

การศึกษาการกระจายความร้อนบนโลหะเตารีดด้วยเทคนิคการแพร่กระจายคลื่น A study of Heat Distribution on Iron Based on Wave Propagation Techniques.

เฉลิมชนม์ ตั้งวัชรพันธุ์^{1*} จักรินทร์ ไพโรจน์พัฒนกุล¹ สุวิชา เกิดดี¹ บรรเจิด เจริญพันธ์¹ และ อติศร แก้วภักดี¹

¹โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*Shalerm123@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทดลองการกระจายความร้อนบนโลหะเตารีดด้วยเทคนิคการแพร่กระจายคลื่น จากการออกแบบวงจรและขดลวด เพื่อให้ได้การแพร่กระจายความร้อนบนแผ่นรีดและนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นเตารีดเหนี่ยวนำที่มีขนาดทั่วไปมาปรับการแพร่กระจายความร้อนที่ใกล้เคียงกับเตารีดไฟฟ้า ผลที่ได้คือการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและมีประสิทธิภาพเทียบเท่าเตารีดไฟฟ้าทั่วไป โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

คำสำคัญ: ส่วนการเหนี่ยวนำ, การให้ความร้อน, การแพร่กระจาย, สนามแม่เหล็ก

Abstract

This paper presents experimental heat dissipation on propagation techniques with metallic iron. The design of the circuit and the coil. In order to spread the heat on Rolled induction iron and applied as a general induction to spread heat close to the electric iron. The result is a power saving and efficient equivalent electrical irons. It can be applied in everyday life.

Keywords: Induction, Heating, Radiation, Magnetic Field

1. บทนำ

การเหนี่ยวนำคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นหลักการในการให้ความร้อนเป็นพื้นฐานโดยอาศัยกฎของ Faraday ในปี 1831 [1] โดยจะเกิดการไหลของกระแสในขดลวดทางทฤษฎี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสในขดลวดปฐมภูมิ และได้ถูกพัฒนาไปใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า การเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดกระแสไหลวนและเกิดเป็นความร้อนในแกนของหม้อแปลงไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งการเหนี่ยวนำและการส่งถ่ายพลังงานที่เกิดความร้อนได้นั้น ไม่ต้องอาศัยการสัมผัสหรือการเชื่อมต่อจากตัวเหนี่ยวนำไปยังวัสดุ [2] หลักการเหนี่ยวนำได้มีการพัฒนาโดยการนำสารกึ่งตัวนำมาประยุกต์ใช้เช่น ทรานซิสเตอร์ เฟต มอสเฟต ไตรแอค ไอจีบีที ในรูปแบบวงจรแปลงแรงดันชนิดต่างๆเช่น วงจรแปลงแรงดันแบบครึ่งคลื่น แบบเต็มคลื่น แบบเต็มคลื่นบริดจ์ และได้มีการพัฒนาการเหนี่ยวนำคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนมาประยุกต์สำหรับการหุงต้มในครัวเรือนโดยมีเทคนิคและวิธีการหลากหลายรูปแบบ [3]

ปัจจุบันการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่ารวมถึงประสิทธิภาพของการให้ความร้อนในรูปแบบอื่นถูกนำมาเป็นงานวิจัยและพัฒนามากมายเช่นการประหยัดพลังงานในเตารีดไฟฟ้า [4] ซึ่งเป็นทดลองในการรีดผ้าโดยใช้เตารีดขนาดกำลังวัตต์ต่างๆที่ให้ความร้อนแบบธรรมดาโดยใช้ขดลวดความร้อนปกติทั้งที่มีสารเคลือบพื้นที่ความร้อนและไม่มีสารเคลือบ ส่วนการวิจัยในการประหยัดพลังงานของเตารีดนั้นได้มีการวิจัย [5] เตารีดประสิทธิภาพสูง ผลปรากฏว่าประหยัดพลังงานมากกว่าเตารีดปกติถ้าทำการรีดเป็นเวลายาวนาน คณะวิจัยจึงสนใจในการพัฒนาเตารีดเหนี่ยวนำโดยใช้วิธีการเหนี่ยวนำความร้อน ซึ่งจะสามารถให้ความร้อนได้รวดเร็วและใช้กำลังงานน้อยกว่าเตารีดแบบขดลวดความร้อนปกติทั่วไปโดยจะนำมาซึ่งการอนุรักษ์พลังงาน จากการทดลองพบว่า เตารีดที่พัฒนาขึ้นมาสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าเตารีดปกติถ้าทำการรีดเป็นเวลา

ยาวนาน ซึ่งงานในการประหยัดพลังงานเหล่านี้เป็นการวิจัยจากเตาที่รีดที่เป็นเตาที่รีดแบบธรรมดาหรือเตาที่รีดขดลวดความร้อนแบบปกติ

2. ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

ในปัจจุบันนี้การให้ความร้อนโดยอาศัย หลักการ เหนี่ยวนำได้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ตัวอย่าง เช่น เตาหลอมโลหะ เตาขึ้นรูปชิ้นงานโลหะ เตาเชื่อมชิ้นงาน ซึ่งระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถให้ความร้อนได้สูงจึงได้มีการนำระบบให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำมาประยุกต์ใช้กับเตาที่รีด เนื่องจากเตาที่รีดที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้กำลังงานสูงในชีวิตประจำวันผู้คนที่ต้องใช้เตาที่รีดเป็นประจำ เพราะจะต้องใช้รีดผ้าที่สวมใส่ทุกวัน และบางคนต้องใช้รีดผ้าที่ละมากๆ ซึ่งเตาที่รีดบางรุ่นใช้พลังงานสูงถึง 800 - 1000 วัตต์ หรือถ้าเป็นเตาที่รีดไอน้ำพลังงานที่ใช้อาจสูงกว่า 1000 วัตต์โดยถ้าใช้เวลานานๆ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากและเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น

ดังนั้น ถ้าสามารถผลิตเตาที่รีดให้ประหยัดพลังงานมากกว่าเตาที่รีดทั่วไปที่มีใช้ในปัจจุบันและสามารถให้ความร้อนได้เท่ากันซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยี และ อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาไปมากซึ่งรวมถึงการศึกษาวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงโดยการใช้อุปกรณ์ประเภทมอสเฟต ซึ่งมีความไวในการสวิตซ์สูงและ เนื่องจากโหลดความร้อนเหนี่ยวนำจะมีค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ ดังนั้นจึงใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเรโซแนนซ์ซึ่งใช้หลักการเรโซแนนซ์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการส่งผ่านพลังงานสูงสุดไปยังโหลดได้ทำให้ประสิทธิภาพในการแปรผันพลังงานสูงสุดจึงทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลือง ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าใช้ไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์

3. งานและทฤษฎี ที่เกี่ยวข้อง

พื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อน (Induction Heating) ได้แสดงให้เห็นว่ากระแสสามารถถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาได้ในวงจรปิดของวงจรขดลวดทุติยภูมิได้ถ้าทำให้กระแสที่ไหลในวงจรขดลวดปฐมภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งหัวใจสำคัญ คือ การเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นในวงจรขดลวดทุติยภูมิได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสสลับสัไปที่วงจรขดลวดปฐมภูมิ หลักการเหล่านี้ได้นำมาใช้กับมอเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง วิทยุติดต่อสื่อสารและโทรศัพท์ ฯลฯ และในอุปกรณ์เหล่านี้จะมีสิ่งๆ หนึ่งซึ่งถูกมองว่าเป็นความสูญเสียและเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการสิ่งนั้น คือ “ความร้อน” ความร้อนนี้เกิดขึ้นจากกระแสในวงจรและเส้นแม่เหล็กในวงจร Type equation แม่เหล็ก ซึ่งเรียกว่า “กระแสไหลวน” (Eddy Current) วิศวกรจึงพยายามทุกวิถีทางที่จะทำให้กระแสไหลวนมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยใช้แผ่นลามิเนต (Laminate) มาทำเป็นทางเดินแม่เหล็กของหม้อแปลงและมอเตอร์ทำให้ความต้านทานแม่เหล็กตามแนวเส้นแรงของแม่เหล็กมีค่าต่ำแต่ความต้านทานทางไฟฟ้าของแผ่น ลามิเนต ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับกับเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าสูง จากการทดลองของ Faraday ทำให้เกิดทฤษฎีต่างๆ มากมายเช่น Lenz และ Neaman ซึ่งได้พิสูจน์ให้เห็นว่ากระแสที่ถูกเหนี่ยวนำจะต้านกับเส้นแรงแม่เหล็กที่กำลังเหนี่ยวนำและจะแปรผันกับความถี่ Foucault ได้ตั้งทฤษฎี Eddy Current ในปีค.ศ. 1868 และ Heaviside ได้ตั้งบทความชื่อว่า “The Induction of Current Core” เป็นบทความที่เป็นเรื่องราวของการส่งถ่ายพลังงานจากขดลวดไปยังแท่งโลหะ (Solid Core) และ Thomson ก็มีมีส่วนช่วยในเรื่องของการเหนี่ยวนำความร้อนอย่างมากในช่วงแรกๆ ของศตวรรษนี้ได้รับการสร้างเครื่องหลอมโลหะชนิดความถี่ปานกลางเป็นเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำแกนเหล็กขึ้นในฝรั่งเศส สวีเดน และ อิตาลี และต่อมาก็เกิดมีแนวความคิดที่ใช้คาปาซิเตอร์ในการชดเชยรีแอกติฟเพาเวอร์ขึ้น Dr. Northrup ก็เป็นบุคคลที่พัฒนาปรับปรุงเตาชนิดนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการพัฒนาจนถึงขั้นที่สามารถทำให้การนำความร้อนมีความแม่นยำสูงด้วย เหตุผลที่ว่ากรเหนี่ยวนำความร้อนไม่ต้องการแหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอก ดังนั้นจึงมีการสูญเสียน้อยและทำความสะอาดได้ง่ายเพราะไม่มีส่วนใดสัมผัสกันและการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำได้ตามสมการ [6]

$$\nabla \times (\nu \nabla \times \mathbf{A}) = -\sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \mathbf{J}_0 - \sigma \nabla \phi \quad (1)$$

4. รายละเอียดการพัฒนา

การเกิดความร้อนภายในตัวกลางจะมีการแพร่กระจายของความร้อนภายในตัวกลางด้วยวิธีต่างๆ เช่น การนำ (conduction) การพา (convection) และการแผ่ (radiation) แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการแพร่กระจายของความร้อนด้วยการนำและการแผ่เท่านั้น ซึ่งการเกิดความร้อนเนื่องจากคลื่นความถี่ภายในตัวกลางจะสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบสมการมาตรฐานของสมการการส่งถ่ายความร้อน (heat transfer equation) ซึ่งรวมทั้งเทอมของความร้อนภายในด้วย [7] ในกรณีของระบบพิกัดฉาก (Cartesian coordinate) จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ ได้ดังสมการที่ (2)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q(x,y,z)}{k} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

เมื่อ $a = \frac{k}{\rho c_p}$

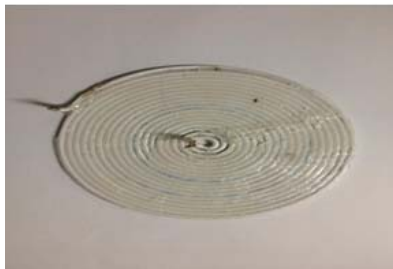
โดยที่	T	คือ	อุณหภูมิ (°k)
	q (x,y,z)	คือ	กำลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (W/m ³)
	k	คือ	ความเหนียวนำเชิงอุณหภูมิ (W/m ^o k)
	a	คือ	ความสามารถในการแพร่กระจายอุณหภูมิ (m ² s)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m ³)
	C _p	คือ	ความร้อนจำเพาะ (specific heat) (J/kg)
	t	คือ	เวลา

4.1 ภาพรวมของระบบ

การออกแบบงานวิจัยได้ทำการศึกษาอุณหภูมิการกระจายความร้อนบนโลหะเตารีดด้วยเทคนิคการแพร่กระจายคลื่น ใช้การออกแบบขดลวดและวงจร เพื่อให้ได้การแพร่กระจายความร้อนบนแผ่นรีดเตารีด ณ อุณหภูมิที่สามารถรีดผ้าได้ และใช้พลังงานต่ำกว่าเตารีดทั่วไป ซึ่งแผ่นรีดเตารีดทั่วไปมีขนาดประมาณ ความยาว 20 เซนติเมตร กว้างสุด 10 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ขนาดแผ่นรีดเตารีดทั่วไปขึ้นอยู่กับรุ่นของเตารีดและ การวัดการแพร่กระจายความร้อนบนแผ่นรีดเตารีดได้ด้วยการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิความร้อน วัดในแต่ละจุดบนแผ่นรีดเตารีดที่ทำการพัฒนาเทียบกับแผ่นรีดเตารีดที่เลือกมาหนึ่งรุ่น

4.2 การพัฒนาออกแบบและพัฒนาระบบ

การพัฒนาออกแบบนั้น ใช้การออกแบบขดลวดแบบ Pancake ที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นในการให้ความร้อน ขดลวด ใช้ขดลวดที่ค่า 100 μH คลื่นความถี่ Pulse 20 KHz การพัฒนาระบบได้ใช้ส่วนของวงจร ฮาฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ มาควบคุมการทำงานของวงจรโดยรวม ซึ่งจะประหยัดพลังงานกว่าเตารีดที่ใช้ทั่วไปที่ใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 1000 วัตต์



รูปภาพที่ 1 ขดลวดที่ค่า 100 μH

4.3 ข้อจำกัดของระบบ

ใช้เวลานานกว่าเตารีดที่เลือกมาทำการทดสอบเปรียบเทียบกว่าจะได้รับความร้อนที่สามารถรีดได้ เตารีดที่นำมาเทียบ ใช้เวลาประมาณ 1 นาที ให้ความร้อนได้ 100 องศาเซลเซียส ส่วนของเตารีดที่ทำการพัฒนาและออกแบบระบบใช้เวลาประมาณ 2 นาที 20 วินาที ให้ความร้อนได้ 100 องศาเซลเซียส

5. การทดสอบ

5.1 การทดสอบความร้อนบนแผ่นรีด

ในการทดสอบความร้อนบนแผ่นรีดเตารีดที่ได้ออกแบบขดลวดและวงจรรัน ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดในแต่ละจุดบนแผ่นรีด ทำการวัดความร้อนทั้งหมด 17 จุด เทียบกับเตารีดที่ทำการเลือกรุ่นมาเพื่อให้ดูความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละจุดและวัดค่าการประหยัดพลังงานของเตารีด



รูปภาพ (ก) เตารีด SHARP รุ่น AM-456



รูปภาพ (ข) เตารีดเหนียวน่า

รูปภาพที่ 2 วัดอุณหภูมิบนแผ่นรีดเตารีดทั้งสอง

รูป (ก) แผ่นรีดความร้อนของเตารีดไฟฟ้าที่นำมาเปรียบเทียบกับเตารีดเหนียวน่า รูป (ข) แผ่นรีดความร้อนของเตารีดเหนียวน่า แสดงจุดวัดที่ 17 ทั้ง รูป (ก),(ข)

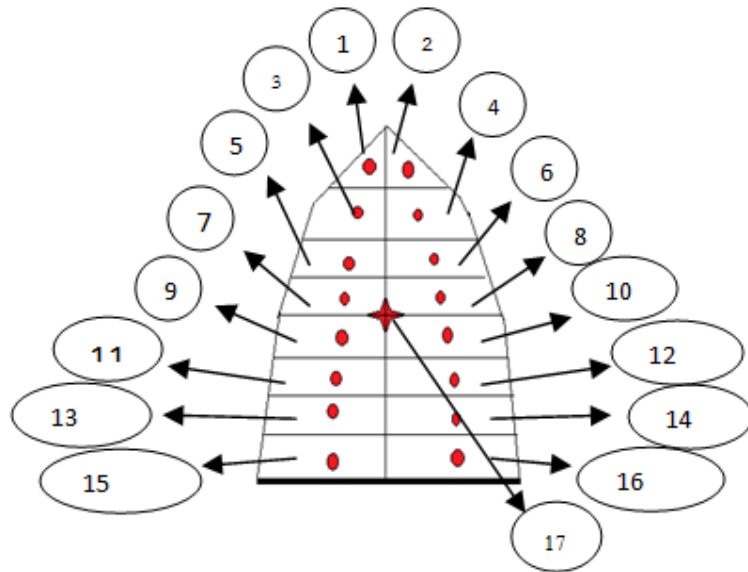


รูปภาพที่ 3 เครื่องวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ 17



รูปภาพที่ 4 Clamp Meter

รูปที่ 3 การวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ 17 อุณหภูมิที่ได้ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ รูปที่ 4 การวัดการใช้กระแสของเตารีดไฟฟ้า SHARP รุ่น AM-456 โดยใช้ Clamp Meter

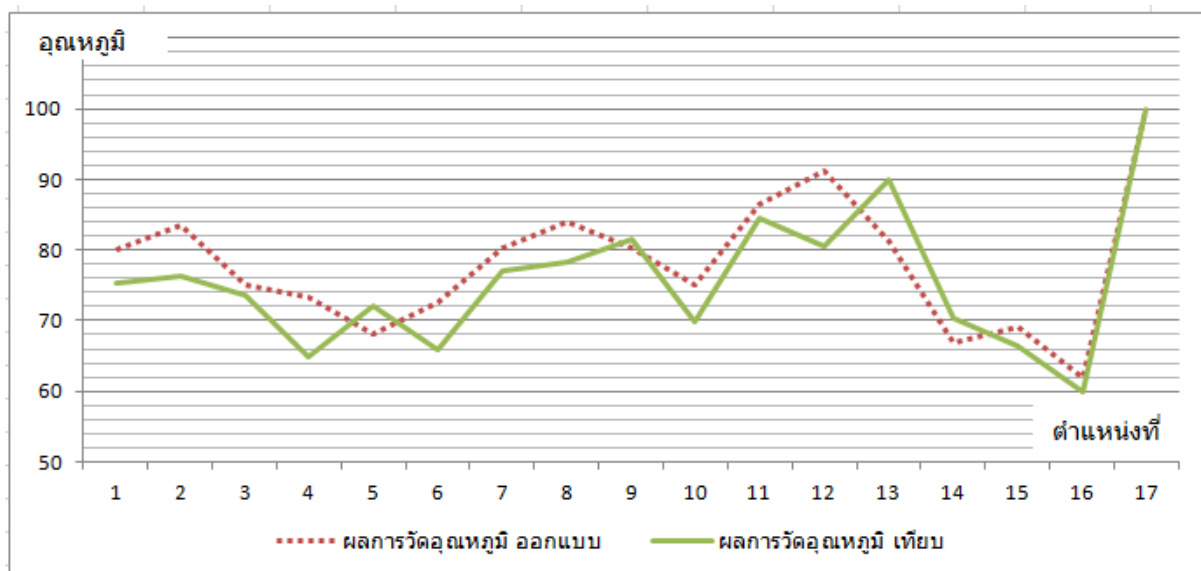


รูปภาพที่ 5 จุดวัดทั้ง 17 จุดของแผ่นรีด

การแบ่งจุดวัดอุณหภูมิทั้ง 17 จุด ของแผ่นรีดความร้อน ซึ่งในแต่ละจุดมีอุณหภูมิที่ต่างกันขึ้นอยู่กับการแพร่กระจายความร้อนของแผ่นรีด

5.2 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

ผลการวัดอุณหภูมิของแผ่นรีดทั้งสองเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายความร้อนบนแผ่นรีด ใช้อุณหภูมิในการเปรียบเทียบ ณ ตำแหน่งที่ 17 ได้ผลการทดสอบดังกราฟ



รูปภาพที่ 6 แผนภูมิเปรียบเทียบความร้อน

ความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละจุดไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส จุดที่ 1 อุณหภูมิต่างกัน 4.6 องศาเซลเซียส จุดที่ 2 อุณหภูมิต่างกัน 7.4 องศาเซลเซียส จุดที่ 3 อุณหภูมิต่างกัน 1.4 องศาเซลเซียส จุดที่ 4 อุณหภูมิต่างกัน 8.4 องศาเซลเซียส จุดที่ 5 อุณหภูมิต่างกัน 4 องศาเซลเซียส จุดที่ 6 อุณหภูมิต่างกัน 6.6 องศาเซลเซียส จุดที่ 7 อุณหภูมิต่างกัน 3.2 องศา

เซลเซียส จุดที่ 8 อุณหภูมิต่างกัน 5.8 องศาเซลเซียส จุดที่ 9 อุณหภูมิต่างกัน 1.1 องศาเซลเซียส จุดที่ 10 อุณหภูมิต่างกัน 5.1 องศาเซลเซียส จุดที่ 11 อุณหภูมิต่างกัน 2 องศาเซลเซียส จุดที่ 12 อุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส จุดที่ 13 อุณหภูมิต่างกัน 8.8 องศาเซลเซียส จุดที่ 14 อุณหภูมิต่างกัน 3.4 องศาเซลเซียส จุดที่ 15 อุณหภูมิต่างกัน 2.7 องศาเซลเซียส จุดที่ 16 อุณหภูมิต่างกัน 2 องศาเซลเซียส

ผลการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ Clamp Meter วัดเพื่อเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเตารีดทั้งสอง ใช้อุณหภูมิในการเปรียบเทียบ 100 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวัดใช้พลังงานไฟฟ้า

ผลการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจุดที่ 17			
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	กระแสที่ใช้(A)
เตารีดเหนียวน้ำ	100	2.20	0.8
เตารีด SHARP	100	1	4.8

จากตารางที่ 1 เตารีดเหนียวน้ำ ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการให้ความร้อน 2 นาที 20 วินาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.8 แอมป์ เตารีด SHARP ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการให้ความร้อน 1 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 4.8 แอมป์

6. บทสรุป

ผลที่ได้จากการศึกษาการกระจายความร้อนบนโลหะเตารีดด้วยเทคนิคการแพร่กระจายคลื่นได้อุณหภูมิความร้อนบนแผ่นรีดทำให้ได้เตารีดเหนียวน้ำที่มีคุณภาพในการแพร่กระจายความร้อนสามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับเตารีดไฟฟ้าและประหยัดพลังงานมากกว่าประมาณ 2.8 เท่า

แนวทางการพัฒนาต่อ

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอด โดยการออกแบบ ใหม่ให้เหมาะสม และปรับปรุงคุณภาพของขบวนการให้ความร้อนเพื่อลดผลในด้านเวลาและ ค่าไฟฟ้า

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และอาจารย์ บัญชา หิริยสิงห์ ที่ให้การปรึกษารวมถึงกลุ่มงานวิจัยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุในการประยุกต์ใช้งานมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.Davice and P.Simpson. (1979). **Induction Heating Handbook**. McGraw-Hill.
- [2] นกตล นุ่นงาม. (2539). **เครื่องให้ความร้อนแบบเหนียวน้ำชนิดปรับความถี่แบบอัตโนมัติ**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] วิรงรอง ประสานวงศ์. (2548). **การประหยัดพลังงานในเตารีดไฟฟ้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] ชัยพร กิตติรัตน์ไพบุลย์ และ เขมราช จารุตา. **เตารีดประสิทธิภาพสูง**. ปัญหาวิจัยวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- [5] Patummakasorn, c. Tangwachirapan, s., and. Thongsopa, c. (2008). **Development of inductive regional heating by energy control at frequency 2.45 GHz**. IEEE CNF Electromagnetic Compatibility and 19th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility 2008 APEMC 2008 Asia-Pacific Symposium, Singapore.
- [6] เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์. (2552). **ผลกระทบของรูปแบบส่วนปิดกั้นชนิดบางต่อการบำบัดรักษามะเร็งเต้านมด้วยการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ**. นครราชสีมา: สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.