# การออกแบบหัวตรวจสอบการกัดกร่อนภายใต้ผิวหุ้มปิดด้วยวิธีกระแสไหลวน

กิตตินันท์ สดใส ่ใหม่ น้อยพิทักษ์<sup>2\*</sup> วิบุญ ตั้งวโรคมนุกูล ่และ ไชยา ดำกำ<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

การใช้ฉนวนหุ้มผิวท่อเป็นวิธีป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนของสสารที่อยู่ภายในท่อ ซึ่งการกัด กร่อนมีโอกาสเกิดขึ้นภายใต้ผิวหุ้มปิด จึงได้มีการออกแบบวิธีการตรวจสอบการกัดกร่อนบนผิวโลหะภายนอกท่อโดย ไม่ทำลายผิวหุ้มปิดโดยการประชุกต์ใช้การทดสอบโดยไม่ทำลายด้วยกระแสไหลวน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่นำมาใช้ในการทดสอบโดยออกแบบและสร้างหัวตรวจสอบทั้งหมด 2 แบบ ได้แก่ หัว ตรวจสอบแบบแกนเหลีกรูปตัวซี และหัวตรวจสอบแบบแกนเหลีกขดลวดแยกกระดุ้นในแกนเดียว แล้วทำการ ตรวจสอบชิ้นงานที่ออกแบบให้มีรอยกัดกร่อนจำลองแบบสม่ำเสมอที่ความถี่ตั้งแต่ 300 - 1000 เฮิรตซ์ ใช้เครื่องกำเนิด สัญญาณทางไฟฟ้าจ่ายสัญญาณไฟฟ้า และใช้ออสซิลโลสโคปเป็นอุปกรณ์แสดงผล จากการทดลองพบว่า หัว ตรวจสอบแบบแกนเหลีกขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกัน สามารถตรวจสอบรอยกัดกร่อนจำลองได้อย่างมี ประสิทธิภาพมากกว่าหัวตรวจสอบแบบแกนเหลีกรูปตัวซี ซึ่งสามารถตรวจสอบรอยกัดกร่อนจำลองที่มีขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 มิลลิเมตร เป็นค้นไป ความลึก 1 - 6 มิลลิเมตร

<mark>ี คำสำคัญ :</mark> กระแสไหลวน, ฉนวนหุ้มผิว, ขคลวดแยกกระตุ้น, การทดสอบโดยไม่ทำลาย

<sup>้</sup> <sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทค โน โลยีพระจอมเกล้าชนบุรี

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> หน่วยวิจัยวัสดุและการทคสอบโดยไม่ทำลาย, ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>\*</sup>ผู้ติดต่อ, อีเมล์: mai.noi@kmutt.ac.th รับเมื่อ 27 กันยายน 2560 ตอบรับเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2561

# Probe Designing for Corrosion Inspection under Insulated Surface by Using Eddy Current Method

Kittinan Sodsai<sup>1</sup> Mai Noipitak<sup>2\*</sup> Viboon Tangwarodomnukun<sup>1</sup> and Chaiya Dumkum<sup>1</sup>

#### Abstract

Insulation has mostly been used for preventing heat loss of substance in metal pipeline and later introduces corrosion at the metal-insulation interface. An inspection system is designed to detect the corrosion under the insulation on the outside of pipe wall based on a nondestructive testing associated with the eddy current technique. This research was to design and develop prototype devices suitably used for testing. Detecting probes designed and manufactured were of two types. C iron core probe and pick up coil iron core probe. Flat specimen with localized uniform corrosions was machined and inspected. The signal frequency of 300 - 1000 Hz induced by a function generator was applied to detect the corrosion, and the results were demonstrated by an oscilloscope. The experimental results revealed that the pick up coil iron core probe can detect corrosion effectively more than C iron core probe and the diameter of uniform corrosion detected was equal or greater than 6 millimeters. Depth of uniform corrosion of 1 - 6 millimeters at 300 to 400 Hz frequency can be detected, and the method can also detect through the color coating and insulation with the total thickness of less than 3 millimeters.

Keyword : Eddy current, Insulation, Pick up coil, Nondestructive testing

Department of Production Engineering, Faculty of Engineer, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Materials and Nondestructive Testing Laboratory, Ratchaburi Learning Park, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Corresponding author, E-mail: mai.noi@kmutt.ac.th Received 27 September 2017, Accepted 22 February 2018

นิธิและวรรณภพ [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างหัว ตรวจสอบกระแสใหลวน โดยเลือกทำการทดลองสร้าง หัวตรวจสอบแบบพื้นผิว (Surface Transducer) ใช้แกน ขดลวดเป็นแกนพลาสติกเพื่อลดอิทธิพลจากแกน ขดลวด อย่างไรก็ตามหัวตรวจสอบที่สร้างขึ้นนี้กลับยาก ต่อการควบคุมค่าอินดักแตนซ์ เนื่องจากใช้ขคลวดที่พัน จากมือ จากการทดสอบของ Ivan C. Silva [10] ทำให้ ทราบว่าการจ่ายสัญญาณในรูปแบบพัลส์สามารถ ตรวงสอบลึกลงใต้ผิววัสดุได้มากกว่าการง่ายสัญญาณ ในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ในงานวิจัยนี้ได้แสดงผลการ ตรวจสอบความลึกของรูที่ถูกหุ้มด้วยฉนวนหนา มิลลิเมตร และสามารถแยกแยะความลึกที่ระดับ 30 2 4 และ 6 มิลลิเมตร ได้อย่างชัดเจน จากนั้น S.Lai [11] ได้นำเสนอการออกแบบหัวตรวจสอบในการตรวจสอบ ชิ้นงานที่มีการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอและแบบรูเข็ม สามารถตรวจพบรอยกัดกร่อนได้ที่ความลึก 10 % ของ ความหนาผนังท่อภายใต้ฉนวนหุ้ม เมื่อทำการทดสอบ ท่อที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร และมีความหนาฉนวน 110 มิลลิเมตร พบว่า มีความแม่นยำในการทดสอบรอย กัดกร่อนที่จำลองขึ้น และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ ไทยที่ประยุกต์ใช้การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน ใน การตรวจสอบการกัดกร่อนภายใต้ฉนวนกันความร้อน หรือผิวหุ้มปิดเช่นกัน โดยนำเสนอโครงสร้างทางกล ของเครื่องมือที่สามารถใช้ในการตรวจสอบงานท่อใน อุตสาหกรรม วงจรสัญญาณไฟฟ้า และการแสคงผล สามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีการสูญเสียเนื้อโลหะลึก 40% ของกวามหนาชิ้นงานทุดสอบ 6 มิลลิเมตร ด้วย ความเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที ผ่านสารเคลือบผิวหนา 4 มิลลิเมตร และตรวจวัคชิ้นงานที่มีความหนาสูงสุด 20 มิถลิเมตร [12]

#### 1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โรงงานาิโตรเคมี โรงงานน้ำตาล หรือโรงงานผลิตเอทา บคล เป็นต้น บิยมใช้ท่อเหล็กกล้าใบระบบการขนส่ง สสารที่มีความร้อบ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต แต่ถ้าไม่มีฉนวนหุ้มท่อขนส่ง มักมีการสูญเสียพลังงาน ความร้อน (Heat Loss) โดยไม่เกิดประโยชน์ ส่งผลให้ กำลังการผลิตลดลงและมีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น จึง นิยมใช้ฉนวนหุ้มผิวภายนอกท่อเพื่อป้องกันการสูญเสีย พลังงานความร้อน แต่ในการป้องกันด้วยวิธีนี้ อาจเกิด การกัดกร่อนที่ผิวท่อ [1] เนื่องจากการทำปฏิกิริยา ระหว่างผิวโลหะกับชั้นฉนวนห้ม การกัดกร่อนประเภท ้นี้มักเรียกว่า การกัดกร่อนภายใต้ฉนวนกันความร้อน หรือภายใต้ผิวหุ้มปิด (Corrosion Under Insulation: CUI) [2-4] เพื่อป้องกันการกัดกร่อน วิธีที่นำมา ประยุกต์ใช้มากในอุตสาหกรรมคือ การเคลือบผิว [5-6] ซึ่งสามารถป้องกับการกัดกร่อบที่เกิดจากผิวภายบอก ของท่อเหล็กกล้าได้ใบระดับหนึ่ง แต่ยังองสามารถเกิด การกัดกร่อนภายใต้การเคลืองเผิวนี้ได้เช่นกัน

การตรวจสอบการกัดกร่อนภายใต้ฉนวนกันความ ร้อนหรือผิวหุ้มปิดจำเป็นต้องอาศัยความรู้ ความชำนาญ ของผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์หาบริเวณที่มีความน่าจะ เป็นในการเกิดการกัดกร่อน อย่างไรก็ตามการเข้าถึง ผิวชิ้นงานภายใต้ผิวหุ้มปิดเพื่อตรวจสอบมีก่าใช้จ่ายสูง ในการเปิดผิวหุ้มปิด และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความ เสียหาย [7] ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้การ ทดสอบโดยไม่ทำลายมาใช้ในการตรวจสอบการกัด กร่อนภายใต้ผิวหุ้มปิด เช่น การทดสอบโดยวิธีกระแส ไหลวน [8]

และสามารถคำนวณก่าความเหนี่ยวนำของหัวตรวจสอบ ได้เท่ากับ 2.61 ไมโครเฮนรี่ ตามสมการที่ (1) [14]

$$L = \frac{\mu_0 \mu_R A N^2}{l} \tag{1}$$

เมื่อ L ค่าอินดักแตนซ์ (Inductance) ( เฮนรี่)

- N จำนวนรอบของขดลวด
- *l* ความยาวของแกนขคลวด (เมตร)
- A พื้นที่หน้าตัดของแกน (ตารางเมตร)
- μ<sub>0</sub> ค่าความซึมซาบของฟลักซ์แม่เหล็กใน อากาศ (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)
- μ<sub>R</sub> ค่าความซึมซาบของฟลักซ์สัมพัทธ์ในวัสดุ
  (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)

จากนั้นใช้ค่าความเหนี่ยวนำ 2.61 ไมโครเฮนรี่ ใน การออกแบบหัวตรวจสอบ กำหนดให้หัวตรวจสอบที่ 1 วัสดุแกนที่ใช้เป็นเหล็กเรียงซ้อนทับกันโดยใช้แกน EI เหล็กซิลิคอน เกรด EI-41 ที่ใช้ในการสร้างหม้อแปลง ไฟฟ้า ตัดส่วนกลางของแกนเหล็กออก ให้มีลักษณะ รูปร่างของแกนเป็นรูปตัวซีทั้งนี้เพื่อให้ระยะทางการ ใหลของฟลักซ์ใบอากาศลดลง บีคาาบกว้างขาตัาซี 27 มิลลิเมตร ความยาว 41 มิลลิเมตรและความหบา 6 มิถลิเมตร พันด้วยถวดทองแดง AWG B&S Gauge No.32 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 ซึ่งการคำนวณ จำนวนรอบในการพันขดลวด ใช้ค่าความต้านแม่เหล็ก ในการคำนวณ แบ่งออกเป็นค่าความต้านทานแม่เหล็ก ในอากาศและค่าความต้านทานแม่เหล็กในแกน ซึ่ง คำนวณใด้ตามสมการที่ (2) และ (3) [14] สามารถ คำนวณจำนวนรอบในการพันขดลวดได้ตามสมการ ที่ (4) [14] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 810 รอบ

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการ ตรวจสอบการกัดกร่อนภายใต้ผิวหุ้มปิด ด้วยวิธีกระแส ใหลวน พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ยังไม่ได้นำเสนอถึง กระบวนการสร้างหัวตรวจสอบ หรือการจำลองชิ้นงาน สภาพเสมือนการกัดกร่อนภายใต้ผิวหุ้มปิดเพื่อนำมา ทดลองตรวจสอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการ ออกแบบและสร้างหัวตรวจสอบกระแสไหลวน ซึ่งเป็น อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบ ให้สามารถใช้กับ อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบ ให้สามารถใช้กับ อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ เป็นแนวทางในการพัฒนาหัวตรวจสอบต่อไป ประโยชน์ของงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางใน การสร้างอุปกรณ์ในการตรวจสอบการกัดกร่อน ภายใด้ ผิวหุ้มปิดด้วยวิธีกระแสไหลวนได้เหมาะสมกับทุก ภากอุตสาหกรรม

### 2. วัสดุและวิชีการวิจัย

### 2.1 การออกแบบและสร้างหัวตรวจสอบ

การตรวจสอบการกัดกร่อนที่ผิวชิ้นงานภายใต้ผิว หุ้มปิดเป็นการศึกษาการสร้างหัวตรวจสอบพื้นผิว ประเภทขดลวดแยกกระตุ้น เนื่องจากสามารถเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าลงไปได้ลึกกว่าขดลวดประเภทอื่นๆ [13] ออกแบบหัวตรวจสอบทั้งหมด 2 แบบ โดยใช้ทฤษฎี แม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ในการ ออกแบบ

การออกแบบหัวตรวจสอบของงานวิจัยนี้ ได้ใช้ก่า ความเหนี่ยวนำในการออกแบบ อ้างอิงจากงานวิจัยของ กัญญาลักษณ์ [12] ซึ่งได้ออกแบบหัวตรวจสอบโดยใช้ แกนที่ทำจากวัสดุที่เป็นเฟอร์ไรท์ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร พันด้วยลวดทองแดง AWG B&S Gauge No.32 รอบแกนเฟอร์ไรท์ จำนวน 1000 รอบ

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} \tag{2}$$

$$R_c = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_R A_c} \tag{3}$$

$$N = \sqrt{LR} \tag{4}$$

- เมื่อ R<sub>g</sub> ความต้านทานแม่เหล็กของอากาศ (แอมแปร์ต่อเวเบอร์)
  - l ระยะห่างระหว่างแกนรับแกนส่ง (เมตร)
  - A พื้นที่หน้าตัดอากาศ (ตารางเมตร)
  - *R* ความด้านทานแม่เหล็กของแกนเหล็ก
    (แอมแปร์ต่อเวเบอร์)
  - *l<sub>c</sub>* ระยะห่างระหว่างแกนรับแกนส่ง
  - A\_ พื้นที่หน้าตัดอากาศ (ตารางเมตร)
  - R ผลรวมของความต้านทานแม่เหล็กใน
    อากาศและแกน (แอมแปร์ต่อเวเบอร์)

การออกแบบหัวตรวจสอบที่ 2 ออกแบบขคลวด ทดสอบแบบแขกกระตุ้นที่มีทั้งขคลวดรับและ ขดลวดส่งภายในแกนเดียวกัน ใช้แกนเหล็กแผ่นเรียง ซ้อนทับกัน มีความกว้าง 6 มิลลิเมตร ความยาว 41 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร รายละเอียด แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวนจำนวนรอบใน การพันขดลวดตามสมการที่ (5) [14] ใด้เท่ากับ 586 รอบ

$$N = \sqrt{\frac{Ll}{\mu_0 \mu_R A}} \tag{5}$$



### ตารางที่ 1 ลักษณะของหัวตรวจสอบ

### 2.2 การออกแบบและสร้างชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทคสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชิ้นงานที่สร้าง รอยกัดกร่อนจำลอง (Artificial Corrosion : ACorr) มี ทั้งหมค 3 แบบ มีรายละเอียคดังนี้

### 2.2.1 ชิ้นงานทดสอบแบบที่ 1

การออกแบบและสร้างชิ้นงานทคสอบ เป็นการ ออกแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของลักษณะแกนหัว ตรวจสอบ ชิ้นงานทคสอบแบ่งออกเป็น 3 ชิ้น ได้แก่ ชิ้นงานทคสอบที่ไม่มีรอยกัดกร่อนจำนวน 1 ชิ้น และ ชิ้นงานทคสอบที่มีรอยกัดกร่อนจำลองจำนวน 2 ชิ้น

ในการสร้างชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลอง ใช้ วิธีการกัดชิ้นงาน (Milling) โดยออกแบบรอยกัดกร่อน จำลองให้มีลักษณะเป็นการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform Corrosion) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณ ที่วัดได้จากชิ้นงานที่ไม่มีรอยกัดกร่อนและมีรอยกัด กร่อน ใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนขนาดกวามหนา 10 มิลลิเมตร กวามกว้าง 60 มิลลิเมตร และกวามยาว 70 มิลลิเมตร กัดเนื้องานออกบางส่วน และให้มีความลึก ของรอยกัดกร่อนเท่ากันทั้งระนาบ ดังรูปที่ 1 บทความวิจัย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2561 The Journal of Industrial Technology, Vol. 14, No. 2 May – August 2018

> รอยกัดกร่อนจำลอง เส้นผ่านสูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร มี ความลึกขนาด 1 2 3 4 5 และ 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3



**รูปที่ 3** รอยกัดกร่อนจำลองลึก 1 และ 2 มิลลิเมตร

### 2.3 การตรวจสอบชิ้นงาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทคลอง ได้แก่ เครื่องกำเนิด สัญญาณไฟฟ้า รุ่น Glentest CA1645P ออสซิลโลสโคป รุ่น SIGLENT SDS1152CM และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากเครื่องกำเนิคสัญญาณทาง ไฟฟ้า และขยายสัญญาณจากหัวตรวจสอบ

ในการทดสอบได้ปล่อยสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่อง กำเนิดสัญญาณผ่านวงจรขยาย เข้าสู่หัวตรวจสอบใน รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) เนื่องจากข้อจำกัดของ ตัวจ่ายสัญญาณทางไฟฟ้า ที่มีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้า 2 แบบ ได้แก่ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ใช้แรงคันไฟฟ้าป้อนเข้า 1 โวลต์ ซึ่งชุดอุปกรณ์ ขยายสัญญาณทางไฟฟ้าสามารถรับแรงคันไฟฟ้าได้ไม่ เกิน 1 โวลต์ และทดสอบที่ความถี่ 300 – 1000 เฮิรตซ์ เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อ หัวตรวจสอบ จากนั้นสแกนหัวตรวจสอบให้ทั่วชิ้นงาน เพื่อค้นหารอยกัดกร่อนจำลองที่ถูกซ้อนทับด้วย แผ่นอะกรีลิกแทนชั้นความหนาฉนวน โดยการ

วิเคราะห์ก่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 4



ร**ูปที่ 1** รอยกัดกร่อนจำลองลึก 5 มิลลิเมตร

## 2.2.2 ชิ้นงานทดสอบแบบที่ 2

การออกแบบและสร้างชิ้นงานทคสอบ แบบที่ 2 เป็นการออกแบบชิ้นงานเพื่อศึกษาความไวของหัว ตรวจสอบ ซึ่งมีรอยกัดกร่อนจำลองเป็นพื้นที่หน้าตัด วงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 4 6 และ 8 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีความลึก 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รอยกัดกร่อนจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 และ 8 มิลลิเมตร

## 2.2.3 ชิ้นงานทดสอบแบบที่ 3

การออกแบบและสร้างชิ้นงานรอยกัดกร่อนจำลองนี้ เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถของหัวตรวจสอบ ใน การใช้หัวตรวจสอบ ตรวจสอบความลึกของรอยกัด กร่อนจำลอง โดยทดสอบผ่านความหนาแผ่นอะครีลิก แทนชั้นความหนาของฉนวน ซึ่งมีความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ออกแบบชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบที่มี วารสารวิชาการเทคโนโลยีอตสาหกรรม ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2561 The Journal of Industrial Technology, Vol. 14, No. 2 May - August 2018

> และมีรอยกัดกร่อนจำลอง ชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อน จำลองลึก 2 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อน ้ จำลองลึก 5 มิลลิเมตร โดยไม่มีแผ่นอะครีลิคแทนชั้นสี เคลือบนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ามี แนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อความถี่ป้อนเข้ามีค่ามากขึ้น ความลึกในการซึมซาบของกระแสไหลวนน้อยลง จึง ส่งผลให้แรงคันไฟฟ้าลคลง [13] แต่ยังไม่สามารถ แยกแยะความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากค่าของ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขดลวดรับ มีค่าแตกต่างกันน้อย มาก ทำให้ไม่สามารถแยกผลต่างของค่าแรงคันไฟฟ้าที่ วัคได้ ในขณะที่ชิ้นงานตรวจสอบรอยกัดกร่อนจำลองมี ำนาดของความลึกที่ต่างกัน จึงยังไม่เหมาะสมในการนำ หัวตรวจสอบรูปตัวซี มาใช้ในการตรวจสอบ





รูปที่ 5 แรงคันไฟฟ้าที่งคลวครับงองหัวตรวจสอบแกน เหล็กรูปตัวซึ

เมื่อวิเคราะห์ค่าแรงคันไฟฟ้าในรูปที่ 6 พบว่า เมื่อนำ หัวตรวจสอบที่ 2 ตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่มีรอยกัดกร่อน



รูปที่ 4 ระบบต้นแบบการตรวจสอบการกัดกร่อนภายใต้ ผิวหุ้มปิด

ซึ่งการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การทดสอบ ลักษณะแกนของหัวตรวจสอบ การทคสอบความไวของ หัวตรวจสอบ การทคสอบความลึกของรอยกัคกร่อน ้จำลองที่สามารถตรวจสอบได้ และการทคสอบ ตรวจสอบผ่านแผ่นอะครีลิคแทนชั้นความหนาฉนวน

#### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 ผลกระทบของลักษณะแกนของหัวตรวจสอบ

จากการออกแบบหัวตรวจสอบทั้ง 2 แบบ และ เปรียบเทียบผลการตรวจสอบชิ้นงานระหว่างหัว ตรวจสอบที่ 1 แกนเหล็กรูปตัวซี และหัวตรวจสอบแบบ ที่ 2 แกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกัน เพื่อให้ได้หัวตรวจสอบที่มีความเหมาะสม

เมื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 5 พบว่า เมื่อนำ หัวตรวจสอบที่ 1 ตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่มีรอยกัคกร่อน

### 3.2 ผลการทดสอบความใวของหัวตรวจสอบ

จากการศึกษาผลกระทบของลักษณะหัวตรวจสอบ พบว่า หัวตรวจสอบแกนเหล็กขคลวดแยกกระตุ้นใน แกนเดียวกันมีประสิทธิภาพดีกว่า เนื่องจากผลการ ตรวจสอบมีผลต่างของก่าแรงคันไฟฟ้าในแต่ละความ ลึกของรอยกัดกร่อนจำลองได้อย่างชัดเจน จึงนำมา ทดสอบความไวของหัวตรวจสอบด้วยการตรวจสอบ ชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 246 และ 8 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 7 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลอง ขนาดต่างกัน ก่าของแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มที่ลดลง โดยสามารถเห็นถึงกวามแตกต่างได้อย่างชัดเจน ที่รอย กัดกร่อนจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 และ 8 มิลลิเมตร ผลที่ได้กือ หัวตรวจสอบแกนเหล็กขดลวด แยกกระตุ้นในแกนเดียวกัน มีกวามสามารถในการ ตรวจสอบรอยกัดกร่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 6 มิลลิเมตรขึ้นไป

### 3.3 ผลทดสอบความลึกของรอยกัดกร่อนที่สามารถ ตรวจสอบได้

จากการทคสอบความไวของหัวตรวจสอบ พบว่า หัวตรวจสอบแกนเหล็กขคลวคแยกกระตุ้นในแกน เดียวกัน สามารถตรวจสอบรอยกัคกร่อนที่มีขนาดเส้น ผ่านสูนย์กลางตั้งแต่ 6 มิลลิเมตรขึ้นไปได้ จึงออกแบบ รอยกัคกร่อนที่มีขนาค 8 มิลลิเมตร ให้มีความลึกตั้งแต่ 1 – 6 มิลลิเมตร เพื่อทคสอบความสามารถหัวตรวจสอบ ในการตรวจสอบรอยกัดกร่อนที่มีความลึกต่างกัน

และมีรอยกัดกร่อนจำลอง ซึ่งชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อน จำลองลึก 1 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อน จำลองลึก 5 มิลลิเมตร โดยไม่มีแผ่นอะครีลิกแทนชั้นสี เกลือบ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบพบว่า ก่าแรงดันไฟฟ้า มีแนวโน้มลดลง กล่าวคือเมื่อความถี่ป้อนเข้ามีก่ามาก ขึ้น ความลึกในการซึมซาบของกระแสไหลวนน้อยลง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลง [13] และก่าแรงดันไฟฟ้า แสดงผลความแตกต่างของขนาดรอยการกัดกร่อน จำลองแต่ละรอยได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการสูญเสีย ของฟลักซ์แม่เหล็กในอากาสลดลงเมื่อเทียบกับหัว ตรวจสอบที่ 1 แสดงว่า หัวตรวจสอบที่ 2 แกนเหล็ก ขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกันมีความเหมาะสมใน การตรวจสอบ เพราะว่าสามารถจำแนกความแตกต่างใน การตรวจสอบขึ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองและไม่มี รอยกัดกร่อนได้อย่างชัดเจน









เมื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 8 พบว่า ที่ความถี่ 300 – 400 เฮิรตซ์ มีผลต่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างการ ตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองและชิ้นงานที่ ไม่มีรอยกัดกร่อนมากที่สุด ดังนั้น หัวตรวจสอบขดลวด แยกกระตุ้นในแกนเดียว สามารถตรวจสอบรอยกัด กร่อนจำลองที่มีความลึก 1 – 6 มิลลิเมตร และที่ความถี่ 400 เฮิรตซ์

### 3.4 ผลการตรวจสอบผ่านชั้นความหนาฉนวน

จากผลการทคสอบความลึกของรอยกัคกร่อนจำลอง ที่สามารถตรวจสอบได้พบว่า ผลต่างแรงคันไฟฟ้ามีก่า มากที่สุดในการตรวจสอบที่กวามถี่ 300 – 400 เฮิรตซ์ จึงใช้กวามถี่นี้ในการตรวจสอบผ่านชั้นกวามหนาฉนวน

### โดยใช้แผ่นอะครีลิคหนา 1 มิลลิเมตรแทนชั้นสีเคลือบ และชั้นฉนวน



#### Frequency (Hz)

ร**ูปที่ 8** แรงดันไฟฟ้าของหัวตรวจสอบขคลวดแยก กระตุ้นในแกนเดียว ตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อน จำลองลึกต่างกันโดยไม่มีชั้นสีเคลือบและชั้นฉนวน

จากค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 9 พบว่า ชั้นฉนวนและ ชั้นสึเกลือบที่แทนด้วยแผ่นอะครีลิกหนา 3 มิลลิเมตร รอยกัดกร่อนจำลองลึก 2 มิลลิเมตร เห็นความแตกต่าง ของแรงดันไฟฟ้ามากที่สุด และเมื่อเพิ่มความหนาชั้น ฉนวนมาก ขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ วัด ได้ไม่มี ความสัมพันธ์กับชั้นความหนาฉนวนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กไหลผ่านไปยังชิ้นงานได้น้อยลง ดังนั้น การตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนภายใต้ผิว เกลือบที่มีชั้นฉนวนสามารถตรวจสอบผ่านความหนา ได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร



ร**ูปที่ 9** แรงคันไฟฟ้าที่วัคก่าได้ของหัวตรวจสอบแบบขคลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียว ในการตรวจสอบชิ้นงานที่มี กวามลึกแตกต่างกันที่ความถี่ 300 และ 400 เฮิรตซ์ (ก) ชั้นสีเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร (ข) ชั้นสีเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร และชั้นฉนวนหนา 1 มิลลิเมตร (ค) ชั้นสีเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร และชั้นฉนวนหนา 2 มิลลิเมตร และ (ง) ชั้นสีเคลือบ หนา 1 มิลลิเมตร และชั้นฉนวนหนา 3 มิลลิเมตร

### 4. สรุปผล

หัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กขคลวดแยกกระตุ้นใน แกนเดียวกันที่ออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ มี กวามเหมาะสมในการตรวจสอบรอยกัดกร่อนจำลอง มากกว่าหัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กรูปตัวซี โดย สามารถแยกแยะชิ้นงานมีรอยกัดกร่อนจำลองได้ และ สามารถตรวจสอบรอยกัดกร่อนจำลองที่มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางมากกว่า 6 มิลลิเมตร มีชั้นสีเคลือบและชั้น ฉนวนที่แทนด้วยแผ่นอะครีลิกหนารวมกันไม่เกิน 3 มิลลิเมตร แต่ไม่สามารถแขกแขะรอขกัดกร่อนจำลอง ที่ความลึก 1 – 6 มิลลิเมตรได้

### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวณภัทร อักกีเดช นายอนุสรณ์ แข้มสำรวล นายทองใส ช่วยชู ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการและภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้การ สนับสนุนการเก็บข้อมูล และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- E.Chen and C.K.Y. Leung, "Finite element modeling of concrete cover cracking due to nonuniform steel corrosion", Engineering Fracture Mechanics 134, 2015, pp. 61-78.
- [2] S. Caines, F. Khan, J. Shirokoff and W. Qiu, "Experimental design to study corrosion under insulation in harsh marine environments", Journal of Loss Prevention in the Process Industries 33, 2015, pp. 39-51.
- [3] W.Geary, "Analysis of a corrosion under insulation failure in a carbon steel refinery hydrocarbon line", Case Studies in Engineering Failure Analysis 1, 2013, pp. 249-256.
- [4] S. Caines, F. Khan and J. Shirokoff, "Analysis of pitting corrosion on steel under insulation in marine environments", Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26, 2013, pp. 1466-1483.
- [5] M. Echeverria, C.M. Abreu, K. Lau and C.A. Echeverria, "Viability of epoxy-siloxane hybrid coating for preventing steel corrosion", Progress in Organic Coatings 92, 2016, pp. 29-43.
- [6] J. Jiao, L. Qiang, W. Xianshun, Y. Wang and J. Shen, "Influence of sealing treatment on the corrosion resistance of Fe-based amorphous coatings in HCl Solution", Journal of Alloys and Compounds 714, 2017, pp. 356-362.
- [7] P. Boonsa, T. Yingsamphancharuen and A. Rodchanarowan, "An overview of corrosion inhibitors using in industries", The Journal of Industrial Technology 13(1), 2017, pp. 83-95. (in Thai)

- [8] J. Garcia-Martin, J. Gomez-Gil and E. Vazquez-Sanchez, "Non-Destructives Techniques Based on Eddy Current Testing", Sensors 11, 2011, pp. 2525-2565.
- [9] N. Buranajant, "Surface Probe for Eddy Current Test", Research, King Mongkut's University of Technology Thonburi. Thailand. 1998.
- [10] I.C. Silva, "Corrosion Inspection Using Pulsed Eddy Current", 11<sup>th</sup> European Conference on Non-Destructive Testing, Salvador, Brazil, 2014, pp. 1-8.
- [11] S. Lai, D.Y. Chen, H. Chen and Y.W. Fu, "Pulsed Eddy Current Testing of Inner Wall Flaws in Pipe under Insulation", 14<sup>th</sup> International Conference on Pressure Vessel Technology, China, 2015, pp. 1658-1664.
- [12] K. Suppha-udom, "Detection of Corrosion Under Coated Surface by Eddy Current Testing Method", Master Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. Thailand. 2010.
- [13] A. Prateepasen, "Non-destructive Testing in Welds and Researches", Chulalongkorn University Printing, 2011.
- [14] M. Suwanpingkarn, "Power Electro technology", Bangkok: Top Publishing Co., Ltd. 2010.