

## การออกแบบหัวตรวจสอบการกักกรองนภายใต้ผิวหุ้มปิดด้วยวิธีกระแสไหลวน

กิตตินันท์ สดใส<sup>1</sup> ใหม่ น้อยพิทักษ์<sup>2\*</sup> วิบูลย์ ตั้งวโรดมณกุล<sup>1</sup> และ ไชยา คำคำ<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การใช้ฉนวนหุ้มผิวท่อเป็นวิธีป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนของสสารที่อยู่ภายในท่อ ซึ่งการกักกรองมีโอกาสเกิดขึ้นภายใต้ผิวหุ้มปิด จึงได้มีการออกแบบวิธีการตรวจสอบการกักกรองบนผิวโลหะภายนอกท่อโดยไม่ทำลายผิวหุ้มปิดโดยการประยุกต์ใช้การทดสอบโดยไม่ทำลายด้วยกระแสไหลวน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่นำมาใช้ในการทดสอบโดยออกแบบและสร้างหัวตรวจสอบทั้งหมด 2 แบบ ได้แก่ หัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กรูปตัวซี และหัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียว แล้วทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ออกแบบให้มีรอยกักกรองจำลองแบบสมำเสมอที่ความถี่ตั้งแต่ 300 - 1000 เฮิร์ตซ์ ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้าจ่ายสัญญาณไฟฟ้า และใช้ออสซิลโลสโคปเป็นอุปกรณ์แสดงผล จากการทดลองพบว่า หัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกัน สามารถตรวจสอบรอยกักกรองจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าหัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กรูปตัวซี ซึ่งสามารถตรวจสอบรอยกักกรองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 มิลลิเมตร เป็นต้นไป ความลึก 1 - 6 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 300 - 400 เฮิร์ตซ์ และสามารถตรวจสอบผ่านชั้นสีเคลือบและชั้นฉนวนหนารวมกันได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

คำสำคัญ : กระแสไหลวน, ฉนวนหุ้มผิว, ขดลวดแยกกระตุ้น, การทดสอบโดยไม่ทำลาย

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup> หน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย, ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

\* ผู้ติดต่อ, อีเมล: 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

---

<sup>1</sup> Department of Production Engineering, Faculty of Engineer, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

<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



จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบการกักความร้อนภายใต้ผิวหุ้มปิด ด้วยวิธีกระแสไหลวน พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ยังไม่ได้นำเสนอถึงกระบวนการสร้างหัวตรวจสอบ หรือการจำลองชิ้นงานสภาพเสมือนการกักความร้อนภายใต้ผิวหุ้มปิดเพื่อนำมาทดลองตรวจสอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการออกแบบและสร้างหัวตรวจสอบกระแสไหลวน ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบ ให้สามารถใช้กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางในการพัฒนาหัวตรวจสอบต่อไป ประโยชน์ของงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์ในการตรวจสอบการกักความร้อน ภายใต้ผิวหุ้มปิดด้วยวิธีกระแสไหลวน ได้เหมาะสมกับทุกภาคอุตสาหกรรม

## 2. วัสดุและวิธีการวิจัย

### 2.1 การออกแบบและสร้างหัวตรวจสอบ

การตรวจสอบการกักความร้อนที่ผิวชิ้นงานภายใต้ผิวหุ้มปิดเป็นการศึกษาการสร้างหัวตรวจสอบพื้นผิวประเภทขดลวดแยกกระดุน เนื่องจากสามารถเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าลงไปได้ลึกกว่าขดลวดประเภทอื่นๆ [13] ออกแบบหัวตรวจสอบทั้งหมด 2 แบบ โดยใช้ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบหัวตรวจสอบของงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความเหนี่ยวนำในการออกแบบ อ้างอิงจากงานวิจัยของ กัญญาลักษณ์ [12] ซึ่งได้ออกแบบหัวตรวจสอบโดยใช้แกนที่ทำจากวัสดุที่เป็นเฟอร์ไรท์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร พันด้วยลวดทองแดง AWG B&S Gauge No.32 รอบแกนเฟอร์ไรท์ จำนวน 1000 รอบ

และสามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำของหัวตรวจสอบได้เท่ากับ 2.61 ไมโครเฮนรี่ ตามสมการที่ (1) [14]

$$L = \frac{\mu_0 \mu_R AN^2}{l} \quad (1)$$

เมื่อ	L	ค่าอินดักแตนซ์ (Inductance) ( เฮนรี่)
	N	จำนวนรอบของขดลวด
	l	ความยาวของแกนขดลวด (เมตร)
	A	พื้นที่หน้าตัดของแกน (ตารางเมตร)
	$\mu_0$	ค่าความซึมซาบของฟลักซ์แม่เหล็กในอากาศ (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)
	$\mu_R$	ค่าความซึมซาบของฟลักซ์สัมพัทธ์ในวัสดุ (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)

จากนั้นใช้ค่าความเหนี่ยวนำ 2.61 ไมโครเฮนรี่ ในการออกแบบหัวตรวจสอบ กำหนดให้หัวตรวจสอบที่ 1 วัสดุแกนที่ใช้เป็นเหล็กเรียงซ้อนทับกันโดยใช้แกน EI เหล็กซิลิคอน เกรด EI-41 ที่ใช้ในการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า ตัดส่วนกลางของแกนเหล็กออก ให้มีลักษณะรูปร่างของแกนเป็นรูปตัวซีทั้งนี้เพื่อให้ระยะทางการไหลของฟลักซ์ในอากาศลดลง มีความกว้างขาตัวซี 27 มิลลิเมตร ความยาว 41 มิลลิเมตรและความหนา 6 มิลลิเมตร พันด้วยลวดทองแดง AWG B&S Gauge No.32 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 ซึ่งการคำนวณจำนวนรอบในการพันขดลวด ใช้ค่าความต้านแม่เหล็กในการคำนวณ แบ่งออกเป็นค่าความต้านทานแม่เหล็กในอากาศและค่าความต้านทานแม่เหล็กในแกน ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ (2) และ (3) [14] สามารถคำนวณจำนวนรอบในการพันขดลวดได้ตามสมการที่ (4) [14] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 810 รอบ

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} \quad (2)$$

$$R_c = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_R A_c} \quad (3)$$



$$N = \sqrt{LR} \quad (4)$$

- เมื่อ  $R_g$  ความต้านทานแม่เหล็กของอากาศ (แอมแปร์ต่อเวเบอร์)
- $l_g$  ระยะห่างระหว่างแกนรับแกนส่ง (เมตร)
- $A_g$  พื้นที่หน้าตัดอากาศ (ตารางเมตร)
- $R_c$  ความต้านทานแม่เหล็กของแกนเหล็ก (แอมแปร์ต่อเวเบอร์)
- $l_c$  ระยะห่างระหว่างแกนรับแกนส่ง
- $A_c$  พื้นที่หน้าตัดอากาศ (ตารางเมตร)
- $R$  ผลรวมของความต้านทานแม่เหล็กในอากาศและแกน (แอมแปร์ต่อเวเบอร์)

การออกแบบหัวตรวจสอบที่ 2 ออกแบบขดลวดทดสอบแบบแยกกระตุ้น ที่มีทั้งขดลวดรับและขดลวดส่งภายในแกนเดียวกัน ใช้แกนเหล็กแผ่นเรียงซ้อนทับกัน มีความกว้าง 6 มิลลิเมตร ความยาว 41 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนรอบในการพันขดลวดตามสมการที่ (5) [14] ได้เท่ากับ 586 รอบ

$$N = \sqrt{\frac{LI}{\mu_0 \mu_R A}} \quad (5)$$

ตารางที่ 1 ลักษณะของหัวตรวจสอบ

NO.	Shape	Material	Round NO.
1		Metal	810
2		Metal	586

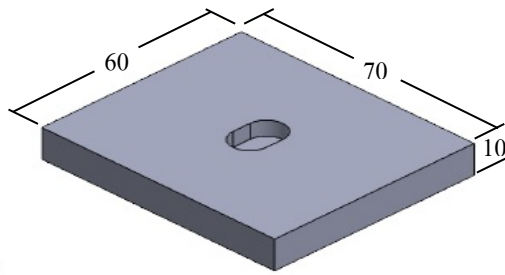
## 2.2 การออกแบบและสร้างชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชิ้นงานที่สร้างรอยกัดกร่อนจำลอง (Artificial Corrosion : ACorr) มีทั้งหมด 3 แบบ มีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.1 ชิ้นงานทดสอบแบบที่ 1

การออกแบบและสร้างชิ้นงานทดสอบ เป็นการออกแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของลักษณะแกนหัวตรวจสอบ ชิ้นงานทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ชิ้น ได้แก่ ชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีรอยกัดกร่อนจำนวน 1 ชิ้น และชิ้นงานทดสอบที่มีรอยกัดกร่อนจำลองจำนวน 2 ชิ้น

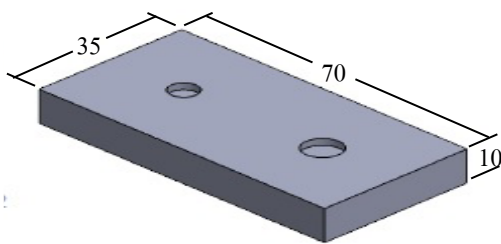
ในการสร้างชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลอง ใช้วิธีการกัดชิ้นงาน (Milling) โดยออกแบบรอยกัดกร่อนจำลองให้มีลักษณะเป็นการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform Corrosion) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณที่วัดได้จากชิ้นงานที่ไม่มีรอยกัดกร่อนและมีรอยกัดกร่อน ใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 60 มิลลิเมตร และความยาว 70 มิลลิเมตร กัดเนื้องานออกบางส่วน และให้มีความลึกของรอยกัดกร่อนเท่ากันทั้งระนาบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รอยกัศกร่อนจำลองลึก 5 มิลลิเมตร

### 2.2.2 ชิ้นงานทดสอบแบบที่ 2

การออกแบบและสร้างชิ้นงานทดสอบ แบบที่ 2 เป็นการออกแบบชิ้นงานเพื่อศึกษาความไวของหัวตรวจสอบ ซึ่งมีรอยกัศกร่อนจำลองเป็นพื้นที่หน้าตัดวงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 4 6 และ 8 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีความลึก 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

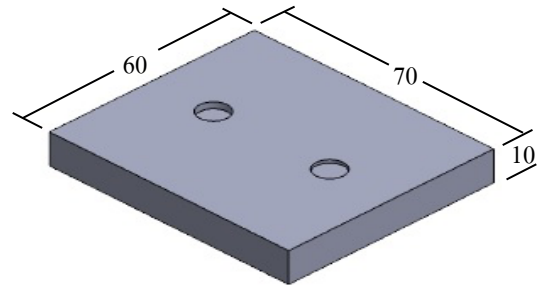


รูปที่ 2 รอยกัศกร่อนจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 และ 8 มิลลิเมตร

### 2.2.3 ชิ้นงานทดสอบแบบที่ 3

การออกแบบและสร้างชิ้นงานรอยกัศกร่อนจำลองนี้ เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถของหัวตรวจสอบ ในการใช้หัวตรวจสอบ ตรวจสอบความลึกของรอยกัศกร่อนจำลอง โดยทดสอบผ่านความหนาแผ่นอะคริลิก แทนชั้นความหนาของฉนวน ซึ่งมีความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ออกแบบชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบที่มี

รอยกัศกร่อนจำลอง เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร มีความลึกขนาด 1 2 3 4 5 และ 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3

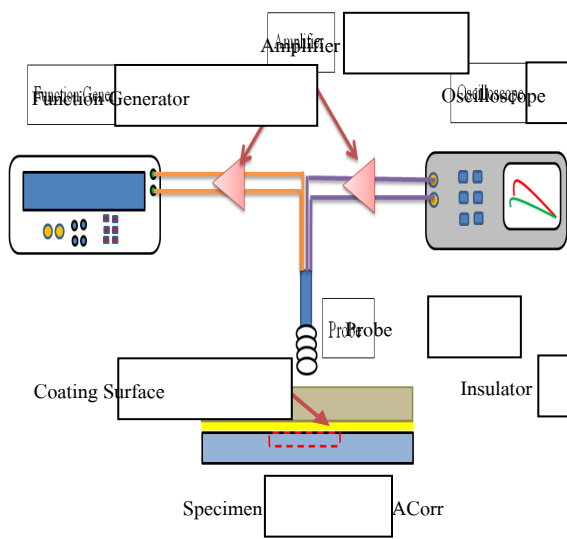


รูปที่ 3 รอยกัศกร่อนจำลองลึก 1 และ 2 มิลลิเมตร

### 2.3 การตรวจสอบชิ้นงาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า รุ่น Glentest CA1645P ออสซิลโลสโคป รุ่น SIGLENT SDS1152CM และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า และขยายสัญญาณจากหัวตรวจสอบ

ในการทดสอบได้ปล่อยสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณผ่านวงจรขยาย เข้าสู่หัวตรวจสอบในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) เนื่องจากข้อจำกัดของตัวจ่ายสัญญาณทางไฟฟ้า ที่มีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้า 2 แบบ ได้แก่ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ใช้แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า 1 โวลต์ ซึ่งชุดอุปกรณ์ขยายสัญญาณทางไฟฟ้าสามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน 1 โวลต์ และทดสอบที่ความถี่ 300 – 1000 เฮิรตซ์ เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อหัวตรวจสอบ จากนั้นสแกนหัวตรวจสอบให้ทั่วชิ้นงาน เพื่อค้นหา รอยกัศกร่อนจำลองที่ถูกซ่อนทับด้วยแผ่นอะคริลิกแทนชั้นความหนาฉนวน โดยการวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบต้นแบบการตรวจสอบการกัดกร่อนภายใต้ผิวหุ้มปิด

ซึ่งการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การทดสอบลักษณะแกนของหัวตรวจสอบ การทดสอบความไวของหัวตรวจสอบ การทดสอบความลึกของรอยกัดกร่อนจำลองที่สามารถตรวจสอบได้ และการทดสอบตรวจสอบผ่านแผ่นอะครีลิกแทนชั้นความหนาฉนวน

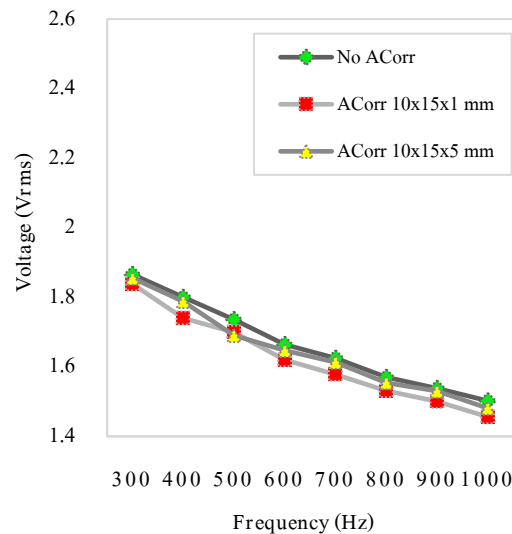
### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 ผลกระทบของลักษณะแกนของหัวตรวจสอบ

จากการออกแบบหัวตรวจสอบทั้ง 2 แบบ และเปรียบเทียบผลการตรวจสอบชิ้นงานระหว่างหัวตรวจสอบที่ 1 แกนเหล็กรูปตัวซี และหัวตรวจสอบแบบที่ 2 แกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้น ในแกนเดียวกัน เพื่อให้ได้หัวตรวจสอบที่มีความเหมาะสม

เมื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 5 พบว่า เมื่อนำหัวตรวจสอบที่ 1 ตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่มีรอยกัดกร่อน

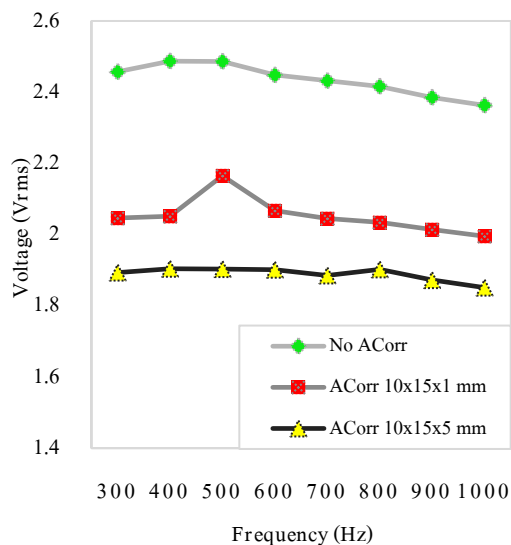
และมีรอยกัดกร่อนจำลอง ชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนความลึก 2 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนความลึก 5 มิลลิเมตร โดยไม่มีแผ่นอะครีลิกแทนชั้นดีเคลือบนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อความถี่ป้อนเข้ามีค่ามากขึ้น ความลึกในการซึมซาบของกระแสไหลวนน้อยลง จึงส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลง [13] แต่ยังไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขดลวดรับ มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ทำให้ไม่สามารถแยกแยะของค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่ชิ้นงานตรวจกัดกร่อนจำลองมีขนาดของความลึกที่ต่างกัน จึงยังไม่เหมาะสมในการนำหัวตรวจสอบรูปตัวซี มาใช้ในการตรวจสอบ



รูปที่ 5 แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดรับของหัวตรวจสอบแกนเหล็กรูปตัวซี

เมื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 6 พบว่า เมื่อนำหัวตรวจสอบที่ 2 ตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่มีรอยกัดกร่อน

และมีรอยกัดกร่อนจำลอง ซึ่งชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองลึก 1 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองลึก 5 มิลลิเมตร โดยไม่มีแผ่นอะคริลิกแทนชั้นดีเคลือบ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง กล่าวคือเมื่อความถี่ป้อนเข้ามีค่ามากขึ้น ความลึกในการซึมซาบของกระแสไหลวนน้อยลงส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลง [13] และค่าแรงดันไฟฟ้าแสดงผลความแตกต่างของขนาดรอยการกัดกร่อนจำลองแต่ละรอยได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการสูญเสียของฟลักซ์แม่เหล็กในอากาศลดลงเมื่อเทียบกับหัวตรวจสอบที่ 1 แสดงว่า หัวตรวจสอบที่ 2 แกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกันมีความเหมาะสมในการตรวจสอบ เพราะสามารถจำแนกความแตกต่างในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองและไม่มีรอยกัดกร่อนได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 6 แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดรับของหัวตรวจสอบแกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกัน

### 3.2 ผลการทดสอบความไวของหัวตรวจสอบ

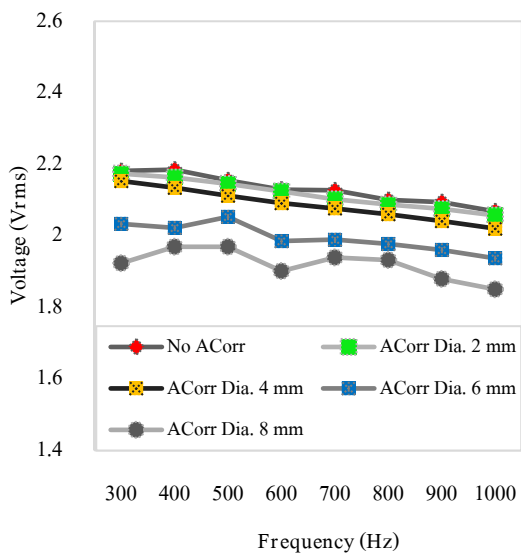
จากการศึกษาผลกระทบของลักษณะหัวตรวจสอบพบว่า หัวตรวจสอบแกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกันมีประสิทธิภาพดีกว่า เนื่องจากผลการตรวจสอบมีผลต่างของค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละความลึกของรอยกัดกร่อนจำลองได้อย่างชัดเจน จึงนำมาทดสอบความไวของหัวตรวจสอบด้วยการตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 4 6 และ 8 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 7 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกัดกร่อนจำลองขนาดต่างกัน ค่าของแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มที่ลดลง โดยสามารถเห็นถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ที่รอยกัดกร่อนจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 และ 8 มิลลิเมตร ผลที่ได้คือ หัวตรวจสอบแกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกัน มีความสามารถในการตรวจสอบรอยกัดกร่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 มิลลิเมตรขึ้นไป

### 3.3 ผลทดสอบความลึกของรอยกัดกร่อนที่สามารถตรวจสอบได้

จากการทดสอบความไวของหัวตรวจสอบ พบว่า หัวตรวจสอบแกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดียวกัน สามารถตรวจสอบรอยกัดกร่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 มิลลิเมตรขึ้นไปได้ จึงออกแบบรอยกัดกร่อนที่มีขนาด 8 มิลลิเมตร ให้มีความลึกตั้งแต่ 1 – 6 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบความสามารถหัวตรวจสอบในการตรวจสอบรอยกัดกร่อนที่มีความลึกต่างกัน





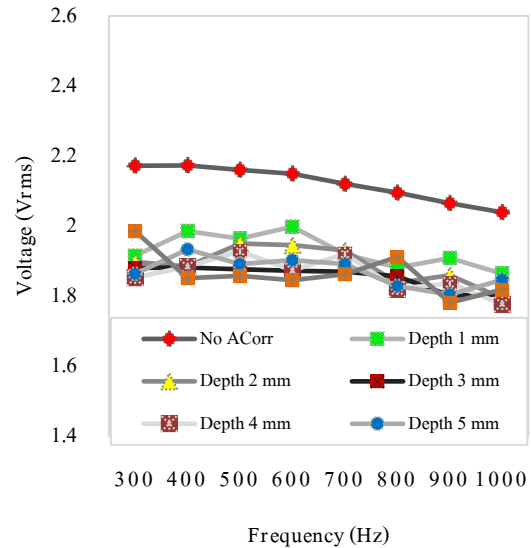
รูปที่ 7 แรงดันไฟฟ้าของหัวตรวจสอบขดลวดแยก กระตุ่นในแกนเดี่ยว ในการตรวจรอยกั๊กกร่อนจำลองที่มีขนาดแตกต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 8 พบว่า ที่ความถี่ 300 – 400 เฮิรตซ์ มีผลต่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างการตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกั๊กกร่อนจำลองและชิ้นงานที่ไม่มีรอยกั๊กกร่อนมากที่สุด ดังนั้น หัวตรวจสอบขดลวดแยกกระตุ่นในแกนเดี่ยว สามารถตรวจสอบรอยกั๊กกร่อนจำลองที่มีความลึก 1 – 6 มิลลิเมตร และที่ความถี่ 400 เฮิรตซ์

### 3.4 ผลการตรวจสอบผ่านชั้นความหนาฉนวน

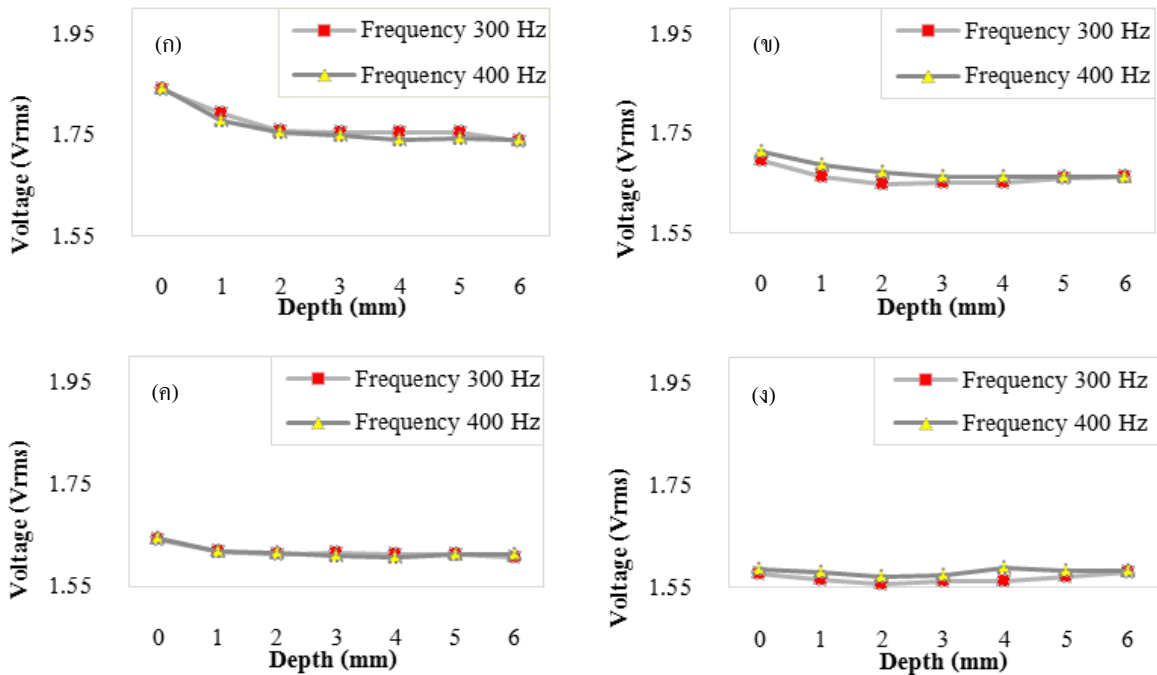
จากผลการทดสอบความลึกของรอยกั๊กกร่อนจำลองที่สามารถตรวจสอบได้พบว่า ผลต่างแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากที่สุดในการตรวจสอบที่ความถี่ 300 – 400 เฮิรตซ์ จึงใช้ความถี่นี้ในการตรวจสอบผ่านชั้นความหนาฉนวน

โดยใช้แผ่นอะครีลิคหนา 1 มิลลิเมตรแทนชั้นสีเคลือบ และชั้นฉนวน



รูปที่ 8 แรงดันไฟฟ้าของหัวตรวจสอบขดลวดแยก กระตุ่นในแกนเดี่ยว ตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกั๊กกร่อนจำลองลึกต่างกัน โดยไม่มีชั้นสีเคลือบและชั้นฉนวน

จากค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 9 พบว่า ชั้นฉนวนและชั้นสีเคลือบที่แทนด้วยแผ่นอะครีลิคหนา 3 มิลลิเมตร รอยกั๊กกร่อนจำลองลึก 2 มิลลิเมตร เห็นความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้ามากที่สุด และเมื่อเพิ่มความหนาชั้นฉนวนมากขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ไม่มีความสัมพันธ์กับชั้นความหนาฉนวนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กไหลผ่านไปยังชิ้นงานได้น้อยลง ดังนั้น การตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยกั๊กกร่อนภายใต้ผิวเคลือบที่มีชั้นฉนวนสามารถตรวจสอบผ่านความหนาได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 แรงดันไฟฟ้าที่วัดค่าได้ของหัวตรวจสอบแบบขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดี่ยว ในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีความลึกแตกต่างกันที่ความถี่ 300 และ 400 เฮิรตซ์ (ก) ชั้นสีเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร (ข) ชั้นสีเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร และชั้นฉนวนหนา 1 มิลลิเมตร (ค) ชั้นสีเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร และชั้นฉนวนหนา 2 มิลลิเมตร และ (ง) ชั้นสีเคลือบหนา 1 มิลลิเมตร และชั้นฉนวนหนา 3 มิลลิเมตร

#### 4. สรุปผล

หัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กขดลวดแยกกระตุ้นในแกนเดี่ยวกันที่ออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ มีความเหมาะสมในการตรวจสอบรอยกััดกร่อนจำลองมากกว่าหัวตรวจสอบแบบแกนเหล็กรูปตัวซี โดยสามารถแยกแยะชิ้นงานมีรอยกััดกร่อนจำลองได้ และสามารถตรวจสอบรอยกััดกร่อนจำลองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 6 มิลลิเมตร มีชั้นสีเคลือบและชั้นฉนวนที่แทนด้วยแผ่นอะครีลิคหนารวมกันไม่เกิน

3 มิลลิเมตร แต่ไม่สามารถแยกแยะรอยกััดกร่อนจำลองที่มีความลึก 1 – 6 มิลลิเมตรได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวณภัทร อัคริเดช นายอนุสรณ์ เข้มสารवल นายทองใส ช่วยชู ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนการเก็บข้อมูล และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Chen and C.K. Y. Leung, “ Finite element modeling of concrete cover cracking due to non-uniform 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.