การศึกษาแหล่งความร้อนเชิงเหนี่ยวนำเพื่อใช้กับการอบแห้ง

Study of Induction Heating Source for Drying Application

จีระพงศ์ ศรีวิชัย[1*]

Geerapong Srivichai[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแหล่งความร้อนเชิงเหนี่ยวนำสำหรับการอบแห้ง โดยอาศัยอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงให้กับภาระเหนี่ยวนำไปยังแผ่นโลหะ ซึ่งอินเวอร์เตอร์นี้ถูกควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านขาออก แบบการปรับเลื่อนมุมเฟสของสัญญาณ PWM ทดลองเลื่อนมุมเฟส ตั้งแต่มุม 0 – 180 องศา มีช่วงกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.05 กิโลวัตต์ จะให้อุณหภูมิที่แผ่นโลหะจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณภูมิสุดท้ายเท่ากับ 110 °C ภายในระยะเวลา 2 นาที โดยให้ประสิทธิภาพสูงสุดของอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 94.12 % และประสิทธิภาพทางความร้อนของแผ่นโลหะเท่ากับ 73.90 %

ABSTRACT

The objective of this research is to study an induction heating system for drying application. The full-bridge inverter is employed to be a high-frequency power source for the inductive load so that the electromagnetic field can be generated and spread through the stainless steel sheet. The output power of the inverter can be controlled by adjusting the phase-shift of the PWM signal, within 0-180 degree. From the experimental results, the temperature of the stainless steel sheet increases from the initial value to the last maximum steady value of approximately 110 °C can be achieved, within 2 minutes of the maximum electrical power input of 1.05 kW. The efficiency of the inverter and the thermal efficiency of the stainless steel sheet are 94.12% and 73.90%, respectively.

Key Words: drying, induction heating, phased-shift PWM

* Corresponding author; e-mail address: geerapongs@gmail.com

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

[1]Department of Electrical Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonnakhon Campus, 47160

คำนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ทำอย่างไรจึงจะคุ้มค่าเกิดผลประโยชน์สูงสุด และประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งถือว่ามีความสำคัญ และจำเป็นอย่างยิ่ง หากมองถึงภาระทางไฟฟ้าประเภทเครื่องอบแห้งจะเห็นว่ามีอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูงต่อการใช้งานแต่ละครั้ง เนื่องจากการผลิตความร้อนของเครื่องอบแห้งซึ่งนิยมใช้แท่งความร้อน หรือลวดความต้านทาน (Resistance wire) โดยจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านลวดความต้านทานเพื่อเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนจากความต้านทานของขดลวดเองโดยใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนจากตัวลวดความต้านทานไปยังบริเวณต่าง ๆ ภายในเครื่องอบแห้ง ดังนั้นขนาดของลวดความต้านทานจึงมีผลโดยตรงกับมวลการพาความร้อน อีกทั้งการสร้างความร้อนดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำ สาเหตุมาจากพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งได้สูญเสียไปกับลวดความต้านทานเอง หากพิจารณาพลังงานร่วม อย่างงานวิจัยของธีรเดช และคณะ.(2553) ได้ออกแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลัก และพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริมด้วยลวดความต้านทานพิกัดกำลังไฟฟ้า1.6 กิโลวัตต์ จากการศึกษาของอำไพศักดิ์ และ ธนภัทร.(2550) โดยเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรด ใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นแท่งรังสีอินฟาเรดขนาด 0.65 กิโลวัตต์กับลวดความต้านทานขนาด 0.8 กิโลวัตต์ และงานวิจัยของภราดร และคณะ.(2557) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเส้นหมี่โคราชด้วยอินฟาเรดร่วมกับลมร้อน กำลังไฟฟ้าของอินฟาเรดมีขนาด 0.6 กิโลวัตต์ และลมร้อนผลิตจากลวดความต้านทานขนาด 5 กิโลวัตต์ นอกเหนือจากการผลิตความร้อนด้วยลวดความต้านทานแล้วนั้น วิธีการผลิตความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งถูกพัฒนาขึ้นมา คือวิธีการให้ความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ (Induction heating) เป็นการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำขณะสภาวะเรโซแนนซ์ที่ความถี่เดียวกันส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนบริเวณแผ่นโลหะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ผิวโลหะนั้น สามารถเพิ่มอุณหภูมิขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีความสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการผลิตความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง จากข้อดีของวิธีการผลิตความร้อนดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการผลิตความร้อนเชิงเหนี่ยวนำโดยควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าแบบปรับเลื่อนมุมเฟสของสัญญาณ PWM มาใช้เพื่อลดอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการผลิตพลังงานความร้อนให้กับการอบแห้งไปทดแทนการผลิตพลังงานความร้อนรูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้ไฟฟ้าต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ความสัมพันธ์ของพลังงาน

พลังงานไฟฟ้านั้นสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อนได้ด้วยสมการที่ (1) นั่นคือ

$$P\,t = Q \tag{1}$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

t คือ ระยะเวลา (s)

พลังงานความร้อนที่วัตถุนั้น ๆ ที่ได้รับจากเหตุผลใด ๆ มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างไรหาได้จากสมการที่ (2)

$$Q = m\,c\,\Delta T \tag{2}$$

เมื่อ Q คือ พลังงานความร้อน (J)

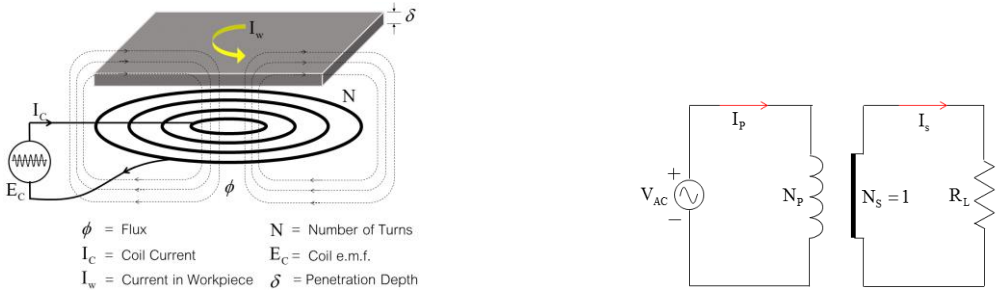
m	คือ มวลของวัตถุ	(kg)
c	คือ ความจุความร้อนจำเพาะ	(J/kg.°C)
ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง	(°C)

2. พื้นฐานการเกิดความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ

การเกิดความร้อนดังกล่าวนี้จะอาศัยปรากฏการณ์ของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏการณ์ทางผิว และการถ่ายโอนความร้อน (Davies,1979 ; Application notes AN9012, 2000) ซึ่งอธิบายได้เหมือนกับหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าด้านขดลวดทุติยภูมิมีค่าดังสมการที่ (3)

$$I_s = I_p\left(\frac{N_p}{N_s}\right) \tag{3}$$

เมื่อ	I_s	คือ กระแสไฟฟ้าด้านขดลวดทุติยภูมิ	(A)
	I_p	คือ กระแสไฟฟ้าด้านขดลวดปฐมภูมิ	(A)
	N_s	คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	(Turn)
	N_p	คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	(Turn)



(a) Induction Heating (b) Secondary short

Figure 1 Basics of Induction Heating

ใน Figure 1 (a) แสดงการให้ความร้อนกับแผ่นโลหะอาศัยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบทั้งระบบเสมือนหม้อแปลงไฟฟ้าใน Figure 1 (b) ซึ่งขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเสมือนขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีจำนวนรอบเท่ากับจำนวนรอบของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และแผ่นโลหะเสมือนขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงที่มีจำนวนเพียงรอบเดียว โดยความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าด้านขดลวดทุติยภูมิมีค่า

$$I_s = I_p N_p \tag{4}$$

จากสมการที่ (4) จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าด้านขดลวดทุติยภูมิมีค่าแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าด้านขดลวดปฐมภูมิ พิจารณา Figure 1 (b) เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้ารอบ ๆ ขดลวด ซึ่งจำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงจะแปรผันตรงกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะแปรผันตรงตามปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนบริเวณพื้นผิวของแผ่นโลหะ เกิดการแปรเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนขึ้นบริเวณผิวโลหะนั้น โดยมีระยะความลึกผิวความร้อนเป็นไปตามปรากฏการณ์ทางผิว (Skin depth effect) ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} = \sqrt{\frac{\rho}{\mu\pi f}} \quad (5)$$

เมื่อ	δ	คือ ความลึกผิว	(meters)
	ρ	คือ ความต้านทานจำเพาะของแผ่นโลหะ	(Ω -m)
	μ	คือ ความซึมซาบของแผ่นโลหะ	(Wb/At-m)
	ω	คือ ความเร็วเชิงมุม	(rad/sec)

จะเห็นว่าความลึกผิวมีความสัมพันธ์ระหว่างความซึมซาบของแผ่นโลหะกับอุณหภูมิ ความเข้มสนามแม่เหล็ก และความถี่ (Davies and Simpson, 1979) จากปรากฏการณ์ทางผิวนี้แสดงได้ว่าความร้อนเปลี่ยนรูปได้จากพลังงานไฟฟ้าร่วมกันทำให้ได้พลังงานบริเวณพื้นผิวโลหะ ดังนั้นโลหะประเภทที่เกิดการเหนี่ยวนำได้ดีควรมีค่าความลึกผิวที่ต่ำ มีค่าซึมซาบได้สัมพัทธ์และมีค่าความต้านทานจำเพาะสูงจึงไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณความถี่สูงมากก็สามารถเกิดความร้อนได้ดี จากงานวิจัย Young-Sup et al, (1999) และ Yuki et al, (2008) พบว่าเหล็กและสแตนเลส มีคุณสมบัติดีกว่าทองแดง และอลูมิเนียม ที่ความถี่ประมาณ 20 กิโลเฮิรตซ์ โดยให้ค่าความลึกผิวเท่ากับ 0.11 mm.

3. หลักการของวงจรเรโซแนนซ์

การแปรเปลี่ยนจุดความถี่เรโซแนนซ์เนื่องจากความร้อนของแผ่นโลหะที่สูงขึ้นในสภาวะเรโซแนนซ์ของวงจรR L C พบว่าที่ความถี่ค่าหนึ่งโดย $X_L = X_C$ มีผลให้ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำสุด นั่นคือ $Z = R + j(X_L - X_C) = R$ ส่งผลให้เกิดกระแสไหลในวงจรสูงสุด โดยความถี่เพิ่มขึ้นทำให้ X_L เพิ่มเป็นเชิงเส้น ในทางกลับกันค่า X_C จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แต่ค่า X_C จะเท่ากับศูนย์ ผลรวมของรีแอคแตนซ์ ซึ่งหาความถี่เรโซแนนซ์ ได้จากสมการ

$$X_L = 2\pi f L \quad (6)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (7)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8)$$

สมการที่ (8) ความถี่เรโซแนนซ์ f_r มีความสัมพันธ์กับค่าความนำของภาระจากการเปลี่ยนขดลวดเหนี่ยวนำกับแผ่นโลหะ และค่าความเหนี่ยวนำของภาระยังได้รับผลจากค่าความซึมซาบที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของแผ่นโลหะ (Shigehiro and Minoro,1996)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ชุดทดลอง

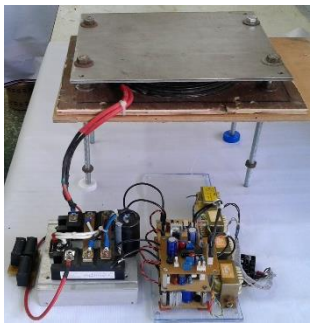
1.1 งานวิจัยนี้ใช้แผ่นโลหะตัวอย่างประเภท Stainless steel – Grade 304 มีขนาด 0.2 × 0.3 × 0.05 m^3 โดยมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแผ่นโลหะ คือความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นโลหะเท่ากับ 530 J/kg.°C ความหนาแน่นเท่ากับ 8,060 kg/m^3 และปริมาตรของแผ่นโลหะเท่ากับ 3×10^{-4} m^3 ให้อุณหภูมิสุดท้ายบนแผ่นโลหะเท่ากับ 120°C แทนในสมการที่ (2) จะได้พลังงานความร้อนของแผ่นโลหะเท่ากับ 121,746 J คำนวณหา

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นโลหะจาก 25 °C ถึง 120 °C ภายในระยะเวลา120 นาที จะได้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อนเท่ากับ 1.01 กิโลวัตต์

1.2 ภาระวงจรเรโซแนนซ์ ประกอบด้วย ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ใช้ลวดตัวนำทองแดงเบอร์ 30 SWG. มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.314 mm.จำนวน 40 เส้นพันตีเกลียวเข้าด้วยกันเพื่อลดปรากฏการณ์ทางผิวตัวนำเนื่องจากความถี่ใช้งานโดยเส้นผ่านศูนย์กลางรวมกัน 2.5 mm.หลังจากนั้นนำลวดที่ตีเกลียวแล้ว ออกแบบการพันเป็นวงขด (Spiral coil) จำนวน 30 รอบการพัน วัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังกล่าวด้วยเครื่องวัด RLC ถูกวางอยู่ภายใต้แผ่นโลหะที่ระยะห่าง 10 mm. ส่วนการหาค่าความจุของคาปาซิเตอร์โดยกำหนดความถี่ใช้งานประมาณ 20 กิโลเฮิรตซ์ คำนวณจากสมการที่ (8)-(10) จะได้ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเท่ากับ 0.24 mH และค่าความจุคาปาซิเตอร์เท่ากับ 0.33 μF จากนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ออกแบบสร้างขึ้นจะถูกนำมาต่อเป็นภาระในวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

1.3 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงอาศัยอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์เพื่อสร้างรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 10 - 30 กิโลเฮิรตซ์ ควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยนำเทคนิคการปรับเลื่อนมุมเฟสของสัญญาณ PWM พิจาณาจาก (Mollov et al, 2004 ; Kifune et al, 2004 ; Yuki et al, 2008) ด้วยไอซีสำเร็จรูปเบอร์ UC 3879N ไปขับสวิตซ์ไอจีบีทีในวงจรอินเวอร์เตอร์ กำหนดให้ช่วงพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 1 กิโลวัตต์

1.4 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัด ประกอบไปด้วย เครื่องวัดอุณหภูมิ (Infrared thermometers : UT303C) ช่วงการวัด -32 ~ 1050°C เครื่องวัดรูปคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า (Oscilloscope : Tektronix TD 2014B) พร้อมทั้งสายวัดแรงดัน และโพรบวัดกระแสไฟฟ้า (Tektronix : A621 AC current probe) เครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (Power logger, Fluke model :1735) สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทั้งหมด



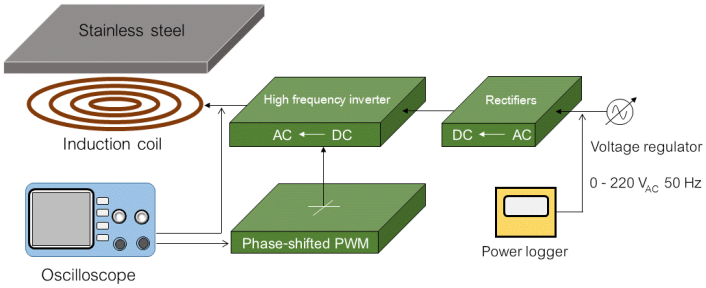


Figure 2 Schematic diagram of induction heating

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ทดลองปรับเลื่อนมุมเฟสด้านขาออกของไอซีกำเนิดสัญญาณ PWM โดยเลื่อนมุมเฟสของสัญญาณครั้งละ 30 องศา (0 , 30 , 60 , 90 , 120 , 150 และ 180 องศา) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ โดยบันทึกการวัดรูปคลื่นสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคป

2.2 ประเมินประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ในสมการที่ (9)

$$\eta_{\text{Inverter}} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าขาออกอินเวอร์เตอร์ (kW)}}{\text{กำลังไฟฟ้าขาเข้าอินเวอร์เตอร์ (kW)}} \times 100\ \% \qquad (9)$$

2.3 ทดลองการเหนี่ยวนำความร้อนให้กับแผ่นโลหะ ดังผังใน Figure 2 โดยวัดอุณหภูมิที่แผ่นโลหะด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลตรวจวัดบนระนาบของแผ่นโลหะทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ที่แสดงใน Figure 3 โดยจะนำอุณหภูมิทั้ง 9 ตำแหน่งไปเฉลี่ยเพื่อนำข้อมูลไปคำนวณหาพลังงานความร้อนที่แผ่นโลหะต่อไป

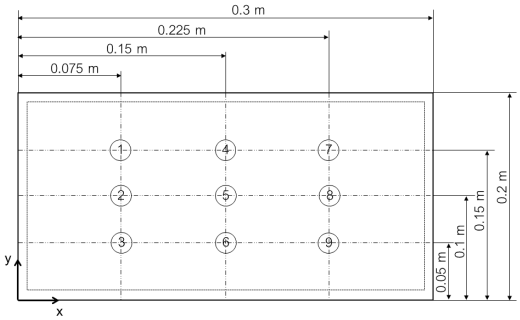


Figure 3 Temperature measurement positions

2.4 ประเมินประสิทธิภาพทางความร้อนของแผ่นโลหะด้วยสมการที่ (10)

$$\eta_{Heat} = \frac{\text{พลังงานความร้อนของแผ่นโลหะ (kW)}}{\text{กำลังไฟฟ้าขาเข้าของเครื่อง (kW)}} \times 100\ \% \qquad (10)$$

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลการปรับเลื่อนมุมเฟสของสัญญาณ PWM ใน Figure 4 (a) – (g) แสดงให้เห็นว่าสัญญาณขับสวิตซ์ถูกเลื่อนมุมเฟสครั้งละ 30 องศา ส่งผลให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ขณะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 20 กิโลเฮิรตซ์ ดัง Figure 5 (a) – (g) เมื่อปรับเลื่อนมุมเฟสเข้าใกล้มุม180 องศา ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์มีค่าลดลงจึงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ลดลงตามไปด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับค่าตัวประกอบกำลัง (pf.) ใน Figure 6 พบว่าค่าตัวประกอบกำลังค่อนข้างดีแม้ว่าจะปรับเลื่อนมุมเฟสเข้าใกล้มุม 150 องศาก็ตาม กระบวนการนี้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเป็นผลให้อุณหภูมิของแผ่นโลหะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งผลทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yuki et al, (2008)

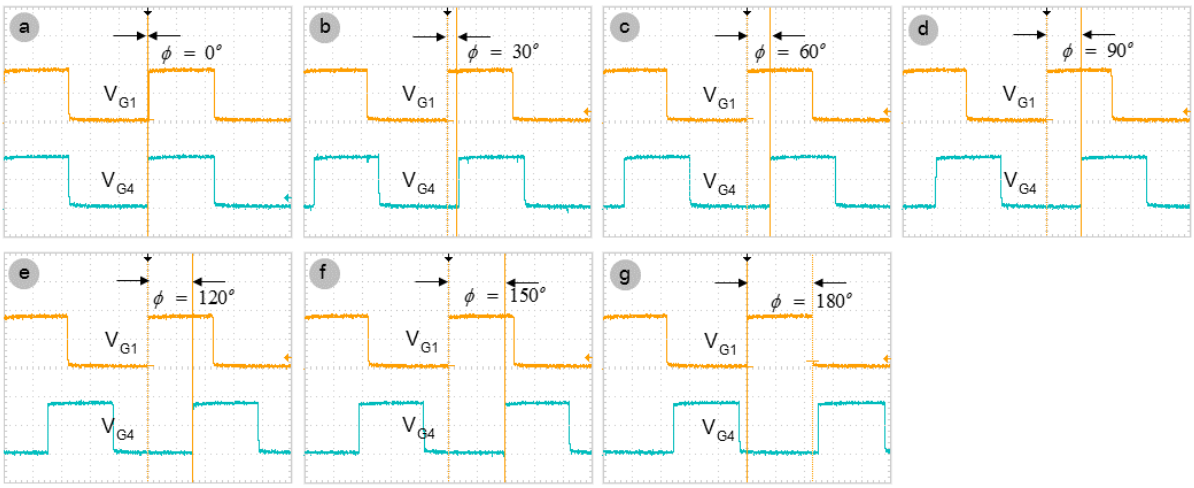


Figure 4 Experimental waveforms of V_{G1} and V_{G4} for the phase shifted 0° - 180°

(V_{G1} = V_{G4} = 2 V/div ; Time = 10 μs /div)

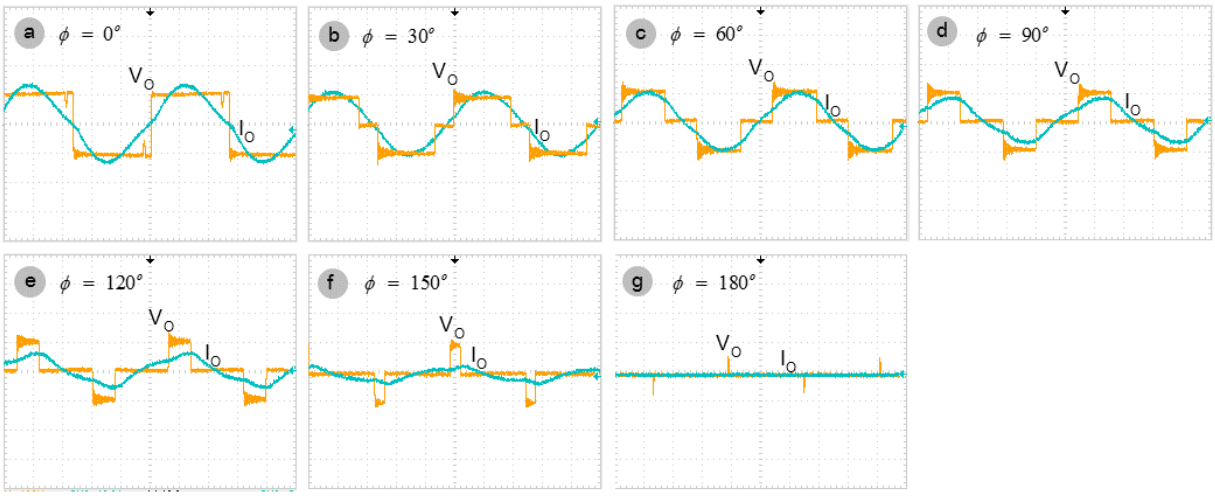


Figure 5 Experimental waveforms of V_O and I_O for the phase shifted 0° - 180°

(V_O = 100 V/div ; I_O = 10 A/div ; Time = 10 μs/div)

3.2 ประเมินประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ที่มุมการเลื่อนเฟสต่าง ๆ แสดงใน Figure 7 พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องนี้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 94.12 % แต่จะมีค่าลดลงตามการเลื่อนมุมเฟสที่เพิ่มขึ้น

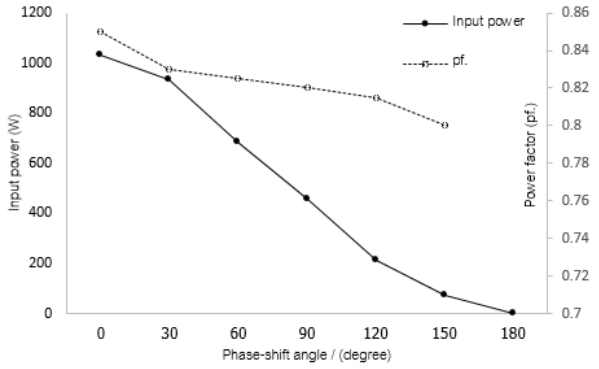


Figure 6 Input power regulation performance

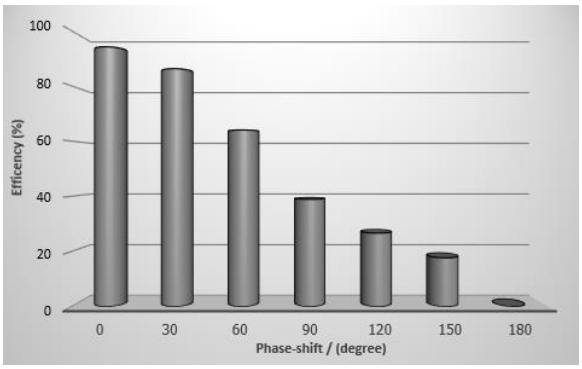


Figure 7 Test efficiency of inverter

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผ่นโลหะกับกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า ที่มุมเลื่อนเฟสต่าง ๆ ใน Figure 8 พบว่าแผ่นโลหะมีอุณหภูมิสูงสุด (T_o) เท่ากับ 110 °C ภายในระยะเวลา 2 นาที ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้าเท่ากับ 1.05 กิโลวัตต์ โดยประสิทธิภาพทางความร้อนของแผ่นโลหะ ใน Figure 9 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 73.9 % จะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่าที่คำนวณเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการสูญเสียในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในการสวิตซ์ ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งผลิตอากาศร้อนให้กับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่อไป

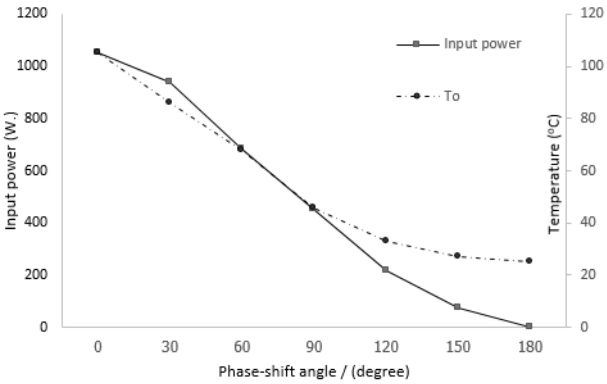


Figure 8 Input power with temperature

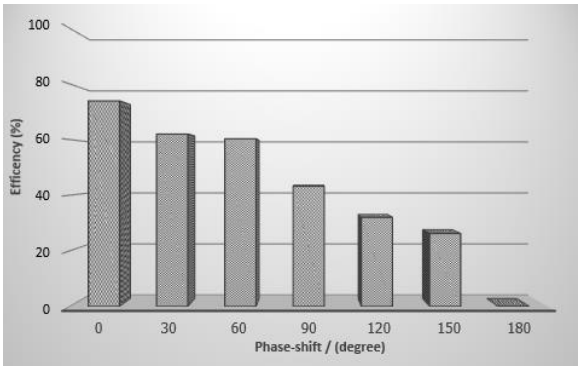


Figure 9 Test efficiency of heating

สรุป

การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการให้ความร้อนเชิงเหนี่ยวนำให้กับแผ่นโลหะขนาด 0.2 × 0.3 × 0.05 m^3 สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ได้ในช่วงตลอดการทำงาน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผ่นโลหะจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณภูมิสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 110 °C ภายในระยะเวลา 2 นาที ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.05 กิโลวัตต์ โดยจะให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์และประสิทธิภาพทางความร้อนของแผ่นโลหะเท่ากับ 94.12 % และ 73.90 % ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่อนุญาตให้ใช้ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าสำหรับทดลองงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ภราดร หนูทอง, ไพรัชต์ ดิฐคณารักษ์กุล, สุนิสา จีนแสร์ และ วิลาวัณย์ เพื่อนสงคราม.2557. จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเส้นหมี่โคราชด้วยอินฟาเรดร่วมกับลมร้อน. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่** 21(2):76-86

ธีรเดช ใหญ่บก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แววศักดิ์, มานีนา มะหนิ และ ภรพนา บัวเพชร์. 2553. การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าภายใต้สภาพภมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ** 12(3): 109-118

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ ธนภัทร สุวรรณกูฏ. 2550. การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรด.วารสารวิศวกรรม มข. 34(2): 189-201

Application notes AN9012, 2000. **Induction heating system topology review.** Fairchild Semiconductor.

Davies E.J.,and Simpson P., 1979. **Induction heating handbook.** McGraw-Hill,UK.

Kifune H.,Hatanaka Y.and Nakaoka M. 2004. Cost effective phase shifted pulse modulation soft switching high frequency inverter for induction heating applications. **IEE Proc.-Electr.Power** 151 (1) pp.19-25

Mollv S.V.,Theodoridis M.and Forsyth A.J. 2004. High frequency voltage-fed inverter with phase-shift control for induction heating. **IEE Proc.-Electr.Power** 151 pp.12-18

Shigehiro Y., and Minoro A., 1996. A 50-450 kHz Half-Bridge Inverter for induction heating applications. **IEEE Trans.Ind. Electron** 43 (1) pp.192-201

Yuki K., Eiji H., Toshihiko T., and Mutsuo N. 2008. Basic study of a phase-shifted soft switching high - frequency inverter with boost PFC converter for induction heating. **Journal of Power Electronics** 8 : (2) 192-199