

ประวัติวิทยากร

- ชื่อ-นามสกุล : อุตีศ หิมะคุณ
- ตำแหน่ง : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- สถานที่ทำงาน : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- การศึกษา : M.Eng.Sc, University of Sydney, AUSTRALIA
- ประสบการณ์ : อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2512 - ปัจจุบัน)
- : หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (2521-2525)
- : หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุงรักษายานพาหนะ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
(2514-2518)
- : ประธานฝ่ายวิศวกรรมเครื่องกล ในคณะอนุกรรมการ ว.ส.ท.
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- การทำงาน : วิศวกรเครื่องกลผู้ตรวจสอบหม้อไอน้ำโรงงานอุตสาหกรรมใน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 32 แห่ง (2521-ปัจจุบัน)
- : วิศวกรออกแบบระบบทางเครื่องกลของสำนักงานบริการด้าน-
วิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
(2529-ปัจจุบัน)
- : วิศวกรที่ปรึกษาระบบไอน้ำของโรงพยาบาลศรีนครินทร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2526-ปัจจุบัน)
- : วิศวกรออกแบบระบบปรับอากาศ คึกคณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมเครื่องกล 8 สถาบัน
หัวข้อ การประยุกต์เทคโนโลยีสมัยใหม่กับงานทางวิศวกรรมเครื่องกล
เรื่อง "การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไอของหม้อไอน้ำท่อไฟใช้เชื้อเพลิงแข็ง"
ระหว่างวันที่ 18-19 มิถุนายน 2530
โดย อุทิศ หิมะคุณ** กอบชัย สังสิทธิสวัสดิ์* ต่อเกียรติ บัญญัติวิริ* และ
เอกฉัตร ไสยสุวรรณ*

1. บทนำ

หม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มักจะสร้างขึ้นโดยประสบการณ์ของ
ชาวอังกฤษซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในกลุ่มโรงสีข้าวและโรงเลื่อย-
ไม้สับทอดกันมาจกอดีตก่อนที่จะมีมาตรฐานอุตสาหกรรมและกฎหมายอุตสาหกรรม
กรรมว่าด้วยความปลอดภัยของการใช้หม้อไอน้ำกำหนดขึ้น รัฐบาลจำเป็นต้อง
อนุโลมให้มีใช้ต่อไปโดยเพิ่มมาตรการทางด้านความปลอดภัย และให้มีการ
อบรมวิธีการบำรุงรักษาแก่ผู้ใช้โดยเน้นในเรื่องความปลอดภัยเป็นหลัก ส่วน
การประหยัดพลังงานให้กระทำโดยความสมัครใจ ภาครัฐบาลที่เกี่ยวข้องได้
ทำการรณรงค์เรื่องนี้ควบคู่กันมาเป็นระยะเวลาพอสมควรแต่ก็ไม่บรรลุตาม
วัตถุประสงค์ เพราะอุตสาหกรรมขนาดใหญ่นิยมใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากผลผลิต
มาป้อนหม้อไอน้ำ เช่น โรงสีข้าวใช้แกลบ โรงเลื่อยไม้ใช้ฟืนและเศษไม้จาก
การแปรรูป วัสดุเชื้อเพลิงที่เป็นส่วนเหลือทางการเกษตรยังคงมีมากมายเหลือ
เฟือและมีมูลค่าต่ำ กล่าวได้ว่าการใช้สอยให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานยังมี
ประสิทธิภาพต่ำไม่คุ้มค่า

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ผู้ร่วมวิจัยระหว่าง มิถุนายน 2528 ถึง มีนาคม 2529

หม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมตามภูมิภาคทั่วประเทศกว่าหนึ่งหมื่น เครื่อง (สถิติกองตรวจโรงงาน ปี 2528) สร้างตามรูปแบบชาวจีน มิได้ระบุขีดความสามารถการผลิตไอน้ำ ประสิทธิภาพและเกณฑ์สมรรถนะแต่อย่างใด ผู้ใช้มักจะเข้าใจกันเอาเองโดยเพียงนับทราบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของตัวหม้อไอน้ำเท่านั้น โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาเพื่อหาอัตราการผลิตไอที่สัมพันธ์กับการใช้เชื้อเพลิง (fuel to steam rates) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการแปรพลังงานของหม้อไอน้ำประเภทนี้ อีกทั้งยังสามารถบ่งชี้ความถูกต้องในรายงานการตรวจรับรองความปลอดภัยการใช้หม้อไอน้ำของวิศวกร เครื่องกลซึ่งมักจะประมาณการผลิตไอโดยคำนวณจากพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน (heating surface) หรือจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิง โดยมีได้วัดปริมาณการผลิตไอจริง

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับโรงงานอุตสาหกรรม 3 แห่ง ซึ่งมีลักษณะการใช้ไอแตกต่างกันคือ

- โรงเลื่อยจักรใช้เศษไม้เป็นเชื้อเพลิงอาศัยกำลังไอน้ำขับลูกสูบลูกสูบภาระงานเปลี่ยนแปลงตามขนาดของท่อนซุงที่ส่งเข้าแปรรูป ด้วแบ่งตามประเภทใช้งานถือว่าเป็น fluctuating load
- โรงสีข้าวใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง อาศัยกำลังไอน้ำขับลูกสูบลูกสูบ เช่นเดียวกัน แต่ภาระงานคงที่เพราะต้องการความเร็วสม่ำเสมอ ในกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือก จึงถือเป็น constant load
- โรงงานผลิตน้ำตาล ใช้ไอน้ำทางกรรมวิธี (process steam) อาศัยอุณหภูมิและปริมาณความร้อนของไอน้ำ จึงใช้ความดันต่ำทดสอบในสภาพ constant load เช่นเดียวกัน

ข้อกำหนดและรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของหม้อไอน้ำทั้งหมดบรรจุไว้ในภาคผนวกที่ 1

2. หลักการทดลอง

ใช้วิธีวัดโดยตรงจากปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำและเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ในช่วงเวลาเดียวกัน สภาวะที่ทดสอบกระทำหลังการปรับสภาวะคงที่ (steady state) ของหม้อไอน้ำ โดยรักษาระดับน้ำในหม้อให้คงที่ บันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิน้ำเข้า ความดันของไอน้ำ และปริมาณเชื้อเพลิงทุกช่วง 30 นาที ติดต่อกัน 3 ชั่วโมง ข้อมูลทั้งหมดนำมาประเมินค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง โดยเขียนกราฟให้เห็นความเปลี่ยนแปลงตามสภาวะโหลด ดังแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 2 นอกจากนี้ยังสามารถประเมินประสิทธิภาพในเชิงผลิตไอน้ำ (fuel to steam efficiency) ได้อีกด้วย

3. การประเมินประสิทธิภาพ

การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ บางครั้งทำให้ผู้ปฏิบัติเกิดความสับสน เนื่องจากมีข้อกำหนดหลายมาตรฐานพอประมวลสรุปได้ดังนี้ (1)

- ก) ประสิทธิภาพจากเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ (Fuel to Steam Efficiency) หมายถึง อัตราส่วนของความร้อนที่ใส่เข้าไปและความร้อนจากไอน้ำที่ผลิตได้โดยไม่คิดปริมาณความร้อนสูญเสียที่เกิดจากการพาและการแผ่รังสี
- ข) ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (Thermal Efficiency) หมายถึงการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียความร้อนจากการนำ การพา และการแผ่รังสีจากเปลือกหม้อไอน้ำ ประมาณ 1-5 % เมื่อมีฉนวนหุ้มอย่างเพียงพอ
- ค) ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Boiler Efficiency) หมายถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนนั่นเอง
- ง) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ทั้งหมดเทียบกับค่าความร้อนจำเพาะสูงของเชื้อเพลิง

ในการหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ มาตรฐานญี่ปุ่นนิยมใช้ค่าความร้อนจำเพาะต่ำ (LCV) มาคิดคำนวณ แต่มาตรฐานยุโรปและอเมริกาใช้ค่าความร้อนจำเพาะสูง (HCV) มาเป็นตัวประเมิน ดังนั้นประสิทธิภาพที่คำนวณตามวิธีแรกจะสูงกว่าวิธีหลังประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ (1)

วิธีการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสามารถทำได้ทั้งโดยตรงและโดยทางอ้อม กล่าวคือ

- 3.1 การวัดโดยตรง คือตรวจบันทึกอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงและน้ำเข้า (ซึ่งจะเท่ากับอัตราการกลายเป็นไอ หลังจากหม้อไอน้ำเข้าภาวะคงตัวแล้วโดยดูจากหลอดแก้ววัดระดับในหม้อไอน้ำ) ในการนี้จำเป็นต้องบันทึกอุณหภูมิน้ำเข้าและความดันไอในหม้อไอน้ำทุก ๆ ช่วงที่ทำการทดสอบ
- 3.2 การวัดโดยทางอ้อม โดยการตรวจปริมาณ CO_2 หรือ O_2 และอุณหภูมิปล่องไอเสีย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ข้อมูลส่วนนี้สามารถบอกปริมาณความร้อนสูญเสียออกทางปล่องโดยเทียบจากตาราง เมื่อนำไปรวมกับการสูญเสียโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีของตัวหม้อไอน้ำแล้วหักออกจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะได้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำนั้น

อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้มากคือการทำสมดุลย์ทางความร้อนของหม้อไอน้ำ มีเกณฑ์การวิเคราะห์ค่อนข้างละเอียด จึงให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือ หลักการก็คือการวัดความร้อนขาเข้าและขาออกทั้งหมดซึ่งห้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ที่ให้ความละเอียดแม่นยำสูง ซึ่งแน่นอนจะห้องมีราคาแพง แล้วนำผลมาวิเคราะห์จำแนกหมวดของความร้อนเทียบกับค่าความร้อนจากเชื้อเพลิง ด้วยวิธีการนี้สามารถบอกประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำได้อย่างถูกต้อง

การประเมินประสิทธิภาพในโครงการวิจัยนี้ใช้หลักการวัดทางตรง เพื่อหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ (Fuel to steam efficiency) จากค่านิยามดังนี้

$$\eta_b = \frac{m_s (h_s - h_w)}{m_f (LCV)} \times 100 \%$$

- η_b = ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ
- m_f และ m_s = อัตราการใช้เชื้อเพลิงและอัตราของไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/s)
- h_s และ h_w = ค่าความร้อนเอนทัลปีของไอน้ำที่ความดันการผลิต และ เอนทัลปีของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ (kJ/kg)
- LCV = ค่าความร้อนจำเพาะค่าต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
- สำหรับไม้มีค่า LCV เฉลี่ยประมาณ 18,600 kJ/kg(2)
 - สำหรับแกลบมีค่า LCV เฉลี่ยประมาณ 10,000 kJ/kg(2)
 - สำหรับขี้ข้าวโพดมีค่า LCV เฉลี่ยประมาณ 18,500 kJ/kg(2)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้สรุปไว้ในตารางภาคผนวกที่ 5

4. บทวิเคราะห์

ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำและประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำแบบหัวเผา น้ำมันหรือแก๊ส ซึ่งมีค่า fuel to steam efficiency เกินกว่า 60 % ขึ้นไป (2) นั้นแสดงว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งทำให้สมบูรณ์ได้ยาก การใช้ปริมาณอากาศเกินมากเกินไป ส่งผลให้เกิดการสูญเสียทางปล่องเป็นทวีคูณ ยิ่งกว่านั้นหม้อไอน้ำท่อไฟชนบทเหล่านี้สร้างโดยแยกส่วนระหว่างหม้อน้ำกับตัวเตาซึ่งใช้เหล็กคอกเตาเป็นตัวเชื่อมกับท่อไฟใหญ่ พื้นที่หน้าตัดที่เปลวไฟผ่านมีขนาดใหญ่ ไหลได้โดยใช้ปล่องดูตามธรรมชาติ ทำให้การถ่ายเทความร้อนมีได้เฉพาะแนวขอบด้านในของท่อไฟ ความร้อนของเปลวไฟส่วนกลางจึงไม่เกิดประสิทธิผลเท่าที่ควร เหมือนถัง เช่นหม้อน้ำ

ท่อไฟเล็กทั่วไป แม้ว่าจะมีการจัดทิศทางเปลวไฟให้ไหลผ่านถึง 3 ครั้งก่อน ออกปล่อง แต่การสูญเสียในการไหล 2 ครั้งหลังเกิดขึ้นโดยการนำส่งผ่านผนังอิฐให้สูงมากเนื่องจากไอช่องในผนังอิฐนอกตัวหม้อน้ำเป็นทางนำไฟหมุนเวียนก่อนออกสู่ปล่อง ผิดกับการจัดทิศทางไฟให้ไหลย้อนไปมาผ่านท่อได้ผิว น้ำจึงออกสู่ปล่อง ดังเช่น package boilers ซึ่งสร้างเป็นหน่วยเดี่ยว กระทัดรัด ป้องกันการถ่ายเทความร้อนโดยการหุ้มฉนวนรอบเปลือกอย่างดี

การเลือกขนาดของหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมขนาดเล็กในชนบทโดยทั่วไปจะพิจารณาจากความต้องการกำลังการผลิตไอน้ำ (ต้องการความดันสูง) โดยไม่คำนึงถึงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหรืออีกนัยหนึ่งไม่คำนึงถึงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพราะได้มาจากผลผลิตโดยไม่ต้องซื้อหา ดังนั้นขนาดหม้อไอน้ำที่ออกแบบพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนมักจะไม่สัมพันธ์กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จึงมีอัตราการการใช้เชื้อเพลิงสูง ส่งผลให้อัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงมีค่าต่ำ

เป็นที่ทราบแล้วว่าเชื้อเพลิงแข็งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอจึงทำให้ความคุ้มค่าการเผาไหม้ได้ยาก และมักจะมีปัญหาในเรื่ององค์ประกอบซีเอนาซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูง จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ เนื่องจากมีเขม่าในไอเสียมากจะเป็นเสมือนฉนวนความร้อน ทำให้การใช้เชื้อเพลิงแข็งไม่ได้ผลอย่างเต็มที่ นอกจากนี้ผลเนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะเป็นตัวดึงความร้อนส่วนหนึ่งในกระบวนการเผาไหม้เพื่อไล่ความชื้นที่มีอยู่ ทำให้ความร้อนสูญเสียไปกับไอน้ำและหนีออกไปทางปล่อง(3)

คุณภาพน้ำป้อนที่ไม่สะอาดก็ยังเป็นปัญหาประเด็นสำคัญ กล่าวคือ การสูบน้ำดิบจากบ่อใต้ดินที่มีแร่ธาตุเจือปนสูงเข้าไปในหม้อน้ำ ทำให้เกิดตะกอนซึ่งเป็นตัวขัดขวางการถ่ายเทความร้อนทางด้านสัมผัสน้ำ จำต้องใช้เชื้อเพลิงมากเกินปกติในการให้ความร้อน อีกลักษณะหนึ่งคือตั้งให้บ่มทำงาน

เมื่อมีระดับน้ำต่ำเกินไป ทำให้ห้องสูบน้ำเข้าหม้อไอน้ำในปริมาณครั้งละมาก ๆ และอุณหภูมิของน้ำป้อนก็ต่ำ (น้ำเย็น) ห้องใช้พลังงานความร้อนมากจึงจะทำให้ น้ำถึงจุดเดือด นั่นก็คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงจะสูงขึ้นด้วย

5. ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

การเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำท่อไฟที่ใช้ตามโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กในชนบท สามารถกระทำได้โดยพิจารณาสาเหตุของการสูญเสียพลังงานในด้านต่าง ๆ ในขณะที่ใช้หม้อไอน้ำ โดยจำแนกสรุปได้ดังนี้

- 5.1 แม้ว่า การใช้ไอน้ำในอุตสาหกรรมตามชนบทจะไม่คำนึงถึงปริมาณเชื้อเพลิง เพราะได้มาจากผลผลิต แต่การให้ความสนใจในเรื่องการประหยัดโดยป้องกันการรั่วไหลหรือการนำไอน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก จะช่วยเพิ่มสมรรถนะของหม้อไอน้ำได้
- 5.2 การพิจารณาในเรื่องการใช้วัสดุฉนวนในส่วนที่จำเป็นและมีการสูญเสียความร้อนในปริมาณสูง เช่น ท่อส่งไอน้ำ จะส่งผลในทางเพิ่มสมรรถนะด้วย
- 5.3 การปรับปรุงระบบการป้อนเชื้อเพลิงให้มีอัตราการไหลสม่ำเสมอ ตัวอย่างเช่น ในกรณีของโรงสีข้าวใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง การป้อนเชื้อเพลิงจากถังเก็บเหนือเตาไฟ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ควบคุมโดยใช้คน ถ้าวางแบบวิธีการป้อนโดยสกรู (screw feeder) จะช่วยให้การไหลของแกลบสม่ำเสมอ หรือน้ำหากเปลี่ยนเตาเผาใหม่เป็นแบบไซโคลน จะทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (4)
- 5.4 การปรับปรุงระบบน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยการใช้วาล์วที่มีช่องเปิดขนาดเหมาะสม เพื่อให้อัตราการไหลสม่ำเสมอส่งเข้าหม้อไอน้ำตลอดเวลา จะช่วยลดปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิงที่จะต้องใส่เข้าไปคราวละมาก ๆ เพื่อให้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่เดิมเป็นช่วง ๆ

- 5.5 การใช้หม้อไอน้ำที่ภาระงานสูงสุด จะช่วยลดการสูญเสียลงได้มาก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีจะมีค่าคงที่ตลอดเวลา ไม่ว่าหม้อไอน้ำจะรับภาระมากหรือน้อยเพียงใดก็ตาม (5)
- 5.6 การลดความดันไอน้ำภายในท่อให้พอดีกับความต้องการของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ไอน้ำ นับเป็นสิ่งที่ควรปฏิบัติ การใช้ความดันสูงทำให้ความเร็วของการไหลสูง จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อมากขึ้น และมีโอกาสรั่วตามข้อต่อต่าง ๆ ได้มากกว่า
- 5.7 โดยทั่วไปน้ำคอนเดนเสดจะเป็นน้ำบริสุทธิ์มีพลังงานความร้อนอยู่ประมาณ 15 % ของพลังงานที่ผลิตออกจากหม้อไอน้ำ การนำคอนเดนเสดกลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดปริมาณความร้อนสูญเสีย ลดปริมาณน้ำที่ต้องปรับปรุงคุณภาพ (make up water) ก่อนส่งเข้าหม้อไอน้ำ สำหรับปริมาณน้ำที่ระบายทิ้ง (blow down) อาจนำไปอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำผ่านขดท่อ (heat exchanger) ในถังพักน้ำเสียก่อนที่จะระบายทิ้งไป

โดยสรุปแล้ว การศึกษาของโครงการนี้น่าจะเกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผู้ใช้หม้อไอน้ำในชนบท ซึ่งจะพบว่ากว่า 90 % ใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตรในท้องถิ่นนั้น ๆ ถ้าหากการใช้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างไม่มีขอบเขต ซาคหลักการ ผลกระทบต่อสังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมอาจเกิดขึ้นดังเช่น กรณีตัดไม้ทำลายป่า จึงสมควรที่ฝ่ายเกี่ยวข้องจะต้องเตรียมหาวิธีการจัดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางการเกษตรเหล่านี้อย่างถูกต้อง โดยกำหนดแนวทางที่จะก่อให้เกิดประโยชน์การใช้พลังงานอย่างสูงสุด

กองโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ผู้รับผิดชอบในเรื่องหม้อไอน้ำสามารถจะวางมาตรการวิธีใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวกับหม้อไอน้ำ โดยกำหนดลักษณะ ขนาดและวิธีออกแบบตัวหม้อไอน้ำ เตาเผาไหม้และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงเป็นไปได้อย่างคุ้มค่า หากมาตรฐานการใช้เชื้อเพลิงสามารถกำหนดและ

ปฏิบัติได้จะก่อผลคือหลายประการกล่าวคือ จะเป็นการสร้างงานและเพิ่มเศรษฐกิจให้กับท้องถิ่นอันเนื่องมาจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เช่น แกลบ ชี้อยู่ เศษไม้ ชังข้าวโพด ฯลฯ ที่เคยเผาทำลายหลังจากลีน ถูกเก็บเกี่ยวโดยไม่เห็นประโยชน์และคุณค่าทางพลังงาน ในบางฤดูกาล จึงเกิดขาดแคลนสำหรับอุตสาหกรรมใช้หม้อไอน้ำ เชื้อเพลิงเหล่านี้กลับมีราคาสูงกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นหากประชากรในท้องถิ่นสำนึกในคุณค่าและทราบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหล่านี้ อาจจะมีการดัดแปลงแปรสภาพให้เหมาะสมทางด้านกาเผาไหม้ หรืออาจปรับปรุงได้แม้กระทั่งค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจและนำมาใช้เพื่อการดำรงชีพในครอบครัวของตนเองได้

6. บรรณานุกรม

1. คณะกรรมการวิชาการ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่างมาตรฐานการตรวจสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำ, 2528.
2. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน รายงานการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีที่แก้ปัญหาคาขาดแคลนน้ำมัน, 2524.
3. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การสัมมนาเรื่อง การลดอุบัติเหตุหม้อน้ำ, 2522.
4. เรื่องศรี ศรีหะวงษ์. การนำแกลบมาใช้ในการอบเมล็ดพืช วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2520
5. Carl D. Shields. Boilers, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1961.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับความอนุเคราะห์ให้ทำการวิจัยทดลองในโรงงาน
อุตสาหกรรม 3 แห่ง คือ โรงเลื่อยจักรไทยอุดม อำเภอลำปาง, โรงสี
คอนกรีต อำเภอมือง และบริษัทเซลฟูดอุตสาหกรรมผลิตน้ำปลา อำเภอนองเรือ
จังหวัดขอนแก่น โดยมีได้รับคำตอบแทนใด ๆ ทั้งนี้เพื่อผลทางการศึกษาโดยแท้
คณะผู้ทำวิจัยใคร่ขอแสดงความขอบคุณแก่เจ้าของกิจการที่เมตตาช่วยเหลือเป็นอย่างสูง

ภาคผนวกแสดงรายละเอียดเฉพาะของหม้อไอน้ำที่ทำการทดสอบ

ตาราง ผ. 1			
ชื่อโรงงาน ข้อมูลจำเพาะ	บริษัท เซลท์ฟูลส์ อุตสาหกรรมไทย จำกัด	โรงสีดอนเงิน	โรงเคื่อย จักรไทยอุดม
1. <u>ตัวหม้อไอน้ำ</u>			
- เปลือกหม้อไอน้ำหนา มม.	16	12.7	16
- ฉนวนหุ้มหม้อไอน้ำ	ใยแก้วและอิฐทนไฟ	อิฐทนไฟ	อิฐทนไฟ
- ขนาดหม้อไอน้ำ			
เส้นผ่าศูนย์กลาง ม.	1.85	1.45	1.90
ความยาว ม.	3.05	5.45	6.00
- ท่อไฟใหญ่			
เส้นผ่าศูนย์กลาง ม.	0.63	0.73	0.92
ความยาว ม.	3.05	5.45	6.00
จำนวน	1	1	1
- ท่อไฟเล็ก			
เส้นผ่าศูนย์กลาง มม.	70	-	-
ความยาว	2.55	-	-
จำนวน	60	-	-
- ผนังเตา			
ขนาดและความหนา ม.	ท่อไฟใหญ่ส่วนหน้า	2.5×1.80×0.85	2.60×3.00×0.12
ผนังด้านหน้า-หลัง (End Plates) หนา มม.	16	12.7	17
- ดึงพักไอ			
เส้นผ่าศูนย์กลาง ม.	ต่อวาล์วจากหลังหม้อไอน้ำ	0.60	0.76
ความสูง ม.	ต่อวาล์วจากหลังหม้อไอน้ำ	0.60	0.60

ตาราง ม.1 (ต่อ)			
ชื่อโรงงาน ข้อมูลจำเพาะ	บริษัท เซลท์ฟุตส์ อุตสาหกรรมไทย จำกัด	โรงสีดอนเงิน	โรงเลื่อย จักรไทยอุตสาหกรรม
<p>2. อุปกรณ์ของหม้อไอน้ำ</p> <p>- ลิ้นนิรภัย (Safety Valve) จำนวน ชุด</p> <p>แบบของลิ้นนิรภัย</p> <p>ขนาดของลิ้นนิรภัย มม.</p> <p>ความดันไอน้ำ $\frac{\text{ปอนด์}}{\text{นิ้ว}^2}$</p> <p>- ระบบความดัน</p> <p>ความดันใช้งาน $\frac{\text{ปอนด์}}{\text{นิ้ว}^2}$</p> <p>- ระบบน้ำ</p> <p>วาล์วกันกลับ ϕ มม.</p> <p>วาล์วถ่ายน้ำ ϕ มม.</p> <p>- ระบบการจ่ายไอน้ำ</p> <p>วาล์วจ่ายไอน้ำ ϕ มม.</p> <p>ท่อจ่ายไอน้ำ ϕ มม.</p> <p>ฉนวนหุ้มท่อจ่ายไอน้ำ</p>	<p>1</p> <p>สปริงมีคานจำกัด</p> <p>ϕ 38</p> <p>80</p> <p>80</p> <p>32</p> <p>51</p> <p>51</p> <p>51</p> <p>51</p> <p>แอสเบสตอส</p>	<p>1</p> <p>น้ำหนักถ่วง</p> <p>ϕ 50.8</p> <p>150</p> <p>150</p> <p>50.8</p> <p>50.8</p> <p>63.5</p> <p>63.5</p> <p>-</p>	<p>1</p> <p>น้ำหนักถ่วง</p> <p>ϕ 83</p> <p>110</p> <p>110</p> <p>50</p> <p>38</p> <p>89</p> <p>89</p> <p>-</p>
<p>3. ระบบการเผาไหม้</p> <p>- เชื้อเพลิงที่ใช้</p> <p>- ระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง</p> <p>- การจัดทิศทางเปลวไฟ</p> <p>- ปล่องไฟ</p> <p>ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง มม.</p> <p>ความสูง มม.</p> <p>ลมช่วยในการเผาไหม้</p>	<p>ซังข้าวโพด</p> <p>คนป้อน</p> <p>2 กลีบ</p> <p>0.38</p> <p>21</p> <p>ธรรมชาติ</p>	<p>แกลบ</p> <p>รางป้อนแกลบ</p> <p>ลิ้นเลื่อน</p> <p>3 กลีบ</p> <p>2.5*2.5</p> <p>24</p> <p>ธรรมชาติ</p>	<p>ฟืน (เศษไม้)</p> <p>คนป้อน</p> <p>3 กลีบ</p> <p>0.75</p> <p>25.4</p> <p>ธรรมชาติ</p>

ตาราง ผ.1 (ต่อ)			
ชื่อโรงงาน ข้อมูลจำเพาะ	บริษัท เซลท์ฟุตส์ อุตสาหกรรมไทย จำกัด	โรงสีตอมเงิน	โรงเคี้ยว จักรไทยอุดม
- ระบบปรับปรุงประสิทธิภาพ			
เครื่องสูบน้ำมัน	-	-	-
เครื่องสูบน้ำอากาศ	-	-	-
เครื่องสูบน้ำ	-	-	-
การนำคอน เดน เสทมาใช้	-	-	-
- ภาชนะรับแรงดันไอน้ำ	หม้อ เคี้ยว น้ำปลา	-	-
ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง			
ม.	1.10	-	-
ความสูง ม.	1.80	-	-
ควบคุมความดัน $\frac{\text{ปอนด์}}{\text{นิ้ว}^2}$	70	-	-
- เครื่องจักรไอน้ำ			
ขนาด ๘ ไร่ ๓ มม.	-	203.2	279.4

ตาราง ผ. 2 ข้อมูลการทดสอบ						
สถานที่ โรงเลื่อยจักรไทยอุดม						
ครั้งที่	น้ำเข้าหม้อไอน้ำ			ไอน้ำ	เชื้อเพลิง	
	ระดับน้ำ (cm)	เวลา (นาท)	อุณหภูมิ (C°)	ความดัน (psig)	น้ำหนักเชื้อเพลิง (Kg.)	เวลาในการ เผาไหม้(วินาที)
1.	22.3	30	28	92.5	405.6	1920
2.	13.4	30	29.5	96.5	425.2	4560
3.	11.9	26	29.5	89.0	379.8	2400
4.	1.9	4	29.5	75.0	336	1680
5.	5.4	30	29.5	93.5	328	1320
6.	4.4	20	29.5	83.5	123.6	1080
7.	8.1	20	29.5	74.0	200.2	1020
8.	9.0	20	29.5	71.5	152.6	1260
9.	-	-	-	-	289.2	1560
10.	-	-	-	-	254.8	960
	รวม 65.3	รวม 180	เฉลี่ย 29.31	เฉลี่ย 84.4375	รวม 2845	รวม 17,760

หมายเหตุ

- ถังเก็บน้ำขนาด กว้าง x ยาว 229.1 x 305.1 cm.
- พื้นที่หน้าตัดของถังเก็บ $229.1 \times 305.1 = 69,898.41 \text{ cm}^2$
- เชื้อเพลิงที่ใช้คือไม้ ค่าความร้อนต่ำ (LCV) 18,600 kJ/kg

ตาราง ม.3 ข้อมูลการทดสอบ						
สถานที่ โรงสีดอนเงิน						
ครั้งที่	น้ำเข้าหม้อไอน้ำ			ไอน้ำ	เชื้อเพลิง	
	ระดับน้ำ (cm.)	เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (C°)	ความดัน (psig)	น้ำหนักเชื้อเพลิง (Kg.)	เวลาในการ เผาไหม้ (วินาที)
1.	5.6	60	29.5	165	47.74	236
2.	5.5	60	29.5	155	77.79	372
3.	5.1	60	29.5	160	114.92	540
4.	5.3	60	29.5	155	40.88	205
5.	5.5	60	29.5	153	211.06	975
6.	4.0	44	29.5	150	84.64	403
7.	5.0	55	29.5	150	299.68	1376
8.	5.0	44	29.5	150	55.03	269
9.	5.0	44	29.5	150	92.52	437
10.	5.0	43	29.5	150	123.98	581
11.	6.2	60	29.5	158	144.53	674
12.	6.4	60	29.5	155	33.59	172
13.	6.2	60	29.5	160	172.38	800
14.	6.2	60	29.5	151	20.55	113
15.	6.7	60	29.5	157	79.12	378
16.	4.0	39	29.5	155	89.28	424
17.	5.0	47	29.5	160	220.56	1018
18.	5.0	49	29.5	151	27.85	146
19.	5.0	49	29.5	150	133.48	624
20.	5.0	48	29.5	150	249.73	1150
	รวม=106.7	รวม=1,062	เฉลี่ย=29.5	เฉลี่ย=154.25	รวม=2,319.32	รวม=10,893

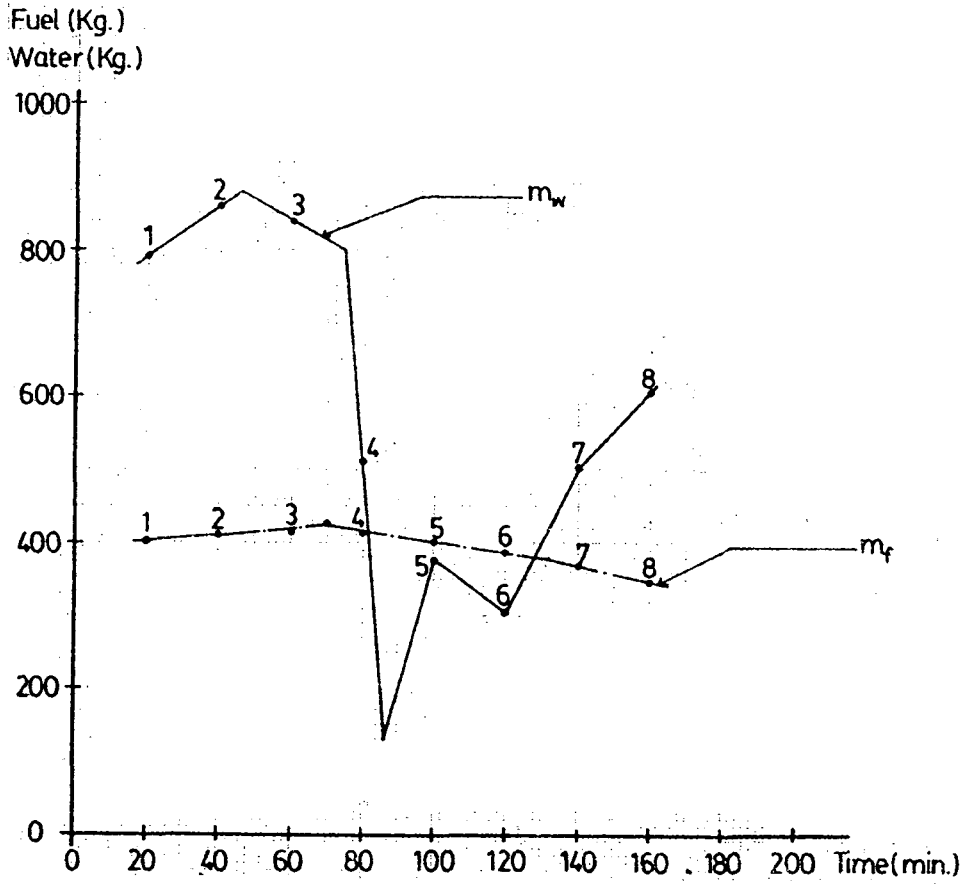
- หมายเหตุ**
- ถึงเก็บน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง = 55.96 cm.
 - พื้นที่หน้าตัดของถังเก็บน้ำ = $\frac{\pi}{4} (55.96)^2 = 2459.49 \text{ cm}^2$
 - เชื้อเพลิงที่ใช้คือแกลบค่าความร้อนต่ำ (LCV) 10,000 kJ/kg

ตาราง ผ.4 ข้อมูลผลการทดลอง					
สถานที่ บริษัท เซลล์ฟูดส์อุตสาหกรรมไทย จำกัด					
น้ำเข้าหม้อไอน้ำ			ไอน้ำ	เชื้อเพลิง	
ระดับน้ำ (cm.)	อุณหภูมิ (C°)	ความดัน (psig)	เวลาปล่อยไอ (นาที)	น้ำหนัก เชื้อเพลิง (Kg.)	เวลาในการเผาไหม้ (นาที)
8.5	28.5	50	200	182.1	200

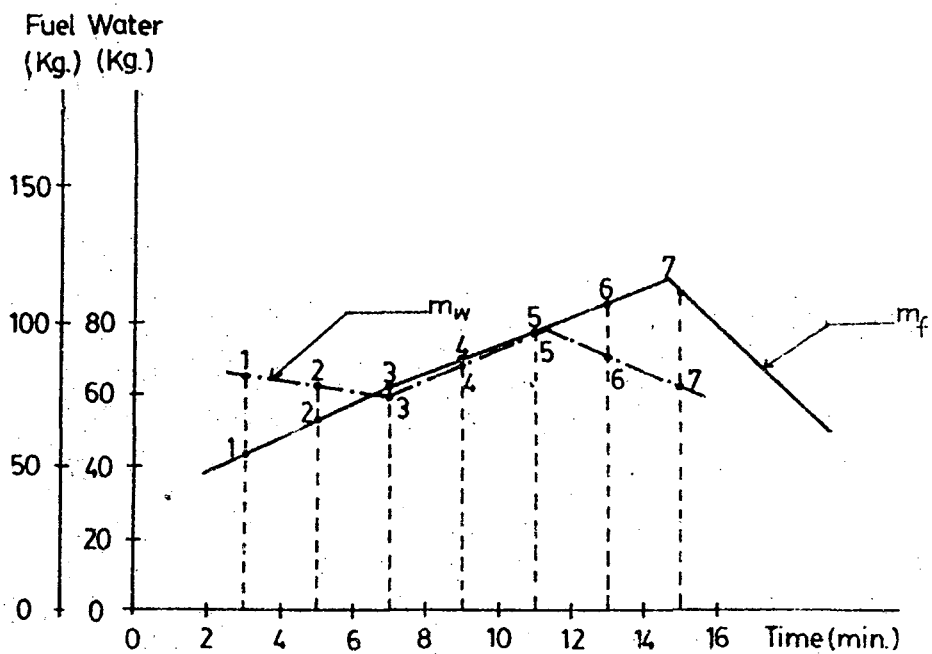
- หมายเหตุ**
- พื้นที่หน้าตัดของถังเก็บ = 36,694.74 cm²
 - เชื้อเพลิงที่ใช้ คือซังข้าวโพดค่าความร้อนต่ำ (LCV) 18,500 kJ/kg
 - ในการทดสอบกรณีนี้ ทดสอบในช่วงเวลาที่กว้าง จึงได้ข้อมูลชุดเดียว

ตาราง ผ.5 สรุปผลการวิเคราะห์			
อัตราการผลิตไอและประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ			
ชื่อโรงงาน หัวข้อวิเคราะห์	โรงเลื่อยไทยอุดม	โรงสีคอนเงิน	เซลล์ฟูดส์อุตสาหกรรม
$\frac{m_w}{m_f}$	2.63	1.16	1.71
(OBR)*	(8.24)	(4.43)	(8.20)
η_b (%)	37.33	30.80	24.24

* Optimum Boiler Rating = $\frac{LCV}{h_{fg(atm)}}$



กราฟระหว่าง m_w & m_f กับเวลา (โรงเลื่อยจักรไทยอุดม)



กราฟระหว่าง m_w & m_f กับเวลา (โรงสีดอนเงิน)