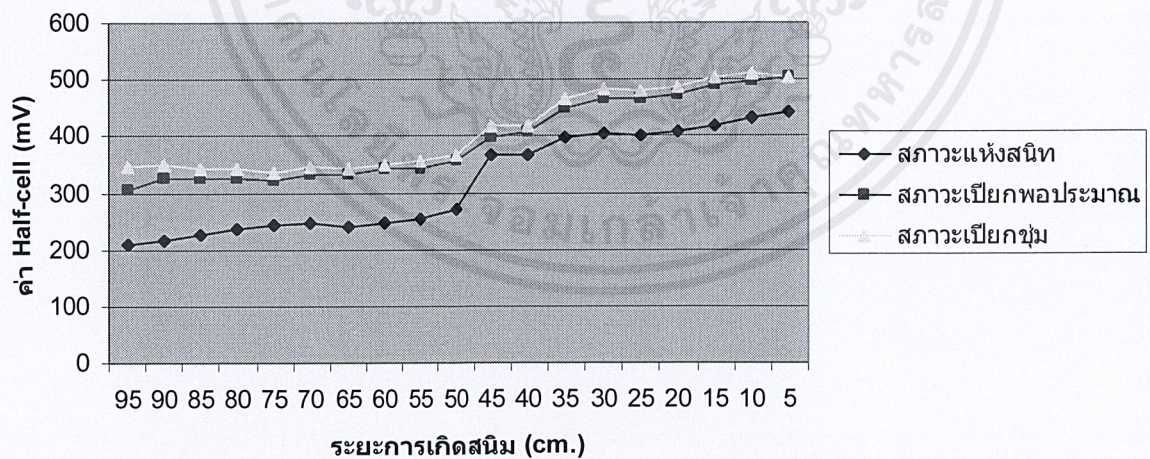
กราฟแสดงผลการตรวจสอบสนิทในสภาวะแห้งสนิท



รูปที่ ผ.ข. 39 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเกิดสนิมในสภาวะเปียกชุ่ม ของเสา covering 7 cm.

เหล็กเส้นที่ 3

กราฟเปรียบเทียบผลที่ตรวจได้เมื่อสภาวะต่างกัน



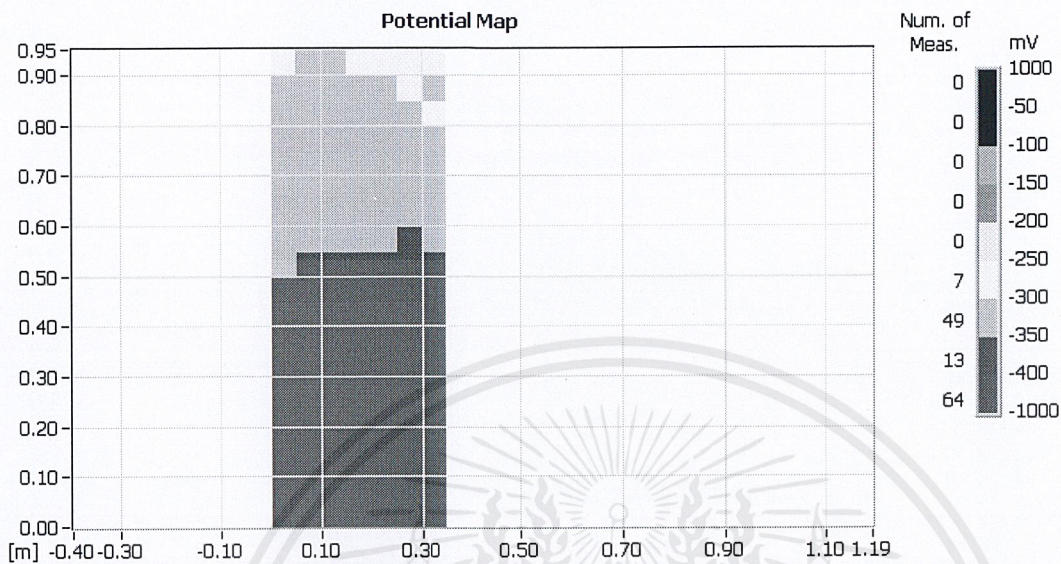
รูปที่ ผ.ข. 40 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อมีสภาวะต่างกัน ของเสา covering 7 cm



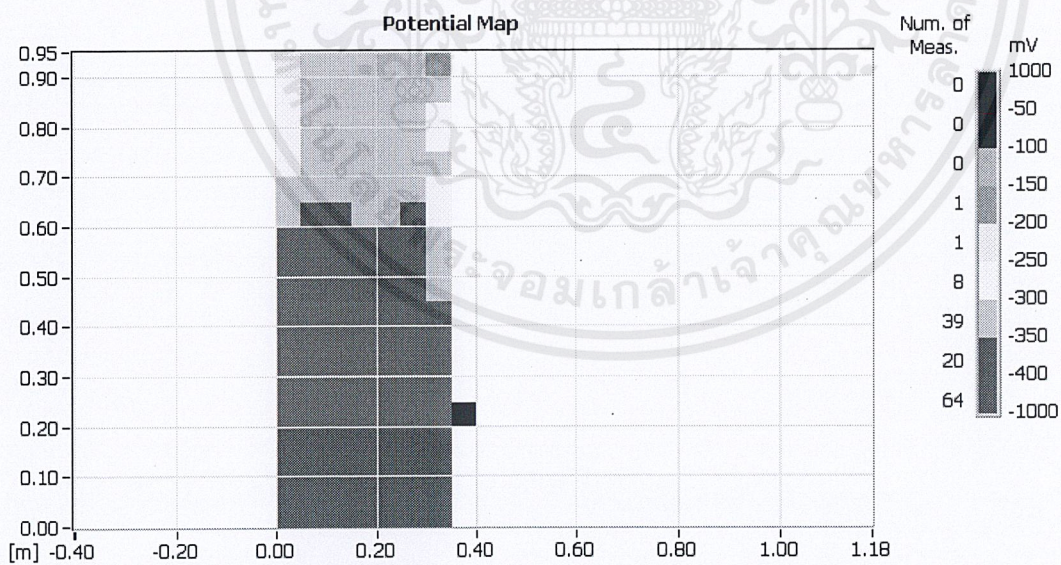
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผก.1  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปแสดงการตรวจการเกิดสนิมด้วยเครื่อง Half-cell

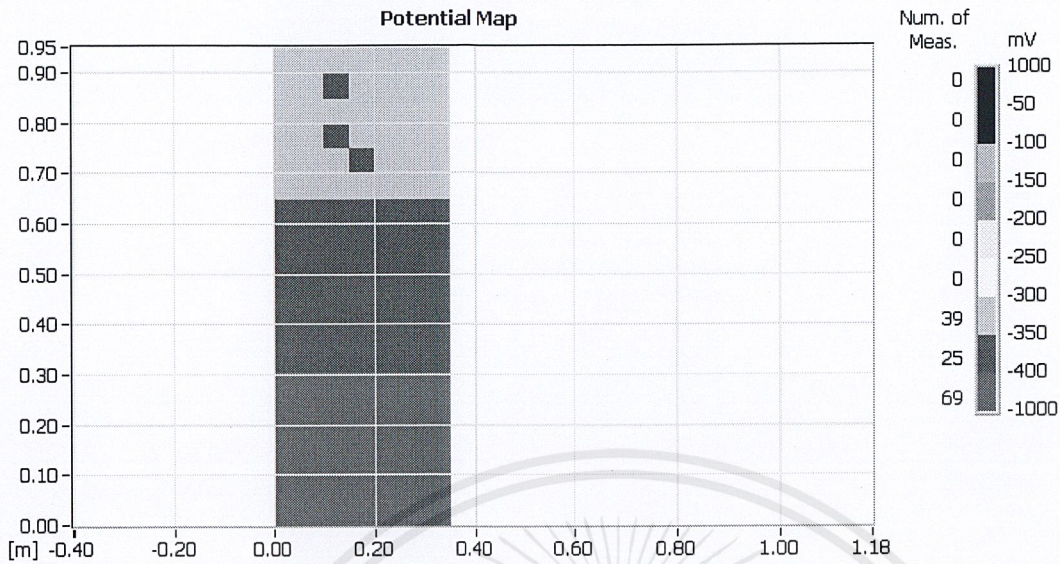
รูปที่ ผ.ค.1 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน



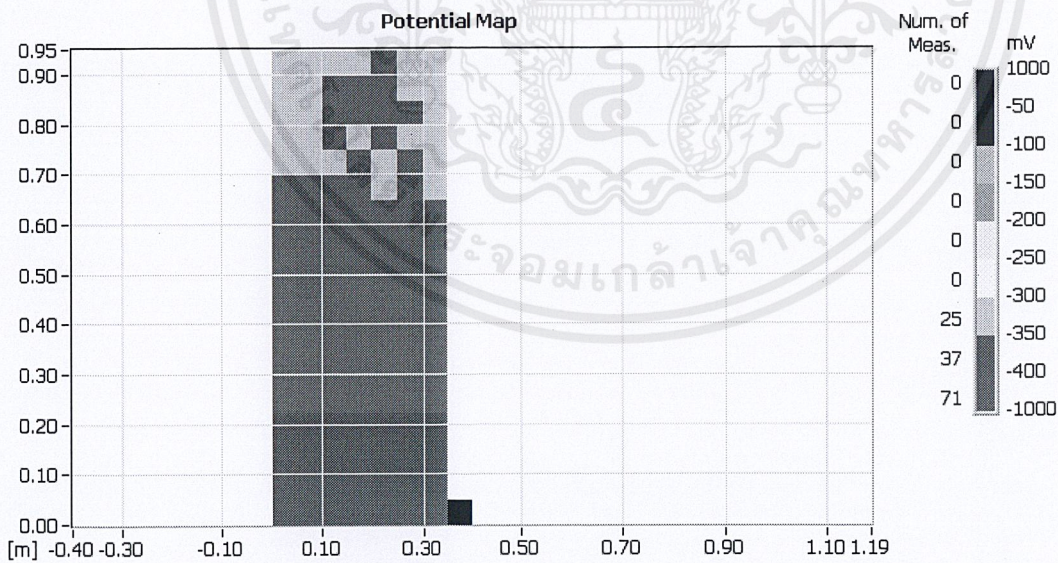
รูปที่ ผ.ค.2 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน



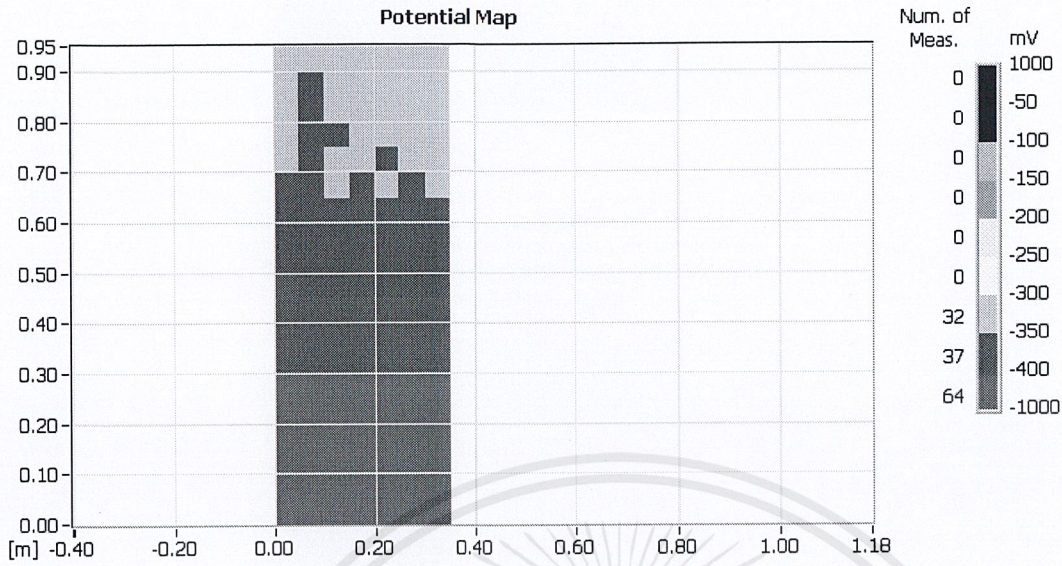
รูปที่ ผ.ค.3 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



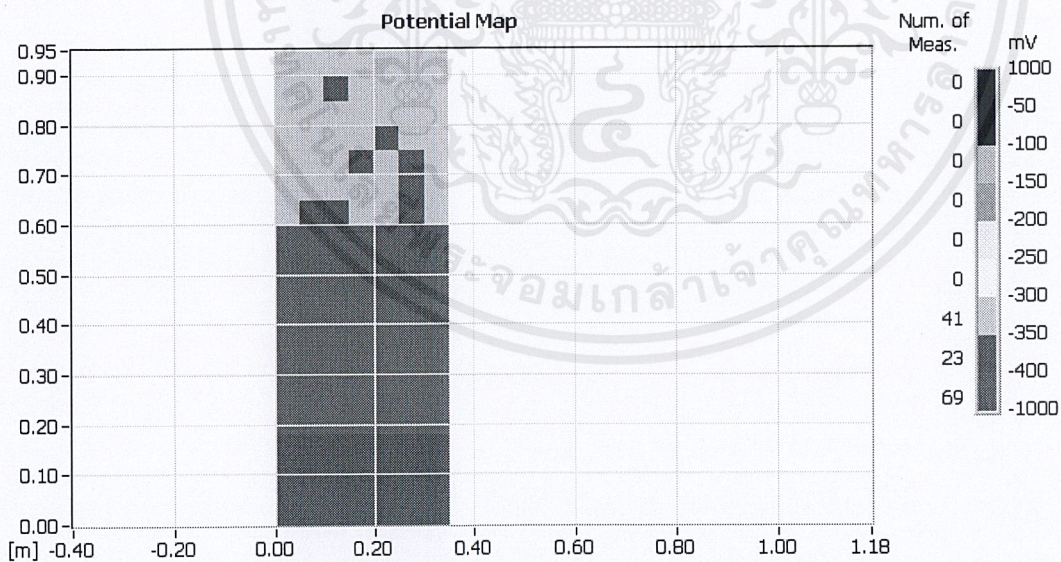
รูปที่ ผ.ค.4 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



รูปที่ ผ.ค.5 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน

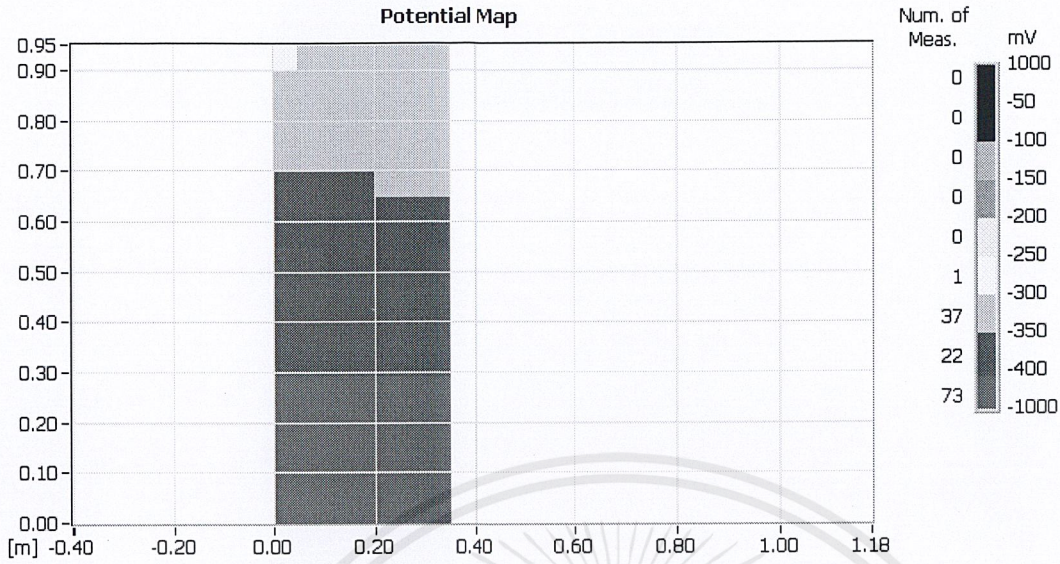


รูปที่ ผ.ค.6 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน

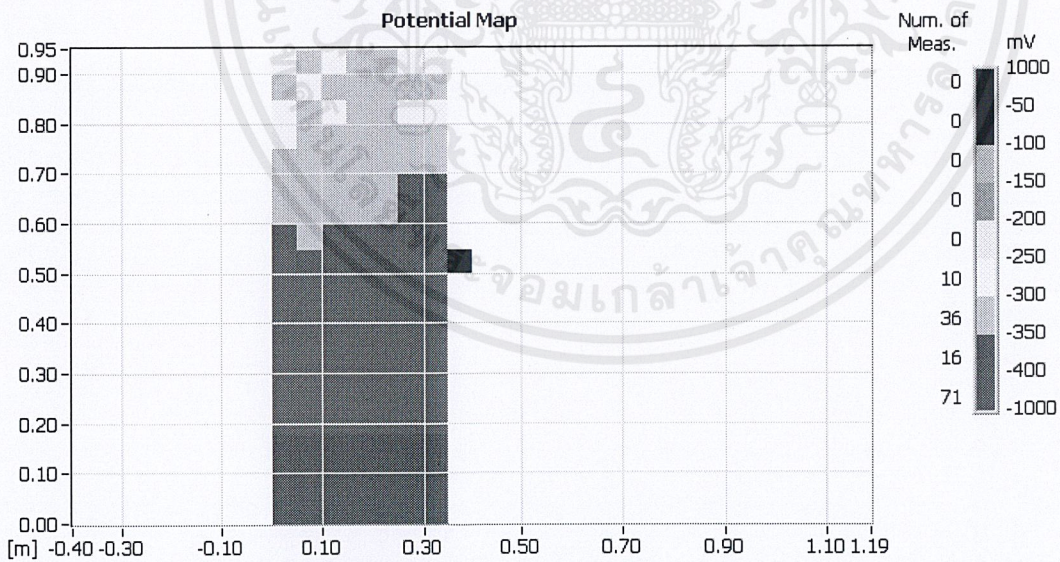


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ผ.ค.4  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.7 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน

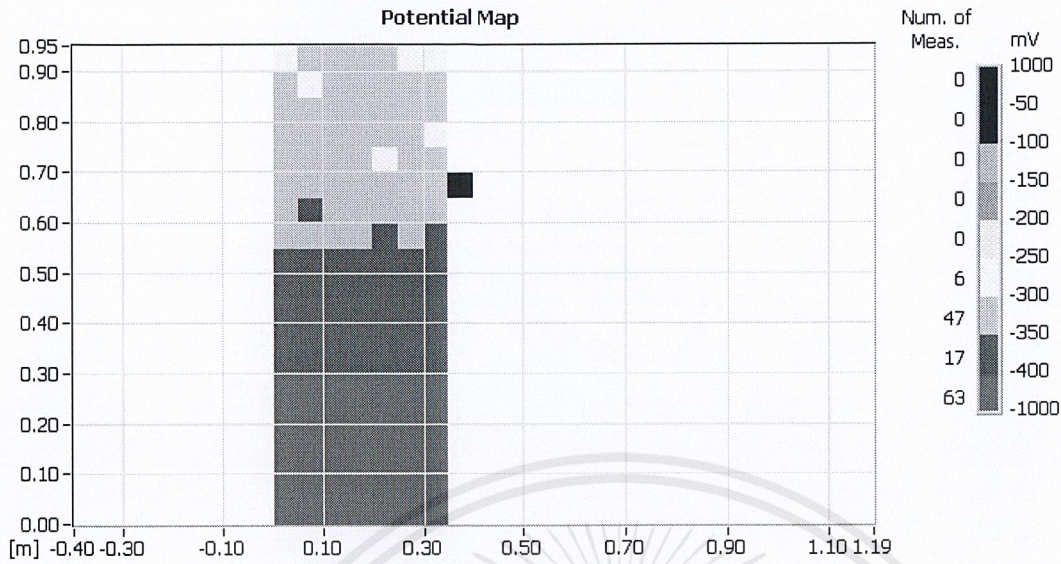


รูปที่ ผ.ค.8 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 7 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน

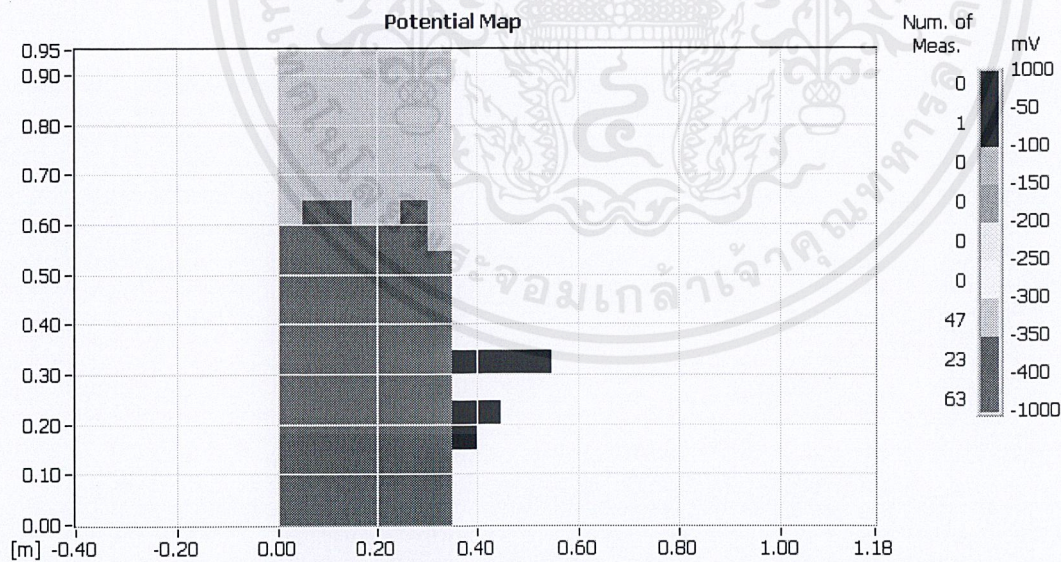


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผ.ค.5  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.9 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน

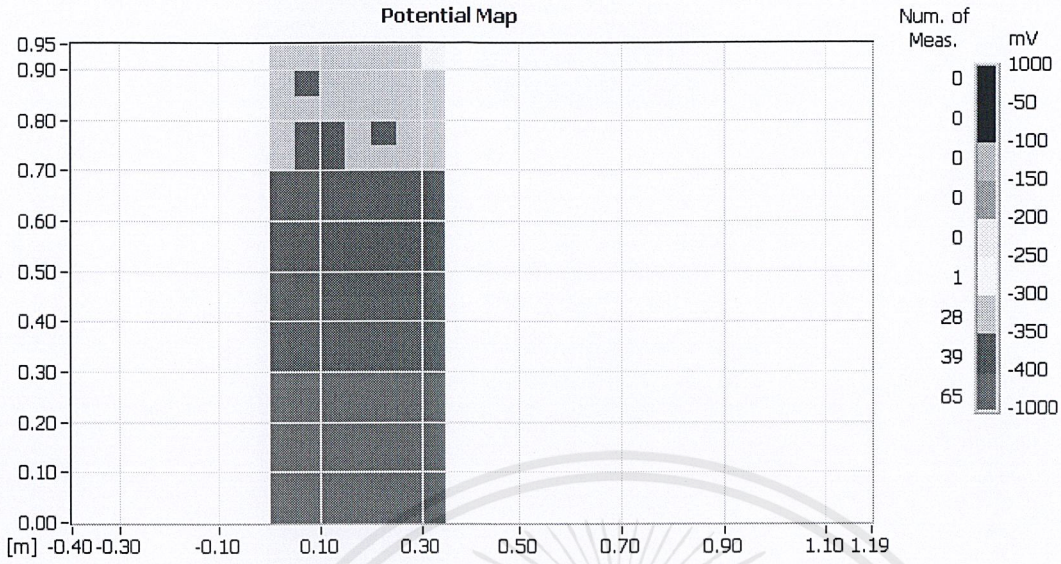


รูปที่ ผ.ค.10 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน

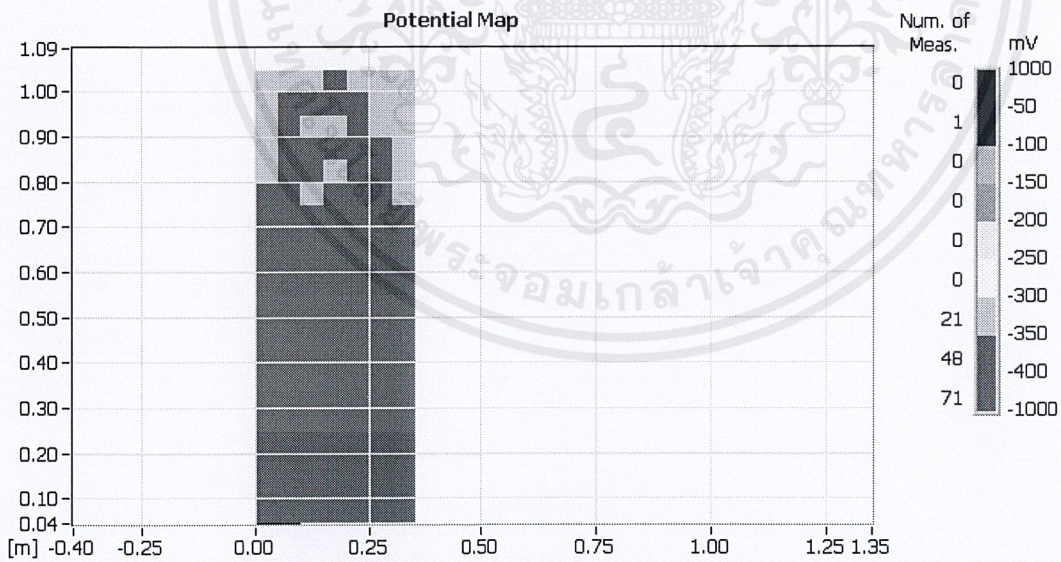


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

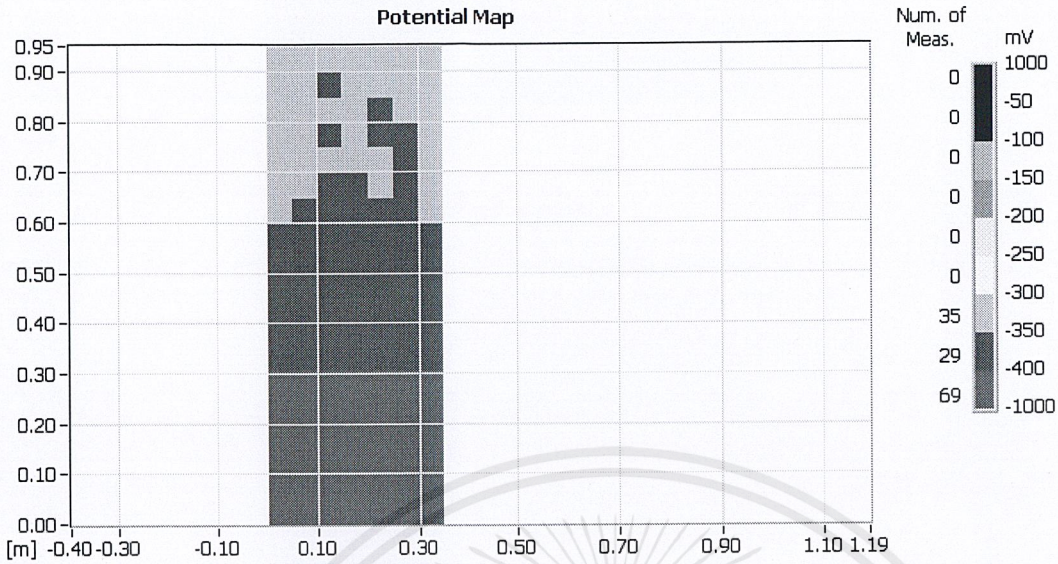
รูปที่ ผ.ค.11 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



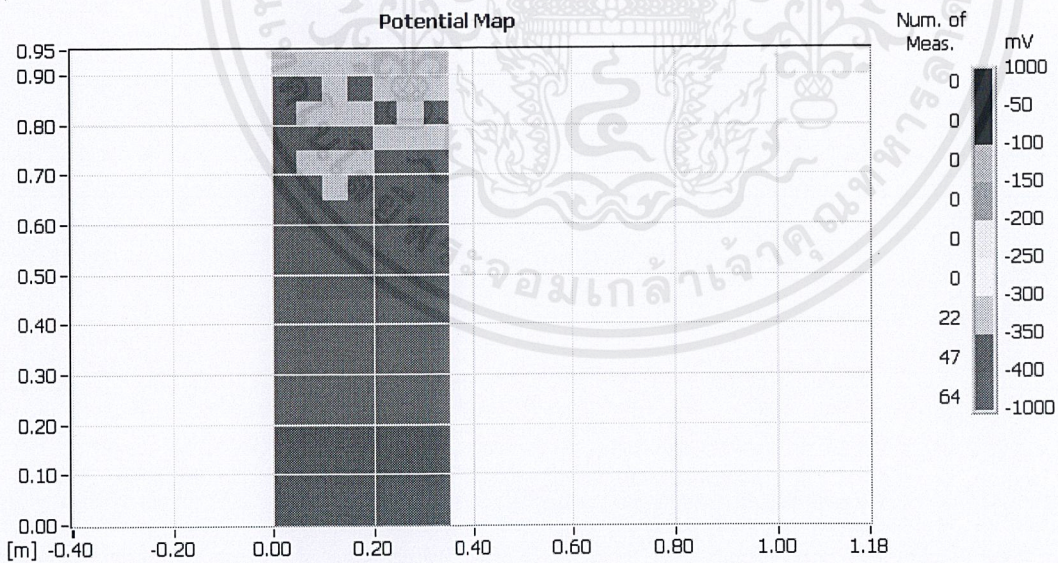
รูปที่ ผ.ค.12 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



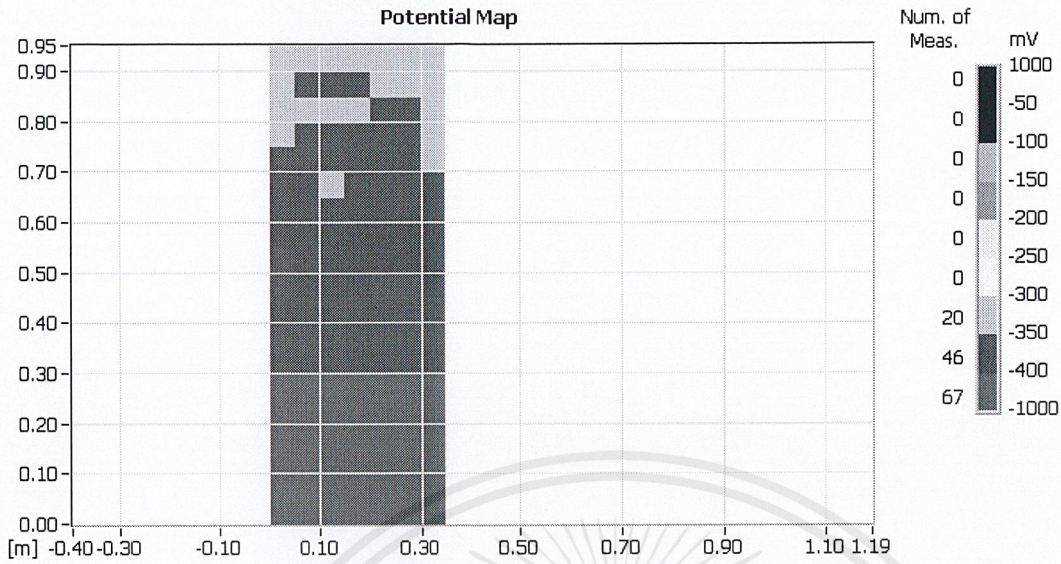
รูปที่ ผ.ค.13 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน



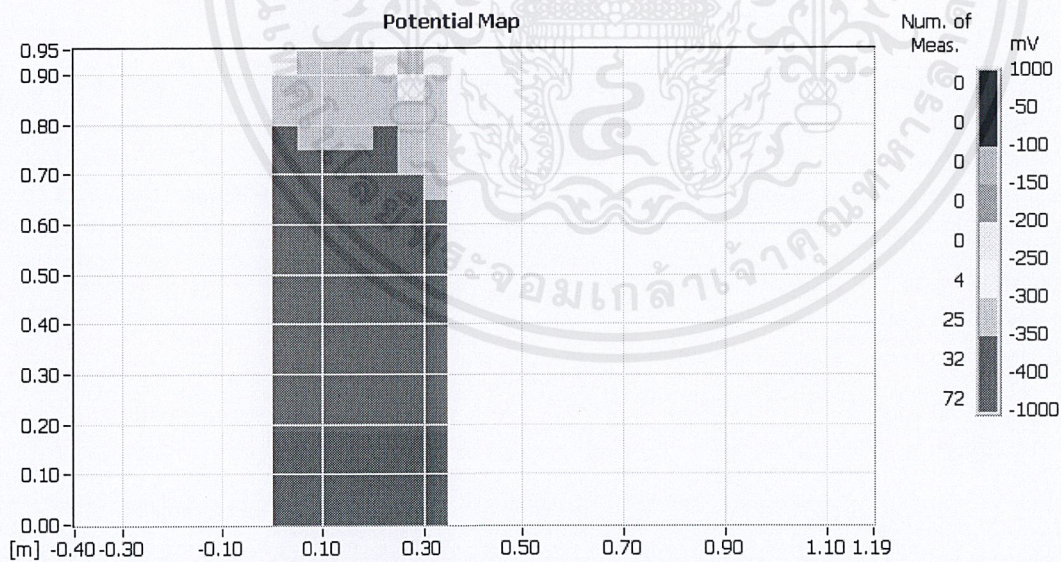
รูปที่ ผ.ค.14 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน



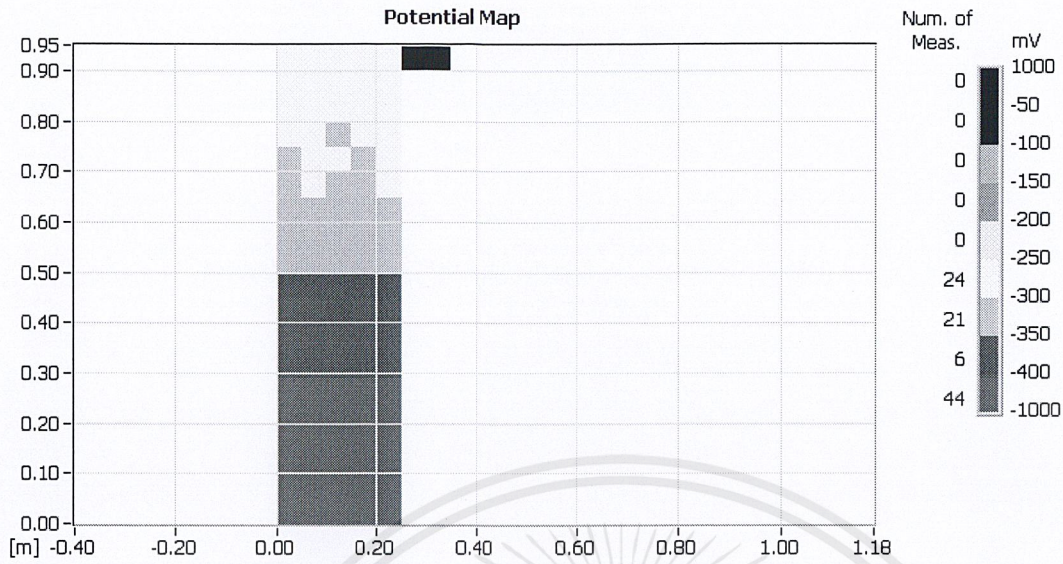
รูปที่ ผ.ค.15 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน



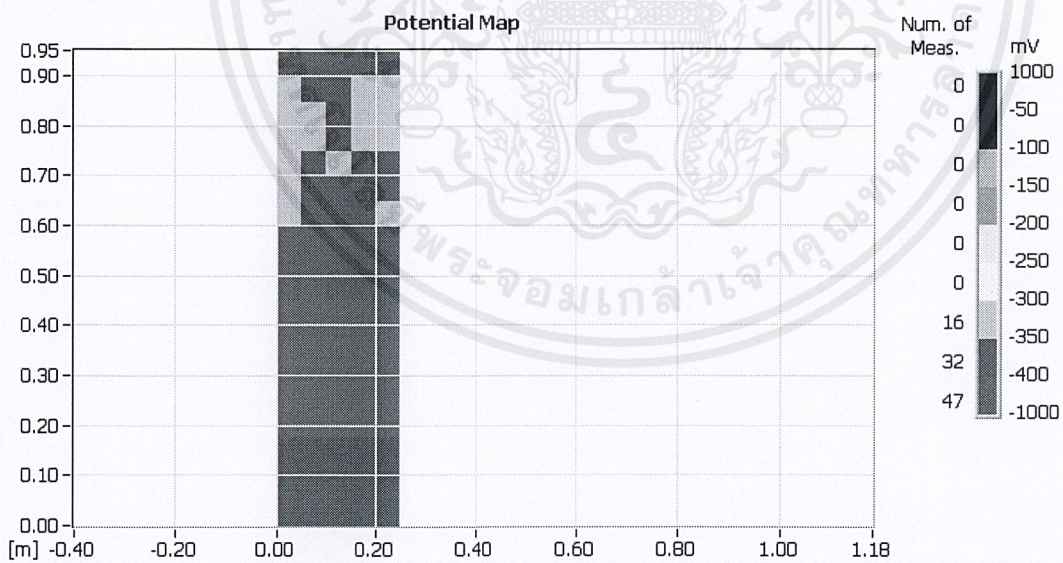
รูปที่ ผ.ค.16 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 5 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน



รูปที่ ผ.ค.17 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน

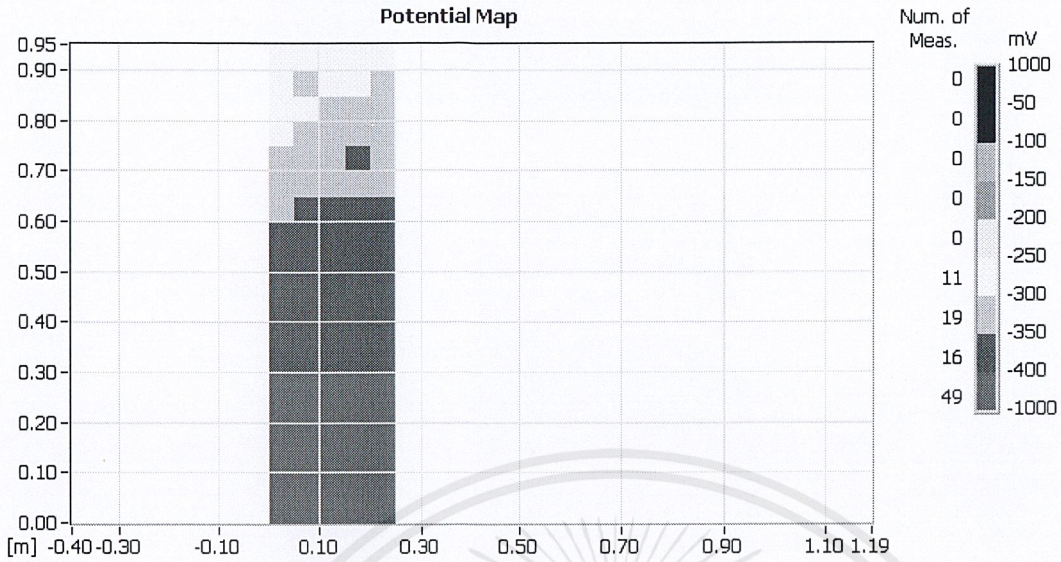


รูปที่ ผ.ค.18 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน

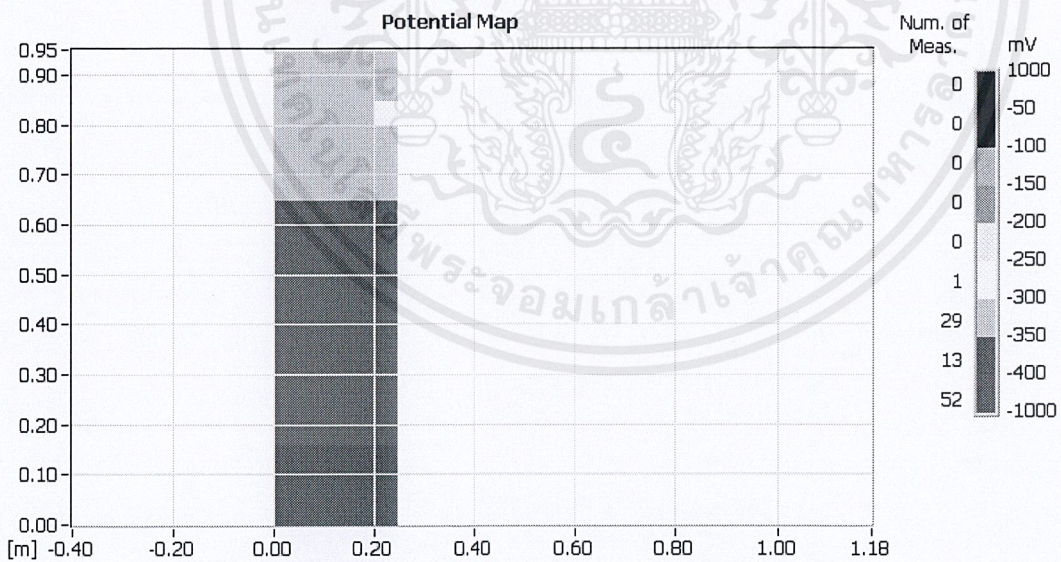


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ผ.ค.10  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

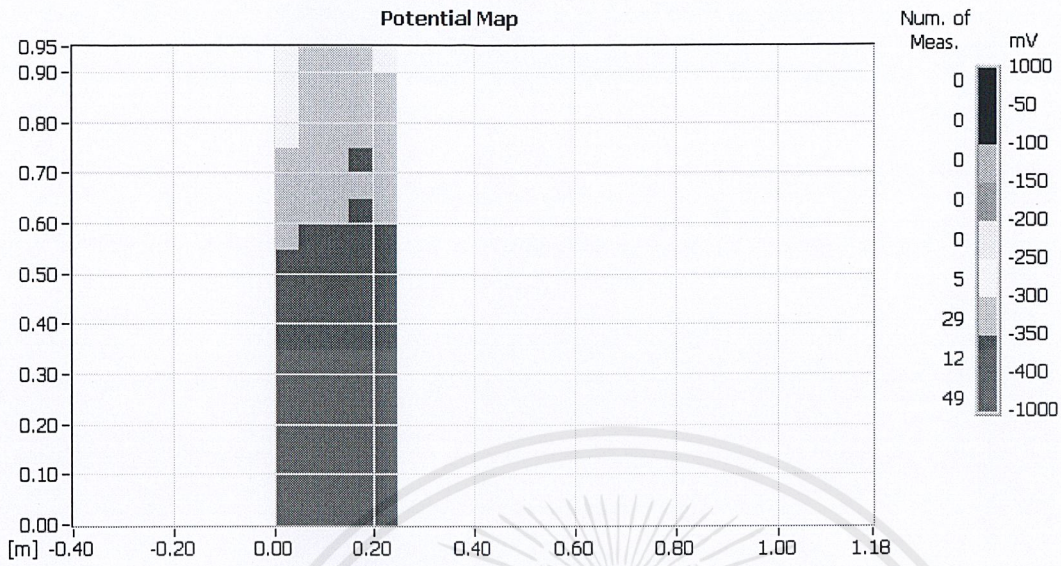
รูปที่ ผ.ค.19 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



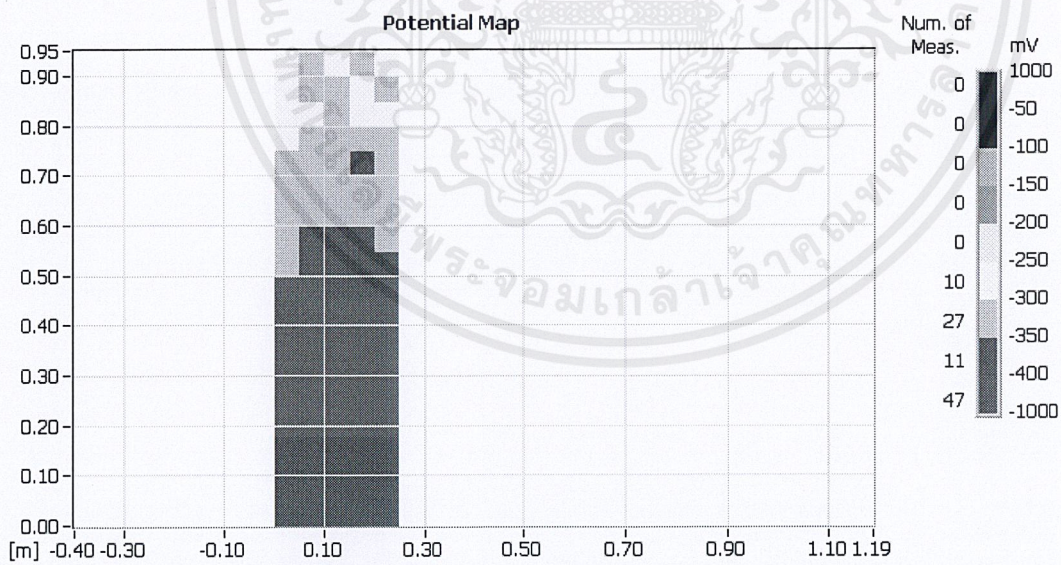
รูปที่ ผ.ค.20 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm.เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



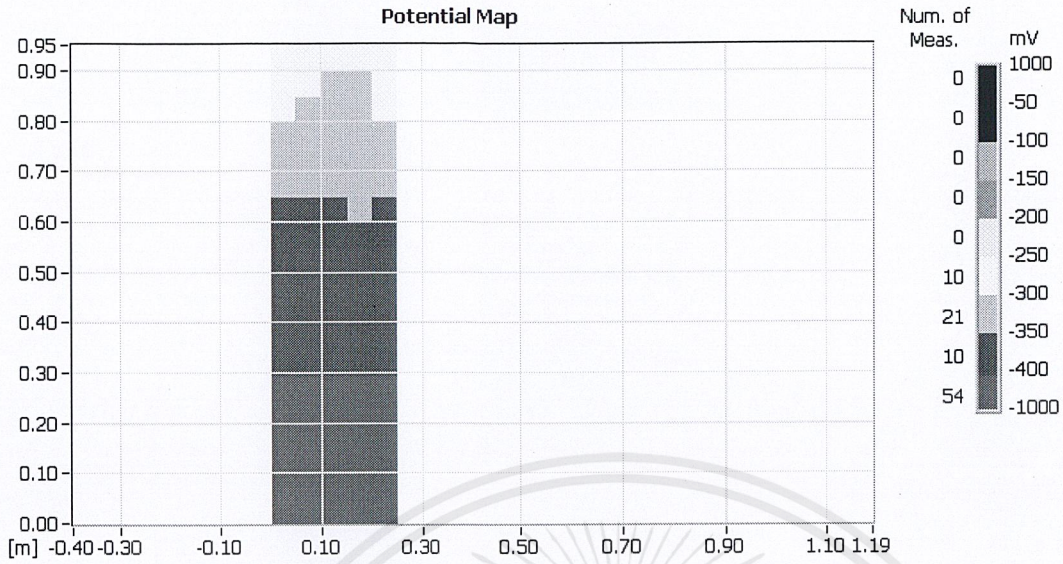
รูปที่ ผ.ค.21 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน



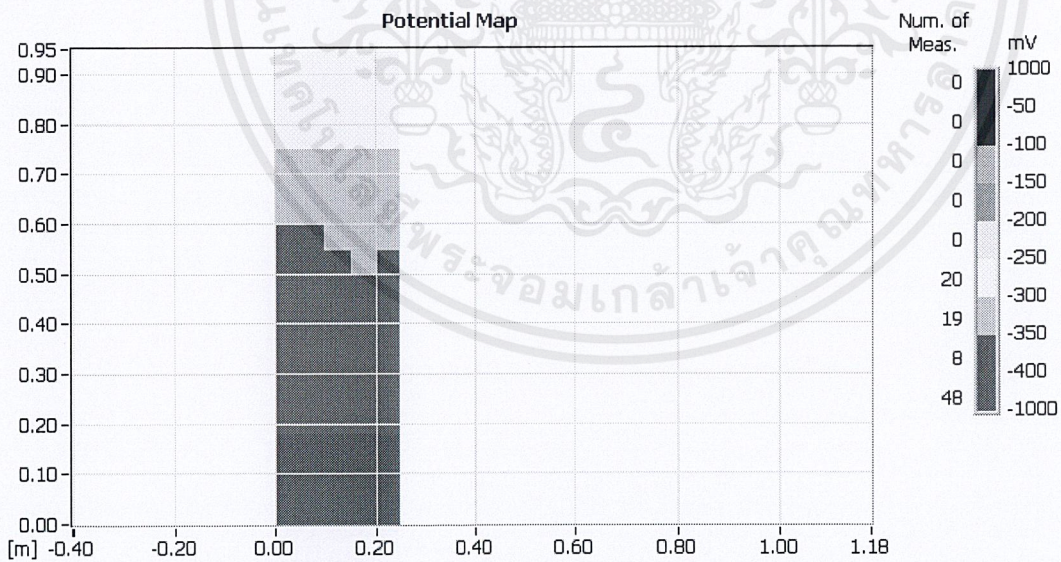
รูปที่ ผ.ค.22 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน



รูปที่ ผ.ค.23 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน

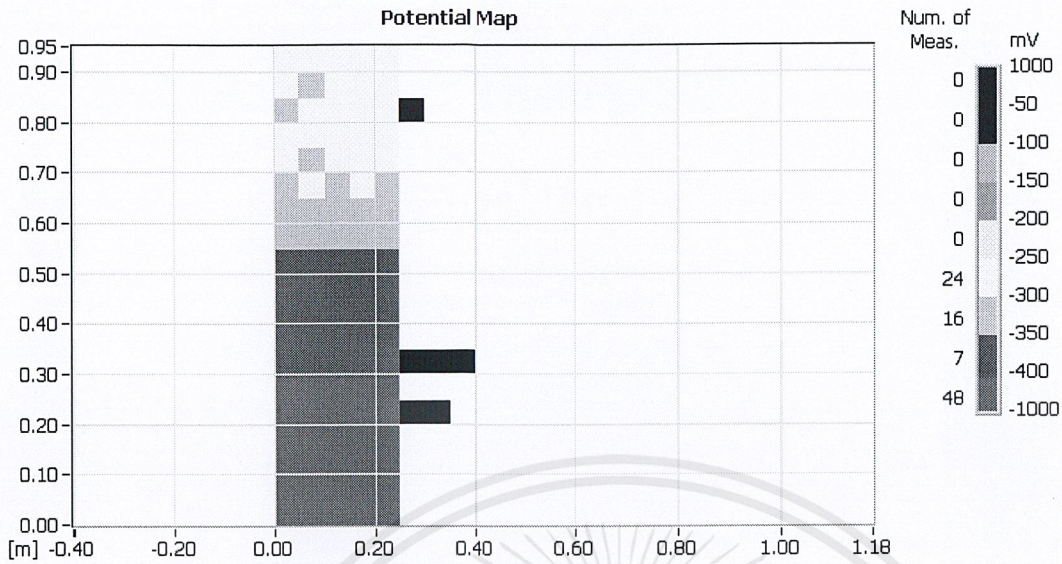


รูปที่ ผ.ค.24 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 4 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน

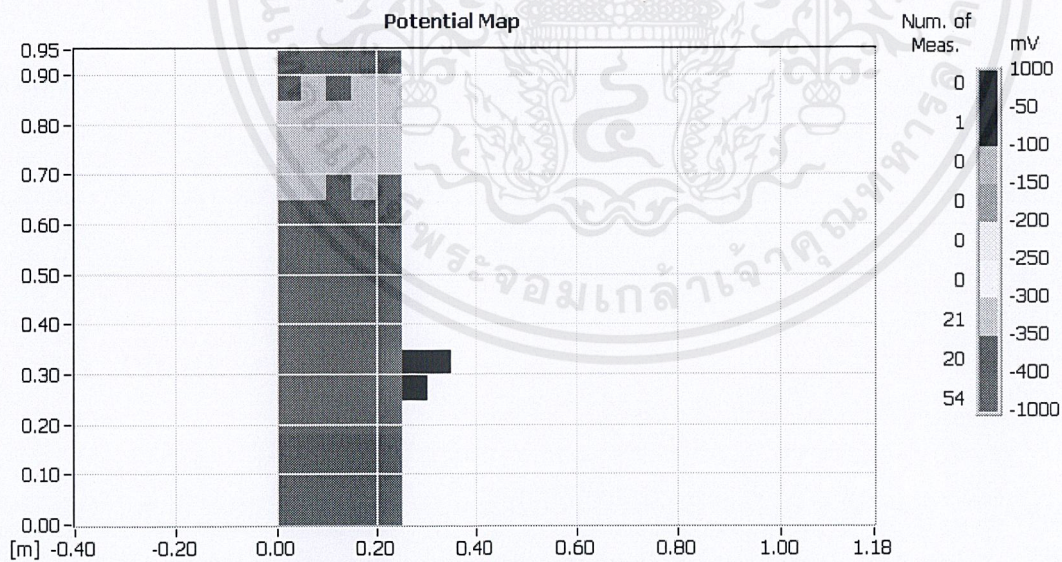


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

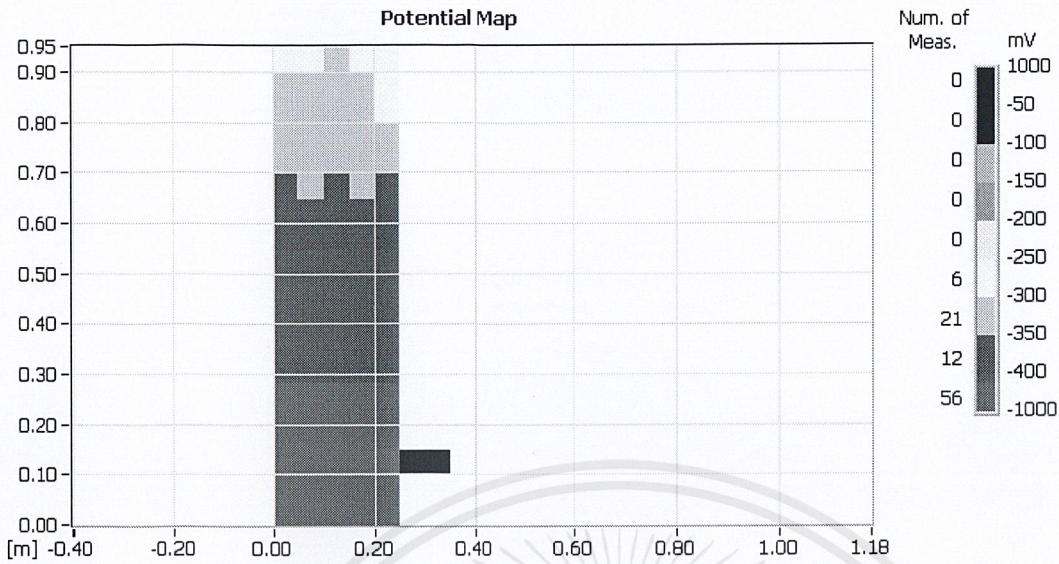
รูปที่ ผ.ค.25 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน



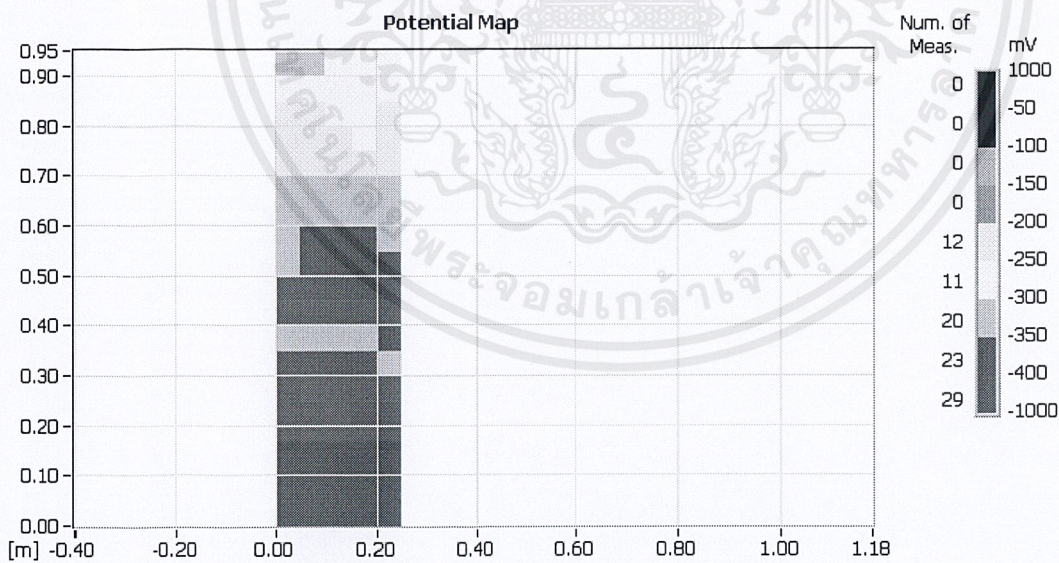
รูปที่ ผ.ค.26 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน



รูปที่ ผ.ค.27 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



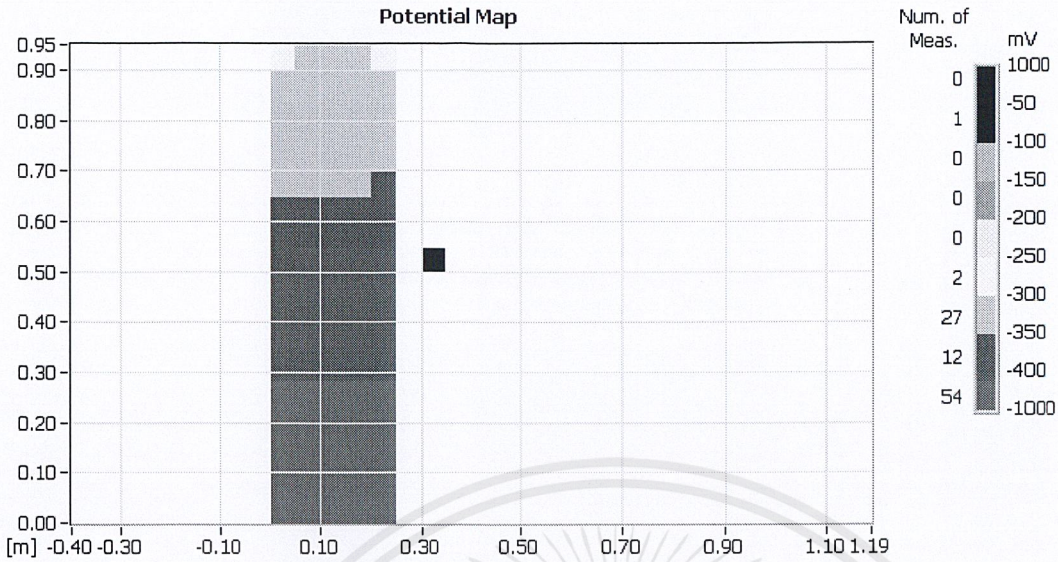
รูปที่ ผ.ค.28 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



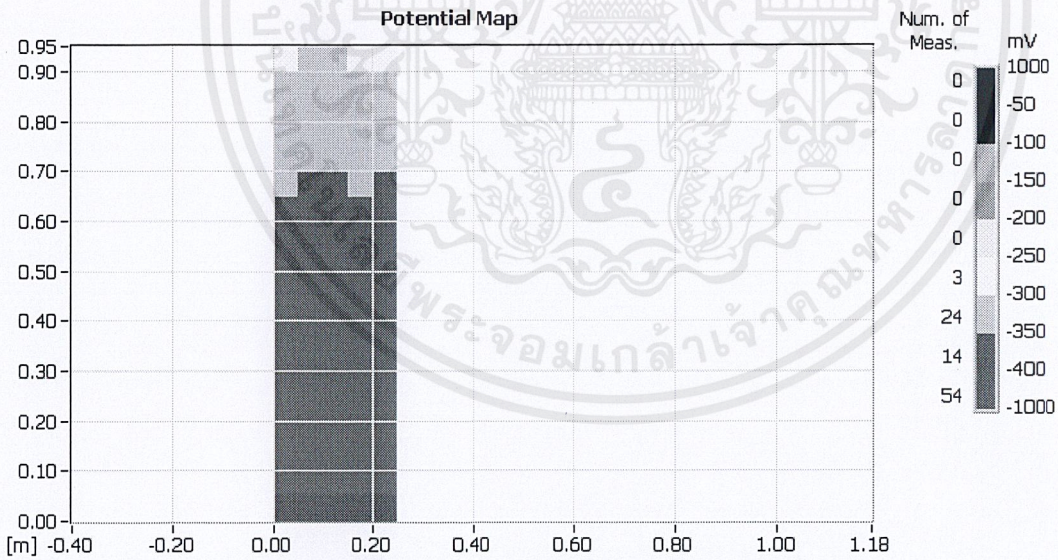
การทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ผ.ค.15  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

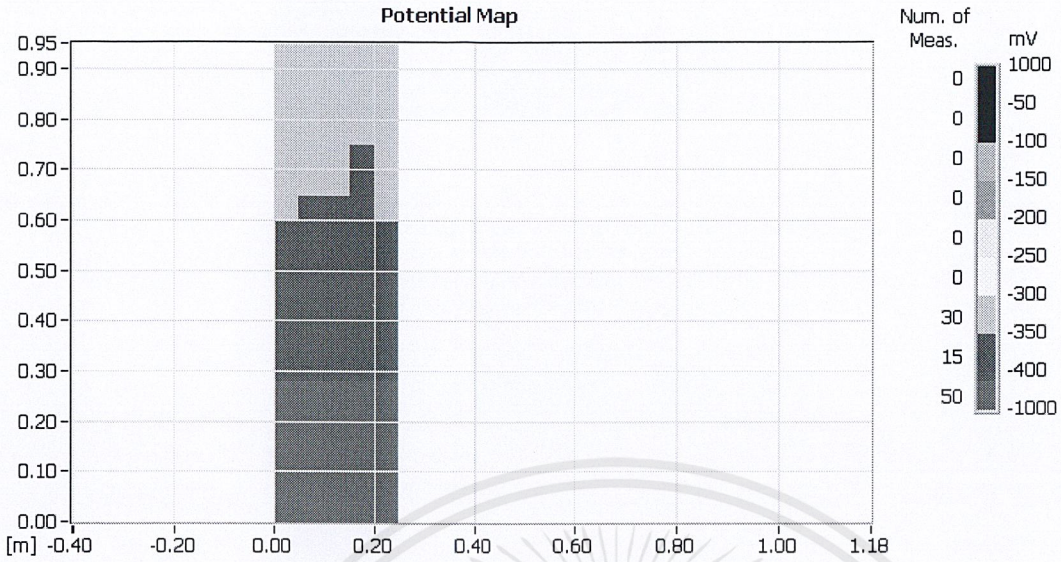
รูปที่ ผ.ค.29 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน



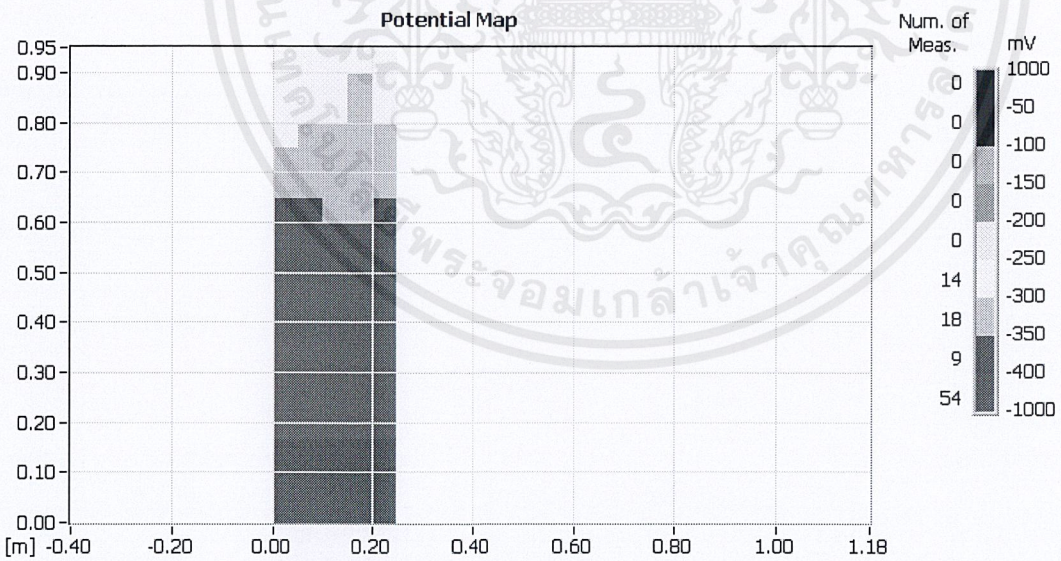
รูปที่ ผ.ค.30 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน



รูปที่ ผ.ค.31 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน



รูปที่ ผ.ค.32 แสดง Potential Map ที่ ระยะCovering 3 cm. เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน

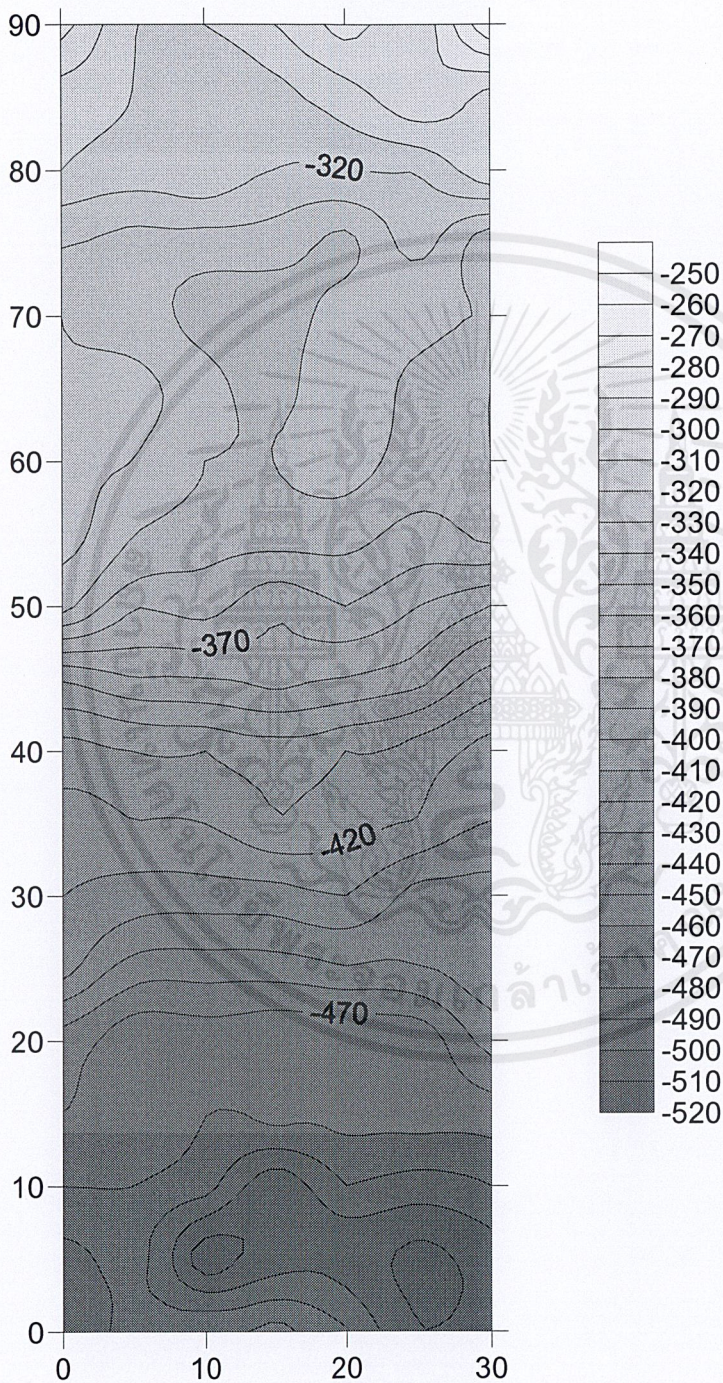


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ผ.ค.17 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้าง Contour

รูปที่ ผ.ค.33 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 7 cm.

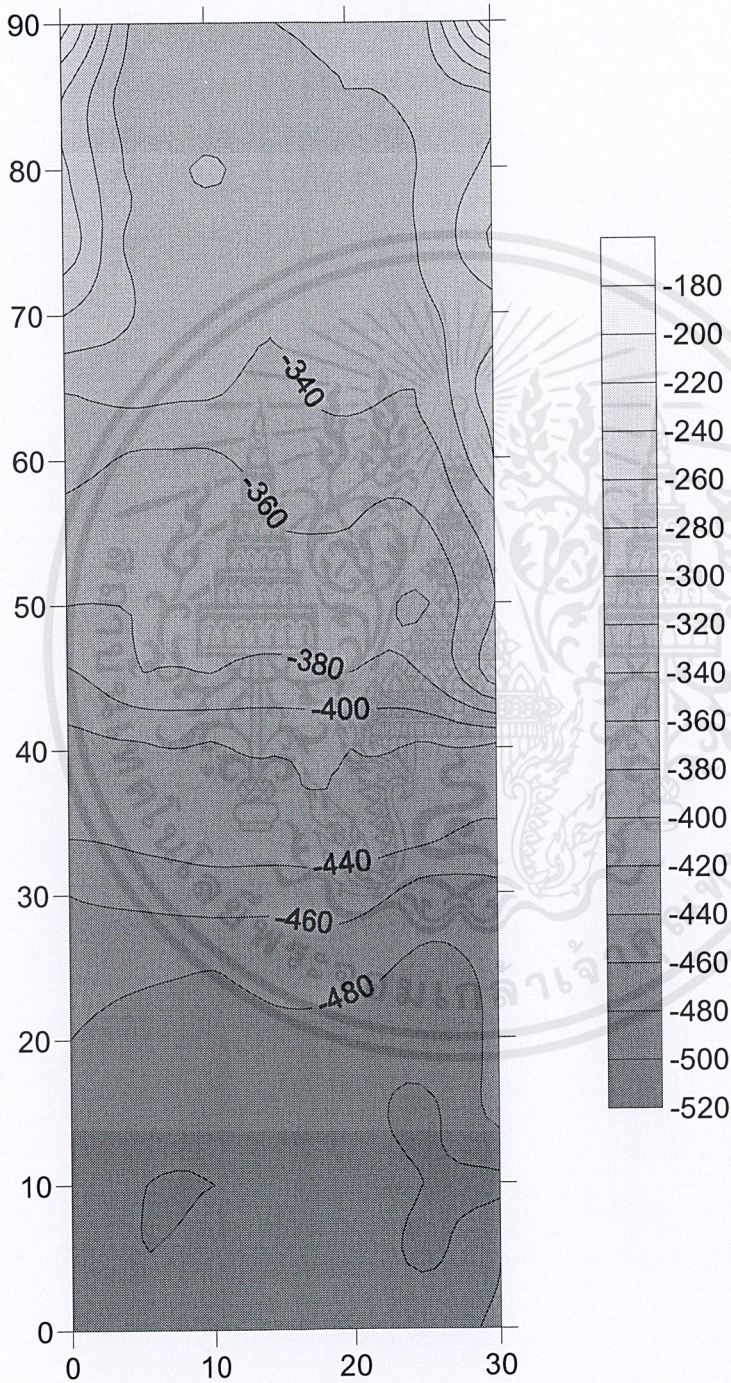
เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ <sup>ผ.ค.18</sup> การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.34 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm.

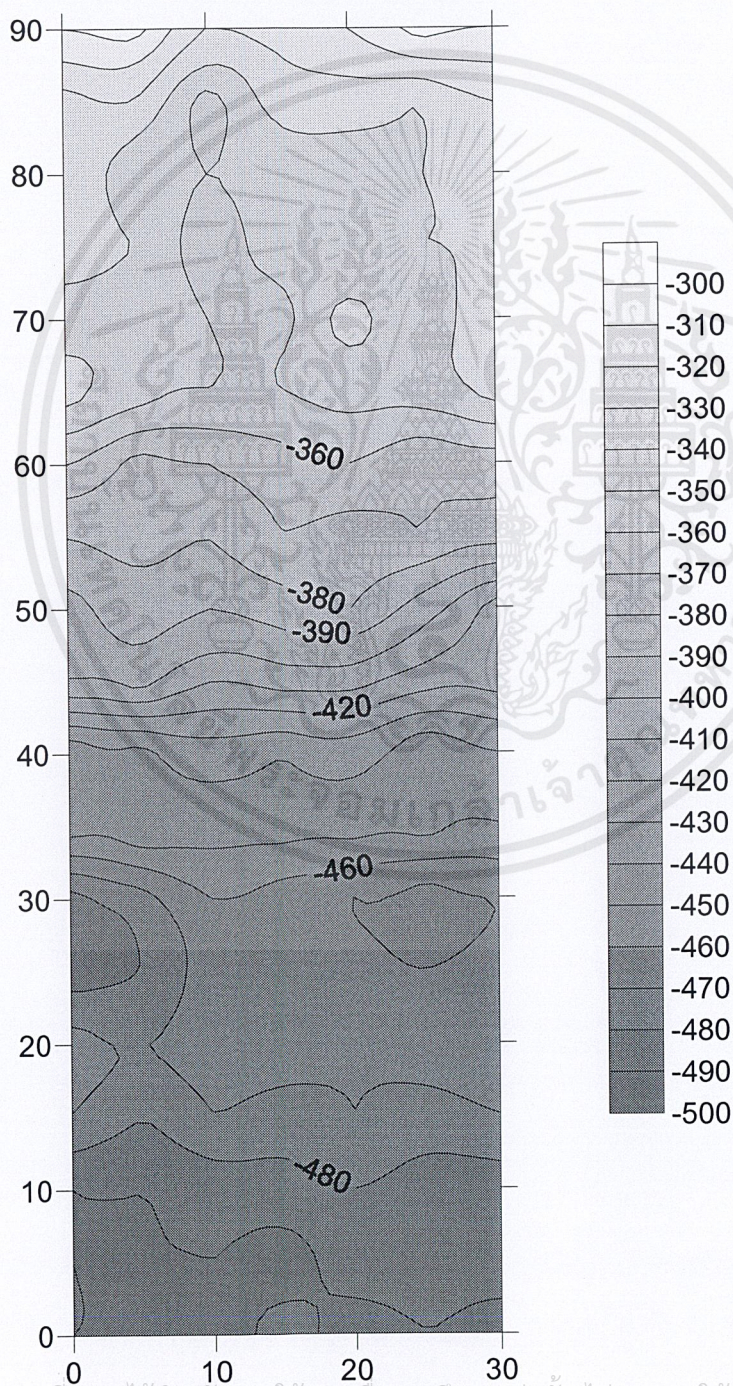
เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.35 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 7 cm.

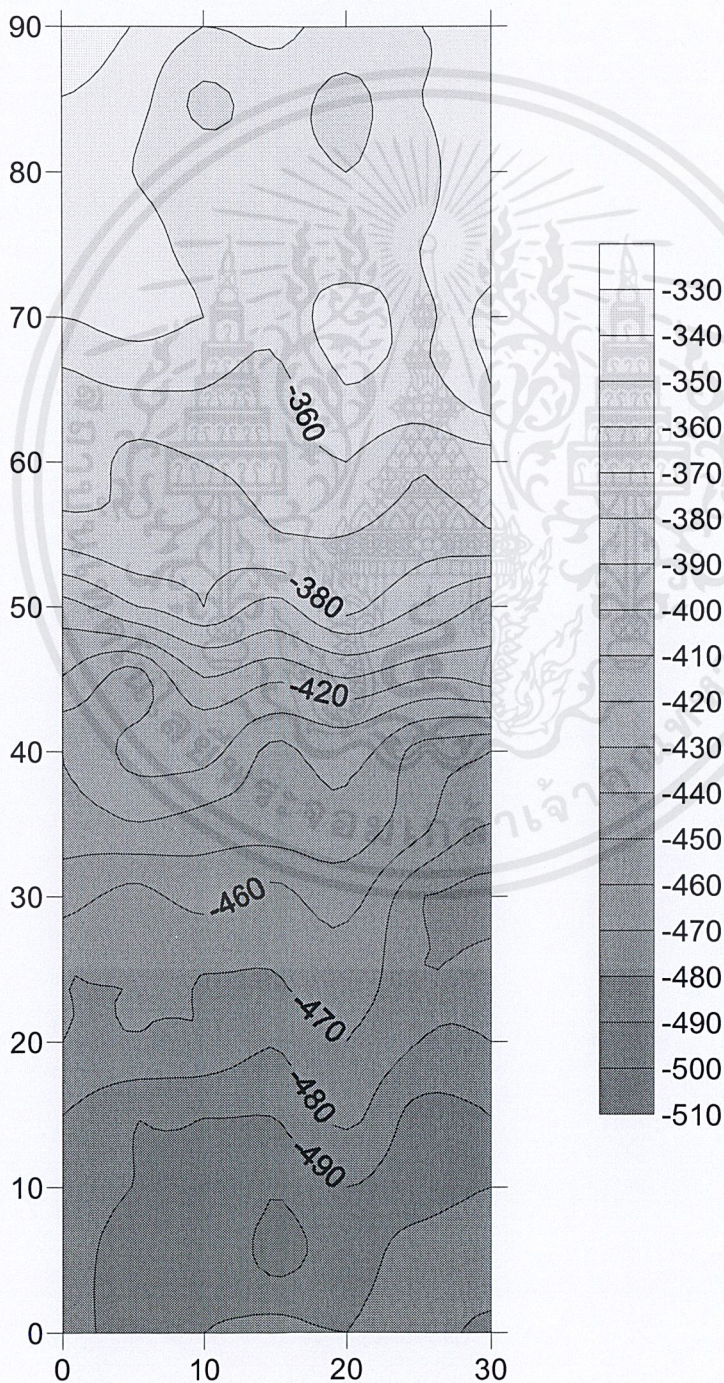
เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.36 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm.

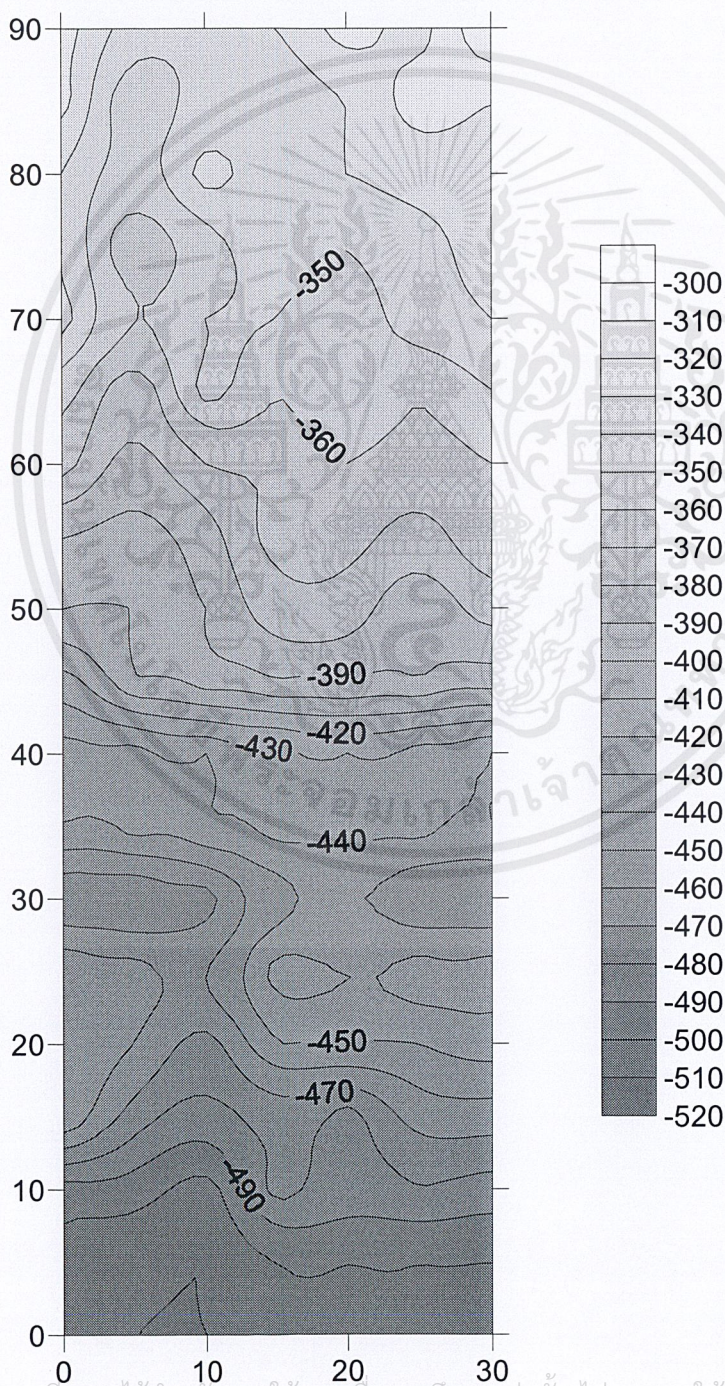
เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.37 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm.

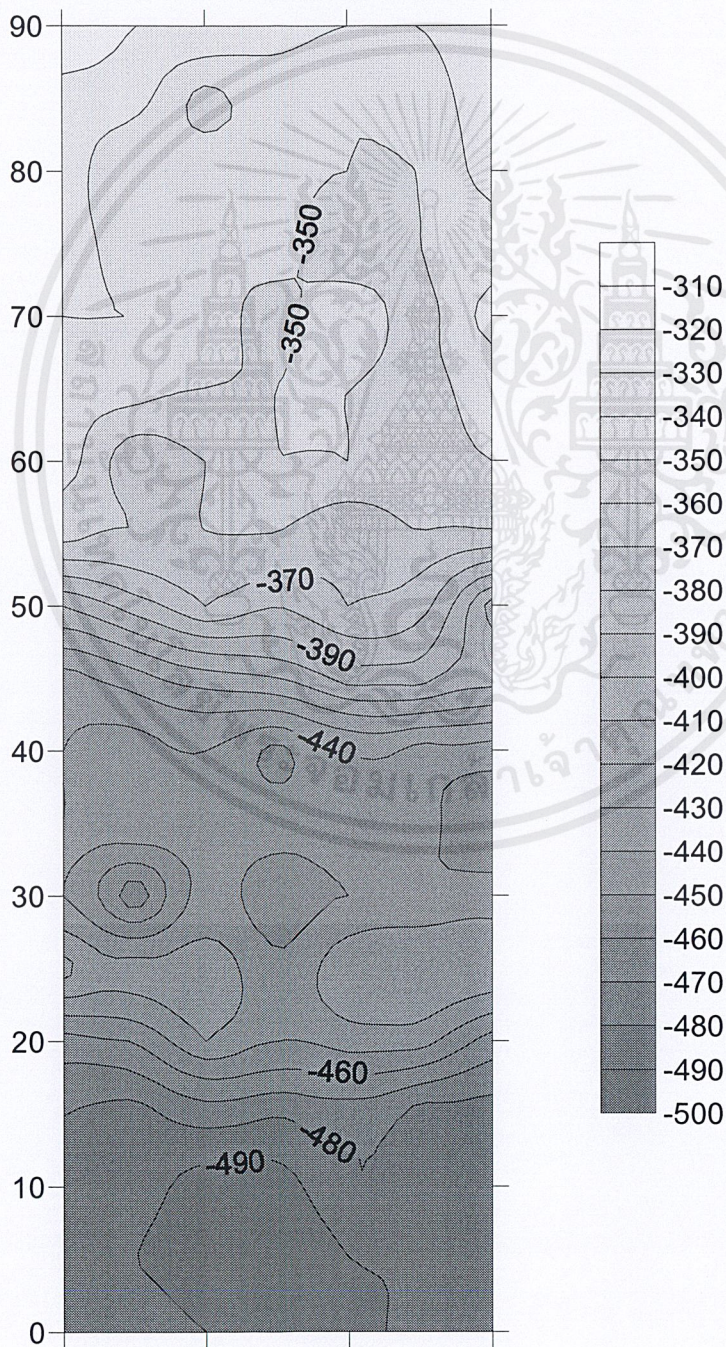
เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.38 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 7 cm.

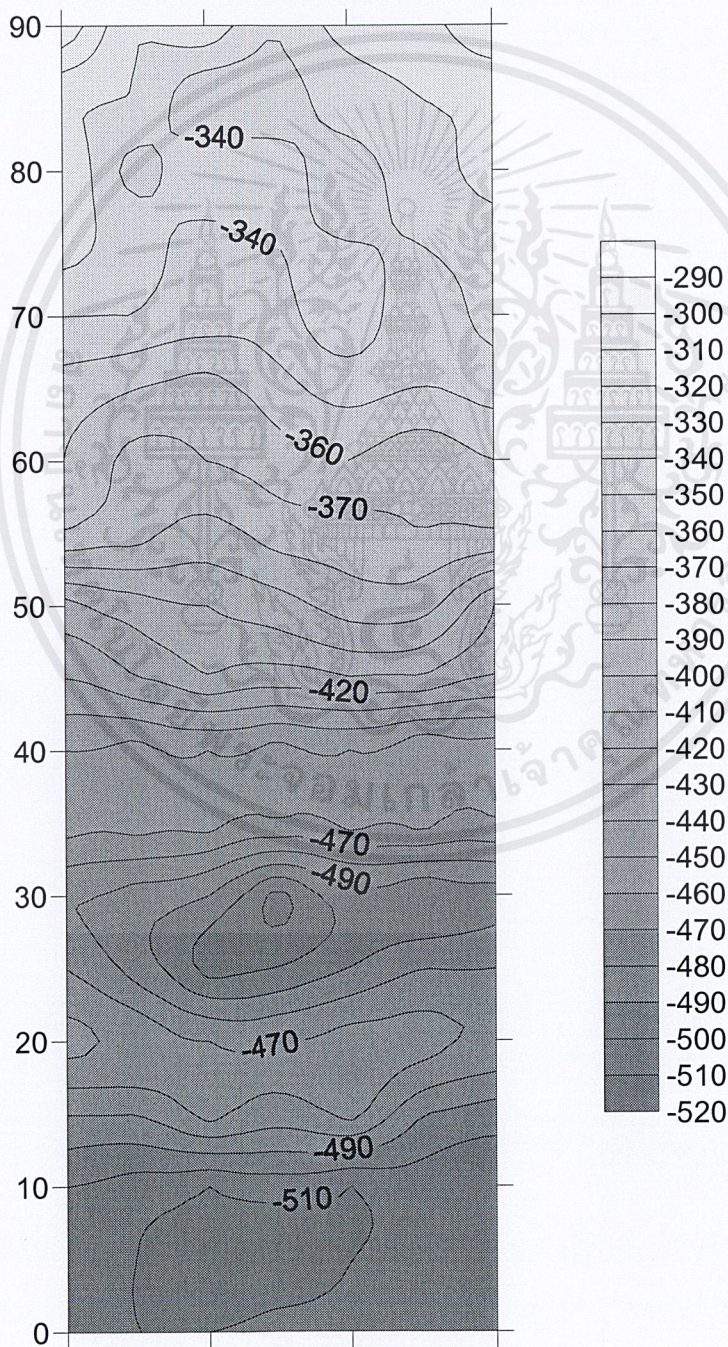
เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายิ่งเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.39 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm.

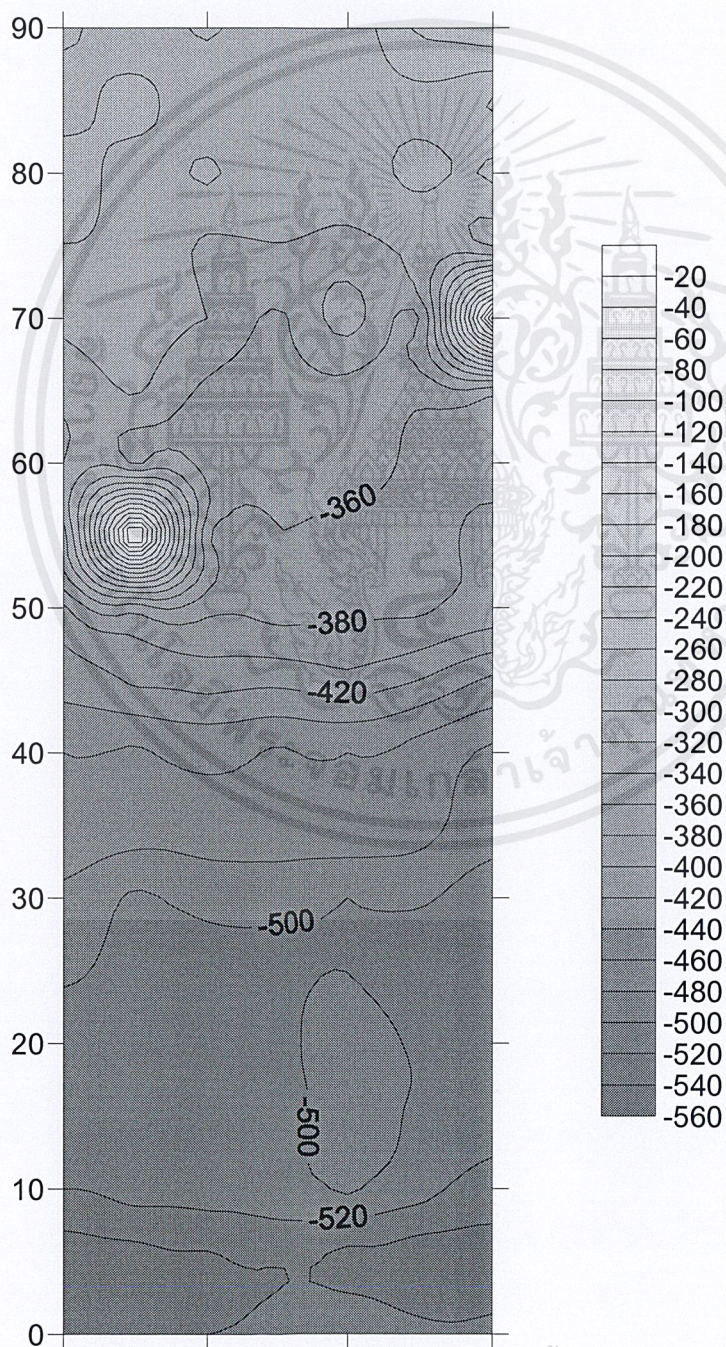
เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.40 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 7 cm.

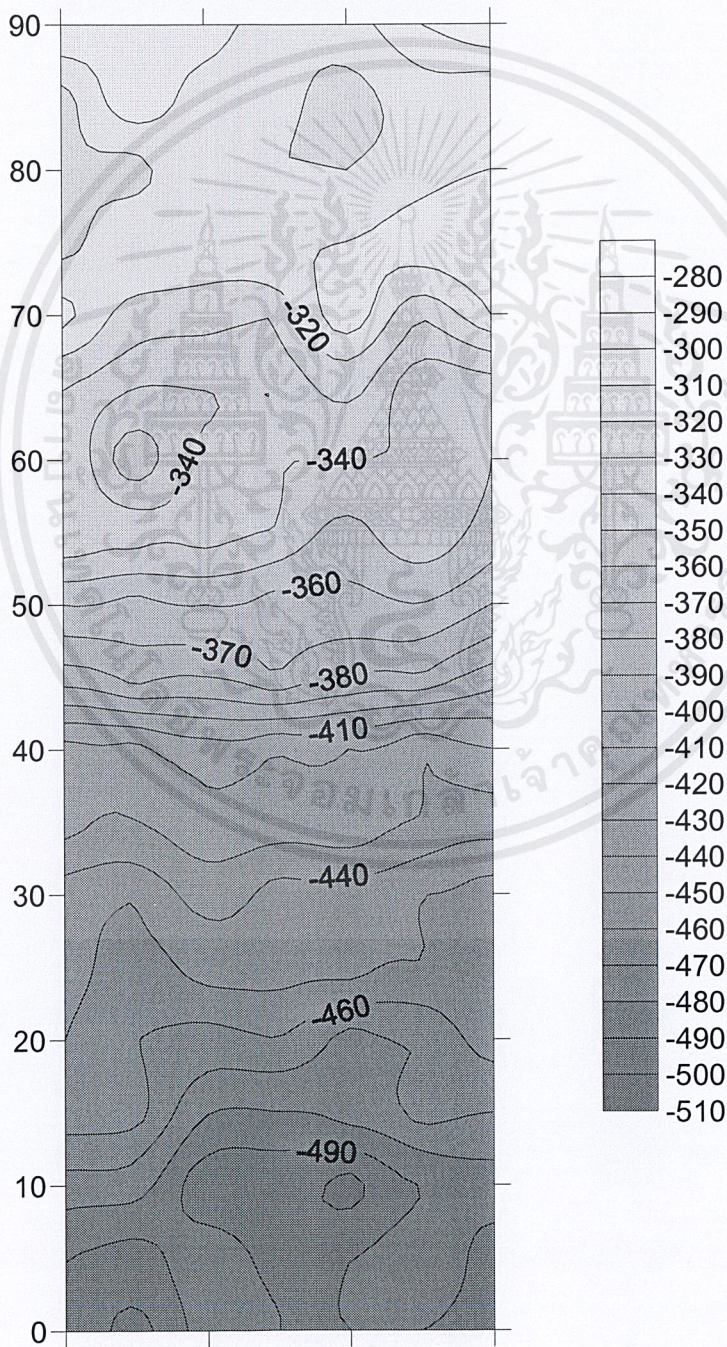
เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.41 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 5 cm.

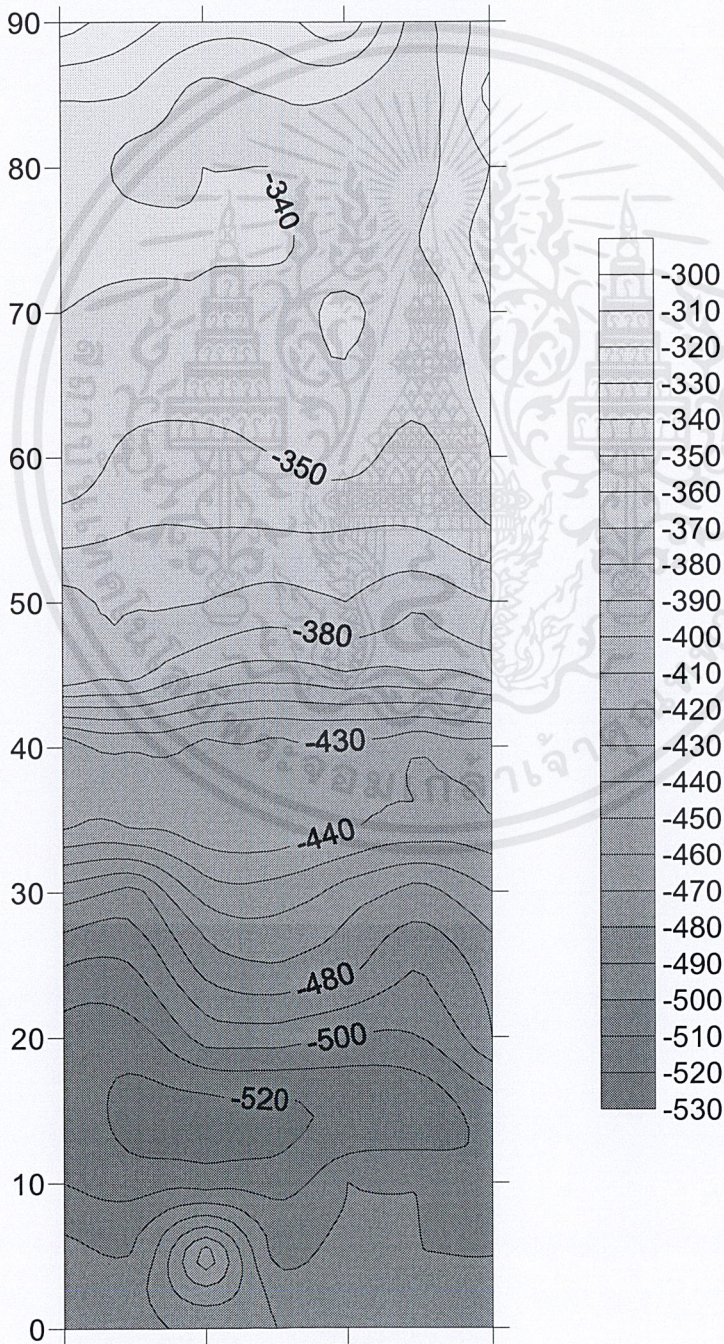
เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.42 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 5 cm.

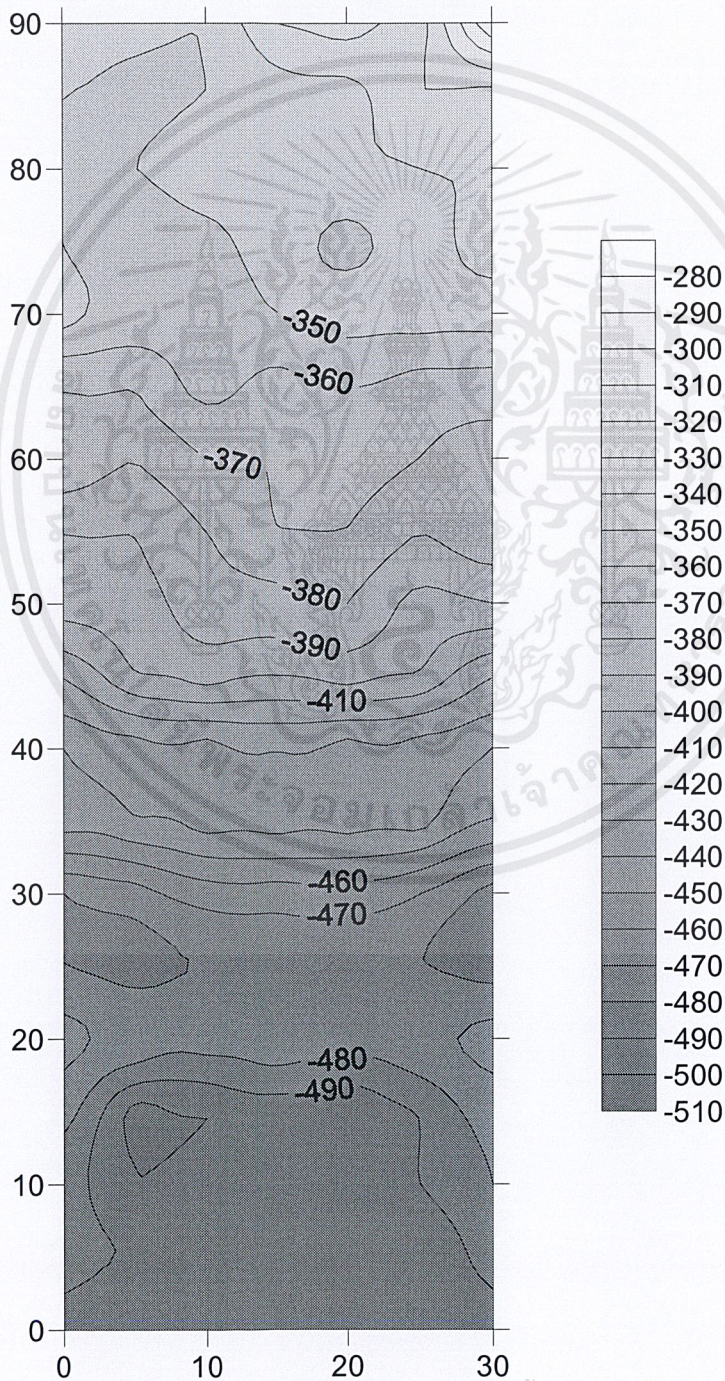
เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.43 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm.

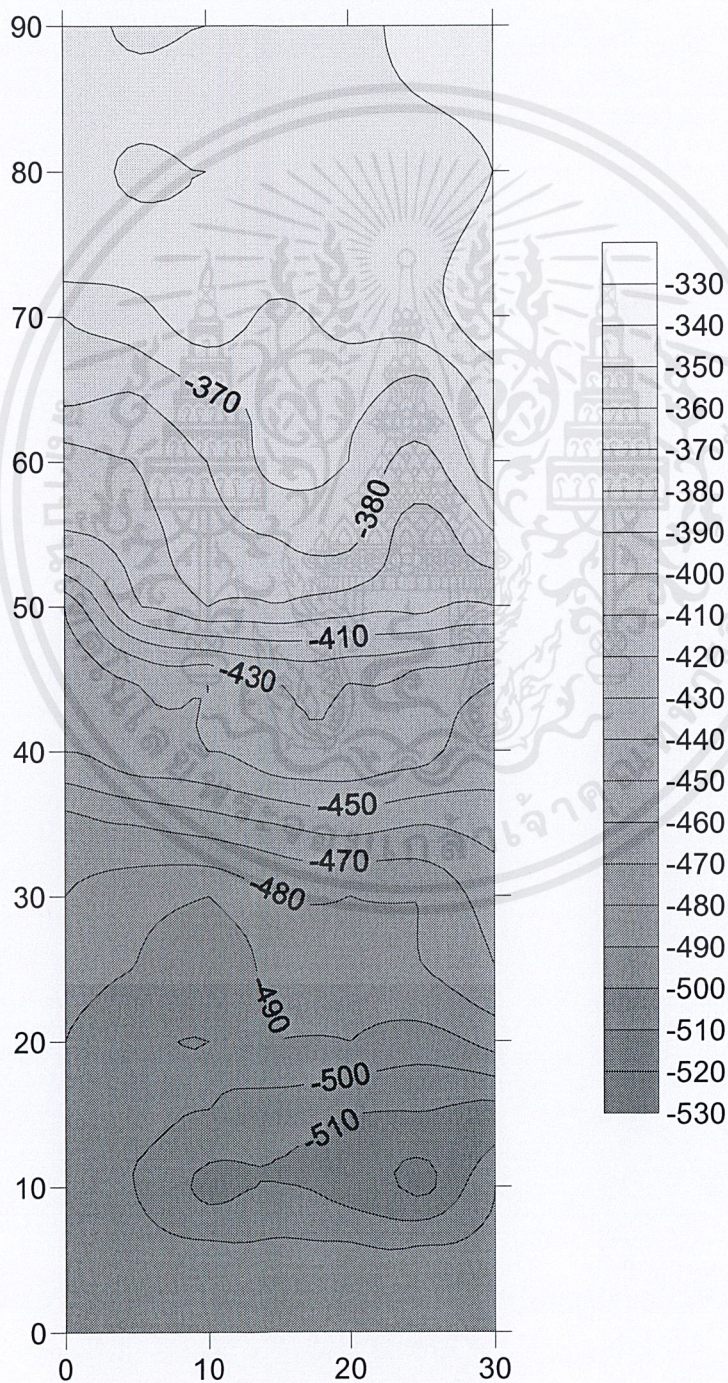
เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ฝค.28  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.44 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm.

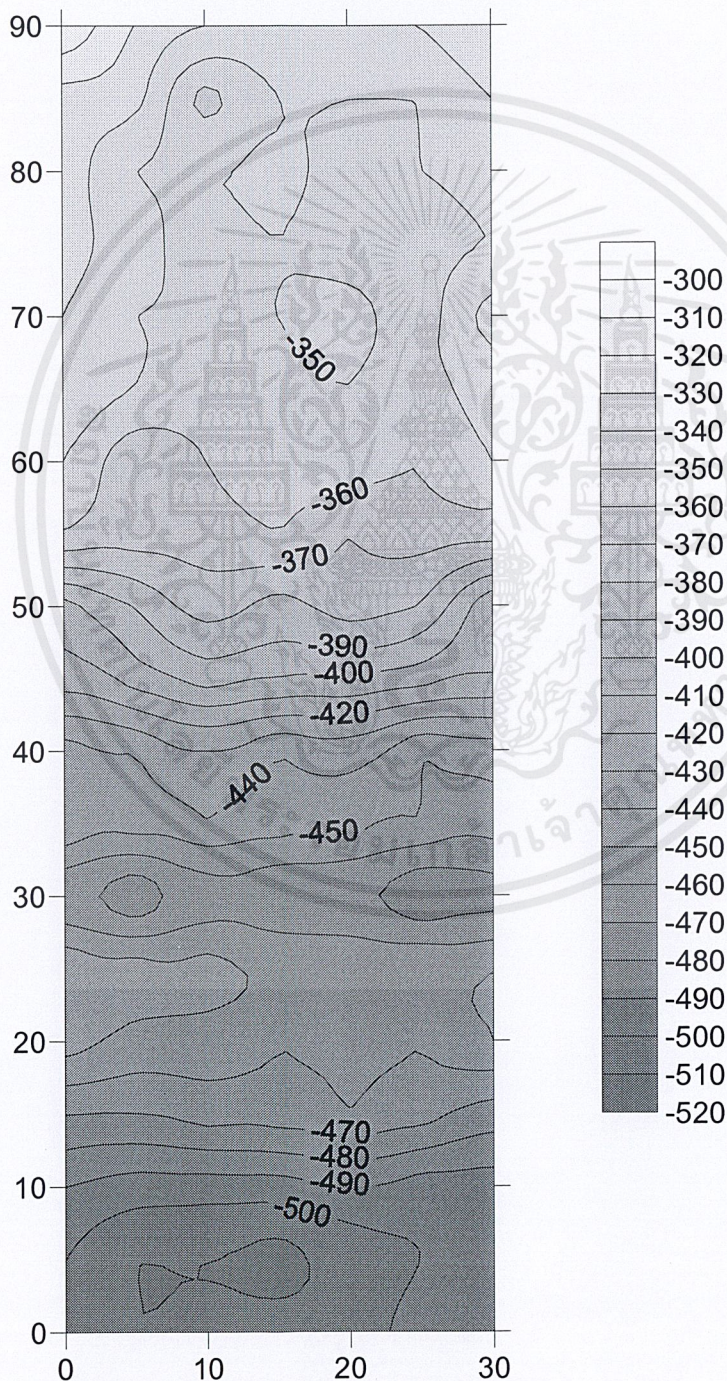
เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.45 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm.

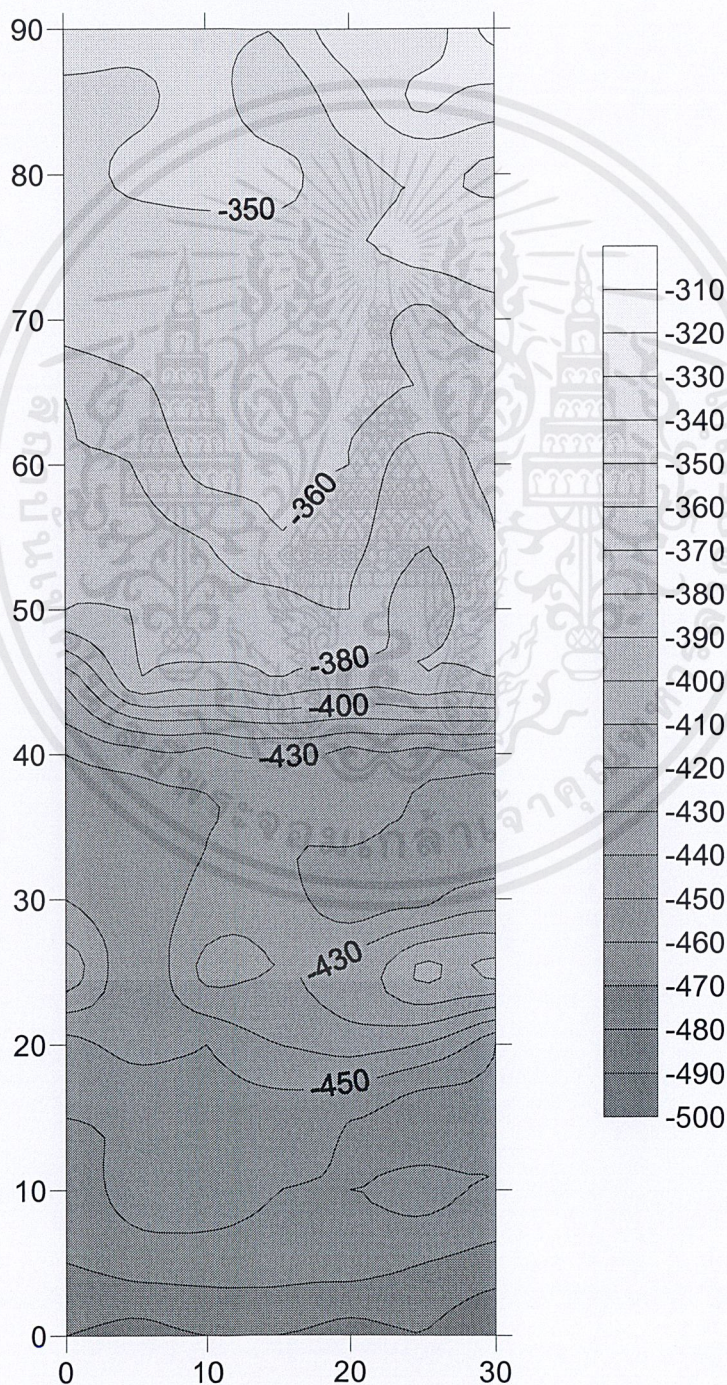
เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ผค.30 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.46 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm.

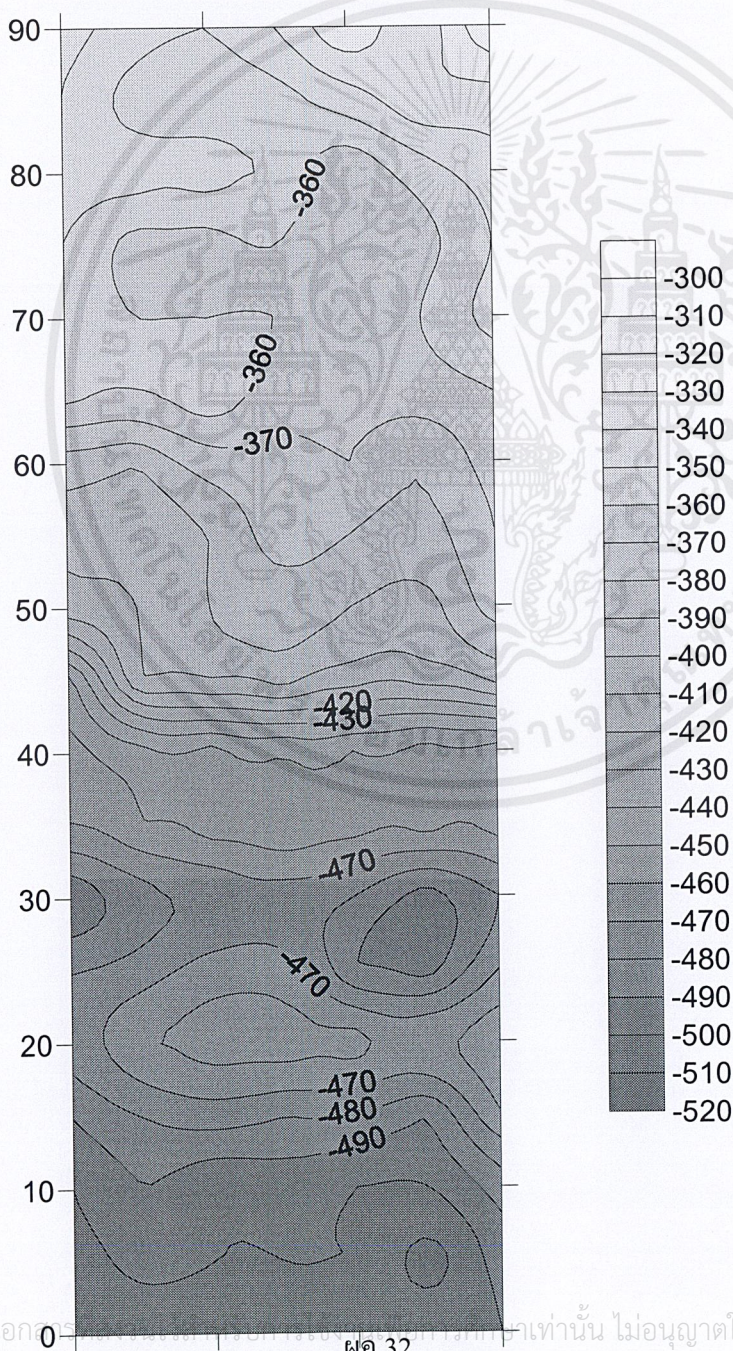
เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ <sup>ผ.ค.31</sup> การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

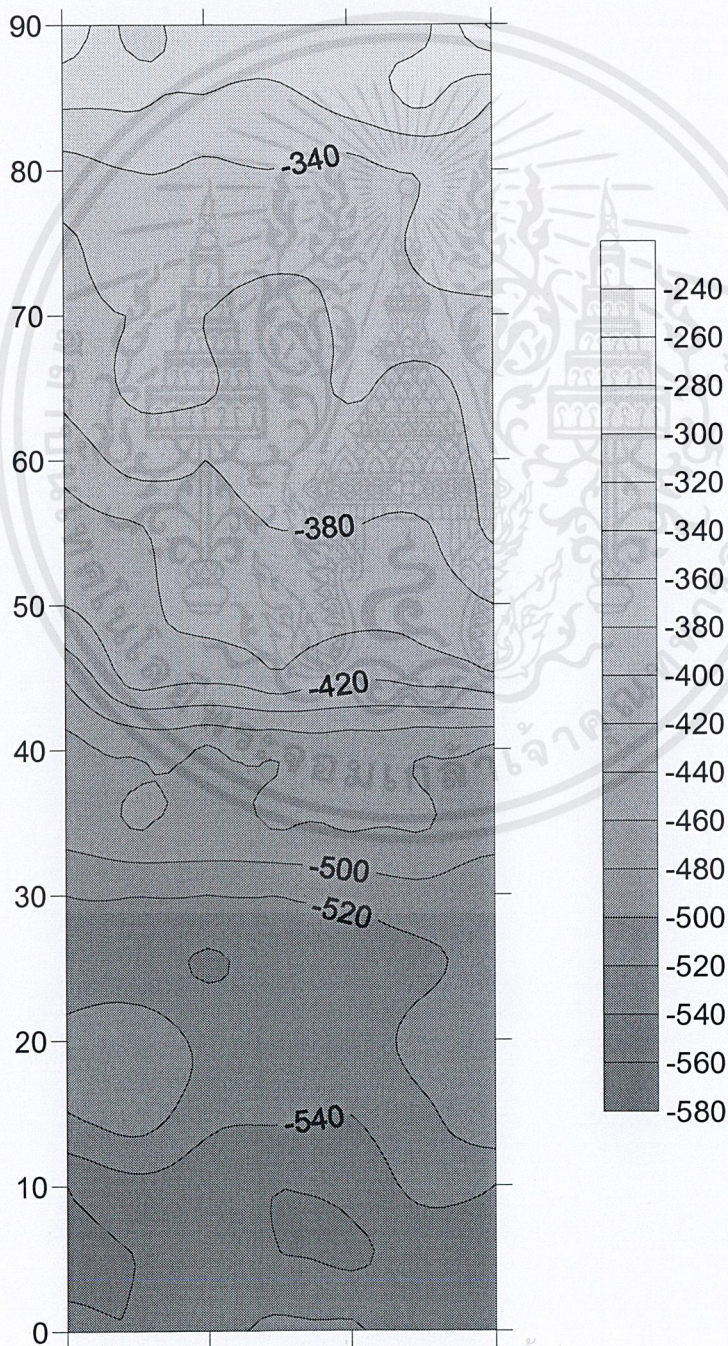
รูปที่ ผ.ค.47 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm.

เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน



รูปที่ ผ.ค.48 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 5 cm.

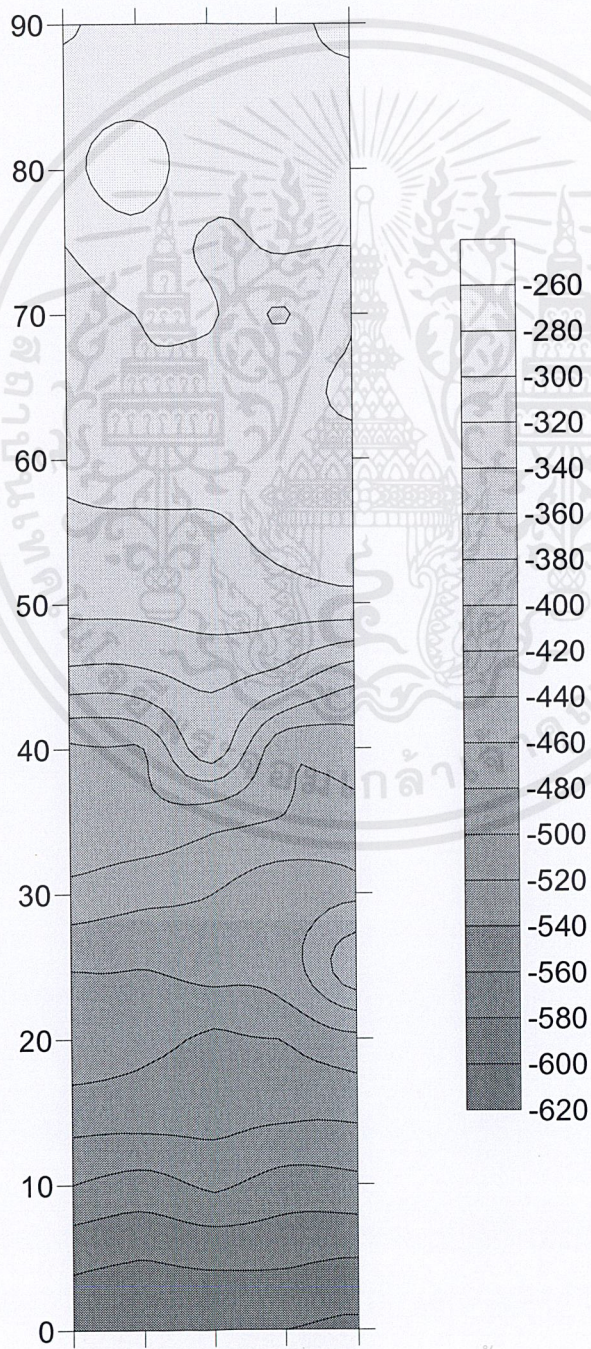
เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับ 10 ไร่ ใช้เพื่อการศึกษา 30 ปี นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.49 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm.

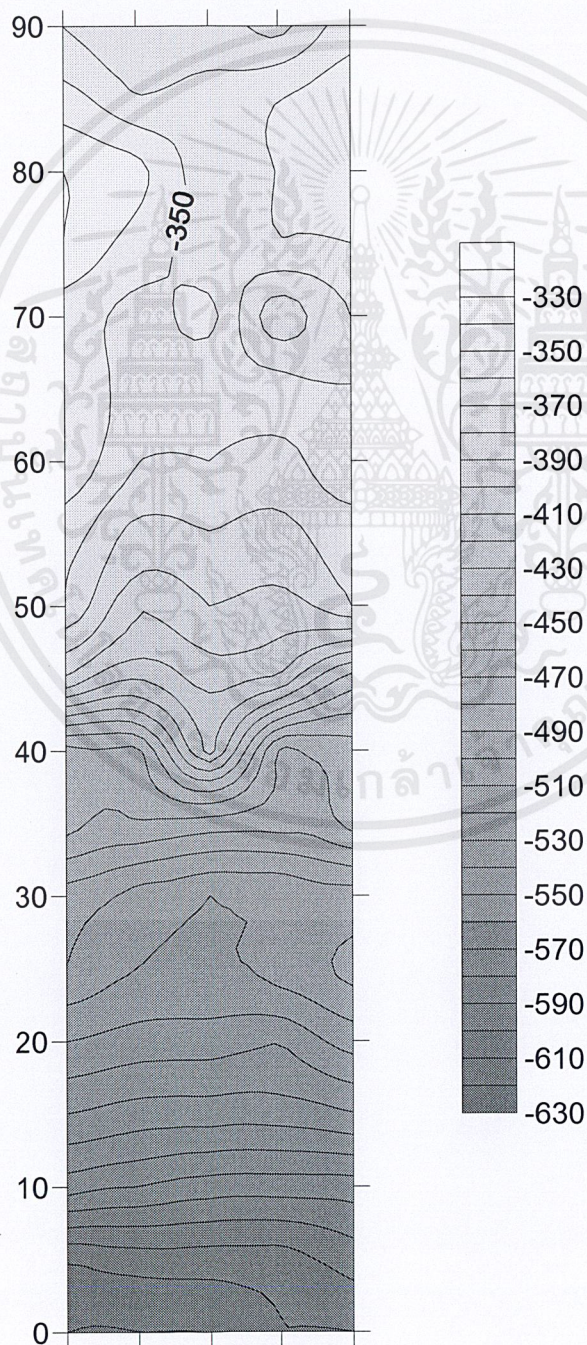
เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานวิจัยของคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ จังหวัดปทุมธานี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.50 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm.

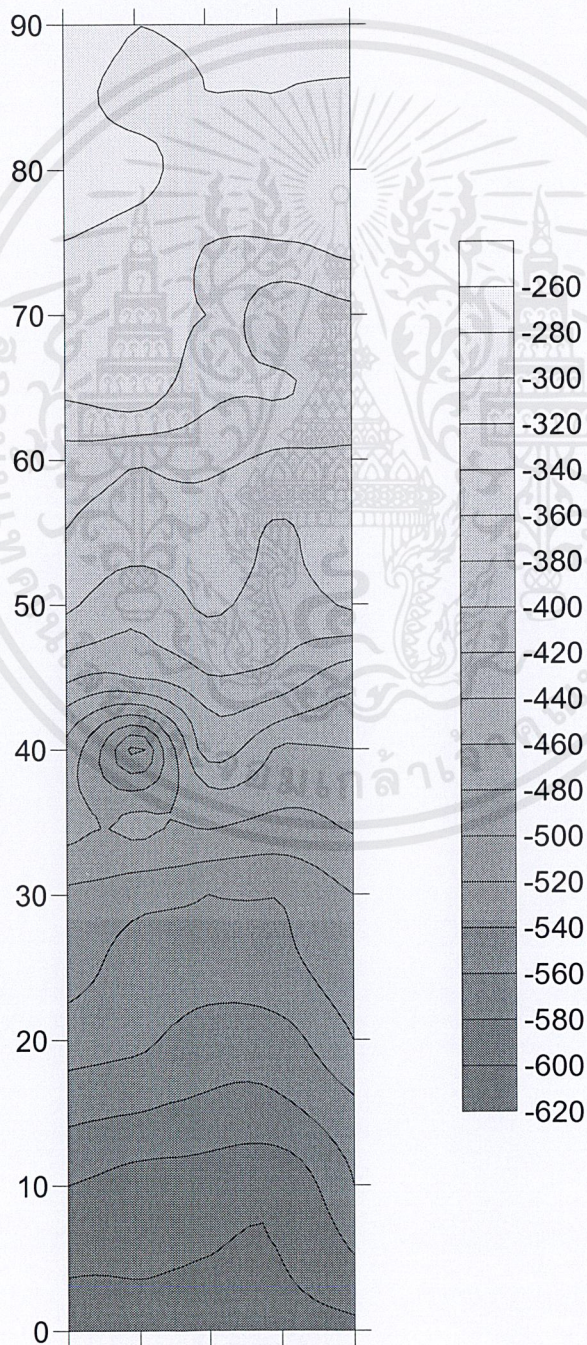
เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับ 0 สำหรับ 5 การ 10 ผ.ค. 15 และ 20 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.51 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 4 cm.

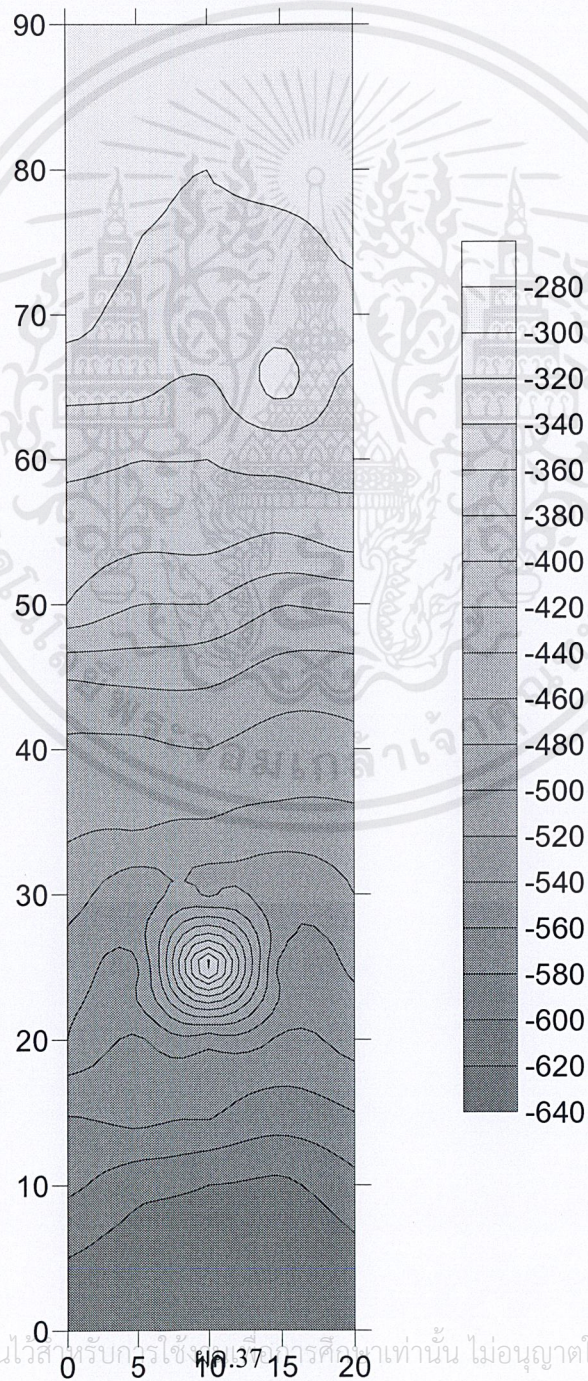
เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.52 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 4 cm.

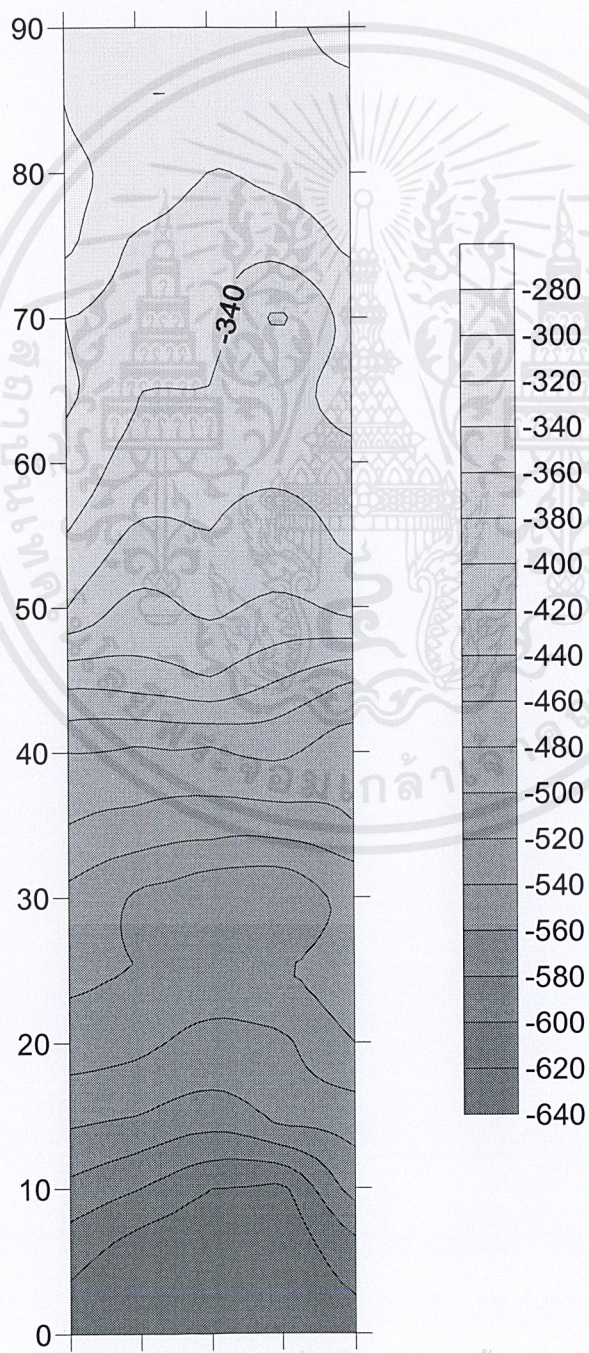
เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.53 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm.

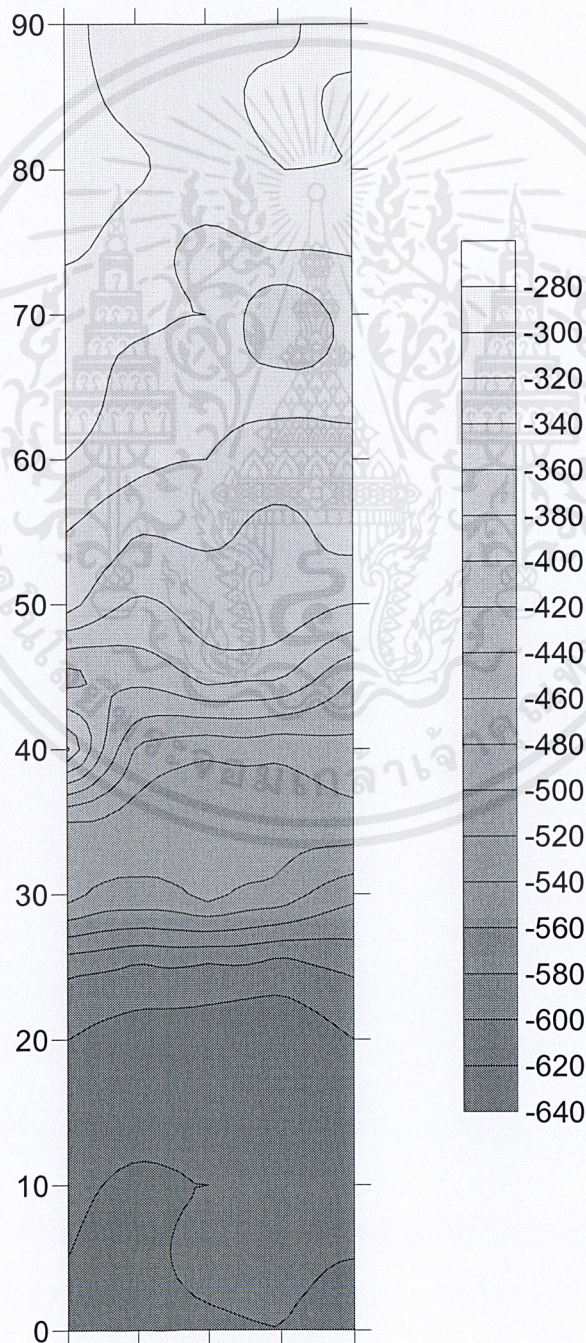
เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับสถาบันการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.54 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm.

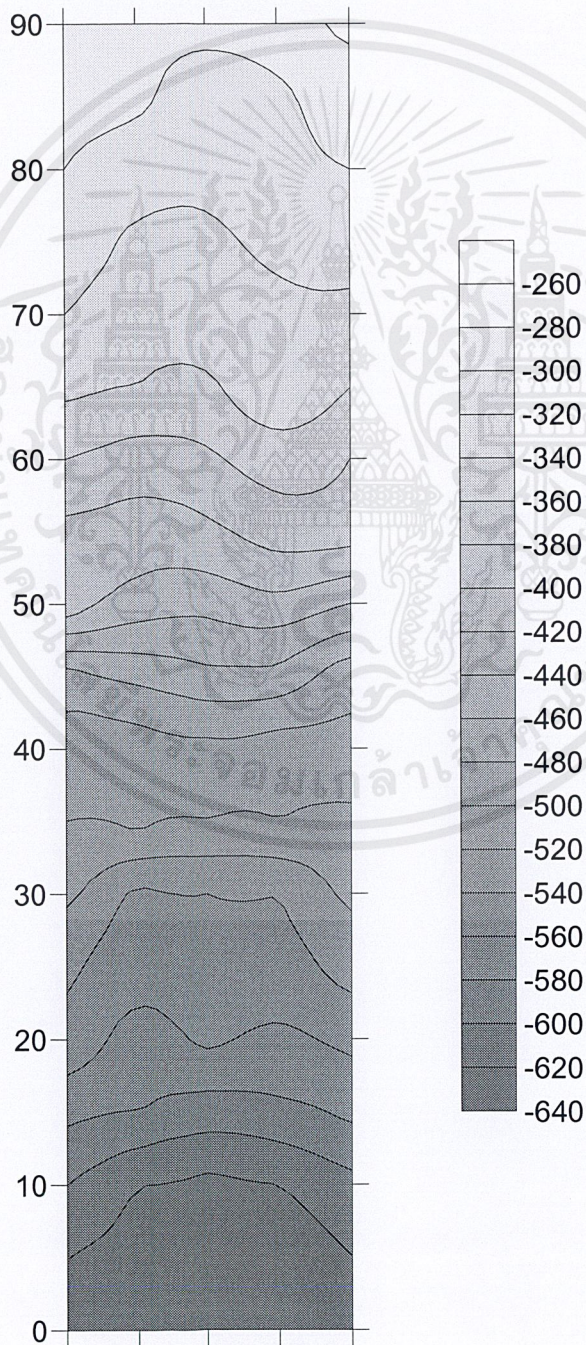
เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ 10 ผศ.39 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.55 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm.

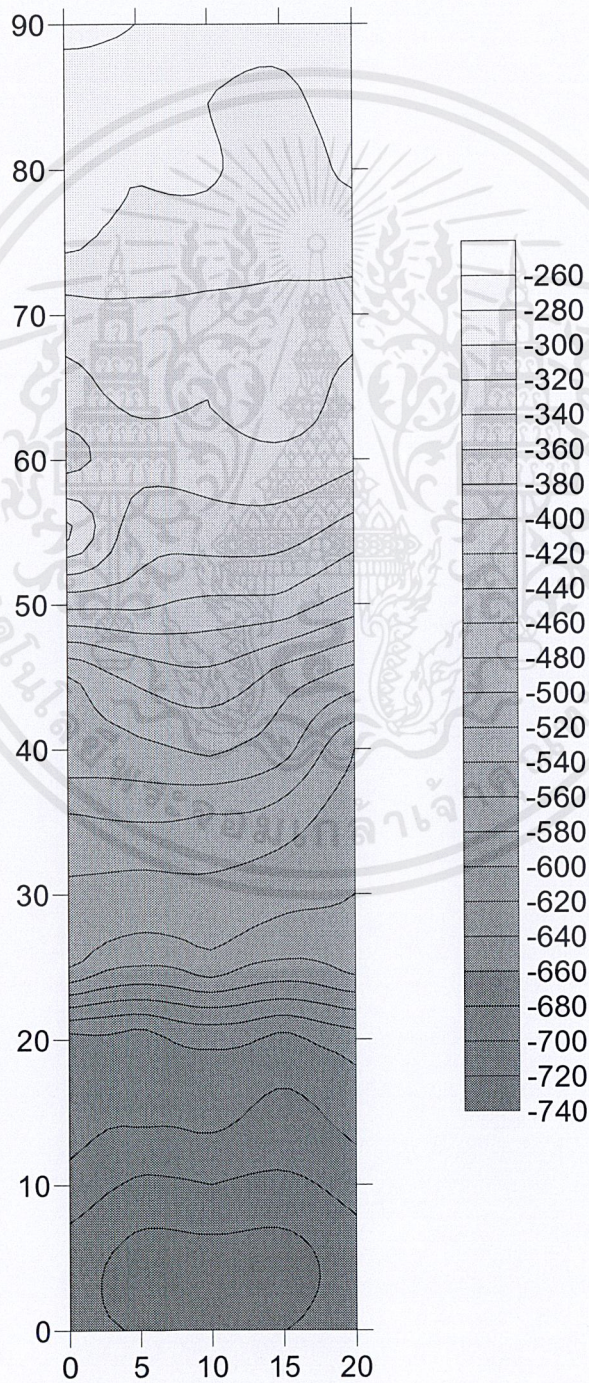
เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.56 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 4 cm.

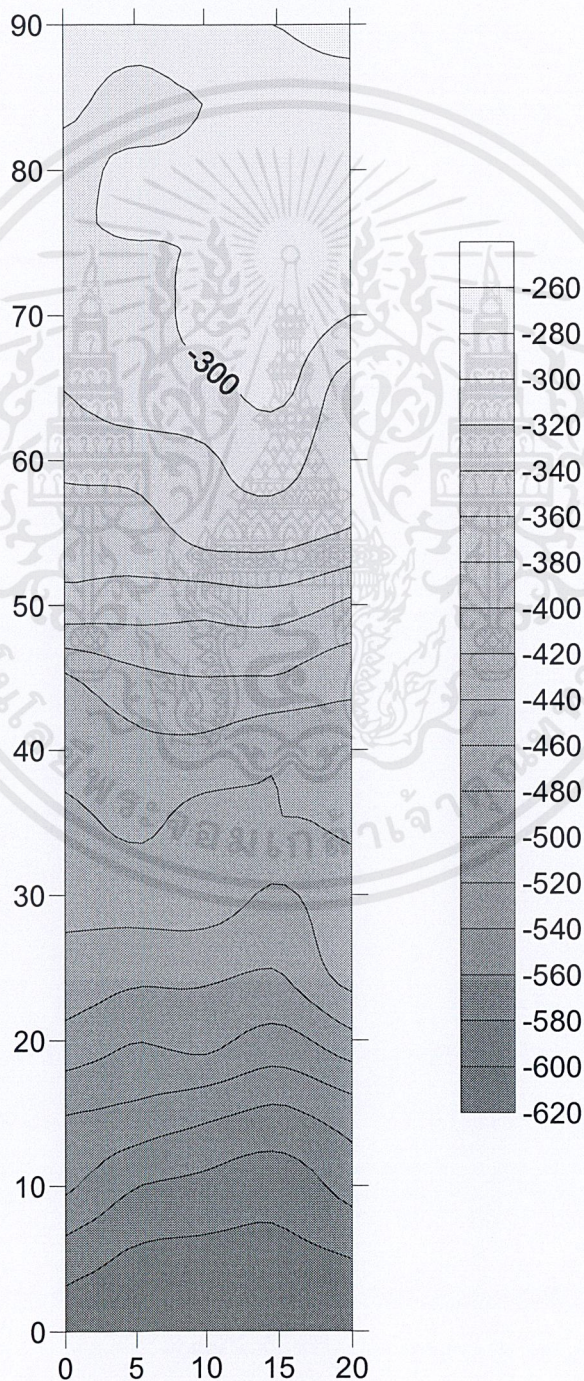
เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ผค.41 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.57 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm.

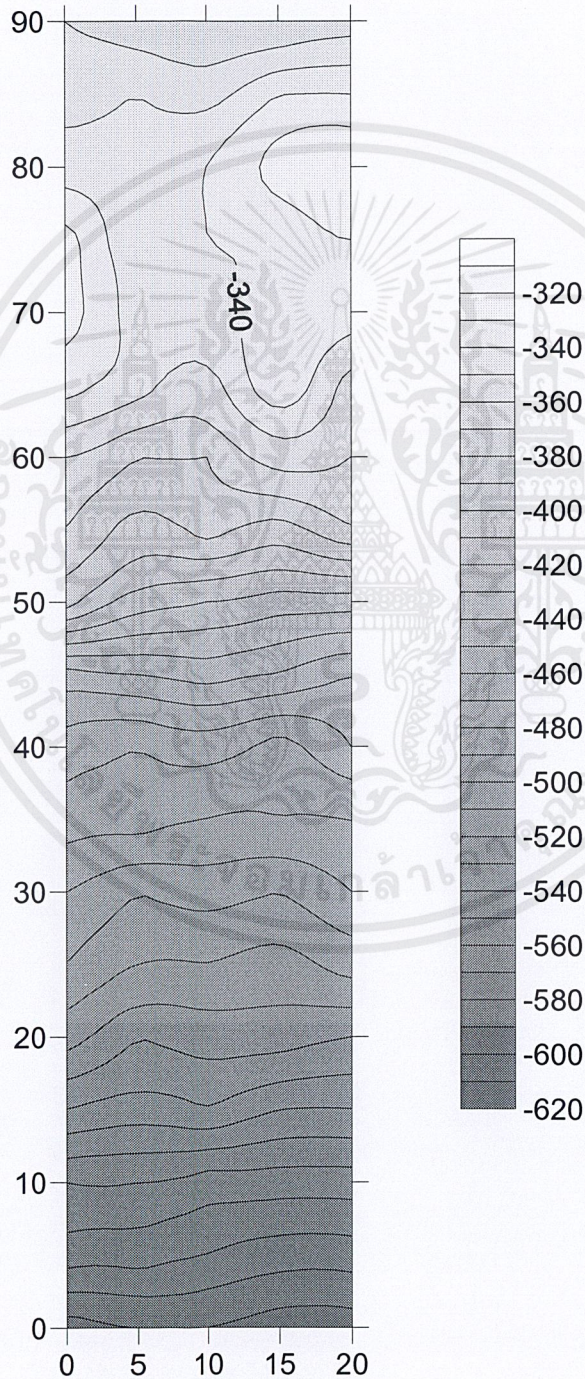
เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.58 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm.

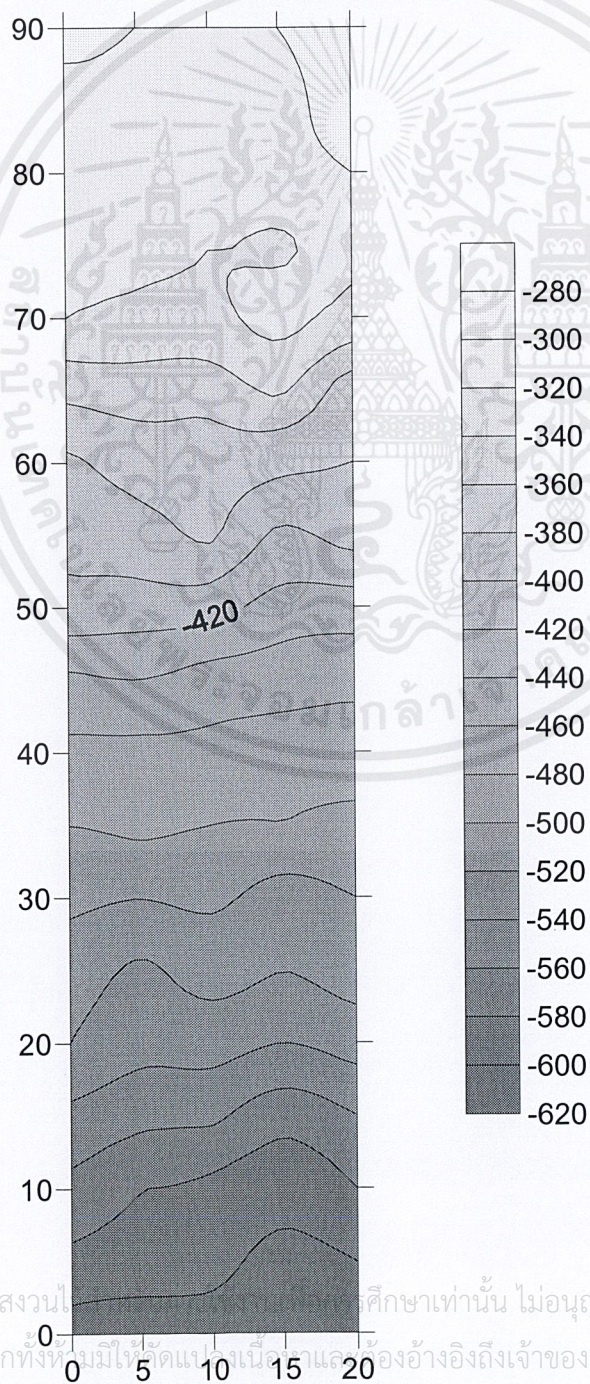
เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.59 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm.

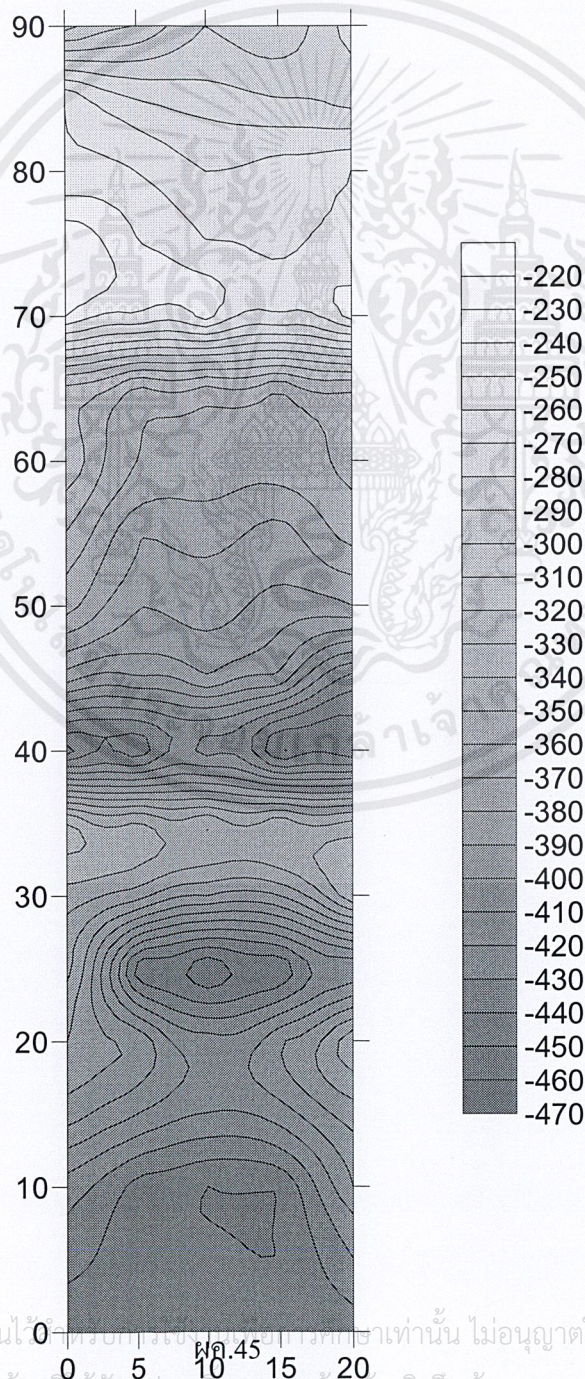
เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลนี้ออกไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.60 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะ Covering 3 cm.

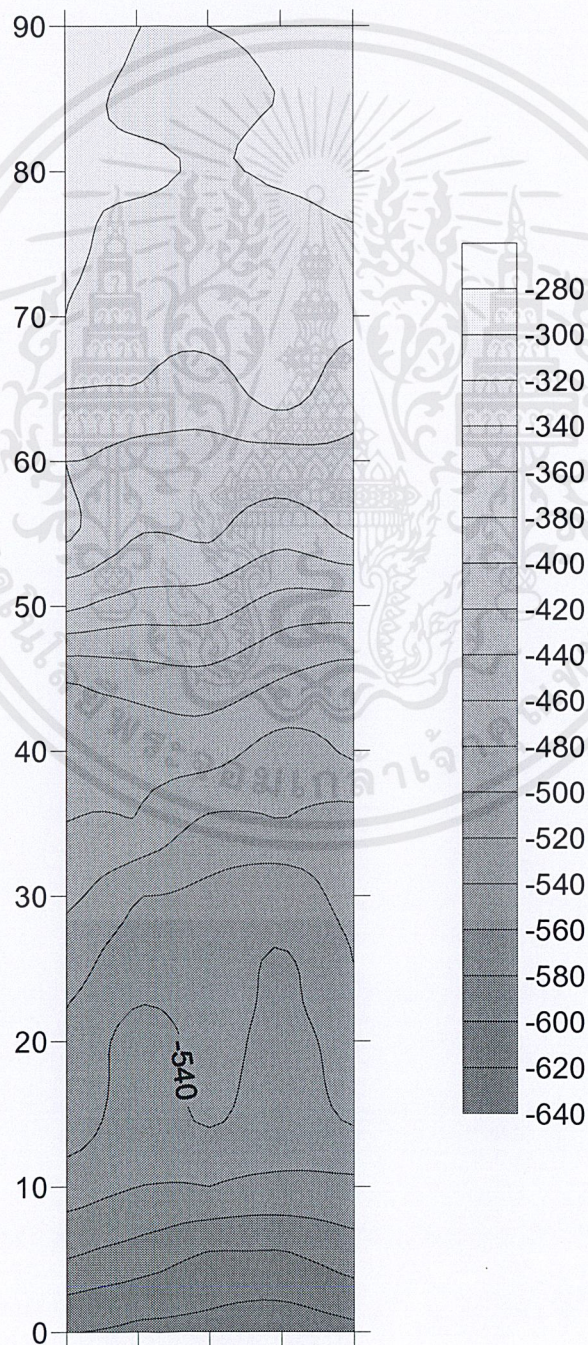
เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.61 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm.

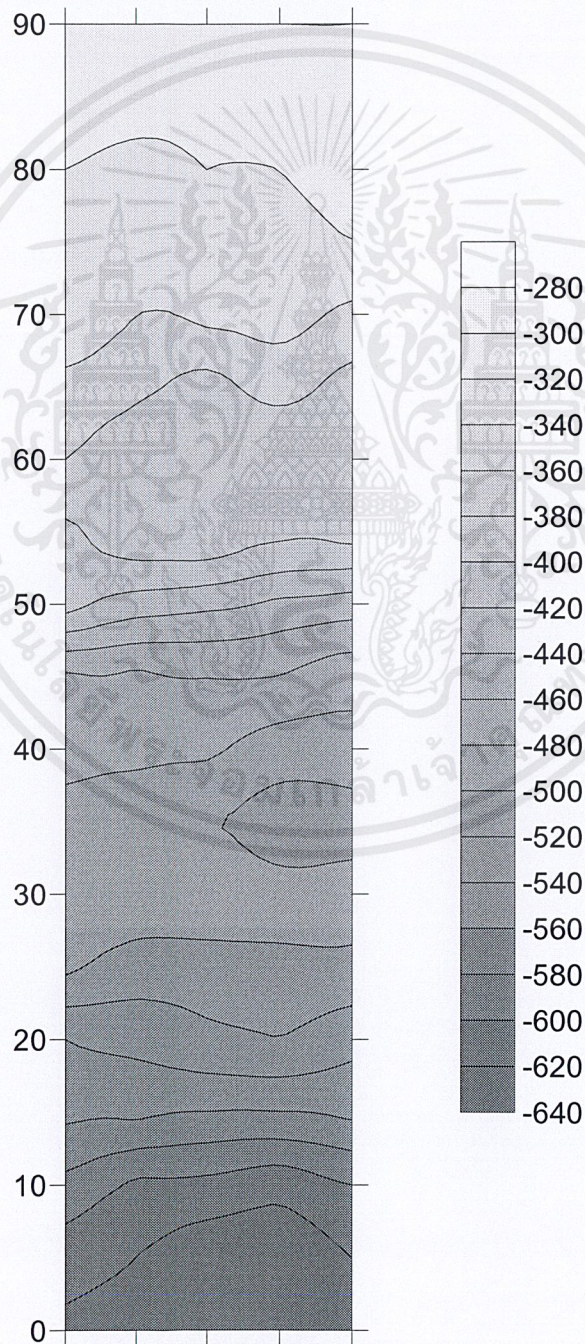
เมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ 10 ปีเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.62 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm.

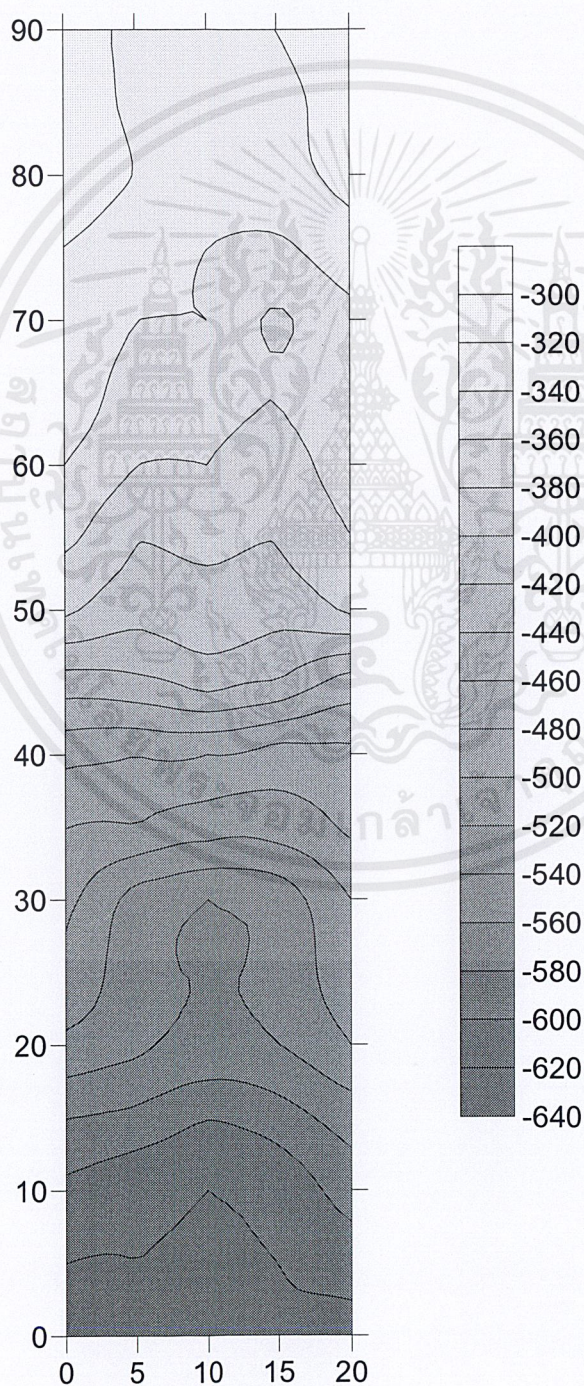
เมื่อเวลาผ่านไป 42 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.63 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm.

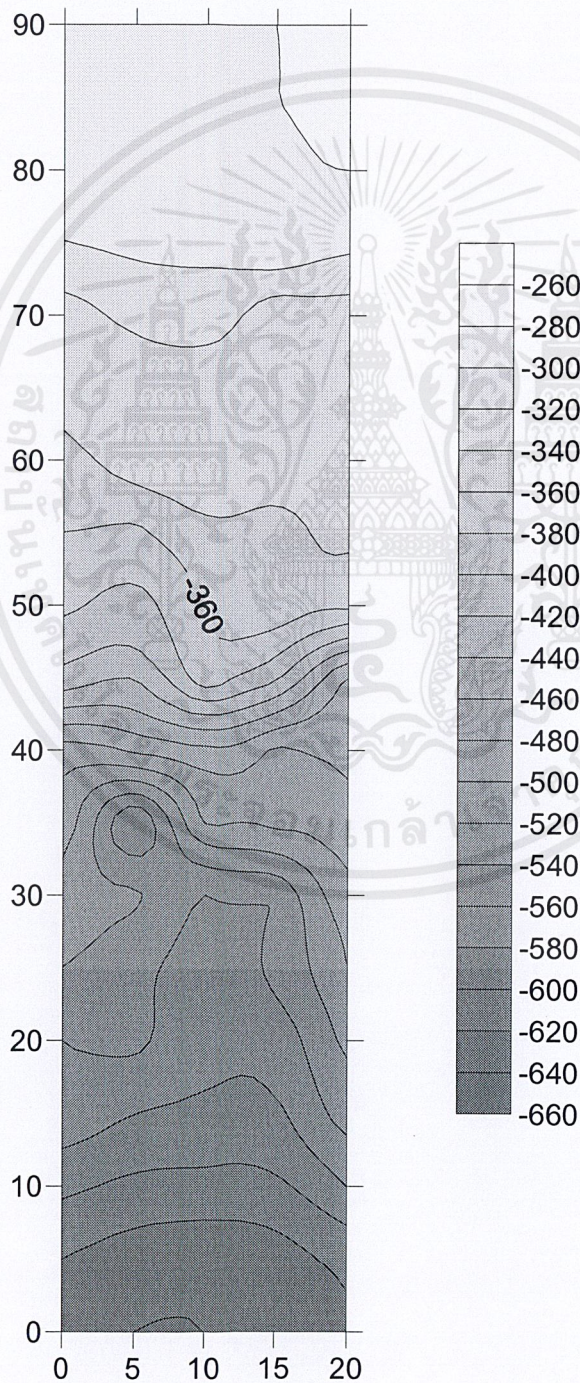
เมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ค.64 แสดง Contour ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ ระยะCovering 3 cm.

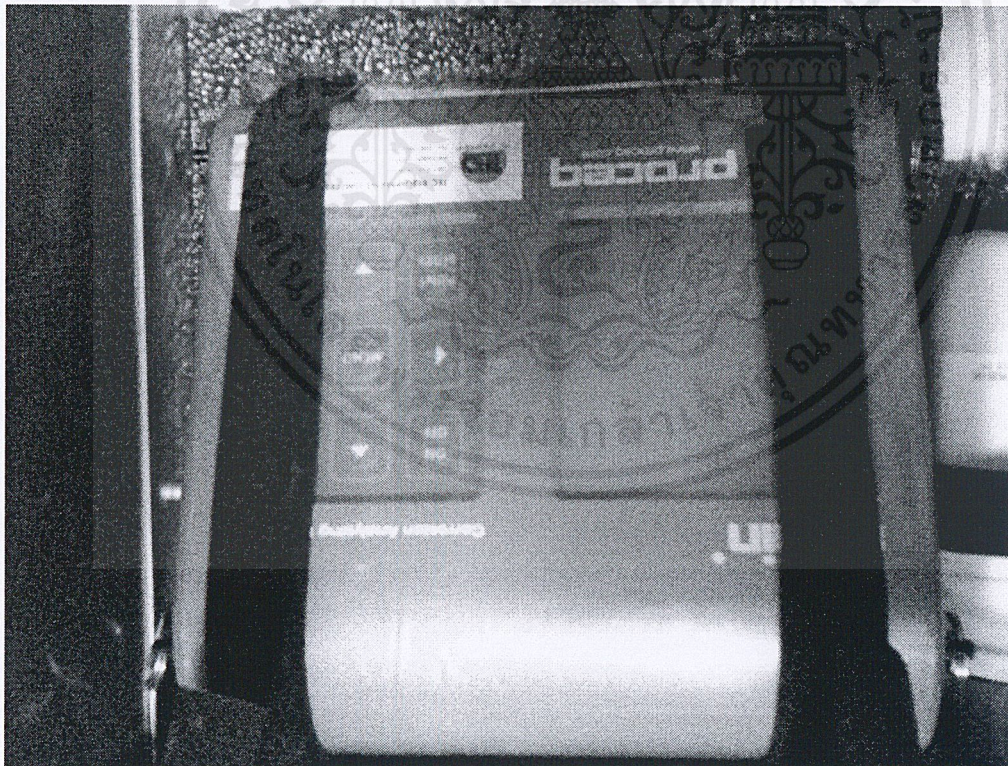
เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ผ.ค.65 สาร คอปเปอร์ซัลเฟต ที่ใช้ในเครื่องมือ Half-Cell Potential Instrument



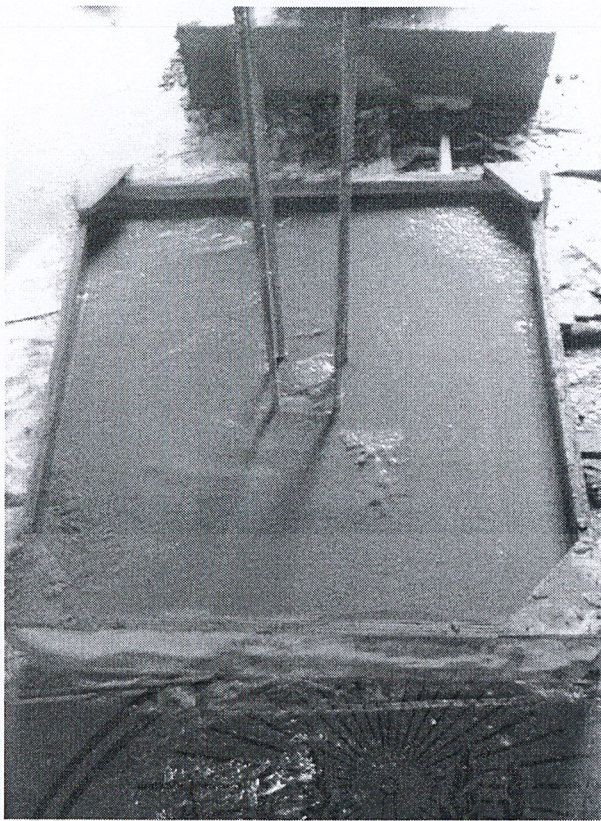
รูป ผ.ค.66 เครื่อง Half-Cell Potential Instrument

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

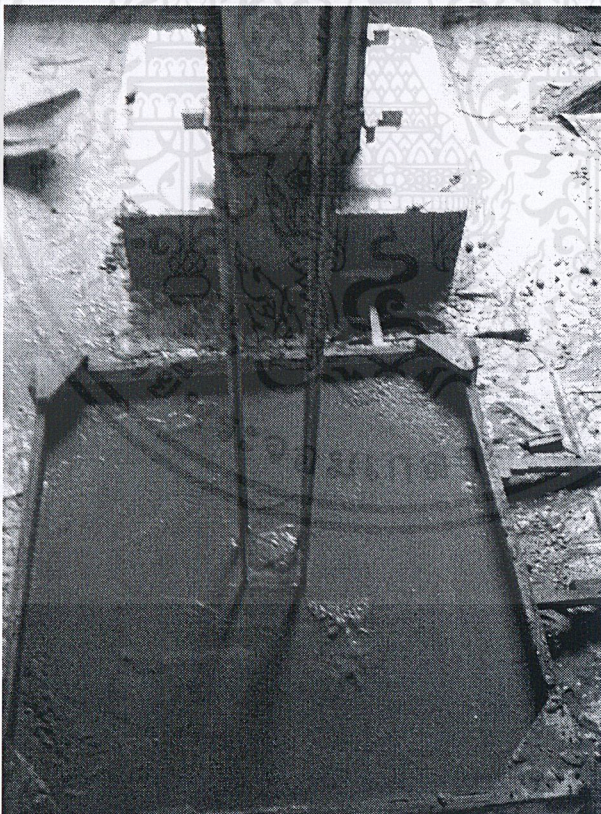


รูปที่ ผ.ค.67 เครื่องมือตรวจสอบในเหล็กเสริมคอนกรีตแบบไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.51  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ผ.ค. 68 การเทคอนกรีตฐานราก



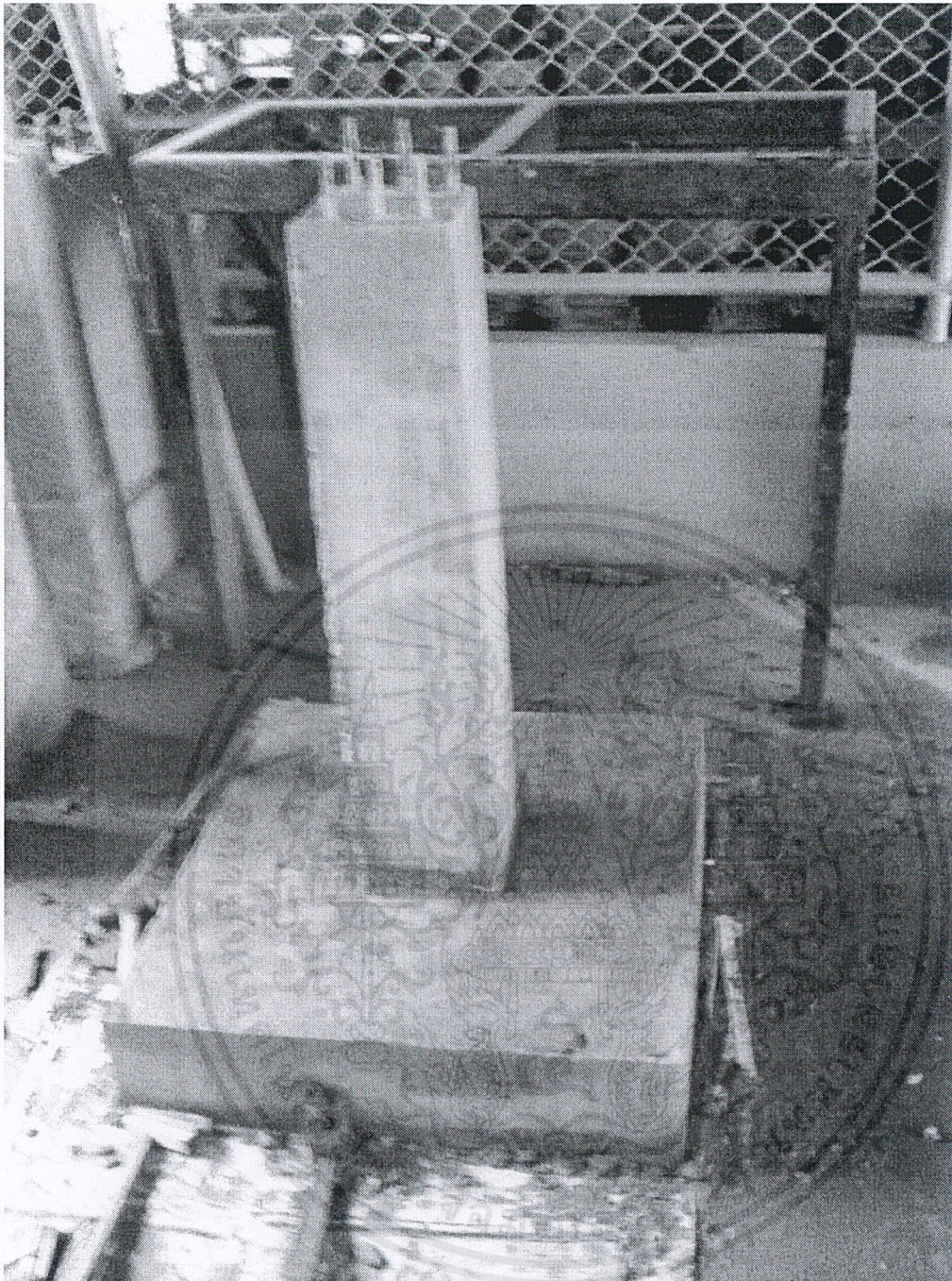
รูป ผ.ค.69 การเทคอนกรีตฐานรากชั้นที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.52  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



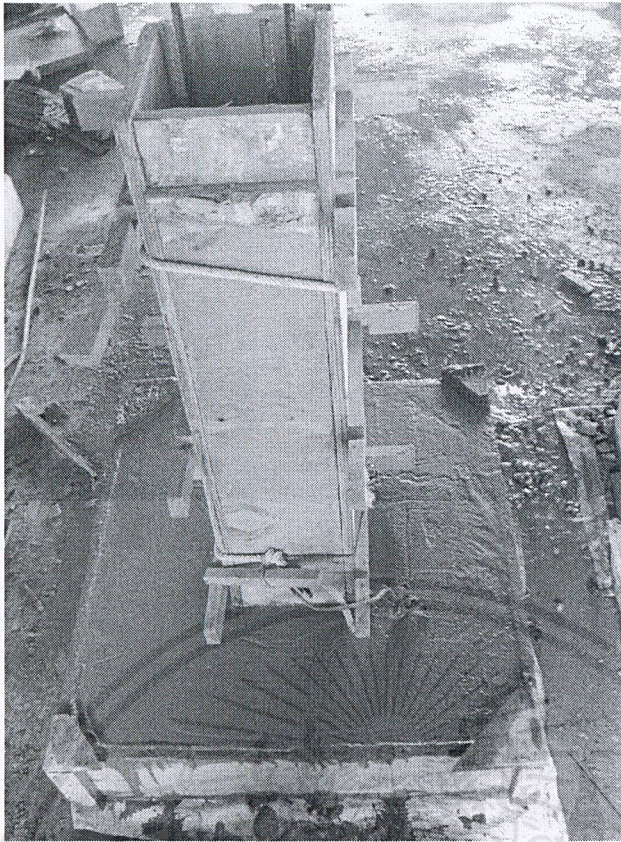
รูปที่ ผ.ค.70 การเข้าแบบเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.53  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ผ.ค.71 หลังจากถอบแบบเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.54  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค.72 เข้าแบบเสาก่อนเท



รูปที่ ผ.ค.73 ก่อบอล์ค้ำแพงกั้นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.55  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

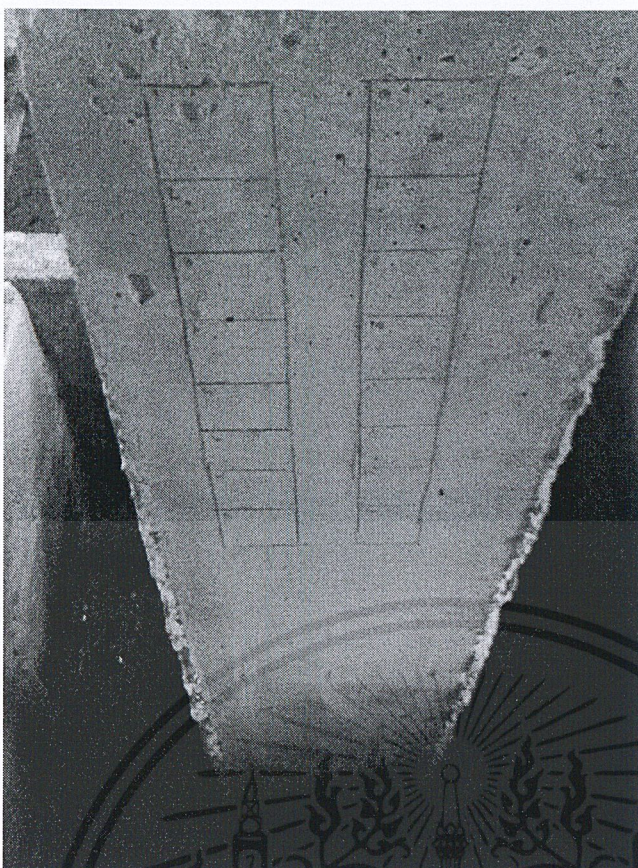


รูปที่ ผ.ค.74 หลังจากก่อสร้างตัวอย่างทดลองทั้งห้าแล้วเสร็จ



รูปที่ ผ.ค.75 แสดงตัวอย่างทดลองแต่ละชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.56  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

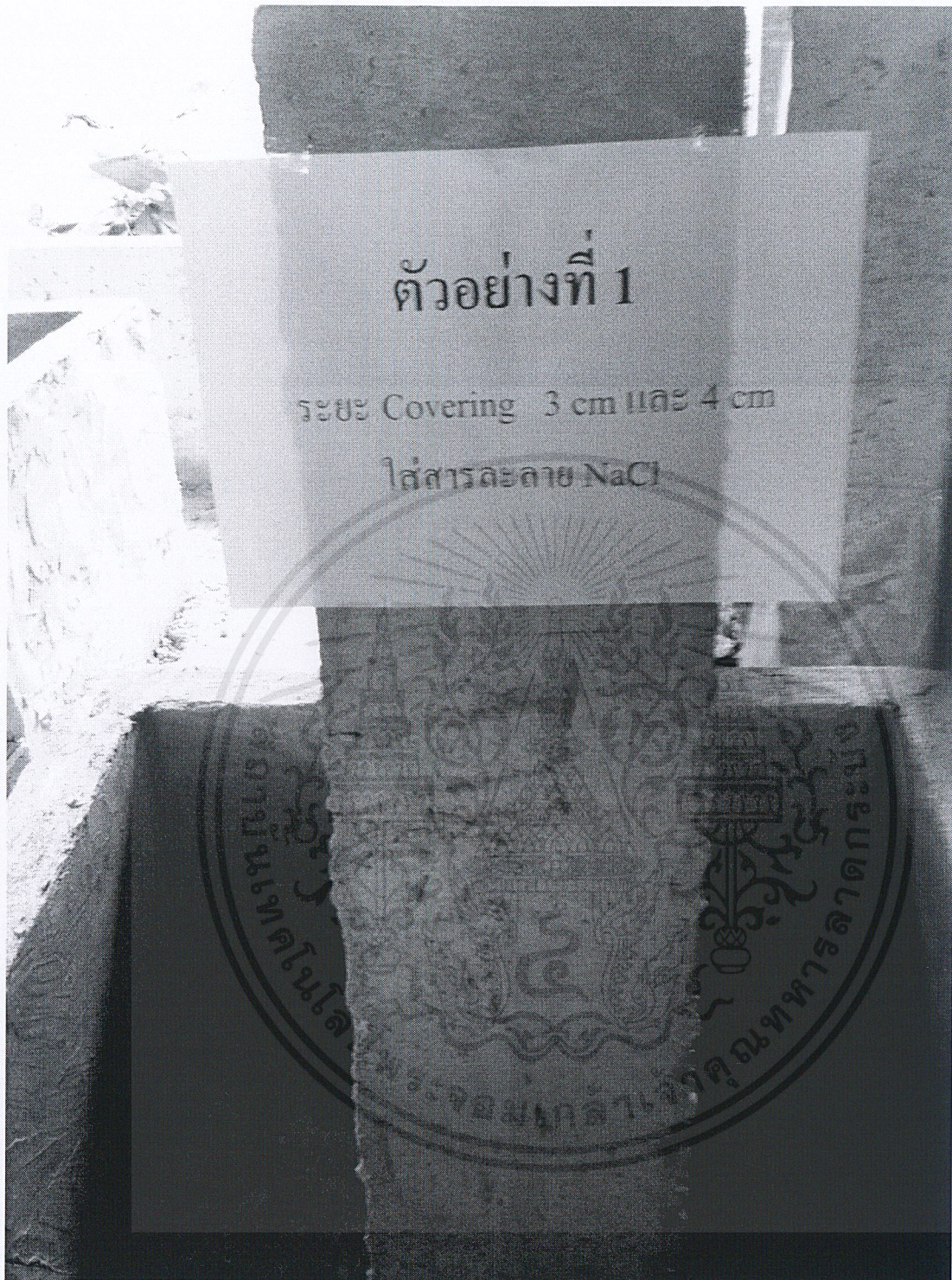


รูปที่ ผ.ค.76 การตีตาราง16ช่องสำหรับตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่14วัน



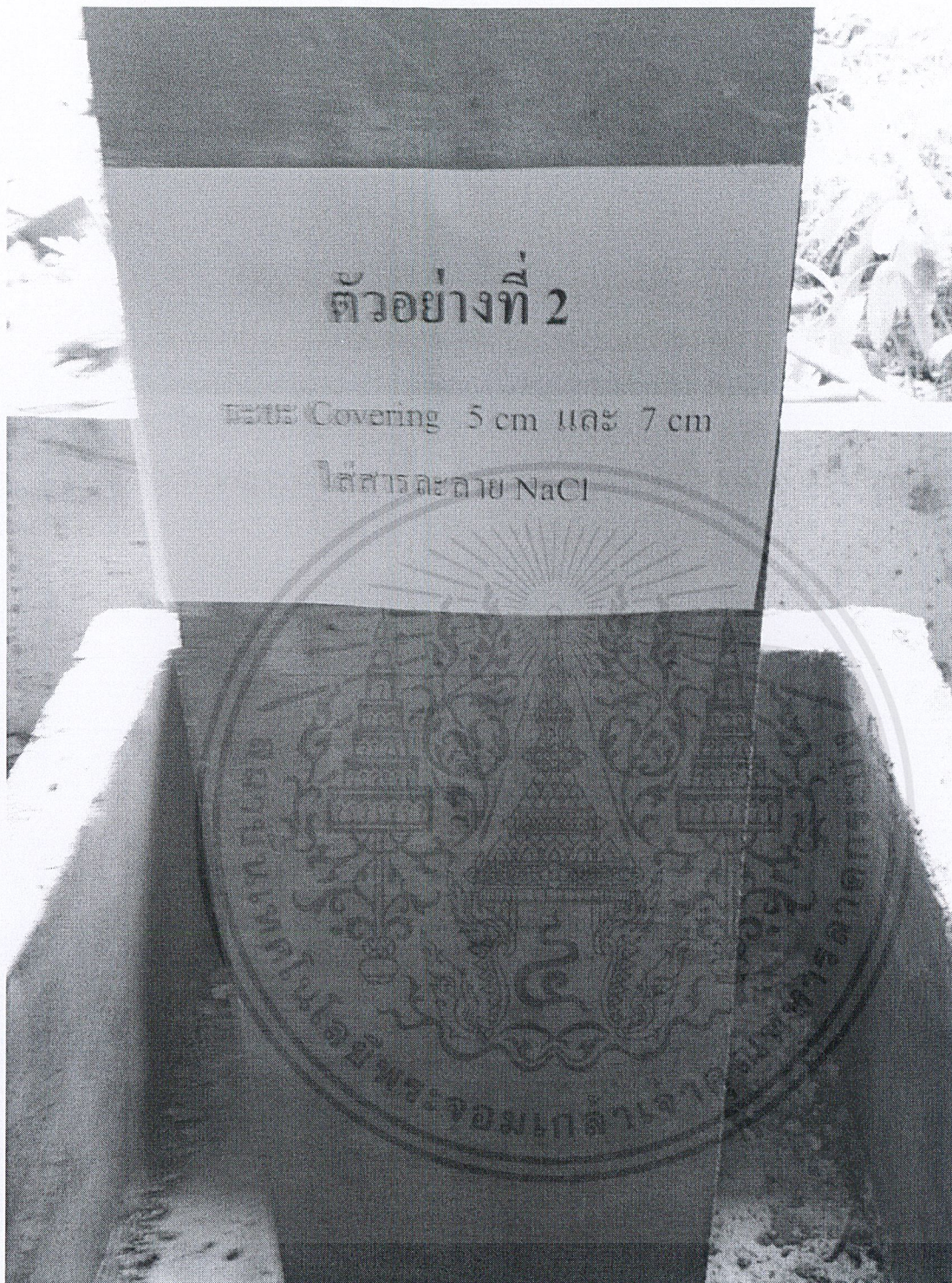
รูป ผ.ค.77 ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่อง Schmidt Hammer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.57  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค.78 ตัวอย่างที่1 ระยะ Covering 3 และ 4 cm. ใส่สารละลาย NaCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.58  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค.79 ตัวอย่างที่ 2 ระยะ Covering 7 และ 5 cm. ใส่สารละลาย NaCl



รูปที่ ผ.ค.80 ตัวอย่างที่ 3 ระยะ Covering 5 cm. ใส่สีผสมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ศ 81 ตัวอย่างที่ 4 ระยะ 5 cm. ใส่ส่วนผสมอาหาร โดยหล่อเสาและฐานรากพร้อมกัน

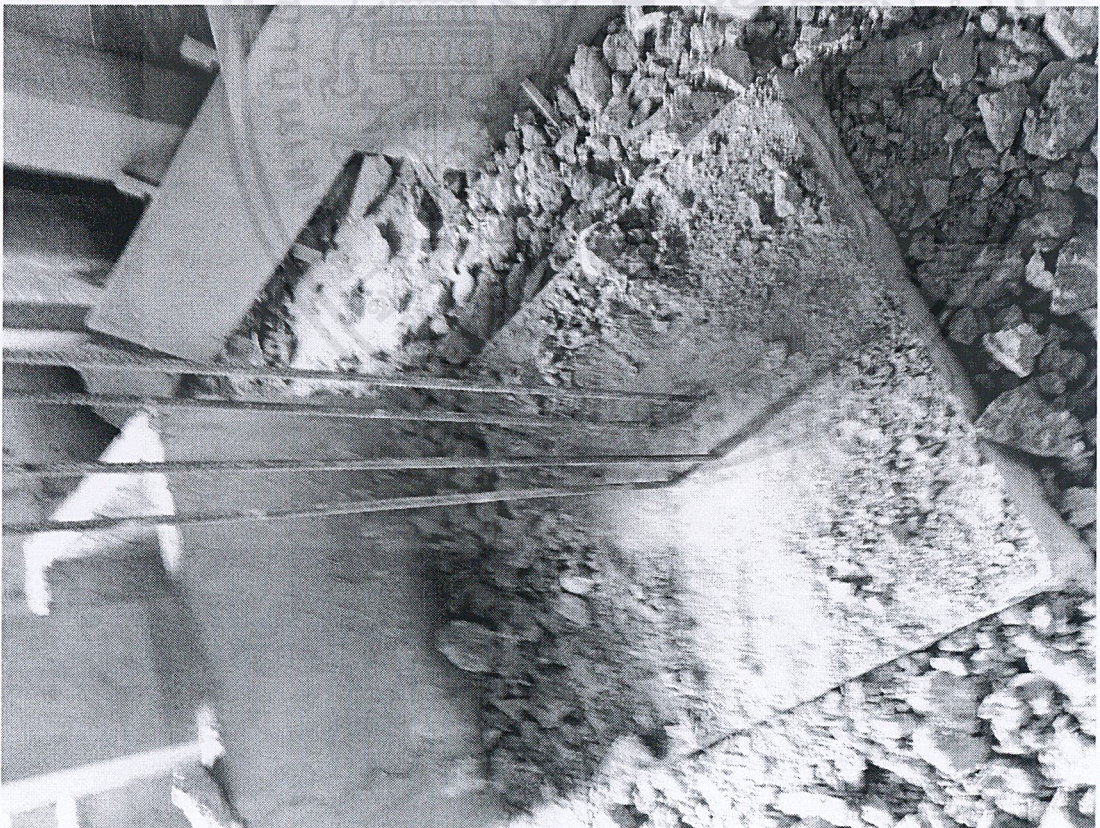


รูปที่ ผ.ค.82 ตัวอย่างที่ 5 ระยะ Covering 5 cm. ใส่น้ำประปา ทดสอบ void

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.62  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค.83 ขณะทำลายตัวอย่างทดลอง

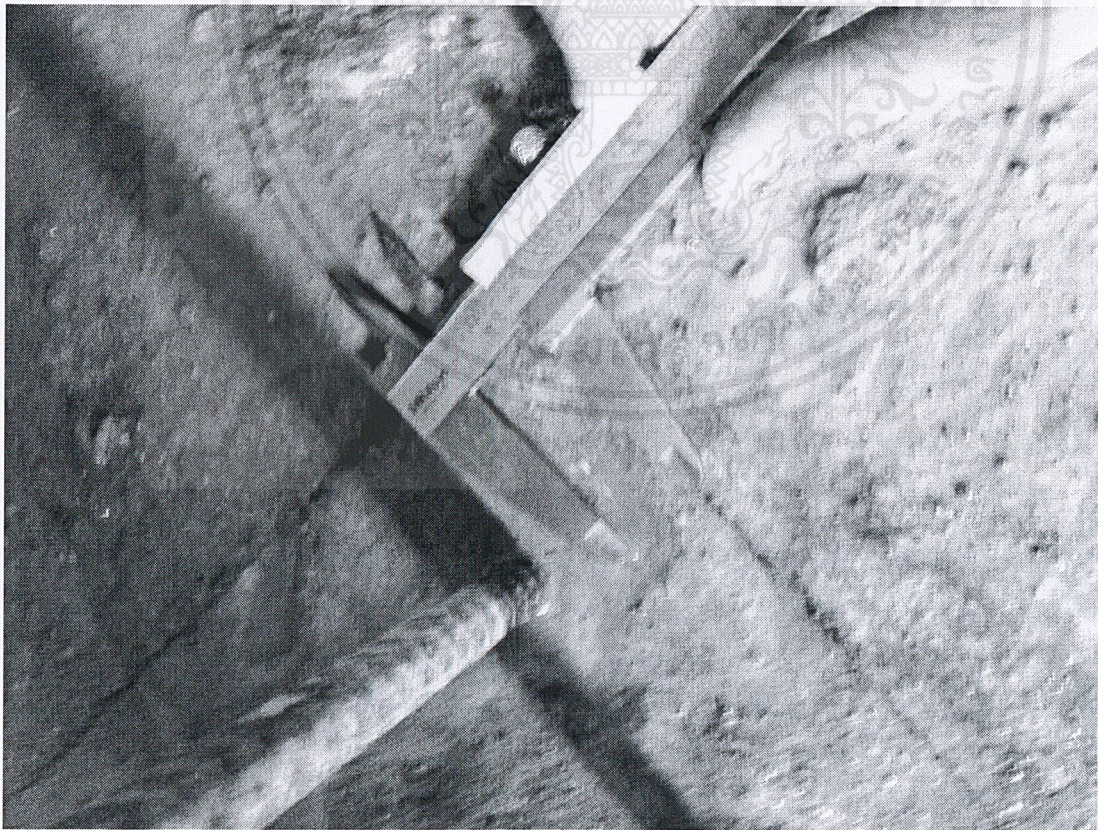


รูปที่ ผ.ค. 84 หลังจากทุบทำลายตัวอย่างทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผ.ค.63  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค. 85 แสดงแนวขอบเสาเดิม(สีน้ำเงิน)และคราบสีผสมอาหาร(สีแดง)บนฐานราก



รูปที่ ผ.ค. 86 แสดงการวัดระยะของสีผสมอาหารที่ซึมในรอยต่อด้วย Vernia caliper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.64  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



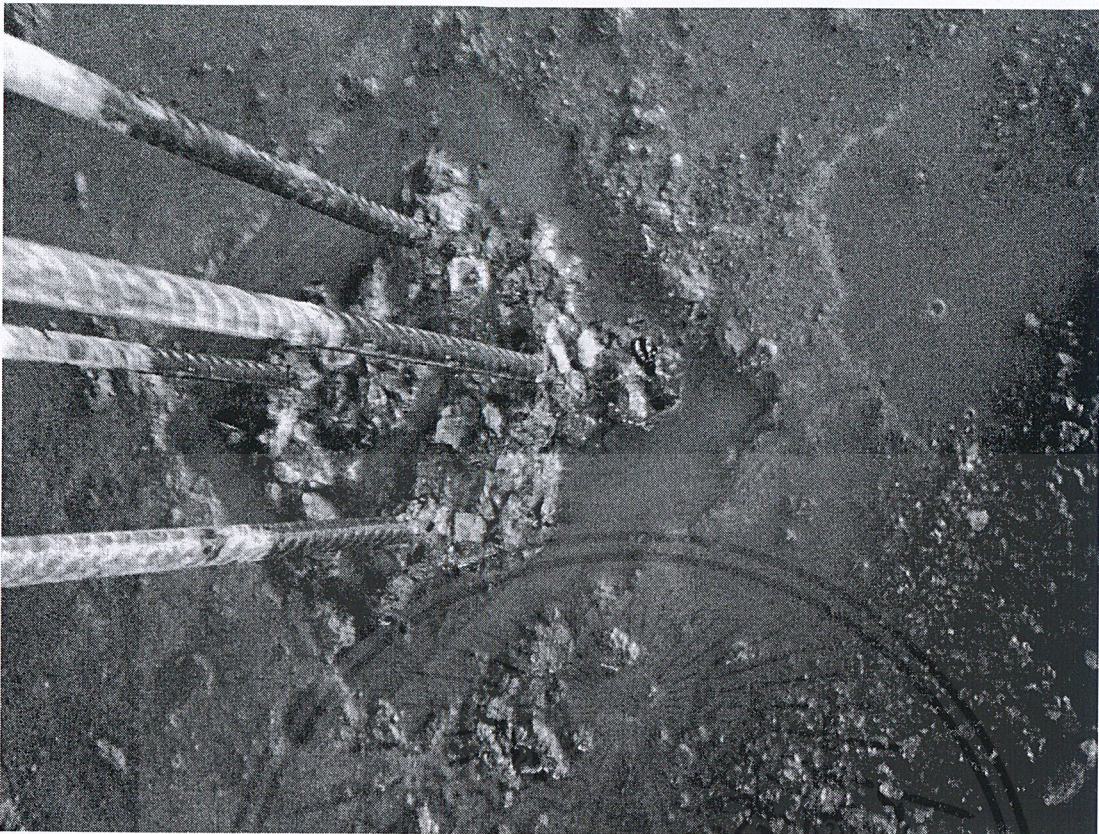
รูปที่ ผ.ค.87 แสดงถึงสีผสมอาหารที่ซึมเข้าไปเกินแนวขอบ

เสา



รูปที่ ผ.ค. 88 แสดง ตัวอย่างทดลองที่ 4 เมื่อทาบทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.65  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

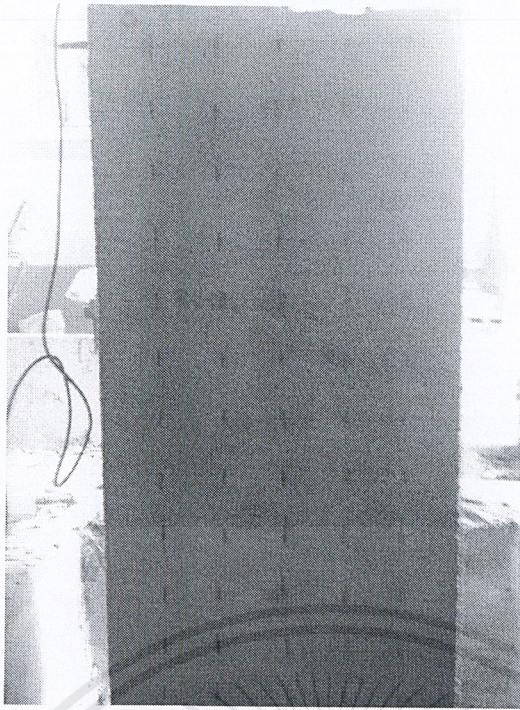


รูปที่ ผ.ค.89 แสดงตัวอย่างทดลองที่ 4 ที่หล่อเป็นชิ้นเดียวไม่พบครายสีแดง



รูปที่ ผ.ค. 90 แสดงการซึมของน้ำสีผ่านเข้าสู่ช่องว่างในเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.66  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค. 91 แสดงการกำหนดจุดเพื่อทำการวัดด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument



รูปที่ ผ.ค. 92 แสดงการตรวจวัดการเกิดสนิมด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผค.67  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค. 93 แสดงการตรวจวัดการเกิดสนิมด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument



รูปที่ ผ.ค. 93 แสดงการตรวจวัดการเกิดสนิมด้วยเครื่อง Half-Cell Potential Instrument

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผ.ค.68  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้