

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (Cover Meter)

1. ขอบเขต

- 1.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมการใช้เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก เพื่อหาตำแหน่งของเหล็กเสริมและประเมินระยะหุ้มเหล็กของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 1.2 ค่าที่มีกรกล่าวถึงในมาตรฐานนี้กำหนดให้มีหน่วยตามระบบหน่วยระหว่างประเทศ (SI)

2. นิยาม

“ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Concrete Cover)” หมายถึง ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กอยู่โดยมีค่าเท่ากับระยะทางระหว่างผิวของโครงสร้างและผิวของเหล็กเสริม

“การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction)” หมายถึง การที่การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่งก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอีกสนามหนึ่งขึ้นมา

3. อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

- 3.1 เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก ได้แก่ (1) หัววัด (2) จอแสดงผล และ (3) สายเชื่อมต่อข้อมูล ระหว่างการทดสอบให้เคลื่อนหัววัดไปตามผิวของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และจอแสดงผลจะแสดงผลเมื่อหัววัดเคลื่อนที่เข้าไปใกล้เหล็กเสริม หรือ โลหะที่อยู่ในโครงสร้าง หัววัดอาจประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำขดเดียวหรือหลายขด

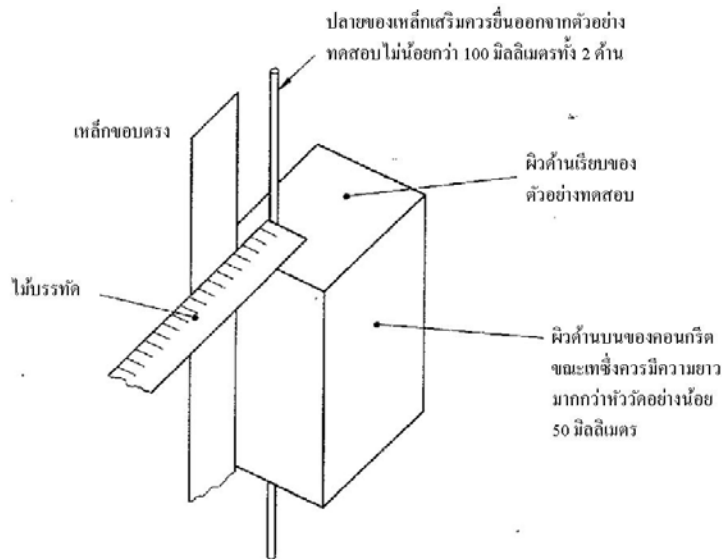
4. วิธีการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

- 4.1 ก่อนนำเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กไปใช้ทดสอบ ให้สอบเทียบเครื่องมือในห้องทดสอบเพื่อยืนยันความแม่นยำของเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก โดยความถี่ของการตรวจสอบขึ้นอยู่กับคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือและควรรับที่กการตรวจสอบไว้ด้วย
- 4.2 ผลการสอบเทียบเครื่องมือ ควรให้ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งไม่เกินร้อยละ ± 5 หรือ ± 2 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับว่าค่าใดมากกว่ากัน

4.3 การสอบเทียบสามารถเลือกทำได้จากวิธีดังต่อไปนี้

(1) วิธี ก

แท่งตัวอย่างสอบเทียบเป็นแท่งคอนกรีตซึ่งติดตั้งแท่งเหล็กตรง ผิวเรียบ และสะอาดให้มีระยะห่างจากผิวคอนกรีตด้านทดสอบไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 ในกรณีระยะคอนกรีตหุ้มน้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ให้สอบเทียบตามวิธี ข หรือ วิธี ค แทน ผิวคอนกรีตด้านทดสอบต้องเรียบและมีความขรุขระไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับระนาบผิว วัสดุที่ใช้ควรเหมือนกับโครงสร้างที่ต้องการทดสอบ มวลรวมไม่ควรมีสมบัติทางแม่เหล็กอย่างมีนัยสำคัญ ไม่ควรใช้สารผสมเพิ่ม และควรระวังไม่ให้แท่งเหล็กบิดงอระหว่างเทคอนกรีต หลังจากถอดแบบ และระหว่างบ่มแท่งตัวอย่างสอบเทียบ ให้วัดระยะคอนกรีตหุ้มจริงจากผิวคอนกรีตทั้งสองด้านที่ปลายเหล็กยื่นจากแท่งคอนกรีตด้วยเครื่องมือวัดระยะที่มีความแม่นยำไม่น้อยกว่า ± 0.5 มิลลิเมตร และค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่ตรวจวัดได้จากทั้งสองด้านแตกต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร กรณีแตกต่างกันเกินกว่า 1 มิลลิเมตร ให้หล่อแท่งตัวอย่างสอบเทียบใหม่



รูปที่ 1 แท่งตัวอย่างสอบเทียบตามมาตรฐาน BS 1881 Part 204

(ข้อ 4.3)

ดำเนินการสอบเทียบโดยใช้เครื่องมือวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กตามข้อแนะนำในคู่มือการใช้เครื่องมือเพื่อวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กจากทุกด้านที่ขนานกับเหล็กเสริม (ด้านแนวตั้งทั้งสี่ด้านในรูปที่ 1) และอยู่ในระยะการวัดของเครื่องวัด ระหว่างการสอบเทียบให้ระวังผลกระทบจากตัวแปรอื่นๆ ดังระบุไว้ในหัวข้อ 7 กรณีเครื่องมือวัดมีขนาดวัดสำหรับเหล็กเสริมแต่ละขนาดให้สอบเทียบตามขั้นตอนที่กล่าวข้างต้นสำหรับเหล็กเสริมแต่ละขนาด ทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กและค่าที่วัดได้ด้วยไม้บรรทัด

(2) วิธี ข

ใช้แท่งตัวอย่างสอบเทียบตามที่ระบุในวิธี ก โดยเคลื่อนแท่งสอบเทียบแทนการเคลื่อนหัววัด และขีดหัววัดกับตัวอย่างทดสอบให้หนึ่งระหว่างอ่านค่า โดยความคลาดเคลื่อนของการวัดให้เป็นตามการสอบเทียบด้วยวิธี ก

(3) วิธี ค

ใช้แท่งตัวอย่างสอบเทียบทดสอบตามที่ระบุ ใน วิธี ก แต่เจาะรูเพิ่มเติมเพื่อสอดเหล็กเสริมเข้าไปที่ระยะต่างๆ และเปรียบเทียบระยะที่วัดได้จากเครื่อง และระยะที่วัดโดยใช้เครื่องมือวัดอื่นที่มีความแม่นยำตามที่ระบุในการสอบเทียบโดยวิธี ก

5. วิธีการใช้งานเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

5.1 ให้เปิดเครื่องและดำเนินการปรับเครื่องตามคู่มือซึ่งแตกต่างกันไปตามรุ่นของเครื่อง โดยหัววัดของเครื่องมือวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กควรอยู่ห่างจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ วัตถุอื่นที่อาจส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาของเครื่องได้ ในระยะที่พอเหมาะเพื่อให้การเตรียมเครื่องมือเบื้องต้นถูกต้อง

5.2 เครื่องมือวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กบางรุ่นต้องใช้เวลาเพื่อเตรียมระบบการวัดให้พร้อมทำงาน โดยดำเนินการตรวจวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กได้ต่อเมื่อการแสดงผลของเครื่องนิ่งเท่านั้น

5.3 วิธีการสอบเทียบในสถานที่จริง (In-Situ Calibration)

(1) ก่อนการปฏิบัติงานจริง ให้สอบเทียบเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กให้ถูกต้องตามมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีเหล็กเสริมใน โครงสร้างแตกต่างจากเหล็กเสริมที่ใช้สอบเทียบ ในห้องปฏิบัติการ

(2) กรณีผลการสอบเทียบแสดงว่ากราฟสำหรับปรับแก้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่เหมาะสมกับสภาพของการทำงาน เช่นระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเกินช่วงที่วัดในห้องปฏิบัติการ หรือคอนกรีตโครงสร้างจริงส่งผลให้การวัดขาดความแม่นยำ ให้สร้างกราฟสำหรับปรับแก้ขึ้นใหม่ตามวิธีดังต่อไปนี้

วิธี ก

เจาะที่ตำแหน่งของเหล็กตามความลึกที่แสดงจากเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ควรระมัดระวังไม่ให้เหล็กเสริมได้รับความเสียหายจากการเจาะมากเกินไป วัดระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมและผิวคอนกรีตของแต่ละตำแหน่งและเปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก และอาจสร้างกราฟสำหรับปรับแก้ค่าที่วัดได้ (Calibration Curve) ซึ่งนำไปใช้แปลผลที่วัดจากเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเป็นระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กจริง

วิธี ข

ตรวจปรับตามมาตรฐานดังแสดงในหัวข้อ 4 โดยใช้ประเภทของเหล็กเสริม และคอนกรีตเหมือนโครงสร้างจริงเพื่อสร้างกราฟสำหรับปรับแก้ค่าที่วัดได้เป็นค่าระยะหุ้มที่แท้จริง

5.4 วิธี ก เหมาะกับการวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กในโครงสร้างเก่า ในขณะที่ วิธี ข เหมาะสำหรับงานควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป

6. วิธีการใช้งานเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กหาตำแหน่งของเหล็กเสริม

6.1 หลังจากเตรียมเครื่องและสอบเทียบเพื่อสร้างกราฟปรับแก้ค่า (Calibration Curve)ให้นำหัววัดแนบกับผิวคอนกรีต และเคลื่อนที่บนผิวคอนกรีตในทิศทางที่ต้องการวัด ทิศทางการเคลื่อนหัววัดควรตั้งฉากกับแนวการวางตัวของเหล็กเสริม เนื่องจากเหล็กเสริมมีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อวางตัวผ่านแกนของขดลวดในหัววัด

6.2 กำหนดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กได้จากกราฟปรับแก้ค่ากรณีมีข้อมูลขนาดของเหล็ก

6.3 ในกรณีเหล็กเสริมมีการเรียงตัวกันไม่หนาแน่นเกินไป และระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กอยู่ในระยะที่เหมาะสม การตรวจวัดอาจให้ข้อมูลที่เพียงพอในตรวจสอบลักษณะเรียงตัวของเหล็กเสริมในคอนกรีต และอาจใช้ตรวจหาจุดที่เป็นรอยต่อระหว่างเหล็กเส้น (Laps)

6.4 กรณีที่เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กต้องอยู่ห่างจากผิวคอนกรีตเพื่อผลการวัดที่แม่นยำ เช่น กรณีคาดว่าระยะหุ้มคอนกรีตมีค่าน้อยมาก เป็นต้น ให้ใช้วัสดุที่ไม่รบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น แผ่นไม้ หรือ แผ่นพลาสติกที่มีความหนาเหมาะสม (ประมาณ 20 มิลลิเมตร) เพื่อรองหัววัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับค่าระยะหุ้มคอนกรีตที่ได้จากเครื่องวัดระยะคอนกรีตเสริมเหล็กกลับด้วยความหนาของวัสดุรองหัววัด

7. ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กด้วยวิธีการทางแม่เหล็กไฟฟ้านี้ อาจจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งส่งผลให้ความแม่นยำของการวัดน้อยลง ซึ่งปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ต้องได้รับการระมัดระวัง ตัวอย่างของปัจจัยดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

7.1 ประเภทของเหล็กเสริม: โดยปรกติกราฟปรับแก้ค่าใช้กับเหล็กเสริมได้บางประเภทเท่านั้น ประเภทของเหล็กเสริมมีผลต่อการตรวจสอบน้อยมาก ยกเว้นเหล็กเสริมประเภทพิเศษ เช่น เหล็กอัดแรงรับแรงดึงสูง (High Tensile Prestressing Bars) ซึ่งการตรวจวัดอาจมีความคลาดเคลื่อนสูงถึงร้อยละ 5 เมื่อมีวัสดุเหล่านี้ อยู่ในโครงสร้าง ให้สร้างกราฟปรับแก้ค่าเฉพาะสำหรับวัสดุนี้ก่อนตรวจสอบ

7.2 ขนาดหน้าตัดของเหล็กเสริม : โดยปรกติกราฟปรับแก้ค่าที่มากับเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กนั้นสามารถใช้ได้กับทั้งเหล็กกลมหรือเหล็กข้ออ้อย แต่ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กของเหล็กข้ออ้อยจะมีค่าเท่ากับค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่วัดได้ลบด้วยความสูงของบั้ง หรือคิรบ (Rib)

- 7.3 รูปร่างและทิศทางการวางตัวของเหล็กเสริม : การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กจะมีความแม่นยำต่อเมื่อเหล็กเสริมในโครงสร้างวางตัวเป็นแนวตรงและมีระยะห่างจากผิวคอนกรีตค่อนข้างคงที่
- 7.4 จำนวนของเหล็กเสริม : เหล็กเสริมที่อยู่ใกล้กันมากทำให้ผลการวัดไม่ตรงกับความจริง โดยเกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อมีเหล็กเสริมมากกว่า 1 เส้นในขอบเขตการวัดของหัววัด นอกจากนี้เครื่องวัดอาจไม่สามารถแยกเหล็กเสริมแต่ละเส้นออกจากกันได้หากระยะห่างระหว่างเหล็กเส้นแต่ละเส้นน้อยเกินไป
- 7.5 ลวดผูกเหล็ก : ลวดผูกเหล็กอาจทำให้ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีลวดผูกเหล็กอยู่ใกล้ผิวคอนกรีตมาก อย่างไรก็ตามผู้ใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพจะแยกผลกระทบจากวัสดุต่างๆ จากผลของเหล็กเสริมหลักได้
- 7.6 ประเภทของมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ : กรณีมวลรวมหรือซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตมีส่วนประกอบที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก รวมถึงวัสดุแต่งผิวคอนกรีตบางประเภท อาจส่งผลกระทบต่อผลตรวจวัดที่ไม่แม่นยำให้ตรวจสอบโดยอ่านค่าการวัดบริเวณ โครงสร้างที่ไม่มีเหล็กเสริม และสังเกตค่าเพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติทั่วไป (อย่างไรก็ตาม เครื่องมือบางรุ่นก็ไม่สามารถทำได้)
- 7.7 ลักษณะผิวของโครงสร้างคอนกรีตที่ตรวจสอบ : กรณีผิวโครงสร้างคอนกรีตไม่เรียบจะส่งผลให้ค่าการวัด ขึ้นอยู่กับระดับความขรุขระของผิวคอนกรีต
- 7.8 อุณหภูมิ : อุณหภูมิขณะใช้งานมีผลกระทบต่อหัววัดของเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กบางชนิด ควรมีการตั้งค่าเริ่มต้นเป็นระยะ และทำตามข้อแนะนำการใช้ในคู่มือเครื่องวัดระยะคอนกรีต
- 7.9 การเกิดสนิมของเหล็กเสริม : หากเหล็กเสริมเป็นสนิมมากจนเกินไปอาจทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน

8. การสรุปและการแปลความผลการทดสอบ

- 8.1 ผลการวัดระยะหุ้มเหล็กที่ตำแหน่งเดียวกันควรมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ ± 15 หรือ ± 5 มิลลิเมตร โดยในกรณีที่ความแตกต่างอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ใ้ค่าที่มากกว่าเมื่อระยะหุ้มเหล็กที่ต้องการวัดมีค่าไม่เกิน 100 มิลลิเมตร
- 8.2 หากผลการวัดได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อ 7 ทำให้ความแม่นยำในการวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กน้อยลง แต่สามารถใช้เครื่องมือวัดเพื่อค้นหาตำแหน่งเหล็กได้ และกรณีที่ความแม่นยำในการตรวจวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมลดลง ควรมีการเจาะสำรวจด้วยสว่านเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับระยะหุ้มเหล็กเสริมจริง เพื่อปรับแก้ไขในกรณีที่พบความคลาดเคลื่อน

9. เอกสารอ้างอิง

- 9.1** ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures – Reported by ACI Committee 228
- 9.2** BS 1881 - 201: 1986, Testing Concrete. Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete
- 9.3** BS 1881 - 204: 1988 Testing Concrete. Recommendations on the Use of Electromagnetic Covermeters

ภาคผนวก 1 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับการตรวจวัด

1. เครื่องตรวจวัดระยะหุ้มเหล็กของคอนกรีต (Cover Meter) เป็นเครื่องมือที่ใช้หาข้อมูลของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่ ตำแหน่งของเหล็กเสริม และ ระยะหุ้มเหล็กเสริม เป็นต้น โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีวัสดุนำไฟฟ้าเข้ามาครอบงวน
2. ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าและพฤติกรรมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นหลักการเบื้องต้นเพื่อความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดระยะหุ้มเหล็กของคอนกรีต (Cover Meter) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าคือการเปลี่ยนแปลงในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั้นซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์
3. เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กสามารถใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่อไปนี้
 - (1) ควบคุมคุณภาพของการก่อสร้างโดยใช้ตรวจสอบตำแหน่งของเหล็กภายหลังการก่อสร้าง
 - (2) ตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต ที่ไม่มีข้อมูลที่นำเชื่อถือเกี่ยวกับปริมาณเหล็กเสริมภายในโครงสร้าง
 - (3) ใช้หาข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นก่อน การทดสอบซึ่งต้องหลีกเลี่ยงตำแหน่งของเหล็กเสริม เช่น การเจาะเก็บตัวอย่าง หรือ การวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคในคอนกรีต เป็นต้น
 - (4) ตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุที่เป็นโลหะอื่นๆ เช่น ท่อเหล็ก หรือ สายไฟ เป็นต้น
4. เครื่องวัดระยะคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลักการตรวจวัด 2 รูปแบบหลัก ได้แก่ (1) หลักการกระแสวน (Eddy Current Effects) และ (2) หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic Induction Effect)
5. สำหรับเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่อาศัยหลักการกระแสวน ขดลวดภายในหัววัดจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสวน (Eddy Current) ในเหล็กเสริม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของหัววัด เครื่องมือระบบนี้จะมีความถี่สูงกว่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์ และไวต่อวัตถุนำไฟฟ้าทุกชนิดที่เข้าใกล้หัววัด นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเครื่องมือชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความนำไฟฟ้าของวัตถุ ซึ่งอาจมีความจำเป็นต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) เป็นพิเศษ
6. เครื่องวัดที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก มีความถี่ใช้งานต่ำกว่าเครื่องวัดระบบกระแสวน โดยความถี่ใช้งานต่ำกว่า 90 เฮิร์ตซ์ หัววัดประกอบด้วยขดลวดอย่างน้อย 2 ขด ขดแรกมีไฟฟ้ากระแสสลับทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กระหว่างขดลวดและเหล็กเสริม และขดลวดที่ 2 ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กชนิดนี้ไวต่อวัตถุที่มีความเป็นแม่เหล็กน้อยกว่าเครื่องวัดระบบกระแสวน จอแสดงผลอาจจะแสดงผลในรูปแบบของมาตรวัดแบบเข็มหรือแบบตัวเลข