

## เทคนิคการตรวจหาเหล็กเสริมในโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก

ดร.รักติพงษ์ สหมิตรมงคล<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC)

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT)

<sup>2</sup>ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)

### 1. ความจำเป็นของการตรวจสอบหาเหล็กเสริมในโครงสร้าง

ผู้ที่เคยดำเนินการตรวจสอบและบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมจะมีความเข้าใจดีว่าการตรวจสอบหาเหล็กเสริมในโครงสร้างนั้นถือเป็นขั้นตอนที่จำเป็นทั้งในการตรวจสอบ ซ่อมแซม หรือ ปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ยกตัวอย่างการตรวจสอบและปรับปรุงโครงสร้างที่ต้องเกี่ยวข้องกับการตรวจหาเหล็กเสริมในโครงสร้าง เช่น การตรวจสอบระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กและจำนวนเหล็กเสริมในโครงสร้างว่าตรงตามแบบหรือไม่ การเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต (Coring) เพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ การตรวจสอบการเกิดสนิมในเหล็กเสริมด้วย Half-cell รวมไปถึงการเตรียมการสำหรับเจาะพื้นหรือผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับการทำงานที่เปลี่ยนไป

การตรวจสอบเหล็กเสริมในโครงสร้าง อาจจะจำแนกได้เป็นการตรวจสอบหาตำแหน่งของเหล็กเสริม (Reinforcement Position) การวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก(Concrete

Cover) หรือ การวัดขนาดของเหล็กเสริมในโครงสร้างโดยที่ไม่อยากให้เกิดความเสียหายใดๆ ต่อโครงสร้าง บทความนี้จะเป็นการเรียบเรียงข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเทคนิคการตรวจหาเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตแบบต่างๆ ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้ทุกท่านมีความเข้าใจในกลไกการทำงานและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค

## 2. เทคนิคการตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมในโครงสร้าง

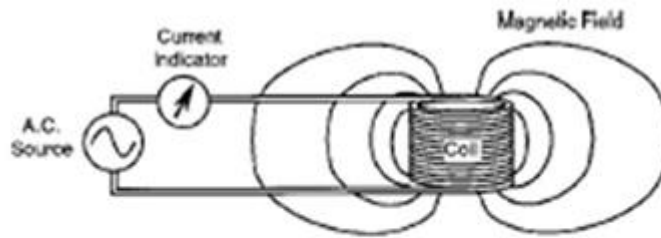
ในปัจจุบัน เราสามารถตรวจสอบหาเหล็กเสริมได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในโครงสร้างได้ด้วย 3 วิธีหลักๆ คือ การใช้เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Covermeter) การใช้คลื่นเรดาร์ (Ground Penetrating Radar) และ การฉายรังสีเอ็กซ์ (X-ray Radiography) ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

### 2.1 การใช้เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Covermeter)

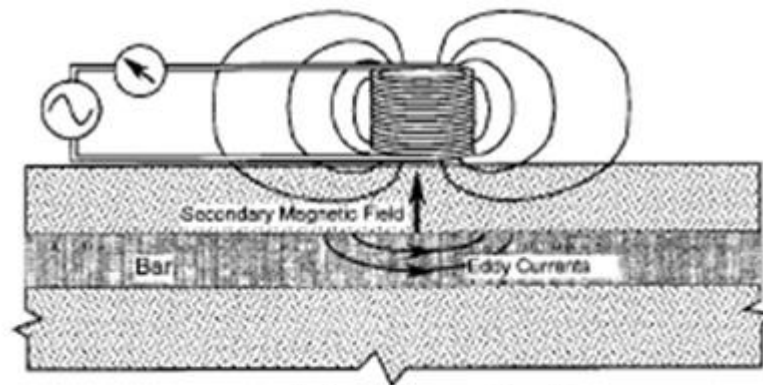
เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) โดยเครื่องแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันจะอาศัยหลักการของ Eddy Current ซึ่งอธิบายอย่างย่อได้ดังนี้คือ ในเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กจะมีขดลวดที่ต่อเข้าวงจรกับแหล่งไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

เมื่อ มีโลหะใดๆ เข้าใกล้วงจรดังกล่าว ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในโลหะนั้นๆ และจะส่งผลก่อควนให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าลัดวงจรบวกรวนไป ซึ่งเราสามารถจับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดแล้วตีความเป็นข้อมูลของโลหะที่เข้า มารบกววนสนามแม่เหล็ก เช่น ขนาดของโลหะ และระยะห่างจากขดลวดได้

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างเครื่องมือวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Covermeter) ที่เป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยส่วนตรวจวัด (Coil) และหน่วยประมวลผล



(ก) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโลหะบกรวน



(ข) การรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเหล็กเสริม

รูปที่ 1: ภาพแสดงระบบการทำงานของเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กแบบ Eddy Current [1]



(a) Ferroskan (Hilti) (b) Profometer (Proceq)

รูปที่ 2: ตัวอย่างเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

เราสามารถใช้งานเครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กไปหาตำแหน่งเหล็กเสริมได้ โดยนำ ส่วนตรวจวัดไปวางบนผิวโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการตรวจสอบซึ่งหน่วยประมวลผล จะทำการส่งเสียงเตือนทันทีที่พบโลหะอยู่ในโครงสร้าง ทั้งนี้หน่วยประมวลผลของเครื่องจะสามารถบอกขนาดและระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กโดย ประมาณได้ จากขั้นตอนที่ง่ายและไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนทำให้วิธีนี้เป็น ที่นิยมในการใช้ตรวจหาโลหะในโครงสร้างคอนกรีตมากที่สุด

นอกเหนือ ไปจากการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เรายังสามารถนำ เครื่องนี้ประเภทนี้ไปประยุกต์ใช้หาเศษโลหะในไม้ได้อีกด้วย (หมายเหตุ: เครื่อง มือแบบนี้ถูกใช้ในขั้นตอนการก่อสร้างเสาเชิงซ้ำครั้งล่าสุดเพื่อตรวจสอบดูว่ามี เศษโลหะอยู่ในเนื้อไม้ที่เลือกมาหรือไม่ ก่อนที่จะนำไม้ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว ไปประกอบเป็นเสาเชิงซ้ำ)

## 2.2 การใช้คลื่นเรดาร์ (Radar)

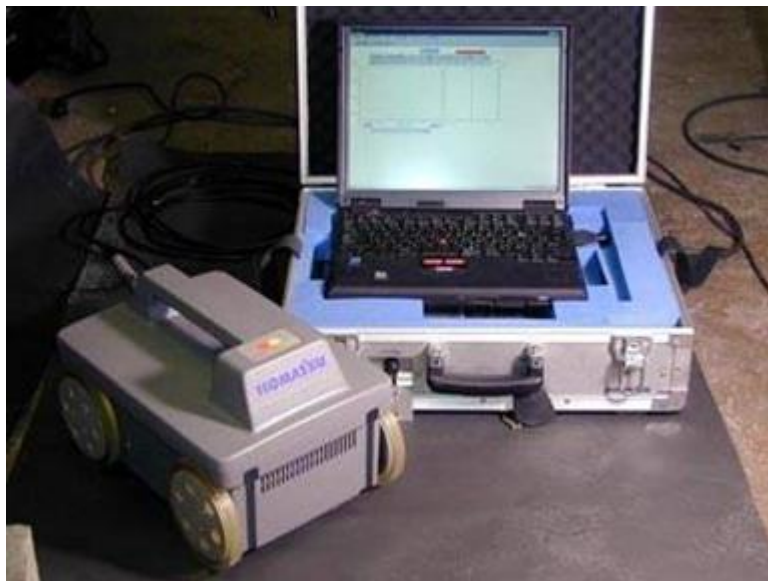
Radar เป็นคำย่อมาจาก Radio Detection and Ranging ซึ่งหมายถึงการใช้คลื่นวิทยุ (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 300 GHz) ในการตรวจหาวัตถุที่ต้องการ โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่และสะท้อนของคลื่นวิทยุ เมื่อเจอรอยต่อระหว่างวัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เครื่องมือตรวจสอบด้วยเรดาร์ที่ใช้ในงานโยธาปัจจุบันจะถูกเรียกว่า Ground Penetrating Radar (GPR) และมีส่วนประกอบหลักคือตัวรับส่งสัญญาณ (Antenna) และหน่วยประมวลผล (Processing Unit) ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3

จะสังเกตได้ว่าตัวรับส่งสัญญาณ (Antenna) จะมีล้ออยู่เพื่อช่วยในการเคลื่อนตัวรับส่งสัญญาณไปตามผิวโครงสร้างที่ต้องการ ตรวจสอบ และช่วยการวัดระยะทางของตัวรับส่งสัญญาณ จากจุดที่เริ่มต้นทำการวัด ขั้นตอนการตรวจหาเหล็กเสริมด้วยคลื่นเรดาร์เริ่มต้นด้วยการกำหนดจุดเริ่มต้น การตรวจสอบและเคลื่อนตัวรับส่งสัญญาณไปตามผิวโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งหน่วยประมวลผลจะทำการเก็บข้อมูลคลื่นเรดาร์ที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งและนำเสนอออกมาเป็นแผนภาพขาค่า ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่าง ผลการตรวจสอบ

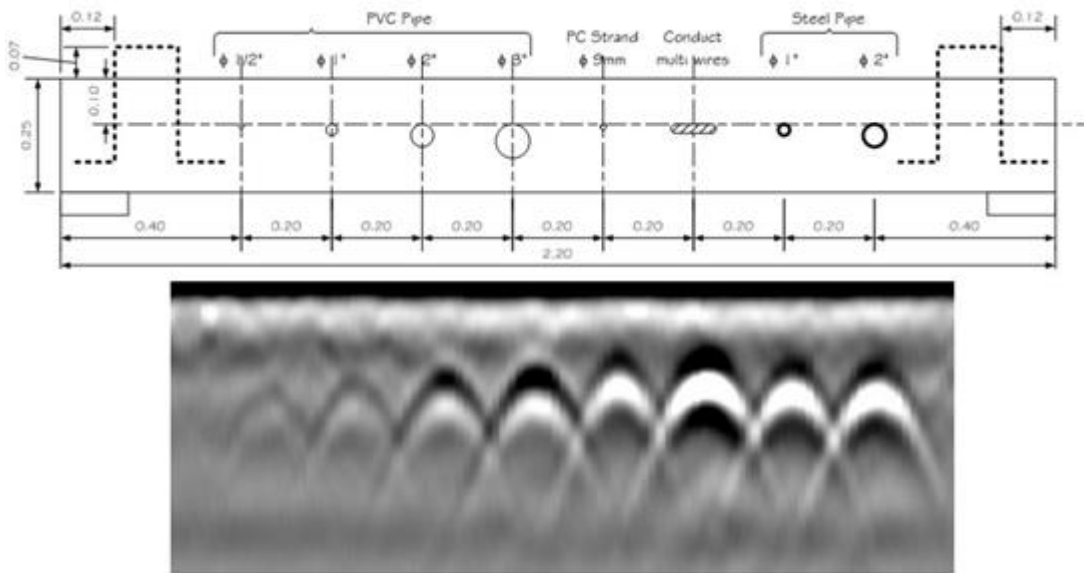


โครงสร้างที่มีเหล็กเสริม ท่อเหล็ก และท่อพีวีซีอยู่ภายในซึ่งจะสังเกตได้ว่าสัญญาณจะแสดงลักษณะโค้งและมีจุดยอด อยู่ที่ตำแหน่งของวัสดุแต่ละชนิด

จากตัวอย่างผลการวัดในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าการใช้คลื่นเรดาร์สามารถใช้ตรวจหาวัตถุหลายประเภท(ทั้งที่เป็น โลหะและไม่ใช้โลหะ) ในเวลาเดียวกัน โดยความชัดเจนของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งที่อยู่ภายใน และลักษณะของสัญญาณจะแตกต่างกันไปตามสิ่งที่อยู่ในโครงสร้าง โดยจะสังเกตได้ว่าสัญญาณที่วัดได้จากท่อPVC จะมีสีดำเป็นหลัก ในขณะที่สัญญาณที่วัดได้จากโลหะจะมีสีขาวเป็นหลัก



รูปที่ 3: ตัวอย่างเครื่อง GPR ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 4: ตัวอย่างผลการตรวจสอบตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมและท่อพีวีซีชนิดต่างๆ

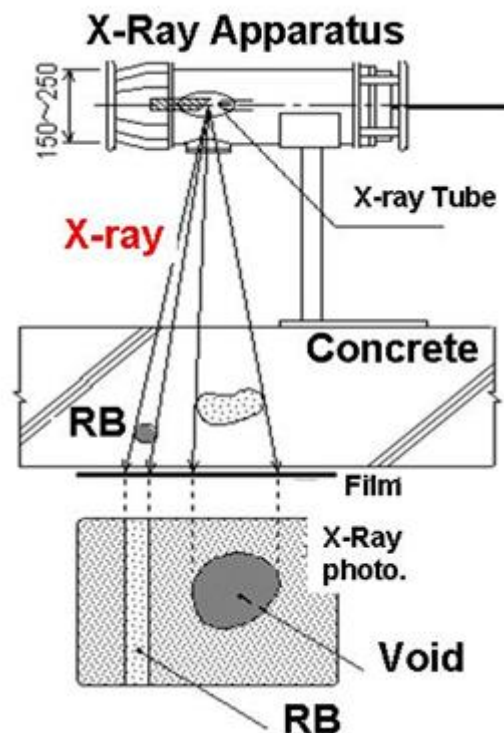
### 2.3 การฉายรังสีเอ็กซ์ (X-ray Radiography)

การฉายรังสีเอ็กซ์ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบหาเหล็กเสริมในโครงสร้างได้ โดยกลไกการทำงานนั้นเหมือนกับที่เราไปถ่ายฟิล์มเอ็กซเรย์ในโรงพยาบาลในการตรวจสอบสุขภาพ หรืออาจจะแสดงระบบออกมาได้ดังรูปที่ 5 ระบบการฉายรังสีเอ็กซ์จะประกอบด้วย เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (X-ray Tube) และฟิล์มที่จะอยู่ด้านตรงกันข้ามกับเครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (ดังแสดงในรูปที่ 5)

ขั้น ตอนการตรวจหาเหล็กเสริมด้วยการฉายรังสีเอ็กซ์จะเริ่มต้นจากการกำหนดจุดของโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบ หลังจากนั้นก็ทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์และฟิล์มให้อยู่คนละด้าน ของโครงสร้างเป้าหมายและทำการฉายรังสี หากส่วนของโครงสร้างที่ทำการตรวจสอบมีวัสดุอื่นๆภายใน เช่น ช่องว่าง (Void) หรือ เหล็กเสริม (Rebar) สืบบนฟิล์มก็จะแตกต่างกันไปตามวัสดุที่อยู่ในโครงสร้าง โดยสืบบนฟิล์มจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (Density) ที่

รังสีเอ็กซ์เคลื่อนที่ผ่าน โดยในกรณีของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สีนฟิล์มจะเป็นสีขาว หากเป็นเหล็กเสริม และเป็นสีดำหากเป็นช่องว่าง

จาก ระบบการวัดดังกล่าวข้างต้น เราจะเห็นได้ว่าการฉายรังสีเอ็กซ์นั้นสามารถนำไปใช้ตรวจหาได้ไม่เพียงแต่ เหล็กเสริมแต่ยังสามารถใช้หาช่องหรือท่อพลาสติกที่อยู่ในส่วนของโครงสร้าง ได้อีกด้วย จุดเด่นของการตรวจสอบด้วยการฉายรังสีเอ็กซ์ คือการแสดงทั้งรูปร่างและขนาด (Shape) ของจุดบกพร่องในขณะที่วิธีการอื่นนั้น จะบอกได้เพียงตำแหน่งและขนาดโดยประมาณเท่านั้น



รูปที่ 5: ระบบฉายรังสีเอ็กซ์ (X-ray Radiography System)

### 3. ข้อเด่น - ข้อด้อยของแต่ละเทคนิค

จากหลักการทำงานของเทคนิคการตรวจหาเหล็กเสริมทั้ง 3 แบบ จะเห็นได้ว่าเทคนิคแต่ละแบบนั้นมีข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งหากเปรียบเทียบเทคนิคทั้ง 3 แบบแล้วก็จะสามารถสรุปได้สั้นๆ ดังนี้คือ

การใช้เครื่องวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Covermeter) เป็นวิธีการที่ดำเนินการได้ง่ายและรวดเร็วที่สุด สามารถกำหนดตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมได้รวดเร็ว และประมาณขนาดของเหล็กเสริมและระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กได้ค่อนข้างแม่นยำ แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถตรวจหาเหล็กเสริมที่อยู่ห่างจากผิวเกินระยะสนาม แม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ โดยทั่วไประยะที่เครื่องสามารถตรวจสอบจะไม่เกิน 150 มิลลิเมตร นอกจากนี้ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมน้อยก็อาจจะให้ผลที่คลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดได้

การใช้คลื่นเรดาร์ (Radar) เป็นวิธีการที่มีระยะการตรวจสอบได้ในระดับ 0.5 ถึง 1 เมตร ซึ่งสามารถนำไปใช้ตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่เช่นเขื่อน ความสามารถในการตรวจหาวัตถุที่แตกต่างนอกเหนือจากโลหะก็คือเป็นข้อดีอีกข้อ หนึ่งแต่ก็อาจจะทำให้การตีความผลการตรวจสอบที่ได้ยากมากขึ้น ด้วยเหตุนี้บ่อยครั้งที่การตีความผลการตรวจสอบด้วย Radar จึงต้องอาศัยการตีความจากผู้ที่มีประสบการณ์ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดหลักข้อหนึ่ง

การฉายรังสีเอ็กซ์ (X-ray) เป็นวิธีที่มีความแม่นยำและละเอียดสูงสุดในเทคนิคทั้ง 3 แบบ ซึ่งศักยภาพของการฉายรังสีเอ็กซ์นั้นสามารถบ่งชี้ได้ว่าระยะทาบของเหล็กเสริมอยู่ที่ตำแหน่งใด หรือเหล็กเสริมมีการสูญเสียหน้าตัดเนื่องจากการเกิดสนิมไปอย่างมีนัยยะสำคัญหรือไม่ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยเทคนิคอื่น อย่างไรก็ตามรังสีเอ็กซ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตนั้นจะต้องมีความเข้มข้นมากกว่ารังสีเอ็กซ์ที่ใช้ในโรงพยาบาลเพราะว่าคอนกรีตและเหล็กเสริมนั้นมีความหนาแน่นมากกว่าร่างกายมนุษย์ ความเข้มข้นของรังสีเอ็กซ์ที่มากขึ้นนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ และระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการก็มากกว่าวิธีการอื่นๆ นอกจากนี้การที่จะต้องนำฟิล์มไปวางไว้อีกด้านหนึ่งของโครงสร้างก็จำกัดการ ใช้งานตรวจสอบโครงสร้างที่สามารถเข้าถึงได้เพียงด้านเดียว



	Radar	Elec.	X-Ray
Applicable Depth	○	△	◎
Size of Rebar	△	◎	◎
2-D Measurement	△	◎	◎
Multi-layers	△	○	◎
Rebar's Corrosion	△	△	◎
Void Detection	○	△	◎
Concrete Inspection	◎	△	○
Moisture Disturbance	◎	△	△
Wide Area Scan	◎	◎	△
Ease to Handle	◎	◎	△
Safety	◎	◎	△

△ : Low    ○ : Medium    ◎ : High

รูปที่ 6: ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆของเทคนิคการตรวจหาเหล็กเสริมทั้ง 3 วิธี

ผู้เขียนพยายามสรุปและเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อด้อยของทั้งสามวิธีในด้านต่างๆ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจได้สะดวกมากยิ่งขึ้นในรูปที่ 6 ซึ่งผู้เขียนหวังว่าผู้อ่านจะมีความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการตรวจหาเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตแบบต่างๆ ได้ดีขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

[1] ACI228.2R-98, Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structure