

การพัฒนาเตาอบชุบโลหะโดยใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี สำหรับอุตสาหกรรมผลิตมีดพร้าชุมชน

Development of Chamber Furnace Using PID Temperature Control for the Community Michelet Manufacturing

ณัฐชนันท์ ปลายเนตร^{1/} และ ศุภชัย ปลายเนตร^{2/}
Natchanun Prainetr^{1/} and Supachai Prainetr^{2/}

Abstract: This paper presented a creation and design of the Michelet furnace. The propose for a creation furnace instead the original charcoal fuel. The size of furnace wide 0.42 meter, long 0.49 meter and high 1.06 meter. The thermal power by electric system rated 3,000 watt and the temperature control by PID control. The material for testing was lower portion car steel. The results showed that the temperature power have a maximum to 900°C can control a temperature and heating to continuously influence to reduce a heat loss more than compared with the conventional furnace.

Keywords: Chamber furnace, temperature control, PID control

บทคัดย่อ: บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเตาอบชุบมีดพร้า มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเตาอบชุบอุณหภูมิสูงสำหรับใช้ทดแทนเตาอบชุบแข็งมีดพร้าแบบเดิม ซึ่งเป็นแบบใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ เตาอบมีขนาดกว้าง 0.42 เมตร ยาว 0.49 เมตร สูง 1.06 เมตร ใช้พลังงานความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 3,000 วัตต์ ควบคุมอุณหภูมิเตาอบด้วยวิธีการควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล วัสดุที่ใช้ทดสอบ คือ เหล็กเหน็บของรถยนต์ ซึ่งนำมาผลิตมีดพร้า ผลการพัฒนาเตาอบพบว่ามีประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิสูงสุด 900 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมอุณหภูมิและความร้อนได้ต่อเนื่อง ส่งผลให้ลดการสูญเสียด้านพลังงานความร้อนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาอบแบบเชื้อเพลิง

คำสำคัญ: เตาอบชุบ การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมแบบพีไอดี

^{1/}วิทยาลัยราชทูตพนม มหาวิทยาลัยนครพนม จ.นครพนม 48110

^{1/}That Phanom College, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom 48110, Thailand

^{2/}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม จ.นครพนม 48000

^{2/}Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom 48000, Thailand

คำนำ

อาชีพการตีมีดพร้าของชาวบ้านนาถ่อนทุ่ง ตำบลธาตุพนม อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม เกิดขึ้นเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2467 นับถึงปัจจุบันเป็นระยะเวลา 85 ปี และเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีชื่อเสียงของจังหวัดนครพนม เดิมทีการตีมีดพร้าจะใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียวต่อมาได้มีการนำเครื่องจักรอุตสาหกรรมมาใช้ในการตีเหล็กเพื่อผลิตมีดพร้าให้ได้ปริมาณตามความต้องการของผู้สั่งซื้อ ทำให้เกิดรายได้หมุนเวียนในชุมชน ขั้นตอนการผลิตมีดพร้า การตัดเหล็กแท่นบรณณ์ การเผาเหล็กที่อุณหภูมิ 950 – 1100 °C การตีขึ้นรูป การเจียรนัยและอบชุบแข็ง กระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญมาก คือ การอบชุบมีด ในอดีตที่ผ่านมาชาวบ้านนิยมใช้เตาเผาแบบหลุมและใช้ถ่านไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง และใช้ประสบการณ์ในการสังเกตความร้อนของชิ้นงาน โดยเตาเผาเหล็กแบบเดิมนั้นมีการพัฒนาหรือปรับเปลี่ยนน้อยมากและมีข้อเสียในเรื่องประสิทธิภาพการเผาไหม้และการสูญเสียทางความร้อนมากส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงเฉลี่ยประมาณเดือนละ 25,000 บาทต่อเดือน สำหรับผู้ประกอบการขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการพัฒนาเตาเผาเหล็กโดยใช้เชื้อเพลิงแบบต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันก๊าด ก๊าซ และไฟฟ้า เป็นต้น เนื่องจากมีต้นทุนสูงและมีราคาแพง จึงทำให้ผู้ประกอบการขนาดกลางถึงขนาดเล็กไม่สามารถนำเทคโนโลยีที่มีจำหน่ายมาใช้งานได้ วิธีให้ความร้อนแก่โลหะ เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะสามารถกระทำได้หลายวิธีซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น รูปร่าง ขนาด และชิ้นโลหะ ซึ่งวิธีการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานโดยใช้เตาโลหะควบคุมด้วย PID นับเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพดี โดยเทคนิคการควบคุมแบบ PID สามารถควบคุมอัตราการเพิ่มขึ้น การลดลง และรักษาระดับอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรง และประหยัดพลังงาน ควบคุมการทำงานได้ง่าย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551) บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเตาอบชุบมีดพร้า เป็นการประยุกต์ใช้หลักการควบคุมเพื่อพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการการผลิตมีดพร้าซึ่งเป็นสินค้าผลิตภัณฑ์

ชุมชนของตำบลนาถ่อน อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือในงานอุตสาหกรรมชุมชนที่สามารถนำมาใช้งานได้จริงและสามารถเผยแพร่ความรู้สู่กลุ่มชาวบ้านที่ประกอบอาชีพผลิตเหล็กมีดพร้า ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีดพร้ามีคุณภาพดีขึ้นและชาวบ้านสามารถลดต้นทุนการผลิตจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเตาอบชุบเหล็กอุณหภูมิสูงสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กมีดพร้า ทดแทนเตาเผาแบบเดิมที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้

อุปกรณ์และวิธีการ หลักการออกแบบเตาอบชุบ

ในการออกแบบเตาอบชุบโลหะ โดยทั่วไปเตาอบชุบเหล็กจะมีอุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง 600-1200 °C ฉนวนเตาด้านนอกสุดทำด้วยเหล็ก ส่วนภายในเตาจะเรียงด้วยอิฐทนไฟและแผ่นฉนวนกันความร้อน เพื่อให้เตาสามารถใช้งานได้ทนทานและเกิดการสูญเสียความร้อนให้น้อยที่สุด (ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีเซรามิก, 2537)

การออกแบบเตาอบชุบ

หลักการทั่วไปสำหรับใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางโลหะวิทยาของชิ้นงาน (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1997) นิยมใช้วิธีการทางความร้อนและการควบคุมการเย็นตัวของชิ้นงาน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการจะให้ความร้อน การเลือกวัสดุที่สามารถให้ได้ความร้อนตามที่ต้องการ งานวิจัยนี้ออกแบบเตาโดยใช้ไฟฟ้าด้วยขดลวดความร้อน จึงได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการใช้งาน เช่น อุณหภูมิที่ต้องการ กำลังไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยมีหลักการพิจารณา ดังนี้

1) อุณหภูมิของเตาเผา ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ต้องการใช้ของวัสดุ เวลาที่จะเผาและอุณหภูมิจึงมีความแตกต่างระหว่างตัวกำเนิดความร้อนและวัสดุ

2) ปริมาตรภายในเตาเผา ปริมาณภายในของเตาจะต้องมีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้า

3) กำลังไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากความร้อนที่ต้องการใช้ ต่อหน่วยเวลา รวมทั้งความร้อนที่สูญเสีย การคำนวณค่าความร้อนที่ต้องการหาได้จากความต้องการความร้อนของวัสดุทั้งหมดในเตา พิจารณารวมกับประสิทธิภาพของเตา โดยมีการเผื่อการสูญเสียความร้อนเพื่อให้ได้ความร้อนตามที่ต้องการ

4) ค่าความร้อนที่ผิวนั้นเตา เมื่อเลือกขนาดลดความร้อนแล้ว ปัจจัยสำคัญที่พิจารณา คือ อุณหภูมิสูงสุดของขนาดลดความร้อนและขนาดพื้นที่หน้าตัด (ธนาคม, 2547) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออายุการใช้งานเตา

5) ค่าความร้อนที่ผิวของตัวด้านทาน การเพิ่มอุณหภูมิของขนาดลดความร้อนจะทำให้ค่าความร้อนที่ผิวเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของขนาดลดความร้อนสูงเกินไปก็จะทำให้ขนาดลดความร้อนเกิดการหลอมเหลวขึ้นได้ ดังนั้น ค่าความร้อนที่ผิวของตัวด้านทานควรจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิสูงสุดของขนาดลดความร้อนและขนาดของกระแส ปริมาณของกระแสเป็นสิ่งสำคัญ ควรเลือกค่าความร้อนที่ผิวของตัวด้านทานให้ที่สมดุลที่สุดระหว่างอายุการใช้งาน โดยสมการคำนวณหาค่าความร้อนที่ผิวแสดงในสมการที่ 1

$$\rho = \frac{P}{Ac} \quad \text{-----}(1)$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความร้อนที่ผิวของตัวด้านทาน (w/cm²)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (w)

Ac คือ พื้นที่ผิวของขนาดลดความร้อน (cm²)

สมการใช้สำหรับการออกแบบขนาดของขนาดลดความร้อน (Singh *et al.*, 1980) แสดงในสมการที่ (2)

$$d = 3 \sqrt{\frac{4pP}{\pi^2 R_{20}}} \quad \text{-----}(2)$$

เมื่อ d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลด (mm)

P คือ กำลังไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อน (watt)

R_{20} คือ ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิห้อง (Ω)

p คือ ค่าความร้อนที่ผิว หน่วย (w/cm²)

การควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล

การควบคุมแบบพีไอดี นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ใช้หลักการปรับอัตราขยายสัญญาณที่เหมาะสม การควบคุมแบบพีไอดี แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมพี ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมไอ และ ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมดี ในการควบคุมระบบทั่วไปมักใช้งานตัวควบคุมร่วมกัน เช่น การควบคุมแบบพีไอ การควบคุมแบบพีดี และการควบคุมแบบพีไอดี โดยมีข้อดี คือ การควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้รวดเร็ว ซึ่งจะลดการเกิดการ offset และการแกว่งของระบบได้ดี สมการพีไอดีแสดงในสมการที่ 3

$$u(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad \text{-----}(3)$$

เมื่อ $u(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตของระบบควบคุม

K_c คือ ค่าอัตราขยายสำหรับควบคุม

$e(t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในระบบควบคุม

T_i คือ integral หรือ reset time

T_d คือ ค่า derivative หรือ rate time

จากภาพที่ 1 คือ วงจรของระบบควบคุมเตาอบชุบ โดยระบบควบคุมพีไอดีจะรับสัญญาณอนาล็อกจากเทอร์โมคัปเปิลและจะทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล ระบบพีไอดีจะทำการควบคุมตามค่าเป้าหมายที่ผู้ใช้งานหนดและจะทำการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์โซลิดสเตทรีเลย์เพื่อทำการควบคุมขดลวดความร้อน ระบบจะรักษาอุณหภูมิให้ได้ค่าเป้าหมาย โดยมีชุดเทอร์โมคัปเปิลทำหน้าที่รับสัญญาณป้อนกลับไปยังระบบควบคุม

การออกแบบโครงสร้างเตาเผา

ในการออกแบบเตาเผามีลักษณะสองชั้นคือ ชั้นที่ 1 เป็นการครอบนวนกันความร้อนรั่วไหลและชั้นที่ 2 เป็นอิฐทนไฟและถูกฉาบเรียบด้วยปูนทนไฟ โดยเตามีขนาดกว้าง 0.42 เมตร ยาว 0.49 เมตร สูง 1.06 เมตร ซึ่งออกแบบโดยอาศัยข้อมูลจากขนาดของเหล็กที่นำมาผลิตมีดพัวซึ่งมีขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร และยาว 30 เซนติเมตร โครงสร้างเตาประกอบด้วยวัสดุดังนี้ ฉนวนกันความร้อน อิฐทนไฟเกรด SK30 คอนกรีตทนไฟ เหล็กแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร มีลักษณะแบบดังภาพที่ 2

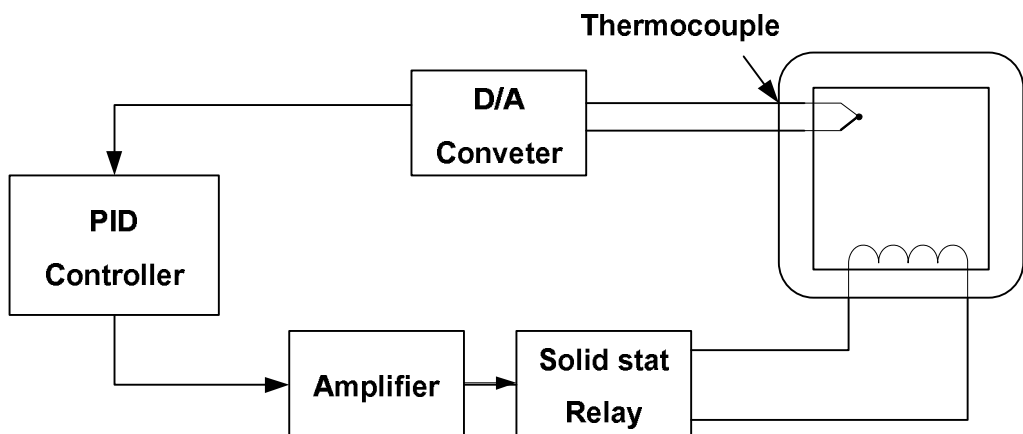


Figure 1 Circuit of furnace temperature control using PID control

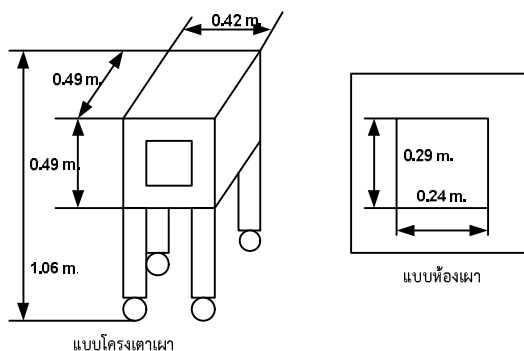


Figure 2 The drawing of furnace

การออกแบบขดลวดความร้อน

สำหรับการออกแบบขดลวดความร้อนของเตาอบชุบได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 2 ขนาดขดลวดความร้อนมีขนาดเท่ากับ 1500 วัตต์ จำนวน 2 ชุด กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3000 วัตต์ ทำการตัดให้เหมาะสมกับขนาดของเตาโดยมีรูปแบบดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

เมื่อทำการออกแบบและสร้างเตาอบชุบแล้วจึงทำการทดสอบประสิทธิภาพเตาอบชุบเหล็กมิดพัร่าได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพ 2 ด้าน คือ ประสิทธิภาพด้านการควบคุมอุณหภูมิ และประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อน โดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านการควบคุมอุณหภูมิโดยทำการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นครั้งละ 50°C ถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 900°C ผลการทดลองพบว่าเตาอบชุบที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพด้านการควบคุม

อุณหภูมิเท่ากับ 98.78% และมีค่าความคลาดเคลื่อนด้านการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 1.22% โดยได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของผลต่างของอุณหภูมิที่ปรับตั้งกับอุณหภูมิจริงภายในเตาอบชุบ ในส่วนของค่าพลังงาน พลังงานไฟฟ้ามีค่าสูงสุด คือ 2,935 W เมื่อคำนวณค่าพลังงานความร้อนมีค่าเท่ากับ 2,524 Kcal/hr ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพนี้แสดงให้เห็นว่าเตาที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบชุบเหล็กมิดพัร่าได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของไพฑูรย์ (2545) ได้ทำการศึกษา งานตีเหล็กและชุบแข็งภูมิปัญญาท้องถิ่นจังหวัดนครนายก กล่าวถึงกระบวนการตีเหล็กจำเป็นต้องใช้เตาเผาในการอุ่นเหล็กให้ร้อนก่อน ที่อุณหภูมิ $300 - 700^{\circ}\text{C}$ และในงานชุบแข็งต้องใช้เตาอบชุบที่อุณหภูมิในการเผาเฉพาะส่วนคม ไล่ไฟให้สีผิวของมีดสีออกพองแดง เปรียบสีแดงลูกหว้าอ่อนถึงแดงอ่อนมีอุณหภูมิในช่วง $810 - 900^{\circ}\text{C}$ ซึ่งแบบดั้งเดิมใช้เตาแบบเชื้อเพลิงซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่แน่นอนได้ ซึ่งเตาที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในงานกระบวนการตีเหล็กมิดพัร่าได้

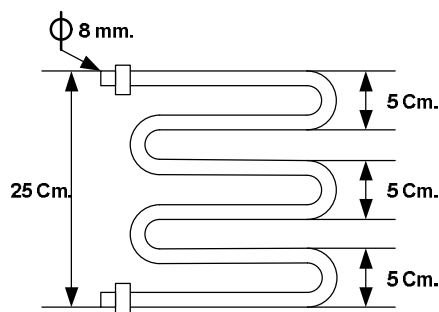


Figure 3 The drawing of heater



Figure 4 The creation of the michelet furnace

Table 1 The result of efficiency testing for the community michelet manufacturing

Setting the temperature (°C)	Temperature heat treatment (°C)	Electricity (A)	Electric power (W)
50	52	12.23	2690.6
100	107	12.29	2703.8
150	155	11.88	2613.6
200	202	11.76	2587.2
250	252	12.79	2813.8
300	300	13.32	2930.4
350	351	13.17	2897.4
400	400	12.58	2767.6
450	452	12.38	2723.6
500	501	13.13	2888.6
550	550	12.49	2747.8
600	600	12.18	2679.6
650	650	12.79	2813.8
700	700	13.24	2912.8
750	750	12.29	2703.8
800	800	12.87	2831.4
850	850	12.19	2681.8
900	900	13.34	2934.8

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาเตาอบชุบโลหะสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตมีดพัวของชุมชนนาถ่อน อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ทดแทนเตาแบบเชื้อเพลิง ซึ่งสิ้นเปลืองพลังงานและไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตมีดพัวได้ คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรมประกอบการออกแบบ ผลการวิจัยซึ่งอยู่ในรูปแบบนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ พบว่าสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์การวิจัยอยู่ในระดับน่าพอใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมการผลิตมีดพัวขนาดชุมชนได้ สำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อไปควรประยุกต์นำไปใช้ใน

การศึกษาในการอบชุบโลหะหรือเผาโลหะของผลิตภัณฑ์ชุมชนอื่น ๆ อาทิเช่น จอบ เสียม ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่คล้ายกับการผลิตมีดพัว รวมถึงการพัฒนาการผลิตพลังงานความร้อนสำหรับด้วยเชื้อเพลิงอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเครือข่ายบริหารการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. แนวทางการเลือกใช้วัสดุหล่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. 2547. การถ่ายเทความร้อน. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ไพฑูรย์ สาลี. 2545. งานตีเหล็กและชุบแข็ง ภูมิปัญญาท้องถิ่นจังหวัดนครนายก. เอกสารรายงานภูมิปัญญาท้องถิ่นสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีเซรามิก. 2537. การสร้างเตาเผาเซรามิกประสิทธิภาพสูงชนิดเตาไฟเบอร์. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1997. Used mineral-based crankcase oil. (Online). Available: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts102.html> (April 23, 2001).
- Singh R, R. C., Maheshwari and T. P. Ojha. 1980. Development of husk fired furnace. Journal of Agricultural Engineering Research 25: 119-120.