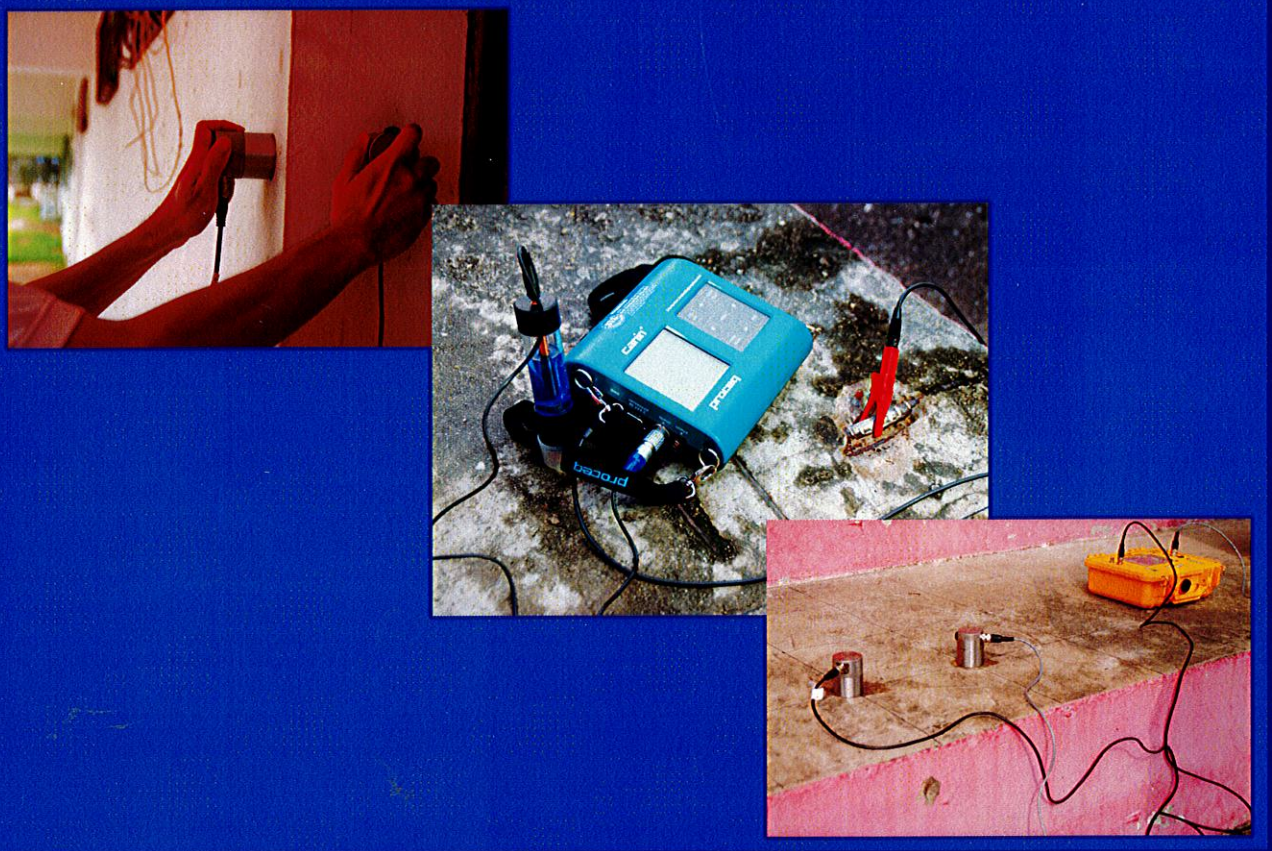
คู่มือทดสอบ

การทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

การทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต

การตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ.2557

คู่มือการทดสอบ
การทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก
การทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต
การตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

คำนำ

งานด้านวิศวกรรมโยธาเป็นงานที่มีความเกี่ยวข้องกับวัสดุก่อสร้าง เช่น คอนกรีต เหล็ก ดิน หิน ทราย เป็นต้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความมั่นคงแข็งแรงของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ อันเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัย และเพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อการนำวัสดุก่อสร้างที่ได้มาตรฐานไปใช้งาน โดยไม่ส่งผลต่อความเสียหายกับสิ่งก่อสร้างที่อาจเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุให้ได้ตามมาตรฐานและข้อกำหนดของผู้ออกแบบ

กรมโยธาธิการและผังเมืองตระหนักถึงความสำคัญของการทดสอบวัสดุก่อสร้าง และได้ดำเนินการจัดตั้งศูนย์ทดสอบและหน่วยทดสอบวัสดุที่มีความพร้อมในทุก ๆ ด้านครอบคลุมทั่วประเทศ เพื่อให้บริการแก่หน่วยงานต่าง ๆ รัฐวิสาหกิจ เอกชน รวมถึงประชาชนทั่วไป ดังนั้น เพื่อเป็นการสนับสนุนการทำงานของศูนย์ทดสอบและหน่วยทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง จึงได้ดำเนินการให้มีการจัดทำสื่อสาธิตวิธีการทดสอบวัสดุโดยจัดทำในรูปสื่อวีดีทัศน์ และคู่มือการทดสอบ เพื่อเป็นการเผยแพร่วิธีปฏิบัติงานการทดสอบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการด้านช่างให้กับบุคลากรของกรมฯ หน่วยงานอื่น ๆ และประชาชนผู้สนใจ

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดทำสื่อสาธิตวิธีการทดสอบวัสดุจะเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานด้านการทดสอบของศูนย์ทดสอบและหน่วยทดสอบวัสดุของกรมฯ และหน่วยงานอื่น ๆ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบวัสดุ หรือประชาชนผู้สนใจทั่วไปในการนำความรู้ที่ได้ดังกล่าวไปใช้สำหรับเป็นคู่มือในการปฏิบัติงานทดสอบวัสดุก่อสร้างให้มีความถูกต้องตามมาตรฐานต่อไป

(นายมณฑล สุดประเสริฐ)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

สารบัญ

หน้า

การทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity Test)

1. วัตถุประสงค์การทดสอบ 3
2. เป้าหมายการทดสอบ 3
3. ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ 4
   - 3.1 ทฤษฎี 4
   - 3.2 มาตรฐานการทดสอบ 6
4. อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ 7
5. ขั้นตอนการทดสอบ 8
   - 5.1 วิธีการปรับเทียบเครื่องทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก 8
   - 5.2 การทดสอบหาความสมบูรณ์ของคอนกรีต 10
   - 5.3 การทดสอบหาความลึกของรอยร้าว 12
   - 5.4 วิธีการถ่ายโอนข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ 13
6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ 15
7. การรายงานผลการทดสอบ 21
8. เกณฑ์การตัดสิน 23
9. ข้อแนะนำและข้อควรระวัง 23
10. แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล 24
11. เอกสารอ้างอิง 25

การทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต (Half-Cell Potential Test)

1. วัตถุประสงค์การทดสอบ 26
2. เป้าหมายการทดสอบ 26
3. ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ 27
   - 3.1 ทฤษฎี 27
   - 3.2 มาตรฐานการทดสอบ 27
4. อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ 28
5. ขั้นตอนการทดสอบ 29
   - 5.1 การทดสอบ Rod Electrode 29
   - 5.2 การทดสอบโดยใช้หัววัดแบบ Wheel Electrode 34
6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ 37
7. การรายงานผลการทดสอบ 37
8. เกณฑ์การตัดสิน 38
9. ข้อแนะนำและข้อควรระวัง 38
10. แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล 39
11. เอกสารอ้างอิง 40

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

การตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต(Covering and Rebar Test)

1. วัตถุประสงค์การทดสอบ 41
2. เป้าหมายการทดสอบ 41
3. ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ 42
   - 3.1 ทฤษฎี 42
   - 3.2 มาตรฐานการทดสอบ 42
4. อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ 43
5. ขั้นตอนการทดสอบ 44
   - 5.1 วิธีการปรับเทียบเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กในห้องปฏิบัติการ 44
   - 5.2 การวัดหาตำแหน่งเหล็กเสริม 46
6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ 54
7. การรายงานผลการทดสอบ 55
8. เกณฑ์การตัดสิน 57
9. ข้อแนะนำและข้อควรระวัง 57
10. แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล 58
11. เอกสารอ้างอิง 58

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

การทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก
Ultrasonic Pulse Velocity Test

1. วัตถุประสงค์การทดสอบ

(1) เพื่อตรวจสอบความคงที่ของคุณภาพคอนกรีตในโครงสร้าง

(2) เพื่อค้นหาช่องว่างหรือโพรงอากาศรวมถึงทดสอบประเมินความลึกของรอยร้าวที่ปรากฏบนผิวโครงสร้างคอนกรีต

2. เป้าหมายการทดสอบ

เพื่อตรวจสอบและประเมินสภาพในโครงสร้างคอนกรีต ให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบ

3. ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ

3.1 ทฤษฎี

การทดสอบคอนกรีตด้วยคลื่นอัลตราโซนิกอาศัยการวัดความเร็วของคลื่นกลที่เคลื่อนที่ในคอนกรีตหลักการในการทำงานของเครื่องทดสอบโดยคลื่นอัลตราโซนิกคือ การปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกเข้าไปในคอนกรีตและจับเวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่จากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณโดยมีระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณคงที่ค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่เคลื่อนที่ในคอนกรีตนั้นสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคอนกรีตและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นดังสมการที่ 1

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \qquad (1)$$

เมื่อ

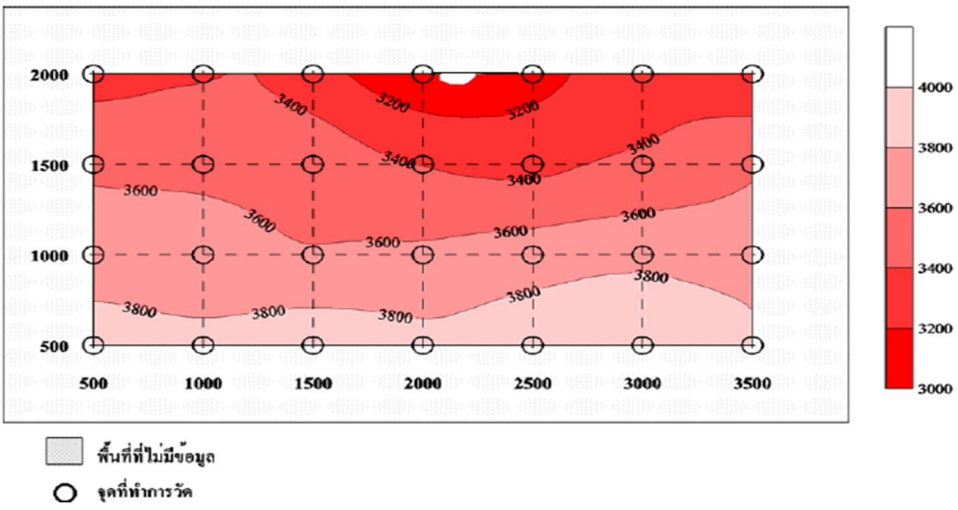
V = ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในตัวกลาง

E = ค่าคงที่ยืดหยุ่นของตัวกลาง

ρ = ความหนาแน่น

μ = อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio)

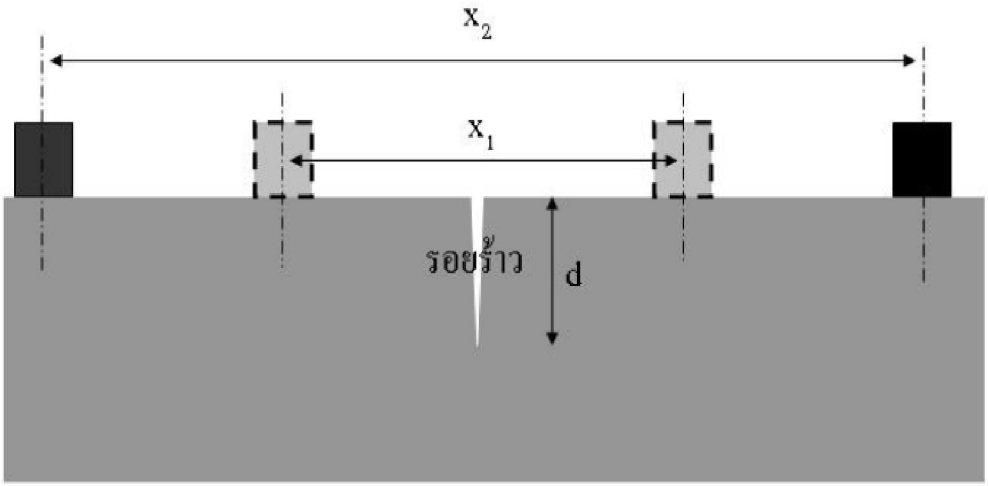
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างผลการวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านกำแพงคอนกรีตขนาด 3.50 x 2 ตารางเมตร และมีความหนา 200 มิลลิเมตรโดยทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกทุกๆ ระยะ 500 มิลลิเมตรผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความเร็วที่สูงกว่าของคอนกรีตที่อยู่ด้านล่างซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการแยกตัวของคอนกรีตในระหว่างการเทคอนกรีตนอกจากนี้ผลการทดสอบยังบ่งชี้ว่าโครงสร้างส่วนบนด้านขวาบน(พื้นที่ที่เป็นสีขาว) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่คลื่นอัลตราโซนิกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำสุดอาจจะมีความบกพร่องหรือความเสียหายภายในโครงสร้างบริเวณดังกล่าว



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour Map) ของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (ที่มา : มยผ. 1504-51)

ด้วยวิธีการทดสอบคอนกรีตดังที่แสดงข้างต้นคลื่นอัลตราโซนิกสามารถใช้ในการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต (Uniformity of Concrete) เปรียบเทียบคุณภาพของคอนกรีตที่คนละตำแหน่งและใช้ในการประเมินคุณภาพของงานซ่อมแซมได้ด้วยนอกจากนี้วิธีการทดสอบคอนกรีตโดยคลื่นอัลตราโซนิกนี้ยังสามารถนำไปทดสอบหาความเปลี่ยนแปลงสมบัติของคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไปได้โดยในกรณีนี้ต้องมีการทำสัญลักษณ์ตำแหน่งของการวัดอย่างชัดเจน

วิธีการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตด้วยคลื่นอัลตราโซนิกสามารถใช้ในการประเมินความลึกของรอยร้าวที่ปรากฏบนผิวโครงสร้างโดยทำการวัดระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางเมื่อระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณแตกต่างกันไป (x_1 และ x_2 ดังแสดงในรูปที่ 1) โดยทั่วไปจะทำการวัดโดยให้ระยะ x_2 มีค่าเป็น 2 เท่าของ x_1



รูปที่ 2 วิธีการประเมินความลึกของรอยร้าวด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
(ที่มา : มยผ. 1504-51)

จากการทดสอบข้างต้นค่าความลึกของรอยร้าวสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2)

$$d = x_1\sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}} \qquad (2)$$

เมื่อ

d = ความลึกของรอยร้าว (มิลลิเมตร)

x_1 = ระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณของการวัดครั้งแรก (มิลลิเมตร)

t_1 = ระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางเมื่อระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณเท่ากับ x_1 ในหน่วยไมโครวินาที

t_2 = ระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เดินทางเมื่อระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณเท่ากับ x_2 ในหน่วยไมโครวินาที

การทดสอบประเมินความความสมบูรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก สามารถทดสอบได้ 3 แบบ ตามการวางหัวส่งสัญญาณ และ หัวรับสัญญาณ ดังนี้

1. การวัดแบบตรง (Direct Method) จะทำการวัดโดยการวางตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณประกบกับคอนกรีตในแนวตรงกัน วิธีนี้เป็นวิธีที่ให้ผลน่าเชื่อถือมากที่สุด เนื่องจากพลังงานคลื่นส่วนมากจะส่งผ่านคอนกรีตในแนวตั้งฉากกับผิวคอนกรีต และการวัดในลักษณะนี้ตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณจะวางแนบกับผิวคอนกรีตทำให้สามารถส่งและรับคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. การวัดแบบกึ่งตรง (Semi- Direct Method) จะทำการวัดโดยการวางตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณในทิศทางตั้งฉากกัน นิยมใช้ทดสอบบริเวณมุมของโครงสร้างขนาดใหญ่ แต่จะใช้ได้ในกรณีระยะห่างของหัวสัญญาณไม่มากนัก

3. การวัดแบบขนาน (Indirect Method) จะทำการวัดการวางตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณในแนวระนาบเดียวกัน เป็นวิธีการวัดที่มีความน่าเชื่อถือน้อยที่สุด เพราะพลังงานคลื่นส่วนใหญ่ถูกส่งถ่ายไปยังทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้า และความเร็วคลื่นที่วัดได้ แสดงถึงคุณภาพของคอนกรีตบริเวณผิวหน้าเท่านั้น

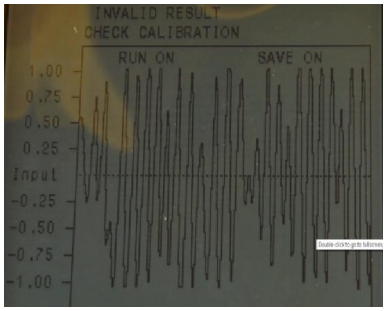
3.2 มาตรฐานการทดสอบ

มยผ. 1501-51 ถึง มยผ.1507-51	มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
ASTM C597-97	Standard Test Method for Pulse Velocity Though Concrete

4. อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

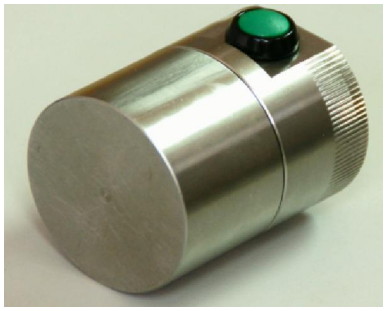
อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ ดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย

(1) ตัวกำเนิดคลื่น



(2) จอแสดงผล

(3) ตัวส่งสัญญาณ



(4) ตัวรับสัญญาณ

(5) สายส่งสัญญาณ

(6) วัสดุเชื่อมสัญญาณ

รูปที่ 3 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

(1) ตัวกำเนิดคลื่น หรือ Pulse Generator ซึ่งประกอบด้วยวงจรสำหรับกำเนิดคลื่นของความต่างศักย์ไม่น้อย กว่า 3 คลื่นต่อวินาที

(2) จอแสดงผล ของเครื่องทดสอบคอนกรีตด้วยคลื่นอัลตราโซนิก มี 2 รูปแบบหลัก คือ แบบแสดงผลเป็นตัวเลข และแบบแสดงผลเป็นคลื่นที่ตัวรับสัญญาณตรวจจับได้ ซึ่งการแสดงผลเป็นตัวเลขเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากใช้งานง่าย ในขณะที่อุปกรณ์แสดงผลเป็นรูปคลื่น ช่วยให้ศึกษาอัตราการสูญเสียพลังงานของคลื่นกลในตัวกลางได้ แต่มีขั้นตอนการใช้ที่ยุ่งยากกว่ามาก

(3) ตัวส่งสัญญาณ หรือ Transmitting Transducer ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นความต่างศักย์เป็นคลื่นกลที่มีความถี่ สูง 30 – 100 กิโลเฮิร์ท

(4) ตัวรับสัญญาณ หรือ Receiving Transducer ที่มีส่วนประกอบเหมือนกับตัวส่งสัญญาณ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนคลื่นกลกลับเป็นคลื่นสัญญาณไฟฟ้า

(5) สายส่งสัญญาณ หรือ Connecting Cables ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างตัวรับสัญญาณหรือตัวส่งสัญญาณ กับส่วนประมวลผล โดยสายส่งสัญญาณต้องมีคุณภาพสูง และทำให้คลื่นสูญเสียพลังงานน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ทดสอบกับโครงสร้างขนาดใหญ่

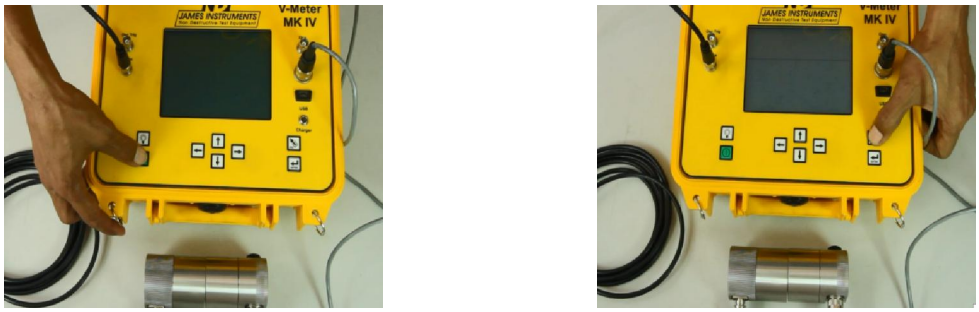
(6) วัสดุเชื่อมสัญญาณ หรือ Coupling Agent เป็นวัสดุที่มีความหนืดสูง เช่น จารบีหรือเจล เป็นต้นทำหน้าที่ส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิก จากตัวส่งสัญญาณไปยังคอนกรีต หรือ จากคอนกรีตมายังตัวรับสัญญาณ โดยไม่สูญเสียพลังงาน

5. ขั้นตอนการทดสอบ

5.1 วิธีการปรับเทียบเครื่องทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

ก่อนทำการทดสอบให้ทำการปรับเทียบหัวส่งสัญญาณและหัวรับสัญญาณทุกครั้งโดยมีขั้นตอนดังนี้

5.1.1 กดปุ่มเปิดเครื่อง แล้วกดปุ่ม ESC เพื่อเข้าสู่เมนูหลัก ดังรูปที่ 4



(ก) การกดปุ่มเปิดเครื่อง (ข) การเข้าสู่เมนูหลัก

รูปที่ 4 การเปิดเครื่องและเข้าสู่เมนูหลัก

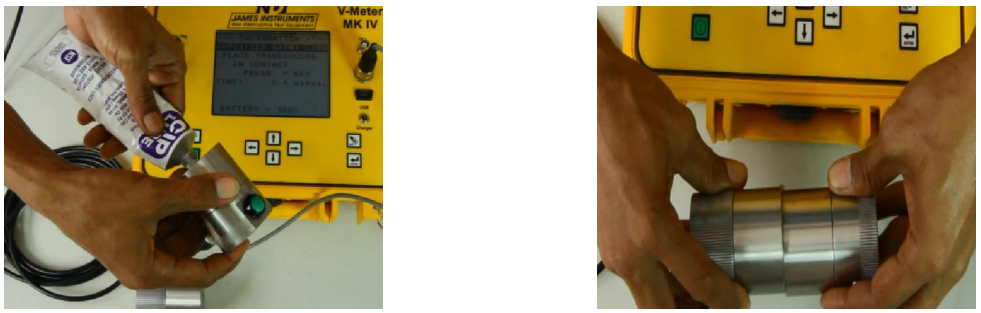
5.1.2 ใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลง เพื่อเลื่อนไปยัง SETUP MENU และกดที่ปุ่ม Enter ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 การเข้า SETUP MENU

5.1.3 เลื่อนไปที่เมนู CALIB TRANSDUCERS และกดที่ปุ่ม Enter ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 การเข้าเมนู CALIB TRANSDUCERS

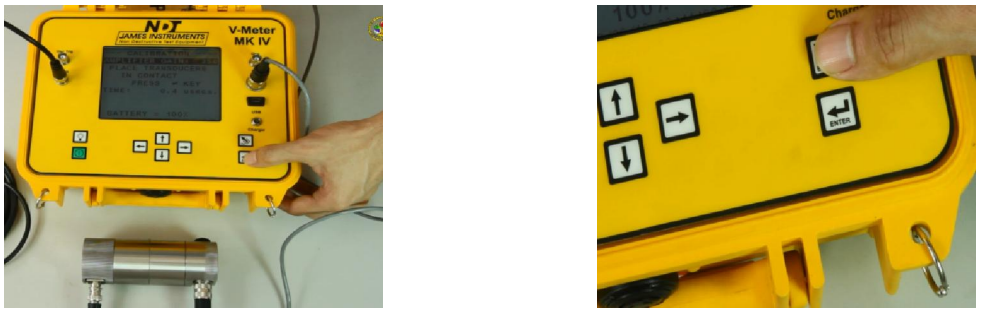
5.1.4 ทาวัสดุเชื่อมสัญญาณ ที่ผิวหน้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ แล้วแนบตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 7



(ก) การทาวัสดุเชื่อมสัญญาณ (ข) การแนบตัวส่งและตัวรับสัญญาณเข้าด้วยกัน

รูปที่ 7 การทาวัสดุเชื่อมสัญญาณ และแนบตัวส่งสัญญาณเข้ากับตัวรับสัญญาณ

5.1.5 กดปุ่ม Enter เพื่อเริ่มต้นการสอบเทียบ แล้วกดที่ปุ่ม Esc เพื่อกลับเข้าสู่เมนูหลัก ดังรูปที่ 8



(ก) การเริ่มต้นการสอบเทียบ (ข) การกลับเข้าสู่เมนูหลัก

รูปที่ 8 การเริ่มต้นการสอบเทียบและกลับสู่เมนูหลัก

เครื่องอัลตราโซนิกควรได้รับการตรวจการตั้งค่าเริ่มต้นและตรวจสอบความแม่นยำทุกครั้งก่อนเริ่มการทดสอบจริง แต่ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบทุกครั้งสำหรับการวัด และควรตรวจสอบเป็นระยะๆ ทุกชั่วโมง ในการตรวจสอบโครงสร้างที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน

5.2 การทดสอบหาความสมบูรณ์ของคอนกรีต

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความสมบูรณ์ของคอนกรีต สามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.2.1 กำหนดจุดที่จะทำการทดสอบจริงในโครงสร้าง โดยให้ห่างจากเหล็กเสริมพอที่จะทำให้ความเร็วของ คลื่นอัลตราโซนิกไม่ได้รับผลกระทบจากเหล็กเสริม

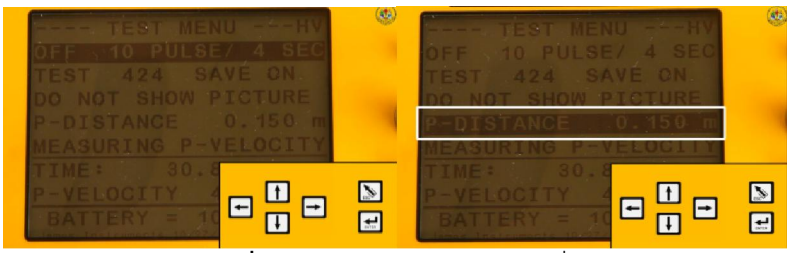
5.2.2 วัดขนาดความหนาขององค์อาคารที่จะทดสอบเพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างหัวสัญญาณ ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 การวัดขนาดความหนาขององค์อาคาร

5.2.3 ทาวัสดุเชื่อมลงบนผิวคอนกรีต ณ จุดที่ต้องการทดสอบ ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 การทาวัสดุเชื่อมลงบนผิวคอนกรีต

5.2.4 กำหนดค่าอัตราคลื่นโดยปกติแล้วจะกำหนดเป็น 3 พัลส์ต่อความถี่ 4 วินาที จะเป็นอัตราที่เหมาะสมโดยกดปุ่มลูกศรซ้าย เพื่อเปลี่ยนพัลส์และกดปุ่มลูกศรขวา เพื่อเปลี่ยนความถี่ ใส่ข้อมูลระยะทางที่วัดได้ลงในเครื่องทดสอบโดยการกดปุ่มลูกศรลง เลื่อนมาที่ P-DISTANCE แล้วกดปุ่ม ENTER และเปลี่ยนตัวเลขตามตำแหน่งที่เราต้องการ ดังรูปที่ 11 กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากเมนู

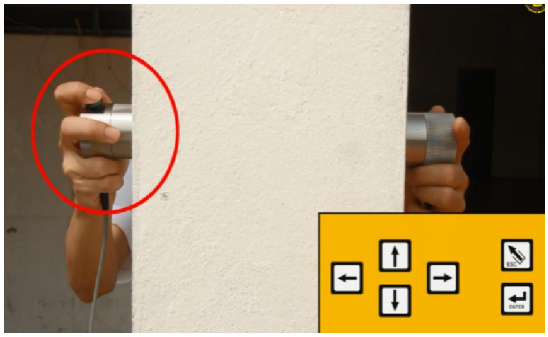


รูปที่ 11 การกำหนดค่าอัตราคลื่น

5.2.5 เริ่มการทดสอบโดยแนบตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณกับโครงสร้างที่ต้องการทดสอบ กดจนไม่มีช่องว่างระหว่างผิวโครงสร้างและตัวรับ-ส่งสัญญาณ ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 การแนบตัวรับและตัวส่งสัญญาณกับโครงสร้าง

5.2.6 กดปุ่ม ENTER ที่เครื่องทดสอบหรือกดปุ่มที่หัววัดเพื่อเริ่มการทดสอบ กดปุ่มเดิมอีกครั้งเมื่อค่าเวลาเดินทางของคลื่นเริ่มคงที่เพื่อสิ้นสุดการทดสอบ ดังรูปที่ 13 ค่าที่วัดได้จะถูกบันทึกลงในเครื่องทดสอบโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 13 การกดปุ่มที่หัววัด

5.2.7 วัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก ณ จุดอื่นๆ ในโครงสร้างที่กำหนดไว้

5.2.8 กรณีที่ต้องการทดสอบความสมบูรณ์ของคอนกรีตบริเวณกว้าง เช่น แผ่นพื้นอาจจะเลือกการทดสอบด้วยวิธีแบบขนานหรือ Indirect โดยมีระยะห่างของกริดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 100 มิลลิเมตร ถึง 300 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 การกำหนดระยะห่างของกริดในพื้นที่บริเวณกว้าง

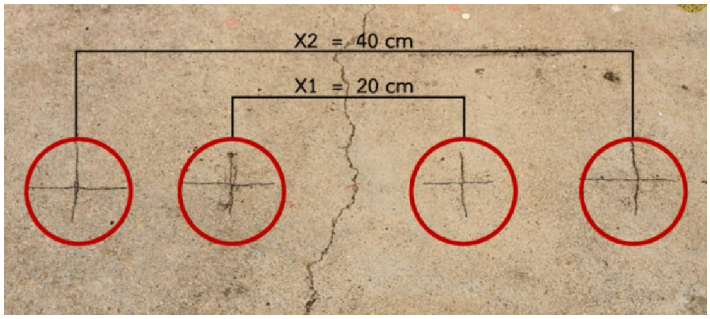
5.2.9 เริ่มทดสอบโดยการวางหัวสัญญาณบริเวณจุดตัดของกริดไปทีละคู่ตลอดพื้นที่ที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 15

รูปที่ 15 การวางหัวสัญญาณบริเวณจุดตัดของกริด

5.3 การทดสอบหาความลึกของรอยร้าว

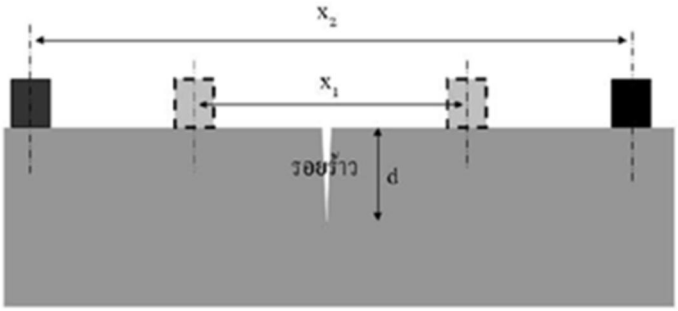
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความลึกของรอยร้าว สามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.3.1 เลือกตำแหน่งรอยร้าวที่ต้องการทดสอบ แล้วกำหนดระยะห่างระหว่างตำแหน่งตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ให้คร่อมตำแหน่งรอยร้าว ซึ่งระยะห่างดังกล่าวกำหนดให้เป็น x_1 ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 การกำหนดระยะห่างระหว่างตำแหน่งตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ

5.3.2 ขยายระยะห่างระหว่างตำแหน่งตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณที่คร่อมตำแหน่งรอยร้าวกำหนดให้เป็น x_2 โดยทั่วไปจะกำหนดให้ระยะ x_2 มีค่าเป็น 2 เท่าของ x_1 ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การกำหนดระยะห่างระหว่างตำแหน่งตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ

5.3.3 แนบตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ และบันทึกค่าเวลาในการเดินทางของคลื่นสัญญาณกำหนดให้เป็น t_1 ดังรูปที่ 18

รูปที่ 18 การแนบตัวส่งและตัวรับสัญญาณ เมื่อกำหนดเวลาเป็น t_1

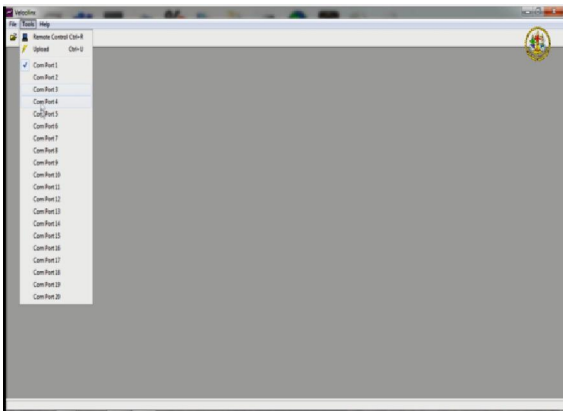
5.3.4 แนบตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้และบันทึกค่าเวลาในการเดินทางของคลื่นสัญญาณกำหนดให้เป็น t_2 ดังรูปที่ 19

รูปที่ 19 การแนบตัวส่งและตัวรับสัญญาณ เมื่อกำหนดเวลาเป็น t_2

5.4 วิธีการถ่ายโอนข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

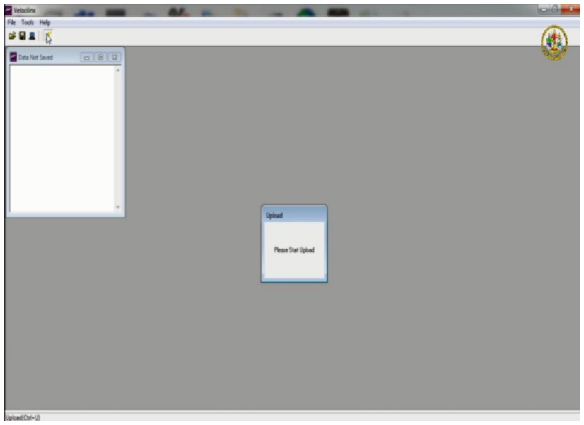
วิธีการถ่ายโอนข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ มีวิธีการดังต่อไปนี้

5.4.1 ต่อสายเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องทดสอบไปยังคอมพิวเตอร์ทางช่อง USB และต่อสายอีกด้านหนึ่งเข้ากับเครื่องทดสอบ เปิดโปรแกรมโดยคลิกที่ Velocilinx-V-meter Data Handler Device manager ดังรูปที่ 20



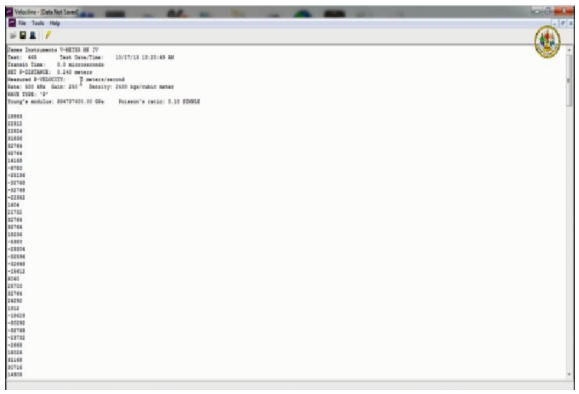
รูปที่ 20 การเปิดโปรแกรม

5.4.2 คลิกที่ Upload ข้อมูลจะโหลดอัตโนมัติเมื่อโหลดเสร็จแล้วคลิ๊ก OK ดังรูปที่ 21



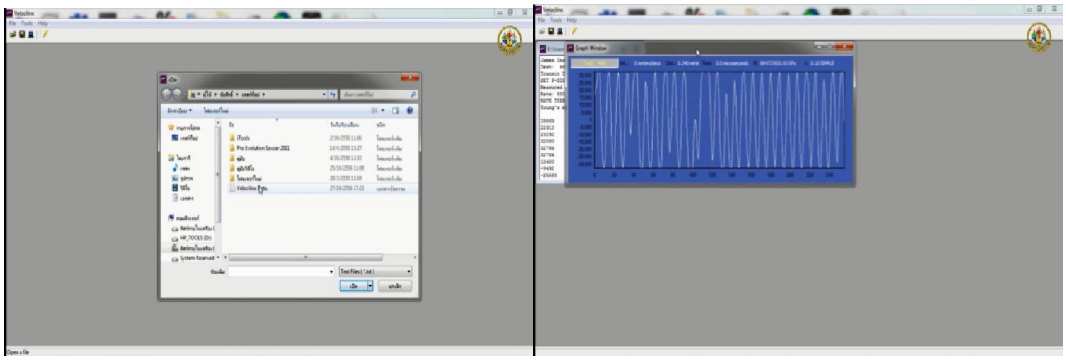
รูปที่ 21 การUpload ข้อมูล

5.4.3 ข้อมูลจะแสดงเป็น Test File ดังรูปที่ 22



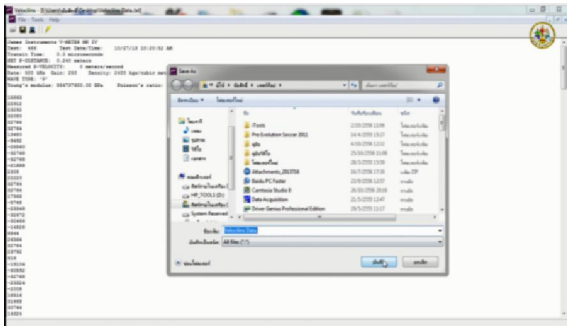
รูปที่ 22 การแสดงข้อมูล

5.4.4 คลิ๊กที่ Open แล้วเลือก Velocilinx Data ข้อมูลจะแสดงเป็นกราฟ ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การแสดงกราฟข้อมูล

5.4.5 บันทึกข้อมูลโดยการเลือก Save AS แล้วตั้งชื่อตามต้องการ ดังรูปที่ 24

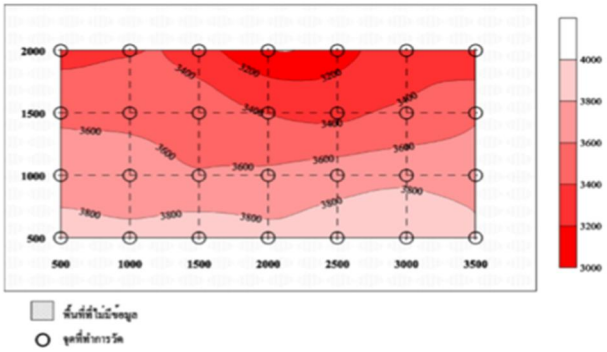


รูปที่ 24 การบันทึกข้อมูล

6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

6.1 การเขียนแผนที่เส้นชั้นความสูงหรือ Contour Map

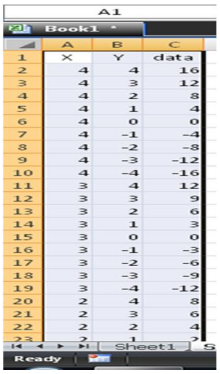
นำค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก ณ ตำแหน่งต่างๆบนเส้นตารางกริดโดยแสดงเป็นแผนที่เส้นชั้นความสูงหรือ Contour Map ของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 25 หรือ Plot Graph Contour ด้วย Excel โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้



รูปที่ 25 การแสดง Contour Map

6.1.1 กรณีข้อมูลยังไม่ได้เรียงให้จัดเรียงโดยใช้ pivot table โดยพิจารณาดังนี้

(1) การจัดเรียงข้อมูล ดังรูปที่ 26 ไม่สามารถ plot contour ได้



	A	B	C
1	X	Y	data
2	4	4	16
3	4	3	12
4	4	2	8
5	4	1	4
6	4	0	0
7	4	-1	-4
8	4	-2	-8
9	4	-3	-12
10	4	-4	-16
11	3	4	12
12	3	3	9
13	3	2	6
14	3	1	3
15	3	0	0
16	3	-1	-3
17	3	-2	-6
18	3	-3	-9
19	3	-4	-12
20	2	4	8
21	2	3	6
22	2	2	4
23	2	1	2

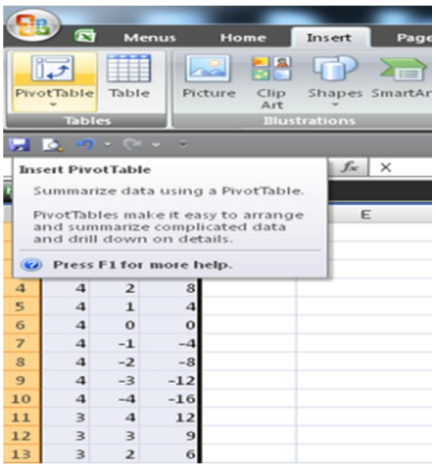
รูปที่ 26 การจัดเรียงข้อมูลที่ไม่สามารถ plot contour ได้

(2) จัดเรียงข้อมูลในลักษณะนี้ ถึงจะ plot contour ดังรูปที่ 27

		แกน X								
		4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
แกน Y	4	16	12	8	4	0	-4	-8	-12	-16
	3	12	9	6	3	0	-3	-6	-9	-12
	2	8	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8
	1	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-1	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
	-2	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
	-3	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12
	-4	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16

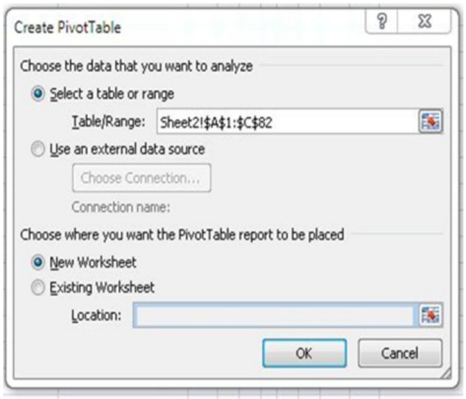
รูปที่ 27 การจัดเรียงข้อมูลที่สามารถ plot contour ได้

6.1.2 เลือกข้อมูลทั้งหมดแล้ว ไปที่ Insert เลือก PivotTable ดังรูปที่ 28



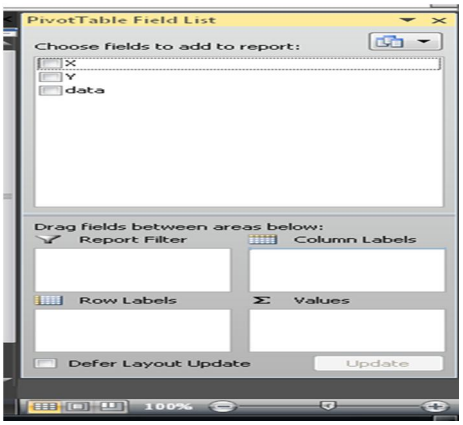
รูปที่ 28 การเลือก PivotTable

6.1.3 จะมีหน้าต่างแสดง Create Pivot Table เลือก Select a table or range จากนั้น ok เลือกที่ New Worksheet กด ok ดังรูปที่ 29



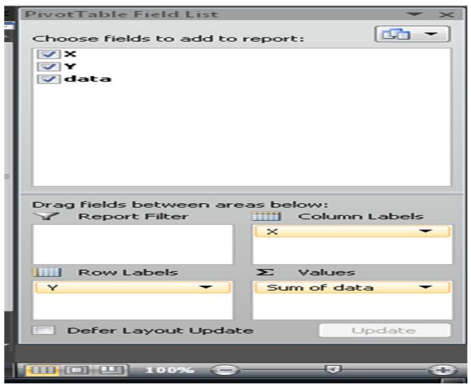
รูปที่ 29 การเลือก Create Pivot Table

6.1.4 เมื่อกด OK จะมีหน้าต่างแสดงรายการเขตข้อมูลของ Pivot table ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 การแสดงรายการเขตข้อมูลของ Pivot table

6.1.5 เลือกการแสดงผลค่า x y และ data ดังรูปที่ 31 จะได้ข้อมูลที่จัดเรียงใหม่



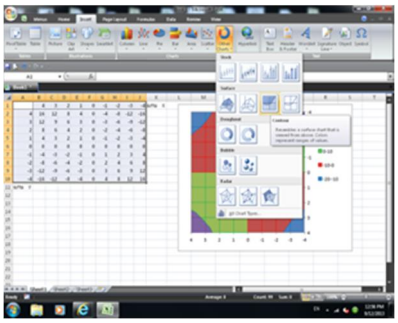
รูปที่ 31 การแสดงผลค่า x y และ data

6.1.6 ทำการคัดลอกข้อมูลจาก pivot table ใส่ใน cell ใหม่แล้วจัด format เพื่อนำไป plot graph ดังรูปที่ 32

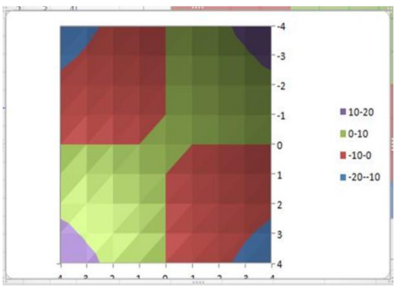
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3	Sum of data	Column Labels									
4	Row Labels		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4 Grand Total
5	-4		16	12	8	4	0	-4	-8	-12	-16 0
6	-3		12	9	6	3	0	-3	-6	-9	-12 0
7	-2		8	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8 0
8	-1		4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4 0
9	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0 0
10	1		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4 0
11	2		-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8 0
12	3		-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12 0
13	4		-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16 0
14	Grand Total		0	0	0	0	0	0	0	0	0 0

รูปที่ 32 การจัด format เพื่อนำไป plot graph

6.1.7 เลือกช่วงข้อมูลที่ต้อง plot แล้วกด Insert ->Other Charts ->Contour ดังรูปที่ 33 แล้วจะปรากฏกราฟ ดังรูปที่ 34

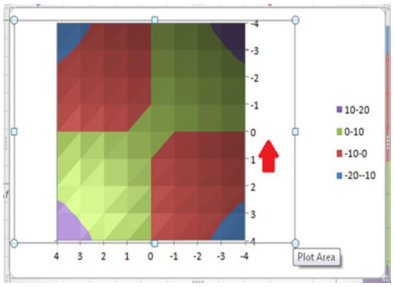


รูปที่ 33 การเลือกรูปแบบของกราฟ



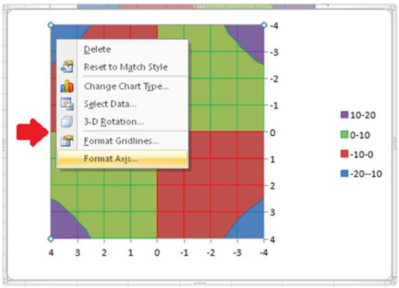
รูปที่ 34 การแสดงกราฟ Contour

6.1.8 ปรับขนาดกราฟโดย click mouse ซ้ายบริเวณลูกศรแดง ดังรูปที่ 35 เพื่อให้ขึ้นคำว่า Plot Area แล้วปรับขนาดของ Plot Area ให้เหมาะสม



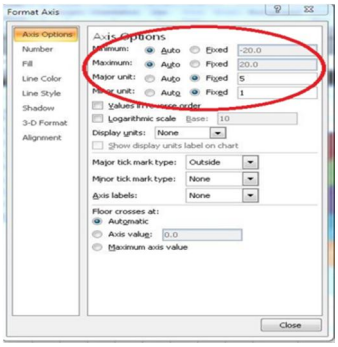
รูปที่ 35 การปรับขนาดของกราฟให้เหมาะสม

6.1.9 ปรับสเกลหรือช่วงห่างของข้อมูลให้ click mouse ตรงขอบกราฟตามลูกศรแดงแล้ว click mouse ปุ่มขวาต้องมีคำว่า Format Axis... ขึ้นกดที่ Format Axis ดังรูปที่ 36



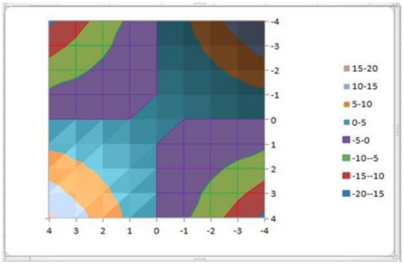
รูปที่ 36 การปรับสเกล

6.1.10 ปรับช่วงห่างข้อมูลตามวงกลมสีแดง ดังรูปที่ 37



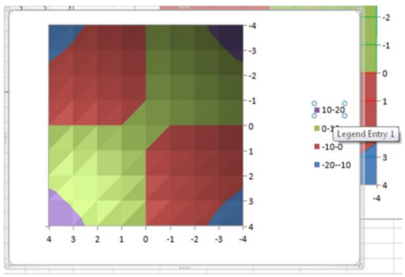
รูปที่ 37 การปรับช่วงห่างข้อมูล

6.1.11 เมื่อกด Close กราฟจะเปลี่ยนไปโดยมีช่วงข้อมูลถี่ขึ้น ดังรูปที่ 38



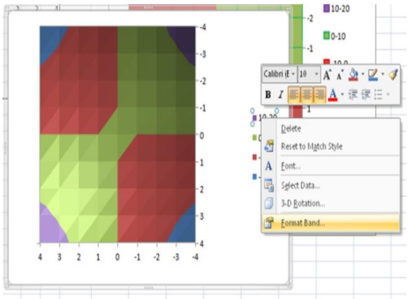
รูปที่ 38 การแสดงความถี่ของช่วงข้อมูล

6.1.12 การปรับเอาแสงเงาออกให้คลิก mouse ซ้ายที่ Legend ดังรูปที่ 39



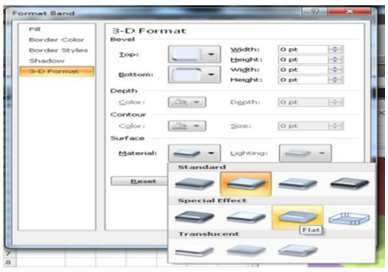
รูปที่ 39 การปรับเอาแสงเงาออก

6.1.13 แล้ว click mouse ขวาเลือก Format Band ดังรูปที่ 40



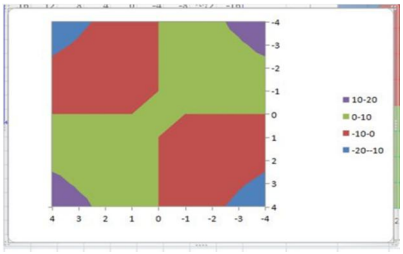
รูปที่ 40 การเลือก Format Band

6.1.14 เลือก 3-D format เปลี่ยน Surface Material ให้เป็นแบบ flat ดังรูปที่ 41 แล้วกดปุ่ม Close



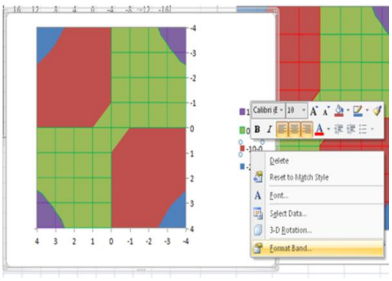
รูปที่ 41 การเปลี่ยน Surface Material

6.1.15 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 12 ถึง 14 กับทุกๆ Legend เมื่อทำครบทุก Legend แสงเงาจะหายไปดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 การเอาแสงเงาออกจนครบทุก Legend

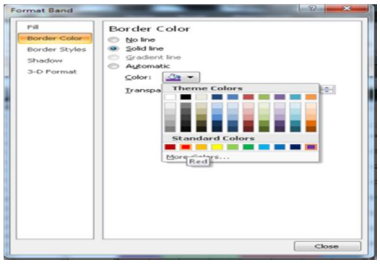
6.1.16 ปรับให้แสดงตาราง grid line ให้คลิก mouse ที่ Legend แล้วคลิก mouse ปุ่มขวา จนขึ้นคำว่า Format Band ดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 การเลือก Format Band

6.1.17 เลือก Border Color -> Solid line เลือกสีตามที่ต้องการแล้วกด Close

6.1.18 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 17 จนครบทุก Legend ดังรูปที่ 44



รูปที่ 44 เลือกสีตามที่ต้องการ

6.2 ประเมินความลึกของรอยร้าวด้วยคลื่น

การประเมินความลึกของรอยร้าว สามารถคำนวณหาค่าความลึกของรอยร้าวจากสมการดังนี้

$$d = x_1 \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

เมื่อ

D คือ ความลึกของรอยร้าวในหน่วยมิลลิเมตร

x_1 คือ ระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณของการวัดครั้งแรกในหน่วยมิลลิเมตร

t_1 คือ ระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางเมื่อระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณเท่ากับ x_1 ในหน่วยไมโครวินาที

t_2 คือ ระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางเมื่อระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณเท่ากับ x_2 ในหน่วยไมโครวินาที

7. การรายงานผลการทดสอบ

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์ม มยผ.1504 ดังรูปที่ 44 ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ช่องที่ 1 แสดงรายละเอียดข้อมูลทั่วไป เช่น โครงการ สถานที่ ชนิดโครงสร้าง ตำแหน่ง วันที่ทดสอบ เลขทะเบียนทดสอบ และชื่อผู้ทดสอบ เป็นต้น

ช่องที่ 2 ลำดับที่ของการทดสอบ เพื่อให้รู้จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ

ช่องที่ 3 ตำแหน่งที่ทดสอบ แสดงสัญลักษณ์หรือตัวเลขทำให้ทราบตำแหน่งที่ทดสอบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในภายหลัง

ช่องที่ 4 ระยะห่าง แสดงระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของหัวส่งสัญญาณถึงกึ่งกลางของหัวรับสัญญาณ

ช่องที่ 5 ระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ ใช้สำหรับจดบันทึกค่าระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณหน่วยเป็น (10^{-6} วินาที)

ช่องที่ 6 ค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ทั้ง 3 ค่าในช่องที่ 5

ช่องที่ 7 ความเร็วคลื่นเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ ระยะห่าง (4) / ค่าเฉลี่ยเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ (6)

ช่องที่ 8 หมายเหตุ ใช้สำหรับกรอกข้อที่น่าสนใจ เช่น ตำแหน่ง ลักษณะความเสียหาย เป็นต้น

	กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง	บฟ.มยผ. 1504-51 ทะเบียนทดสอบเลขที่ / แผ่นที่
การทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก		เจ้าหน้าที่ทดสอบ xxxxxxxxxxx เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล xxxxxxxxxxx เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ xxxxxxxxxxx
โครงการ: สื่อสาธิตการทดสอบ Ultrasonic Test สถานที่: เพชรบุรี ชนิดโครงสร้าง: อาคาร (1) ตำแหน่ง: เสา วันที่ทดสอบ: 28/10/2556		

(2) ลำดับที่	(3) ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	ระยะห่าง (มม.) (1) (4)	ค่าอ่านระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ (5) (10^{-6} วินาที) (2) ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย (10^{-6} วินาที) (3) (6)	ความเร็วคลื่นเฉลี่ย (กม./วินาที) (7) (4)	หมายเหตุ (8)
1	A1	200	48.56	51.09	50.48	50.04	4.00	
2	A2	200	51.12	50.18	54.01	51.77	3.86	
3	B1	250	62.88	65.95	63.37	64.07	3.9	
4	B2	250	62.22	60.54	62.91	61.89	4.04	
					ค่าเฉลี่ย	56.94	3.95	

หมายเหตุ (1) ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของหัวส่งสัญญาณถึงกึ่งกลางหัวรับสัญญาณ

(2) ระยะห่างที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ หน่วยเป็น มิลลิวินาที

(3) ค่าเฉลี่ยของค่าอ่าน (2)

(4) ความเร็วคลื่นเฉลี่ย = (1)/(3) หน่วยเป็นกิโลเมตร/วินาที

รูปที่ 44 ตัวอย่าง Summary of Test Results
(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง)

8. เกณฑ์การตัดสิน

ไม่มี

9. ข้อแนะนำและข้อควรระวัง

(1) ระยะห่างระหว่างตัวส่งกับตัวรับที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 100 มิลลิเมตรถึง 300 มิลลิเมตร

(2) ปริมาณความชื้นภายในคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการทดสอบเนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในเนื้อคอนกรีตโดยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตที่อิ่มตัวจะมีค่ามากกว่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตที่แห้งอยู่ประมาณร้อยละ 5 และการตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวจะมีความเปลี่ยนแปลงเชิงเปรียบเทียบน้อยกว่าคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะแห้ง

(3) ขนาดของโครงสร้างที่ทดสอบไม่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกมากนักโดยเฉพาะในกรณีรูปร่างของโครงสร้างไม่ส่งผลต่อการจำแนกคลื่นที่เคลื่อนที่ตรงจากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ ดังนั้นขนาดของโครงสร้างที่เหมาะสมกับวิธีการทดสอบนี้จึงกำหนดด้วยความยาวของคลื่นอัลตราโซนิกและควรจะมีค่าไม่น้อยกว่าความยาวของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ทดสอบ

(4) การวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกได้รับผลกระทบจากเหล็กเสริมที่อยู่ภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กดังนั้นการทดสอบควรหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมวางตัวอยู่

(5) จุดที่มีค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกน้อยกว่าจุดอื่นเป็นจุดที่อาจจะมีความบกพร่องมีกำลังอัดต่ำกว่า

(6) การเขียนเส้นชั้นความสูงของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Contour Graph) เพื่อประกอบการแปลความผลการทดสอบทำให้สรุปผลการทดสอบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

10. แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล

	กองวิเคราะวิจัยและทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง	บฟ.มยผ. 1504-51 ทะเบียนทดสอบเลขที่ / แผ่นที่
การทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก		เจ้าหน้าที่ทดสอบ xxxxxxxxxxxxxxxx
โครงการ สถานที่ ชนิดโครงสร้าง ตำแหน่ง วันที่ทดสอบ		เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล xxxxxxxxxxxxxxxx เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ xxxxxxxxxxxxxxxx

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	ระยะห่าง (มม.) (1)	ค่าอ่านระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ (10^{-6} วินาที) (2)			ค่าเฉลี่ย (10^{-6} วินาที) (3)	ความเร็วคลื่นเฉลี่ย (กม./วินาที) (4)	หมายเหตุ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
					ค่าเฉลี่ย			

หมายเหตุ (1) ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของหัวส่งสัญญาณถึงกึ่งกลางหัวรับสัญญาณ

(2) ระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ หน่วยเป็น มิลลิวินาที

(3) ค่าเฉลี่ยของค่าอ่าน (2)

(4) ความเร็วคลื่นเฉลี่ย = (1)/(3) หน่วยเป็นกิโลเมตร/วินาที

11. เอกสารอ้างอิง

(1) มาตรฐาน มยผ.1501-51 ถึง มยผ.1507-51 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2551

(2) ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures – Reported by ACI Committee 228

(3) ASTM C597-97 Standard Test Method for Pulse Velocity Though Concrete

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

การทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต

Half-Cell Potential Test

1. วัตถุประสงค์การทดสอบ

เพื่อวัดค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

2. เป้าหมายการทดสอบ

เพื่อประเมินโอกาสเกิดสนิมในเหล็กเสริม ให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบ

3. ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ

3.1 ทฤษฎี

ปัญหาเหล็กเสริมเกิดสนิมเป็นปัญหาที่พบมากในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ทำลายคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริม หรือจากการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน ความเสียหายเนื่องจากการเป็นสนิมของเหล็กเสริมมีความสำคัญต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างเมื่อเหล็กเสริมในโครงสร้าง เกิดการกัดกร่อนเป็นสนิมหน้าตัดของเหล็กเสริมจะลดลงจนกระทั่งอาจไม่เพียงพอต่อความปลอดภัยในการใช้งาน นอกจากนี้การเกิดสนิมยังทำให้เกิดการแตกร้าวและหลุดออกของคอนกรีตหุ้มภายนอก เนื่องจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจากการเกิดสนิมและจะทำให้เกิดแรงดึงในเนื้อคอนกรีตซึ่งทำให้คอนกรีตหุ้มที่มีความหนาน้อยเกิดการแตกร้าว เป็นผลทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างมากยิ่งขึ้น

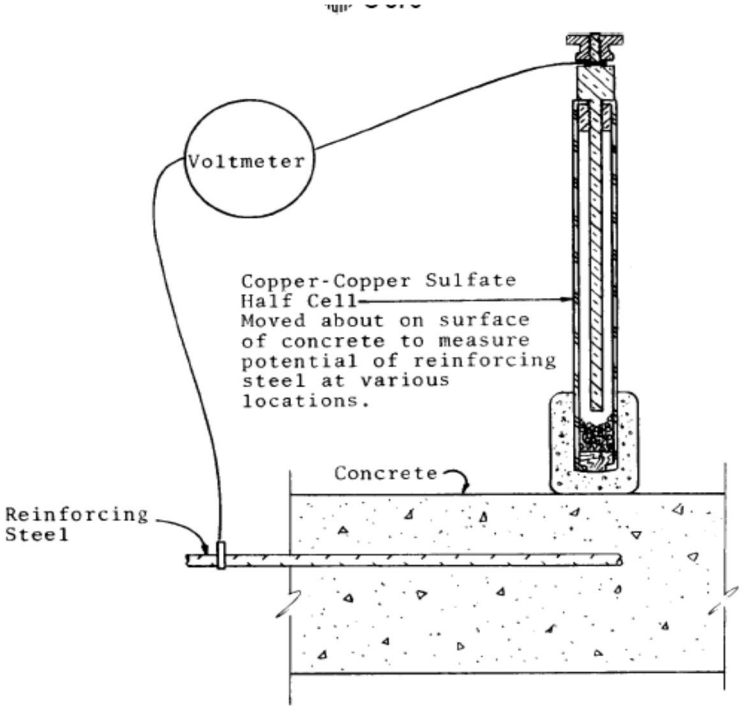


FIG. 1 Copper-Copper Sulfate Half Cell Circuitry

รูปที่ 1 แสดงวงจรของเครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ ครึ่งเซลล์(Half-Cell) คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต วัสดุเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างคอนกรีตและอุปกรณ์ สารละลายสำหรับเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า มาตรวัดศักย์ไฟฟ้า และสายไฟในการใช้งานอุปกรณ์วัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้จะต้องมีการต่อวงจรกับเหล็กเสริมและมีการทำให้ผิวคอนกรีตสามารถนำไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง

3.2 มาตรฐานการทดสอบ

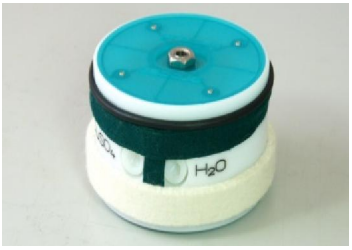
มยผ. 1506-51	มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม

4. อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย

(1) เครื่องทดสอบ

(2) ตัววัดแบบ Rod Electrode



(3) หัววัดแบบ WHEEL ELECTRODE

(4) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

(5) สารละลายซิตริกแอซซิด

(6) สายไฟฟ้า

(7) โปรแกรมและสายเชื่อม

รูปที่ 2 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจสอบทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต

(1) เครื่องทดสอบและบันทึกผลสำหรับการทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม มีความแม่นยำร้อยละ ± 3 ในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ทดสอบ

(2) ตัววัดแบบ Rod Electrode ประกอบด้วย

- ท่อใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
- ไม้ที่มีความพรุน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มิลลิเมตร

- แท่งทองแดง หรือ คอปเปอร์เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร อยู่ในท่อใส่สารละลาย

(3) หัววัดแบบ Wheel Electrode ใช้สำหรับทดสอบพื้นคอนกรีตที่มีขนาดกว้าง

(4) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

(5) สารละลายซิตริกแอซซิด ใช้สำหรับล้างทำความสะอาดแท่ง Electrode

(6) สายไฟฟ้า สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับเหล็กเสริมในโครงสร้างซึ่งมีขนาดที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์

(7) โปรแกรมและสายเชื่อมต่อสำหรับถ่ายโอนข้อมูล

5. ขั้นตอนการทดสอบ

5.1 การทดสอบแบบ Rod Electrode

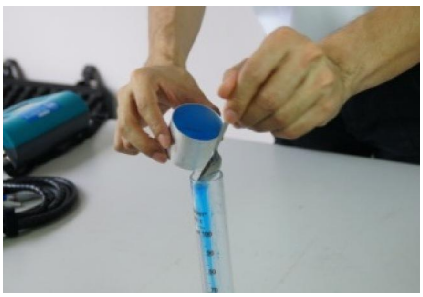
5.1.1 การเตรียมเครื่องมือทดสอบสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1) นำหัววัดด้านที่มีไม้ไปแช่น้ำก่อนทำการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 การนำหัววัดด้านที่มีไม้ไปแช่น้ำ

2) ผสมสารคอปเปอร์ซัลเฟต 4 ส่วน ต่อน้ำ 10 ส่วน

3) เติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตแบบเกร็ด ½ ช้อนชา ในหลอดทดสอบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

4) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ผสมไว้แล้วลงในหลอดทดสอบให้ได้ประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของหลอดทดสอบ ดังรูปที่ 5 ควรเปลี่ยนสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตทุกเดือน หรือก่อนทำการตรวจสอบโครงสร้างแต่ละครั้ง

รูปที่ 5 การเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

5) ต่อสาย Rod Electrode ทางช่อง A และต่อสายที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมทางช่อง GND ของเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 การต่อสายที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมทางช่อง GND ของเครื่องทดสอบ

5.1.2 วิธีการทดสอบ

(1) ทำการตีกริดบนที่แต่ละตำแหน่งทดสอบ ดังรูปที่ 7 ในกรณีที่ตรวจสอบส่วนของโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น ส่วนของเสาหรือคานจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกัน 50 ถึง 100 มิลลิเมตร ในขณะที่การตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น สะพาน ระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกันประมาณ 0.5 ถึง 1 เมตร

รูปที่ 7 การตีกริดบนที่แต่ละตำแหน่งทดสอบ

(2) หาตำแหน่งเหล็กเสริมในโครงสร้าง แล้วเจาะสกัดให้สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบได้ ดังรูปที่ 8 ขัดผิวเหล็กเสริมก่อนการเชื่อมต่อสายไฟฟ้ากับเหล็กเสริม โดยค่าความต้านทานของรอยต่อต้องต่ำเพียงพอและไม่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานของทั้งวงจร

รูปที่ 8 การเจาะสกัดผิวคอนกรีตให้สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบได้

(3) ในกรณีที่ผิวของโครงสร้างคอนกรีตแห้ง ต้องทำให้ผิวคอนกรีตเปียกก่อนวัดค่าศักย์ไฟฟ้า โดยวิธีการทำให้ผิวคอนกรีตเปียกมี 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1

พ่นน้ำหรือสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และเช็ดละอองน้ำที่เหลืออยู่บนผิวคอนกรีตก่อน ดังรูปที่ 9 แล้วจึงตรวจวัดความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ วิธีนี้เหมาะสำหรับผิวคอนกรีตที่ต้องการความชื้นเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 9 การพ่นน้ำหรือสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และเช็ดละอองน้ำ

วิธีที่ 2

ใช้ฟองน้ำที่ชุ่มด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตวางบนผิวคอนกรีต ดังรูปที่ 10 โดยไม่จำเป็นต้องเอาฟองน้ำออกระหว่างการวัดค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ แต่ให้ตรวจวัดผ่านฟองน้ำนี้ วิธีนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีความชื้นต่ำ

รูปที่ 10 การใช้ฟองน้ำที่ชุ่มด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตวางบนผิวคอนกรีต

5.1.3 การตั้งค่าในเครื่องทดสอบ

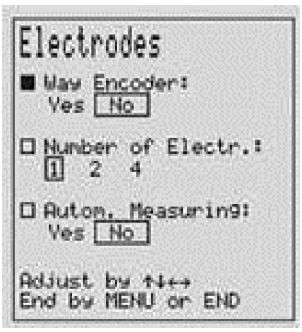
(1) ตั้งค่าการแสดงผลความต่างศักย์ให้เป็นระดับสีต่างๆ โดยการกดปุ่มเมนู เลื่อนแท็ปเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลง มาที่ Display แล้วกดปุ่ม Start ให้ปรับตั้งค่าไว้ที่ 0 ถึง -350 มิลลิโวลต์ เป็นค่าปรับตั้งที่เหมาะสมโดยทั่วไป ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 การตั้งค่าการแสดงผลความต่างศักย์ให้เป็นระดับสีต่างๆ

(2) ตั้งค่าหมายเลขการทดสอบโดยการกดปุ่มเมนู เลื่อนแท็ปเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลง มาที่ Object No แล้วกดปุ่ม Start และเปลี่ยนหมายเลขด้วยการกดปุ่มลูกศร ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 การตั้งค่าหมายเลขการทดสอบ

(3) ตั้งค่าหัววัดโดยการกดปุ่มเมนู เลื่อนแถบเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลงมาที่ Electrode แล้วกดปุ่ม Start แล้วเลือก Way Encoder ให้เป็น NO สำหรับการทดสอบโดยใช้ Rod Electrode ดังรูปที่ 13

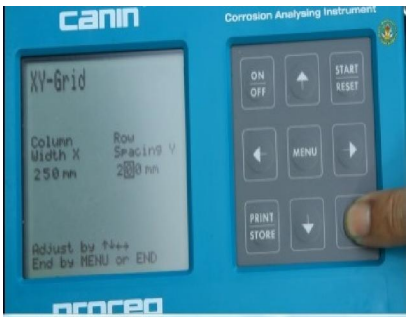


รูปที่ 13 การตั้งค่าหัววัด

(4) ปรับตั้งความกว้างของคอลัมน์ X และระยะห่างระหว่างบรรทัด Y ดังรูปที่ 14 โดยให้สอดคล้องกับ กริดที่กำหนดไว้บนโครงสร้างโดยการเลื่อนแถบเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลงมาที่ XY grid แล้วกดปุ่ม Start และเปลี่ยนระยะห่างด้วยการกดปุ่มลูกศร

รูปที่ 14 การปรับตั้งความกว้างของคอลัมน์ X และระยะห่างระหว่างบรรทัด Y

(5) เมื่อกำหนดค่าทั้งหมดแล้วเสร็จให้กดปุ่ม END ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 การกดปุ่ม END เมื่อกำหนดค่าทั้งหมด

(6) เริ่มทำการทดสอบโดยการกดปุ่ม Start แล้ววางหัววัดบนจุดที่กำหนดไว้ให้ตำแหน่งโดยการวัดครั้งแรกที่มุมบนซ้าย ดังรูปที่ 16 การวัดในตำแหน่งต่อไปจะทำในทิศทางขวาตามระยะห่างที่กำหนดเมื่อทำเสร็จทุกจุดให้กดปุ่มลูกศรแล้ววัดแถวต่อไป ทำการทดสอบเช่นนี้จนครบทุกแถวที่กำหนด

รูปที่ 16 การวางหัววัดบนจุดที่กำหนดไว้

(7) เมื่อทดสอบครบหมดทุกจุดที่กำหนดไว้แล้วกดปุ่ม Store และกดปุ่ม END ที่เครื่องทดสอบดังรูปที่ 17

รูปที่ 17 การกดปุ่ม Store และกดปุ่ม END เมื่อทดสอบครบหมดทุกจุด

5.2 การทดสอบโดยใช้หัววัดแบบ Wheel Electrode

5.2.1 การเตรียม Wheel Electrode

(1) ต่อ Wheel electrode กับก้านต่อ ดังรูปที่ 18

รูปที่ 18 การต่อ Wheel electrode กับก้านต่อ

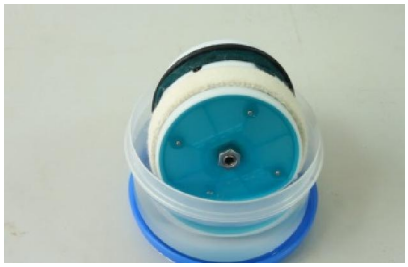
(2) ถอดสกรูที่ปิดช่องใส่สารละลายและช่องเติมน้ำออก

(3) ใส่คอปเปอร์ซัลเฟต 2 ช้อนชาลงไปในช่องเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เติมสารละลายอิ่มตัวของคอปเปอร์ซัลเฟตลงไปให้เต็ม

(4) เติมน้ำลงในช่อง H_2O จนเต็มและปิดสกรูกลับเข้าไป ดังรูปที่ 19 โดยต้องหมุนให้แน่นด้วยความระมัดระวัง

รูปที่ 19 การเติมน้ำลงในช่อง H_2O จนเต็มและปิดสกรูกลับเข้าไป

(5) ก่อนทำการวัดจะต้องวางอิเล็คโตรดในภาชนะน้ำกลั่นประมาณ 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 20 โดยหมุนด้านที่มีจุกไม้อยู่ข้างล่าง เพื่อให้จุกไม้ดูดซึมน้ำกลั่นก่อน



รูปที่ 20 การวางอิเล็คโตรดในภาชนะน้ำกลั่น

5.2.2 การต่อวงจรก่อนทำการทดสอบ

(1) ต่อสายสัญญาณ Wheel Electrode และชุดวัดระยะทางเข้ากับเครื่องทดสอบ

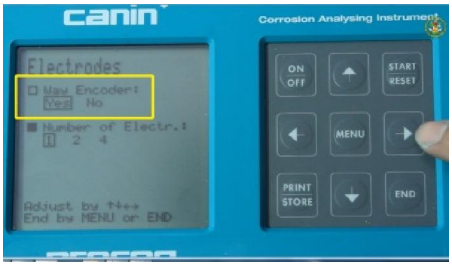
(2) ต่อสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมในโครงสร้างที่ต้องการทดสอบกับช่อง GND ในตัวเครื่อง ดังรูปที่ 21

-

รูปที่ 21 การต่อสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมกับเครื่องทดสอบ

5.2.3 การตั้งค่าเครื่องทดสอบ

(1) ตั้งค่าเหมือนการทดสอบแบบ Rod electrode จะเปลี่ยนเฉพาะใน Menu Electrodes โดยเปลี่ยน Way Encoder ให้เป็น Yes ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 การตั้งค่าการทดสอบ

(2) การวัดครั้งแรกจะต้องทำโดยการกดปุ่ม“START”และเคลื่อนลูกล้อในทิศทางแนวดิ่งหรือแกน Y ตามลูกศร การวัดจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติในแถวที่ถูกเลือกไว้

(3) เมื่อสิ้นสุดเส้นทางการวัด กดปุ่มลูกศรขวา ตำแหน่งบนหน้าจอจะเคลื่อนไปทางขวาเพื่อเริ่มวัดใหม่และทิศทางของลูกศรจะเปลี่ยนเป็นแนวดิ่งโดยอัตโนมัติ เลื่อนลูกล้อไปทางขวามือ 1 ช่วงของกริดที่กำหนดและกดปุ่ม Start เพื่อทดสอบในแถวต่อไป ทำเช่นนี้จนครบทุกแถวบนกริดที่กำหนดและควรเลื่อนล้อทดสอบอย่างช้าๆ เพื่อการวัดค่าความต่างศักย์ได้แม่นยำ ดังรูปที่ 23

รูปที่ 23 การเลื่อนล้อทดสอบ

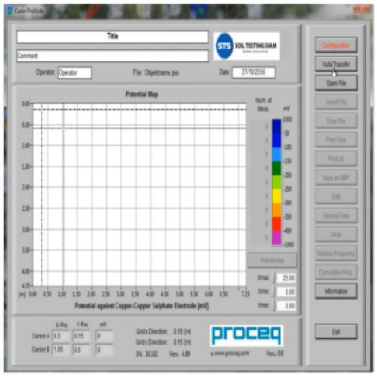
(4) นำข้อมูลที่ทดสอบได้ถ่ายโอนไปยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม CaninProVista แล้วดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ก. ต่อสายแปลงสัญญาณที่ปลายสาย RS 232 ที่เครื่องทดสอบและต่อสายสัญญาณที่เครื่องทดสอบ

ข. เปิดเครื่องทดสอบแล้วกดปุ่มเมนู และกดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแท็ปเมนูมาที่ Data Output แล้วกด START แล้วเลือก Object to pc และกดปุ่ม Start อีกครั้ง

ค. เปิดโปรแกรมที่คอมพิวเตอร์แล้วเลือกคลิกที่ VistaTranfers

ง. เลือกหมายเลขการทดสอบในโปรแกรมและคลิกที่ Save Selected และเลือก Open File เพื่อเปิดไฟล์ที่บันทึกไว้แล้ว ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 การเปิดไฟล์ที่บันทึกไว้แล้ว

จ. นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้บนเส้นตารางกริดแสดงเป็นแผนภาพแสดงเส้น

5.2.4 กรณีไม่ใช้โปรแกรมประมวลผลให้นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้บนเส้นตารางกริดโดยการจดบันทึกขณะทดสอบ นำมาแสดงเป็นแผนภาพแสดงเส้นชั้นความสูง หรือ Contour Map ของค่าความต่างศักย์

6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากครึ่งเซลล์ คอปเปอร์–คอปเปอร์ซัลเฟต จากโครงสร้างที่อยู่เหนือน้ำ

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้าง (ที่มา: ASTM C876-91(1999)

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต (Cu/ CuSO4)	**สภาพการเกิดสนิม**
มากกว่า -200 mV CSE	ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม
ระหว่าง -200 และ -350 mV CSE	ไม่แน่นอน
น้อยกว่า -350 mV CSE	ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่เกิดสนิมแล้ว

หมายเหตุ: วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถใช้กับโครงสร้างใต้น้ำได้แต่ต้องระมัดระวังการตีความผลการตรวจสอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิมการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถบอกความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมแต่อาจจะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิมที่แม่นยำความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุระหว่างครึ่งเซลล์และเหล็กที่เกิดสนิมเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการหาตำแหน่งที่เกิดสนิมในกรณีของโครงสร้างใต้น้ำวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้มักให้ค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกันทุกจุดอย่างไรก็ตามผลการวัดที่ได้แสดงถึงการแนวโน้มความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเหมือนทดสอบโครงสร้างอื่นที่ไม่ได้อยู่ใต้น้ำ

7. การรายงานผลการทดสอบ

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์ม มยผ.1506 ดังรูปที่ 25 ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ช่องที่ 1 แสดงรายละเอียดข้อมูลทั่วไป เช่น โครงการ สถานที่ ชนิดโครงสร้าง ตำแหน่ง วันที่ทดสอบ เลขทะเบียนทดสอบ และชื่อผู้ทดสอบ เป็นต้น

ช่องที่ 2 ลำดับที่ของการทดสอบ เพื่อให้รู้จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ

ช่องที่ 3 ตำแหน่งที่ทดสอบ แสดงสัญลักษณ์หรือตัวเลขทำให้ทราบตำแหน่งที่ทดสอบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในภายหลัง

ช่องที่ 4 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ แสดงศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของโครงสร้างเทียบกับครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟตหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ สำหรับความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ.1506-51 แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

(1) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์> -200 มิลลิโวลต์ : ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม

(2) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์อยู่ระหว่าง -200 และ -350 มิลลิโวลต์ : ไม่แน่นอน

(3) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์< -350 มิลลิโวลต์ : ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะเกิดสนิม

ช่องที่ 5 จำนวนจุด โดยจำนวนจุดที่วัดได้ตามเกณฑ์ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

ช่องที่ 6 หมายเหตุ ใช้สำหรับกรอกข้อที่น่าสนใจ เช่น ตำแหน่ง ลักษณะความเสียหาย เป็นต้น

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง Half Cell Potential Method Test			บพ.ท.7	
			ทะเบียนทดสอบเลขที่ XXXXXXXX	แผ่นที่ 1/1
			วันที่ทดสอบ XXXXXXXX	
โครงการ : สื่อสาธิตวิธีการทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต ① ผู้ขอรับบริการ : XXXXXXXXXXXXXXX				
เจ้าหน้าที่ทดสอบ XXXXXXXXXX		เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล XXXXXXXXXXXX	เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ XXXXXXXXXXXX	
ลำดับที่	ตำแหน่งทดสอบ ③	ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (มิลลิโวลต์)		หมายเหตุ
②	โครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นดาดฟ้า จุดที่ 1	④ เกณฑ์	จำนวนจุด	⑥
1		มากกว่า - 200 mV CSE	25 ⑤	1.40 ตารางเมตร ทดสอบ 42 จุด
		ระหว่าง - 200 และ - 350 mV CSE	10	
		น้อยกว่า - 350 mV CSE	7	
2	โครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นดาดฟ้า จุดที่ 2	เกณฑ์	จำนวนจุด	1.20 ตารางเมตร ทดสอบ 36 จุด
		มากกว่า - 200 mV CSE	22	
		ระหว่าง - 200 และ - 350 mV CSE	9	
		น้อยกว่า -350 mV CSE	5	
สรุปผลการทดสอบ				

รูปที่ 25 ตัวอย่าง Summary of Test Results
(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง)

8. เกณฑ์การตัดสิน

ไม่มี

9. ข้อแนะนำและข้อควรระวัง

(1) ปัจจัยดังต่อไปนี้มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ด้วยวิธีที่ระบุในมาตรฐานนี้และอาจทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้หรือทำให้การตีความผลการทดสอบคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

- ผิวคอนกรีตถูกปิดด้วยวัสดุต่างๆเช่นปูนฉาบกระเบื้องวัสดุกันซึมและสี
- เหล็กเสริมเคลือบผิวด้วยอีพอกซีหรือโลหะอื่น
- กระบวนการคาร์บอเนชั่นเกิดถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม
- ความชื้นของผิวคอนกรีตไม่เพียงพอทำให้ค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์มีค่าเป็นลบน้อยลงและอาจไม่สามารถตรวจจับการเกิดสนิมได้

(2) เนื่องจากในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟของเครื่องมือกับเหล็กเสริมในโครงสร้างจึงต้องมีการเจาะหรือกะเทาะผิวคอนกรีตบางส่วนออกทั้งนี้ขั้นตอนนี้ต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวังและต้องมีการซ่อมแซมโครงสร้างอย่างเหมาะสมภายหลังการวัด

(3) ข้อแนะนำ: ในกรณีที่โครงสร้างมีส่วนที่เกิดสนิมจนเกิดการกะเทาะของผิวคอนกรีตแล้วสามารถต่อวงจรกับส่วนของเหล็กเสริมที่เกิดสนิมแล้วได้โดยต้องมีการทำความสะอาดเหล็กเสริมก่อน

10. แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
กรมโยธาธิการและผังเมือง
Half Cell Potential Method Test</td><td colspan="3">บฟ.ท.7</td></tr>
<tr><td colspan="2">ทะเบียนทดสอบเลขที่</td><td>แผ่นที่ 1/1</td></tr>
<tr><td colspan="5">โครงการ :
ผู้ขอรับบริการ :
วันที่ทดสอบ</td></tr>
<tr><td colspan="2">เจ้าหน้าที่ทดสอบ</td><td>เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล</td><td colspan="2">เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ</td></tr>
<tr><td>ลำดับที่</td><td>ตำแหน่งทดสอบ</td><td colspan="2">ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (มิลลิโวลต์)</td><td>หมายเหตุ</td></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td><td>เกณฑ์</td><td>จำนวนจุด</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td><td>เกณฑ์</td><td>จำนวนจุด</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
</table>

11. เอกสารอ้างอิง

(1) ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures – Reported by ACI committee 228,1998

(2) ASTM C876-91 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete , ASTM International ,1999

(3) BS 1881 - 201: 1986, Testing Concrete. Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete , 1986

(4) มาตรฐาน มยผ.1506-51 ,มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential)

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

การตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต

Covering and Rebar Test

1. วัตถุประสงค์การทดสอบ

(1) เพื่อตรวจหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในโครงสร้าง

(2) เพื่อวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

2. เป้าหมายการทดสอบ

เพื่อให้ทราบตำแหน่งของเหล็กเสริมในโครงสร้าง และระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบ

3. ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ

3.1 ทฤษฎี

การตรวจสอบหาเหล็กเสริมในโครงสร้างนั้นถือเป็นขั้นตอนที่จำเป็นทั้งในการตรวจสอบซ่อมแซม หรือ ปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น การตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กและจำนวนเหล็กเสริมในโครงสร้างว่าตรงตามแบบ หรือไม่ เป็นต้น การตรวจสอบเหล็กเสริมในโครงสร้างอาจจะจำแนกได้เป็นการตรวจสอบหาตำแหน่งของเหล็กเสริม การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก หรือการวัดขนาดของเหล็กเสริมในโครงสร้างโดยที่ไม่อยากให้เกิดความเสียหายใดๆ ต่อโครงสร้าง ในปัจจุบันเราสามารถตรวจสอบหาเหล็กเสริมได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในโครงสร้างโดยการใช้เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโดยเครื่องทดสอบที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบหัววัด และแบบลูกล้อ

โดยทั่วไปแล้วความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมตามมาตรฐาน วสท. ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร และมาตรฐาน AASHTO ได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมตามมาตรฐานต่างๆ

ที่	องค์อาคารคอนกรีตหล่อในที่ (CONCRETE STRUCTURE)	ความหนาของคอนกรีต หุ้มเหล็กเสริม, ซม. (Minimum cover, cm.)		
		มาตรฐาน วสท.	ข้อบัญญัติ กรุงเทพมหานคร	มาตรฐาน AASHTO
1.	ฐานราก และองค์อาคารที่สำคัญที่สัมผัสดินโดยตรง	7.5	6.0	7.5
2.	องค์อาคาร ที่สัมผัสดินหรือถูกแดดฝน			
	- เหล็กเสริมหลัก ขนาดตั้งแต่ 16 มม. ขึ้นไป	5.0	4.0	5.1
	- เหล็กเสริมรองขนาดเล็กกว่า 16 มม.	4.0	3.0	3.8
3.	องค์อาคารไม่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน			
	- เหล็กเสริมหลัก ขนาดตั้งแต่ 16 มม. ขึ้นไป	2.0	ไม่ระบุ	3.8
	- เหล็กเสริมรองขนาดเล็กกว่า 16 มม.	-	ไม่ระบุ	2.5
	- แผ่นพื้นและผนัง	2.0	1.5	ไม่ระบุ
	- คาน	3.0	3.0	ไม่ระบุ
4.	เสา ที่มีเหล็กปลอกเกลียวหรือปลอกเดี่ยว	3.5 **	3.0	ไม่ระบุ
5.	แผ่นพื้นสะพานคอนกรีต			
	- เหล็กเสริมบน	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	5.0
	- เหล็กเสริมล่าง	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	2.0
** หรือไม่น้อยกว่า 1 1/2 เท่าของขนาดมวลรวมหยาบใหญ่ที่สุด				

3.2 มาตรฐานการทดสอบ

มยผ. 1505-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต หรือ Cover Meter

4. อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย

(1) เครื่องประมวลผลและจอแสดงผล

(2) หัววัดสัญญาณแบบเอนกประสงค์

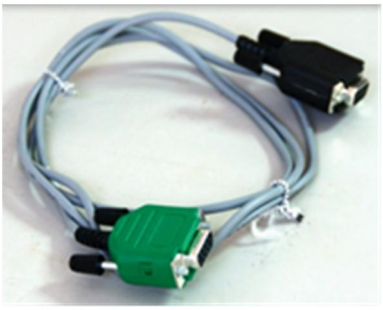
(3) สายต่อหัววัดสัญญาณเอนกประสงค์

(4) ล้อวัดระยะ

(5) สายต่อล้อวัดระยะกับเครื่องประมวลผล

(6) ก้านต่อกับล้อวัดระยะ

รูปที่ 1 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต



(7) สายต่อจากเครื่องประมวลผลไปยังคอมพิวเตอร์

(8) สายแปลงสัญญาณจากยูเอสบีเป็นอาร์เอส232 เพื่อต่อเข้า

(9) แท่งสอบเทียบ

รูปที่ 1 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (ต่อ)

5. ขั้นตอนการทดสอบ

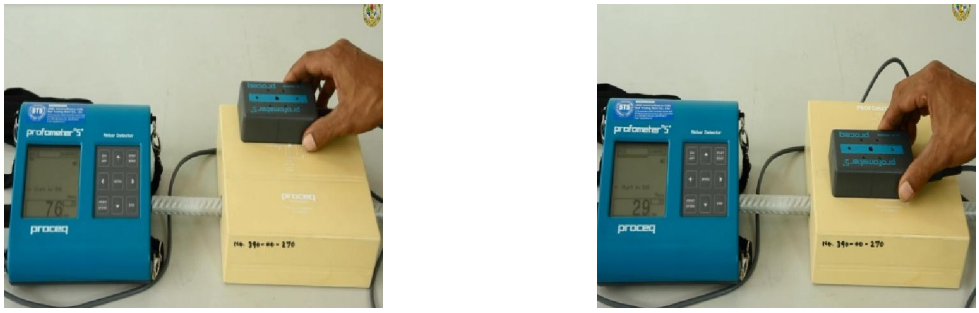
5.1 วิธีการปรับเทียบเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กในห้องปฏิบัติการ

ก่อนนำเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กไปใช้ทดสอบ ให้สอบเทียบเครื่องมือในห้องปฏิบัติการเพื่อยืนยัน ความแม่นยำของเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก โดยใช้แท่งสอบเทียบ สามารถดำเนินการตามวิธีการดังนี้

5.1.1 เปิดเครื่อง ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การเปิดเครื่อง

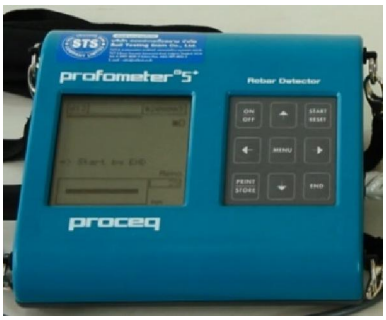
5.1.2 นำหัววัดวางแนบบนแท่งสอบเทียบ แล้วเคลื่อนหัววัดไปยังตำแหน่งของเหล็กเสริม ดังรูปที่ 3



(ก) การนำหัววัดวางแนบบนแท่งสอบเทียบ (ข) การเคลื่อนหัววัดไปยังตำแหน่งของเหล็กเสริม

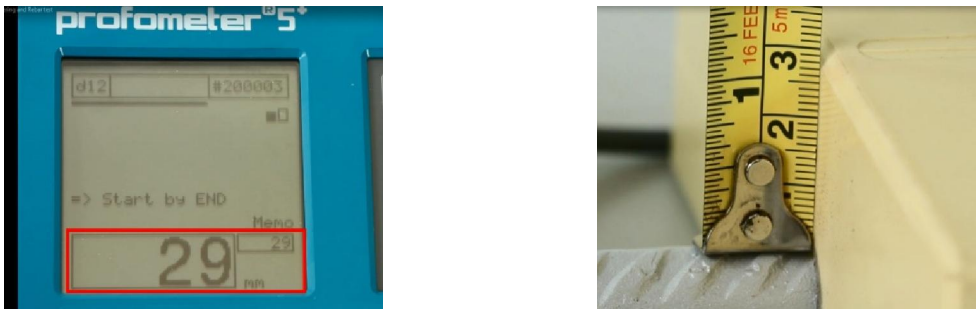
รูปที่ 3 การเคลื่อนหัววัดเพื่อตรวจสอบตำแหน่งของเหล็กเสริม

5.1.3 เมื่อหัววัดเจอตำแหน่งของเหล็กเสริม จะมีเสียงและแสดงแถบสีดำบนจอแสดงผล ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แถบสีดำบนจอแสดงผล

5.1.4 สังเกตค่าความหนาของคอนกรีตห่อหุ้ม โดยจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่ออยู่ตรงตำแหน่งของเหล็กเสริม แล้วทำการวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กด้วยเทปวัดระยะ ดังรูปที่ 5



(ก) ความหนาของคอนกรีตห่อหุ้ม (ข) การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กด้วยเทปวัดระยะ

รูปที่ 5 การหาความหนาของคอนกรีตห่อหุ้มเหล็กเสริม

5.1.5 ดำเนินการสอบเทียบซ้ำให้ครบทุกระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ได้แก่ 16, 30, 60 และ 90 มิลลิเมตร

5.1.6 สร้างกราฟสำหรับปรับแก้จากค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบกับค่าที่อ่านได้จากเทปวัดระยะ

5.2 การวัดหาตำแหน่งเหล็กเสริม

การวัดหาตำแหน่งเหล็กสามารถทำการตรวจวัดได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

5.2.1 การตรวจวัดแบบหาความลึกและหาขนาดเหล็ก

การตรวจวัดแบบหาความลึกและหาขนาดเหล็กโดยใช้หัววัด สามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.2.1.1 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการตรวจวัด

(1) ต่อสายหัววัดสัญญาณหรือUniversal Probe เข้ากับเครื่องทดสอบทางช่อง A แล้วทำการเปิดเครื่องโดยการกดปุ่ม on/off ดังรูปที่ 6

(ก) การต่อสายหัววัดสัญญาณ (ข) การกดปุ่ม on/off

รูปที่ 6 การเปิดเครื่องทดสอบ

(2) กดปุ่ม MENU เพื่อเข้าเมนูหลัก แล้วกำหนดหมายเลขการตรวจวัดโดยกดปุ่มลูกศรลงและเลื่อนแถบเมนูมาที่ Object No แล้วกดปุ่ม Start ดังรูปที่ 7

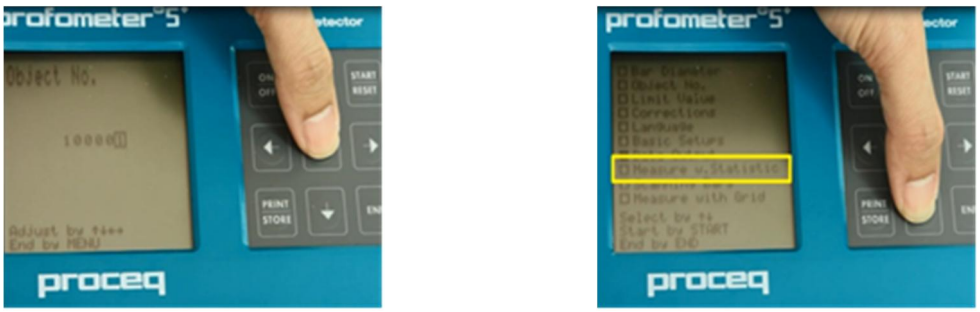
(ก) การกดปุ่ม MENU (ข) การเลือกแถบเมนู Object No

รูปที่ 7 การเข้าสู่เมนู Object No

(3) เปลี่ยนหมายเลขโดยการกดปุ่มลูกศร ให้กำหนดหมายเลขตัวแรกเป็นเลข 1 ทุกครั้ง และหมายเลขตัวสุดท้ายต้องเปลี่ยนอย่าให้ซ้ำกับข้อมูลที่มีอยู่เดิม ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 การกำหนดหมายเลขการทดสอบให้เลขข้างหน้าเป็น 1

(4) กดปุ่ม MENU อีกครั้งเพื่อไปกำหนดรูปแบบการตรวจวัด แล้วกดปุ่มลูกศรลงมาที่แถบเมนู Measure.w.Statistic แล้วกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการทดสอบ ดังรูปที่ 9



(ก) การกำหนดรูปแบบการตรวจวัด (ข) การเลือกแถบเมนู Measure.w.Statistic

รูปที่ 9 การเข้าสู่แถบเมนู Measure.w.Statistic

5.2.1.2 การทดสอบการตรวจวัด

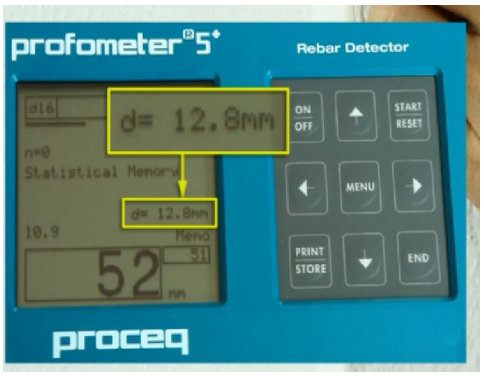
(1) หลังจากเตรียมเครื่องทดสอบแล้ว ให้นำหัววัดแนบกับผิวคอนกรีต และเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการวัดทิศทางการเคลื่อนหัววัดควรตั้งฉากกับแนวการวางตัวของเหล็กเสริม ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 การเลื่อนหัววัดบนผิวคอนกรีต

(2) เมื่อหัววัดเจอตำแหน่งของเหล็กเสริมจะมีเสียงดังจากเครื่องทดสอบ สังเกตดูสัญญาณของหัววัด ถ้ามีค่าสัญญาณสูงหมายถึงนั่นคือตำแหน่งของเหล็กเสริม โดยหน้าจอของเครื่องทดสอบจะแสดงความลึกของเหล็กเสริมจากผิวคอนกรีต ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 การแสดงความลึกของเหล็กเสริมจากผิวคอนกรีต

(3) ทำการกดปุ่มลูกศรขึ้นให้เครื่องทดสอบแสดงขนาดของเหล็กเสริม ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การแสดงขนาดของเหล็กเสริม

(4) ทำสัญลักษณ์เพื่อแสดงตำแหน่งของเหล็กเสริมลงบนโครงสร้างที่ตรวจวัด ดังรูปที่ 13

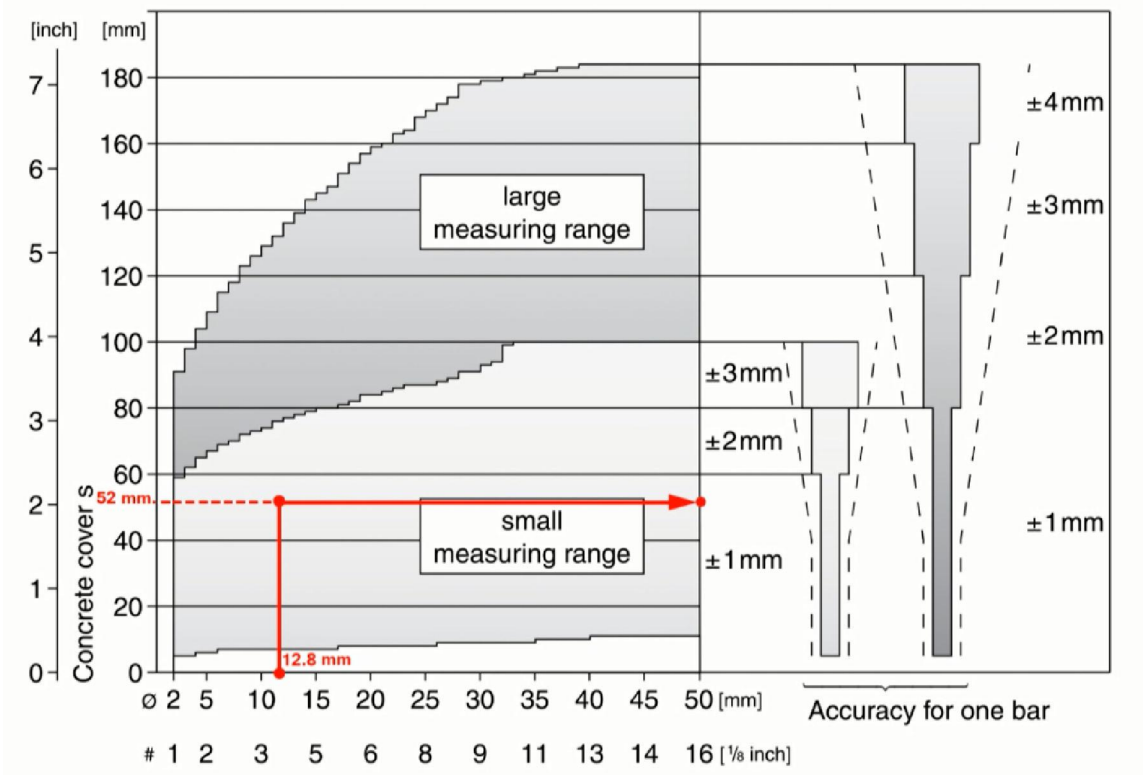
รูปที่ 13 การทำสัญลักษณ์เพื่อแสดงตำแหน่งของเหล็กเสริม

สำหรับกรณีที่ระยะหุ้มคอนกรีตมีค่าน้อยมาก ให้ใช้วัสดุที่ไม่รบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น แผ่นไม้ หรือ แผ่นพลาสติกที่มีความหนาเหมาะสม ประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อรองหัววัดค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับค่าระยะหุ้มคอนกรีตที่ได้จากเครื่องวัดลบด้วยความหนาของวัสดุรองหัววัด ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 การทดสอบกรณีที่ระยะหุ้มคอนกรีตมีค่าน้อยมาก

5.2.1.3 วิธีการปรับแก้ขนาดของเหล็ก

จากคู่มือของเครื่องมือวัดขนาดเหล็กดังรูปที่ 15 ถ้าหากเครื่องมืออ่านขนาดเหล็กที่วัดได้เท่ากับ 12.8 มิลลิเมตร และมีระยะคอนกรีตหุ้ม 52 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าตัวปรับแก้คือ ±1 ดังนั้นค่าที่เป็นไปได้ของขนาดเหล็กคือ 11.8-13.8 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด คือ 12 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าปรับแก้ขนาดเหล็ก

5.2.2 การตรวจวัดแบบใช้ลูกล้อวัดระยะแบบสแกน

การทดสอบแบบใช้ลูกล้อวัดระยะแบบสแกน สามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) ประกอบหัววัดเข้ากับล้อวัดระยะ พร้อมนำก้านต่อเข้ากับล้อวัดระยะ แล้วต่อสายสัญญาณหัววัดและล้อวัดระยะเข้ากับเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 16

รูปที่ 16 การประกอบอุปกรณ์เข้ากับเครื่องทดสอบ

(2) ขั้นตอนการ Set เครื่องทดสอบ ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. เปิดเครื่องทดสอบแล้วทำการตั้งค่าที่เครื่องทดสอบ โดยเริ่มจากการตั้งค่าหมายเลขตรวจวัดหรือ Object No เช่นเดียวกับวิธีการตรวจวัดแบบหาความลึกและขนาดเหล็กแต่ให้กำหนดหมายเลขข้างหน้าสุดเป็นเลข 2 ดังรูปที่ 17

รูปที่ 17 การตั้งค่าหมายเลขตรวจวัดหรือ Object No ให้เลขข้างหน้าเป็น 2

ข. กดปุ่ม MENU อีกครั้งเพื่อกำหนดขนาดพื้นที่ตรวจวัด

ค. กดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแถบเมนูมาที่ Basic Setup แล้วเลื่อนลูกศรมาที่แถบเมนู Scan Area แล้วกด Start เพื่อเลือกขนาดพื้นที่ในการทดสอบ มีให้เลือก 3 ขนาด 500 , 1000 และ 2000 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 18

รูปที่ 18 การเลือกขนาดพื้นที่ในการทดสอบ

ง. กดปุ่ม MENU 2 ครั้ง

จ. กดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแถบเมนู มาที่ Scanning Bars แล้วกดปุ่ม Start เพื่อกำหนดรูปแบบใช้ล้อวัดระยะ

ฉ. หลังจากตั้งค่าทั้งหมดแล้วให้กดปุ่ม END

(3) ให้ยกหัววัดพร้อมลูกล้อวัดระยะให้อยู่เหนือพื้น แล้วกด RESET ดังรูปที่ 19

รูปที่ 19 การกดปุ่ม RESET เมื่อยกหัวลูกล้อวัดระยะเหนือพื้น

(4) วางหัววัดพร้อมชุดลูกล้อวัดระยะลงที่พื้น แล้วเข็นลูกล้อไปตามแนวเหล็กเสริม เมื่อเจอเหล็กจะปรากฏเส้นบนหน้าจอที่เครื่องวัดจนสุดหน้าจอซึ่งเป็นระยะที่ตั้งไว้แล้วกดปุ่มลูกศรลงแล้วยกหัววัด พร้อมลูกล้อวัดระยะให้อยู่เหนือพื้นอีกครั้ง แล้วกดปุ่ม RESET ดังรูปที่ 20

รูปที่ 20 การกดปุ่ม RESET เมื่อวางลูกล้อวัดระยะลงที่พื้น

(5) วางหัววัดพร้อมชุดลูกล้อวัดระยะลงที่พื้นแล้วเข็นลูกล้อไปในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรก เมื่อเจอเหล็กจะปรากฏเส้นบนหน้าจอที่เครื่องวัดจนสุดหน้าจอซึ่งเป็นระยะที่ตั้งไว้ ดังรูปที่ 21

รูปที่ 21 การแสดงผลเส้นเหล็กเสริมบนหน้าจอ

(6) กดปุ่ม Store เพื่อบันทึกข้อมูลลงในเครื่องทดสอบ

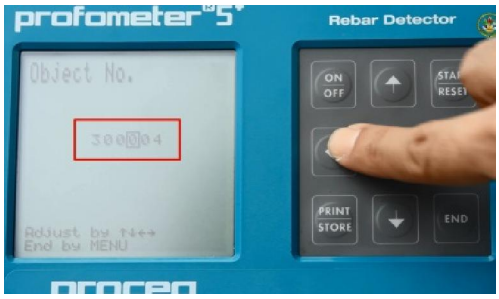
5.2.3 การตรวจวัดแบบแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงหรือ Contour map โดยใช้ลูกล้อวัดระยะแบบกริด

การทดสอบแบบใช้ลูกล้อวัดระยะแบบกริดสามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) ประกอบหัววัดเข้ากับล้อวัดระยะ พร้อมนำก้านต่อเข้ากับล้อวัดระยะ แล้วต่อสายสัญญาณเข้ากับล้อวัดระยะและเครื่องทดสอบ

(2) ขั้นตอนการ Set เครื่องมือทดสอบ ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

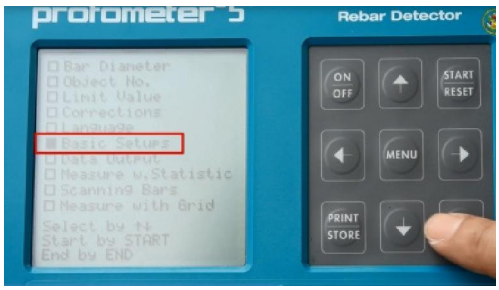
ก. การตั้งค่าที่เครื่องวัดระยะคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเริ่มจากการตั้งค่าหมายเลขตรวจวัดหรือ Object No เช่นเดียวกับ 2 รูปแบบแรก แต่กำหนดหมายเลขข้างหน้าสุดเป็นเลข 3 ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 การตั้งค่าหมายเลขตรวจวัดหรือ Object No ให้เลขข้างหน้าเป็น 3

ข. กดปุ่ม MENU อีกครั้งเพื่อกำหนดรูปแบบการตรวจวัด

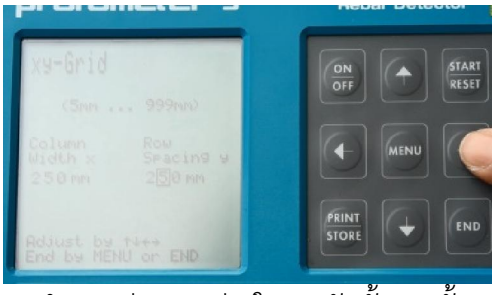
ค. กดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแถบเมนูมาที่ Basic Setups ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การเลือกแถบเมนู Basic Setups

ง. กดปุ่ม Start

จ. กดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแถบเมนูมาที่ XY-Grid แล้วกดปุ่ม START กำหนดค่าระยะห่างในการวัดทั้งแนวตั้งและแนวนอน โดยใช้ปุ่มลูกศรเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งสามารถกำหนดได้ตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรถึง 999 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 การกำหนดค่าระยะห่างในการวัดทั้งแนวตั้งและแนวนอน

ฉ. กดปุ่ม MENU อีกครั้ง

ช. กดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแถบเมนู มาที่ Display แล้วกดปุ่ม Start

ซ. เลือกการแสดงผลโดยใช้สัญลักษณ์แทนความลึกของคอนกรีตสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรถึง 199 มิลลิเมตรโดยให้เปลี่ยนค่าสูงสุดก่อน แล้วจึงกำหนดค่าต่ำสุดทีหลังโดยใช้ปุ่มลูกศร ดังรูปที่ 25

รูปที่ 25 การเลือกการแสดงผลโดยใช้สัญลักษณ์แทนความลึกของคอนกรีต

ฌ. กดปุ่ม MENU 2 ครั้ง

ญ. กดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแถบเมนูมาที่ Measure With Grid แล้วกดปุ่ม START

ฎ. กดปุ่ม END เพื่อเริ่มทำการทดสอบ

(3) ให้ยกหัววัดพร้อมลูกล้อวัดระยะให้อยู่เหนือพื้น แล้วกดปุ่ม Reset

(4) เริ่มลากลูกล้อตามแนวนอน ในแถวบนสุดของกริดที่กำหนดจากซ้ายไปขวาจนสุดแนว ดังรูปที่ 26

รูปที่ 26 การลากลูกล้อตามแนวนอน

(5) กดปุ่มลูกศรลงแล้วยกหัววัดขึ้น เลื่อนตำแหน่งลงบนกริดในแถวที่ถัดลงมา แล้วกดปุ่ม Start พร้อมเลื่อนชุดลูกล้อจากขวามาซ้ายจนสุดแนว กดปุ่มลูกศรลงอีกครั้งและเลื่อนตำแหน่งชุดลูกล้อไปยังแถวถัดลงมาในลักษณะสลับฟันปลาจนครบทุกแนวกริดที่กำหนด ดังรูปที่ 27

รูปที่ 27 การเปลี่ยนแถวในการลากลูกล้อตามแนวนอน

(6) กดปุ่ม Store เพื่อบันทึกข้อมูล

6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์และประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

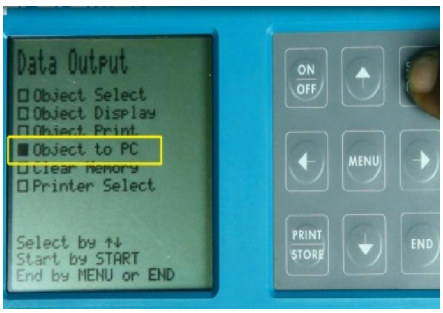
(1) เสียบสายสัญญาณ RS232 กับสายแปลงสัญญาณ USB ดังรูปที่ 28

รูปที่ 28 การเสียบสายสัญญาณ RS232 กับสายแปลงสัญญาณ USB

(2) ต่อปลายอีกข้างหนึ่งกับเครื่องประมวลผล ดังรูปที่ 29

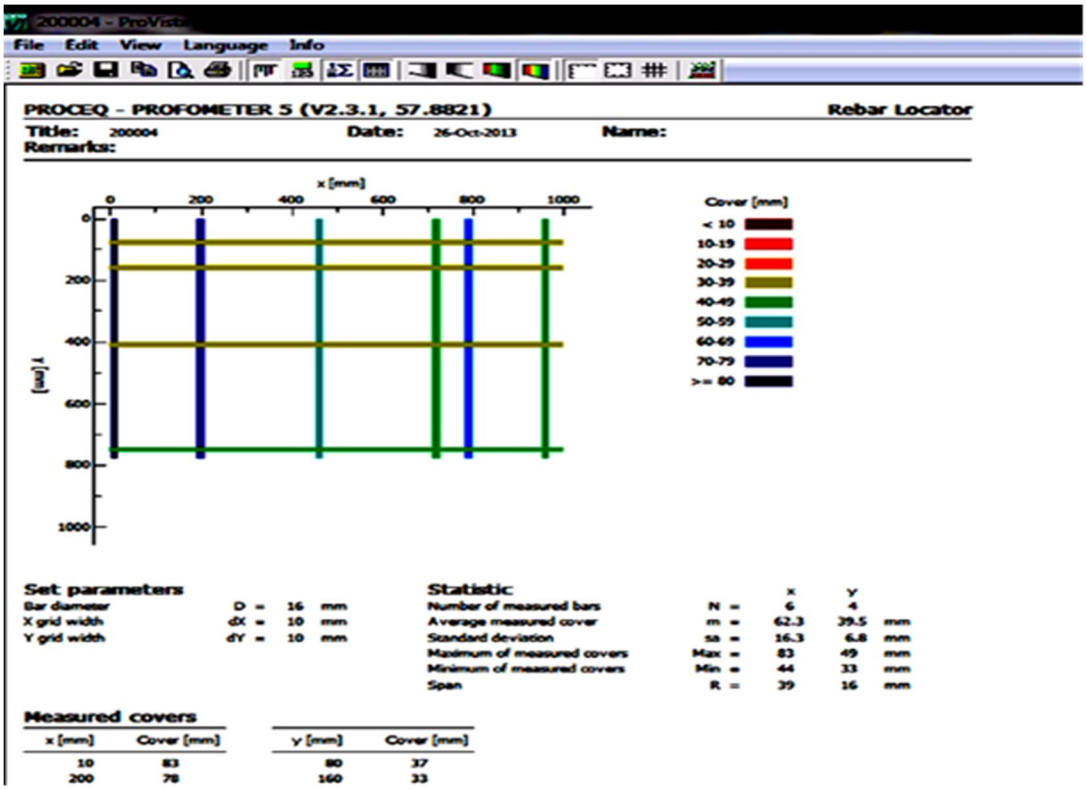
รูปที่ 29 การต่อปลายอีกข้างหนึ่งกับเครื่องประมวลผล

(3) เปิดโปรแกรมที่เครื่องคอมพิวเตอร์แล้วเปิดเครื่องทดสอบ จากนั้นเลือกเมนู Data Output และกดปุ่มลูกศรลงเพื่อเลือก Object to PC กดปุ่ม Start เพื่อถ่ายโอนข้อมูล ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 การเลือกแถบเมนู Object to PC

(4) เลือกข้อมูลจากโปรแกรมแสดงผลการทดสอบกดปุ่มไอคอน Load แล้วคลิกเครื่องหมายถูกในสี่เหลี่ยมหน้าหมายเลขตรวจวัดที่กำหนดไว้เริ่มแรก โปรแกรมจะแสดงข้อมูลการทดสอบ ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ข้อมูลการทดสอบ

7. การรายงานผลการทดสอบ

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์ม มยผ.1505 ดังรูปที่ 32 ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ช่องที่ 1 แสดงรายละเอียดข้อมูลทั่วไป เช่น โครงการ สถานที่ ชนิดโครงสร้าง ตำแหน่ง วันที่ทดสอบ เลขทะเบียนทดสอบ และชื่อผู้ทดสอบ เป็นต้น

ช่องที่ 2 ลำดับที่ของการทดสอบ เพื่อให้รู้จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ

ช่องที่ 3 ตำแหน่งที่ทดสอบ แสดงสัญลักษณ์หรือตัวเลขทำให้ทราบตำแหน่งที่ทดสอบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในภายหลัง

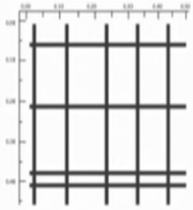
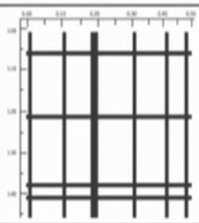
ช่องที่ 4 ผลการทดสอบ

Upper bars spacing แสดงค่าระยะห่างของเหล็กเสริมตามยาวที่อยู่ด้านบน (Upper bars)

Strip bars spacing แสดงค่าระยะห่างของเหล็กปลอก (Strip bars)

ช่องที่ 5 หมายเหตุ ใช้สำหรับกรอกข้อที่น่าสนใจ เช่น ตำแหน่ง ลักษณะความเสียหาย เป็นต้น

โครงการ สื่อสาธิตการทดสอบการหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต สถานที่ XXXXXXXXXX ผู้ขอรับบริการ XXXXXXXXXX ① วันที่ทดสอบ 25 / 10 / 56	กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง	บฟ.ท.8 ทะเบียนทดสอบเลขที่ 1 แผ่นที่ 1
	การหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต Covering and Rebar Test	เจ้าหน้าที่ทดสอบ XXXXXXXXX เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล XXXXXXXXX เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ XXXXXXXXX

② ลำดับที่	③ ตำแหน่งทดสอบ	④ ผลการทดสอบ	⑤ หมายเหตุ
1	จุดทดสอบเสาชั้น 3 ตำแหน่งที่ 1		X = ทิศทางขวางหน้าเสา Y = ตามความยาวเสา
2	จุดทดสอบเสาชั้น 3 ตำแหน่งที่ 2		X = ทิศทางขวางหน้าเสา Y = ตามความยาวเสา

หมายเหตุ

ผู้นำส่งวัสดุ XXXXXXXXX

รูปที่ 32 ตัวอย่าง Summary of Test Results
(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง)

ผลการวัดระยะหุ้มเหล็กที่ตำแหน่งเดียวกันควรมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ ±15 หรือ ±5 มิลลิเมตร โดยในกรณีที่ความแตกต่างอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ใช้ค่าที่มากกว่าเมื่อระยะหุ้มเหล็กที่ต้องการวัดมีค่าไม่เกิน 100 มิลลิเมตร

หากผลการวัดได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อ 7 ทำให้ความแม่นยำในการวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กน้อยลงแต่สามารถใช้เครื่องมือวัดเพื่อค้นหาตำแหน่งเหล็กได้และกรณีที่ความแม่นยำในการตรวจวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมลดลงควรมีการเจาะสำรวจด้วยสว่านเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับระยะหุ้มเหล็กเสริมจริงเพื่อปรับแก้ไขในกรณีที่พบความคลาดเคลื่อน

8. เกณฑ์การตัดสิน

- ไม่มี

9. ข้อแนะนำและข้อควรระวัง

(1) การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กจะมีความแม่นยำต่อเมื่อเหล็กเสริมในโครงสร้างวางตัวเป็นแนวตรงและมีระยะห่างจากผิวของคอนกรีตค่อนข้างคงที่

(2) เหล็กเสริมที่อยู่ใกล้กันมากทำให้ผลการวัดไม่ตรงกับความจริง โดยเกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อมีเหล็กมากกว่า 1 เส้น ในขอบเขตการวัดของหัววัด นอกจากนี้เครื่องวัดอาจไม่สามารถแยกเหล็กเสริมแต่ละเส้นออกจากกันได้หากระยะห่างเหล็กเส้นในแต่ละเส้นน้อยเกินไป

(3) ลวดผูกอาจทำให้ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีลวดผูกเหล็กอยู่ใกล้ผิวคอนกรีตมาก อย่างไรก็ตามผู้ใช้เครื่องมือที่มีประสบการณ์จะแยกผลกระทบจากวัสดุต่างๆ จากผลของเหล็กเสริมหลักได้

(4) กรณีมวลรวมหรือซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตมีส่วนประกอบที่มีสมบัติทางแม่เหล็กรวมถึงวัสดุแต่งผิวคอนกรีตบางประเภทอาจส่งผลกระทบต่อผลตรวจวัดที่ไม่แม่นยำ ให้ตรวจสอบโดยอ่านค่าการวัดบริเวณโครงสร้างที่ไม่มีเหล็กเสริม และเพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปรกติทั่วไป

(5) กรณีผิวโครงสร้างคอนกรีตไม่เรียบจะส่งผลให้ค่าการวัดขึ้นอยู่กับระดับความขรุขระของผิวคอนกรีต

(6) หากเหล็กเสริมเป็นสนิมมากจนเกินไปอาจทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน

10. แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล

<table>
<tr><td colspan="2">โครงการ

สถานที่
ผู้ขอรับบริกา

วันที่ทดสอบ</td><td colspan="2">กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
กรมโยธาธิการและผังเมือง</td><td colspan="2">บฟ.ท.8
ทะเบียนทดสอบเลขที่ 1 แผ่นที่ 1</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">การหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต
Covering and Rebar Test</td><td colspan="2">เจ้าหน้าที่ทดสอบ
เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล
เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ</td></tr>
<tr><td>ลำดับที่</td><td>ตำแหน่งทดสอบ</td><td colspan="2">ผลการทดสอบ</td><td>หมายเหตุ</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">หมายเหตุ

ผู้นำส่งวัสดุ</td></tr>
</table>

11. เอกสารอ้างอิง

(1) มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1501-51 ถึง มยผ.1507-51 การตรวจสอบโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2551

(2) ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures – Reported by ACI Committee 228

(3) BS 1881 - 201: 1986, Testing Concrete. Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete

(4) BS 1881 - 204: 1988 Testing Concrete. Recommendations on the Use of Electromagnetic Covermeters

คณะผู้จัดทำ

ที่ปรึกษา

นายมณฑล	สุดประเสริฐ	อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
นายเชตวัน	อนันตสมบูรณ์	รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
นายเกียรติศักดิ์	จันทรา	รองอธิบดี รักษาการในตำแหน่งวิศวกรใหญ่ กรมโยธาธิการและผังเมือง
นางสาวศิระภา	วาระเลิศ	รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
นายมเหศวร	ภักดีคง	รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
นายสุนัย	อภิรักษ์ธาธาร	ผู้ตรวจราชการกรม รักษาการในตำแหน่ง สถาปนิกใหญ่
นายวีระพันธ์	อุปถัมภากุล	ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

คณะกรรมการจัดทำคู่มือ

นายชวกิจ	หิรัญญาภิรมย์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	ประธานกรรมการ
นายวินัย	สีเที่ยงธรรม	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
นายรัชพล	วสุนธรานิจวิภา	วิศวกรโยธาชำนาญการ	กรรมการ
นายเกษม	พันธศรี	นายช่างโยธาอาวุโส	กรรมการ
นายอัศวิน	คมแท้	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	กรรมการ
นายไพศาล	สุวรรณปิฎก	นายช่างโยธาชำนาญงาน	กรรมการ
นางพรพิศุทธิ์	ศรีพยัคฆ์	นายช่างโยธาชำนาญงาน	กรรมการ
นายกิตติศักดิ์	พิสัยพันธ์	นายช่างโยธาชำนาญงาน	กรรมการ
นายไกรสิทธิ์	โลมรัตน์	วิศวกรโยธาชำนาญการ	กรรมการและเลขานุการ
นายทรงฤทธิ์	ธิยา	พนักงานวิศวกรโยธา	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระรามที่ 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร.0-2299-4423 โทรสาร 0-2299-4430