

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนวาเทล เชียงใหม่

การผลิตไอน้ำจากเหง้ามันสำปะหลัง Steam Generation From Cassava-Rhizome Chips

วิทยา ยงเจริญ และ จิรวุฒิ จิตตโสภณ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพมหานคร 10330
โทร 02-2186610, โทรสาร 02-2522889, E-mail : fmewyc@eng.chula.ac.th

Witthaya Yongchareon and Jiravut Jittasophon
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Bangkok 10330, Thailand
Tel : 662-2186610 Fax : 662-2522889

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำที่สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลัง เพื่อผลิตไอน้ำใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางเกี่ยวกับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร หม้อไอน้ำแรงดันต่ำที่ออกแบบเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ส่วนของตัวหม้อไอน้ำกับห้องเผาไหม้แยกออกจากกัน การไหลของแก๊สไอเสียเป็นแบบ 2 กลับ หม้อไอน้ำแรงดันต่ำนี้สามารถผลิตไอน้ำที่ความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 2 บาร์ที่อุณหภูมิ 120°C อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เหง้ามันสำปะหลังที่ใช้มี 2 รูปแบบคือ แบบชิ้นและแบบท่อนและการทดลองได้ปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินจาก 40%-160%

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบท่อนเป็นเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำได้เพียง 20% มีอัตราการผลิตไอน้ำเท่ากับ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้เท่ากับ 454°C โดยมีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 780°C และใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 80% แต่เมื่อใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นเป็นเชื้อเพลิงได้ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำเท่ากับ 47% และมีอัตราการผลิตไอน้ำเท่ากับ 55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยในห้อง

เผาไหม้เท่ากับ 470°C โดยมีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 755°C และใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 120% ซึ่งเป็นจุดที่ดีที่สุดจากทุกกรณีอากาศส่วนเกินที่ได้ทำการทดลอง ในการใช้เหง้ามันสำปะหลังไม่เกิดปัญหาการระเบิดที่เป็นอันตรายกับหม้อไอน้ำแต่การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เปอร์เซ็นต์สูงๆทำให้ความดันในห้องเผาไหม้สูง เปลวไฟจากการเผาไหม้สามารถลุกไหม้ออกมาจากห้องเผาไหม้ได้ ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 2600 ppm ซึ่งเกินค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 870 ppm ปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 5 ppm ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 ppm และปริมาณแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 73 ppm ก็ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเช่นกัน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 200 ppm

Abstract

The objective of this research is to design a low pressure boiler using Cassava-Rhizome chips as Fuel. This low pressure can be considered as a prototype of

low pressure boiler to be used in small and medium manufacturing industries in the country. The boiler was designed to be a fire-tube type. Its combustion chamber and boiler shell is separated distinctly. Hot gas from combustion reaction has 2 passes flow. This boiler can generate steam at an absolute pressure of 2 bar (or at steam temperature about 120°C). Fuel consumption rate is 20 kg/hr. Cassava-rhizome fuel has 2 forms, chunks and chips. Excess air used in experiment was found to be 40%-160%.

From the experiments, when using cassava-rhizome in chunk form as fuel, it found that the overall efficiency of boiler was only 20% at steam generation rate of 23 kg/hr, the average temperature in combustion chamber was 454°C with the highest temperature recorded as 780°C at 80%EA. But when using cassava-rhizome in chip form as fuel, the overall efficiency of boiler was increased to 47% at steam generation rate of 55 kg/hr, the average temperature in combustion chamber was 470°C with highest temperature at 755°C at 120%EA, which was the optimum case. No phenomenon relating to explosion or detonation was recorded in boiler. But when using high excess air, the frame of combustion can sneak from the charging door. The quantity of carbonmonoxide in combustion gas was found to be well in excess of the industrial standard figure, namely at 2600 ppm as against 870 ppm. The quantity of sulfur dioxide in combustion gas was found to be under industrial standard figure at 5 ppm, in which the regulated figure is not over 500 ppm. The quantity of nitrogenmonoxide in combustion gas was also under the industrial standard, being at 73 ppm was against 200 ppm.

1. บทนำ

จากการวิตกกังวลเรื่องการหาพลังงานทดแทนพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลหากมนุษย์ได้ใช้ถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติหมดไปที่สำคัญยังก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้มี

ความสนใจในการศึกษาและความพยายามในการนำพลังงานจากชีวมวล (Biomass) มาใช้กันอย่างจริงจังมากขึ้น เนื่องจากราคาไม่แพงและเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อมเพราะไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะนำเหง้ามันสำปะหลัง (Cassava-Rhizome) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางในชนบท เนื่องจากประเทศไทยปลูกมันสำปะหลังโรงงาน (ยกเว้นภาคใต้) ผลิตหัวมันสดได้ปีละ 20 ล้านตัน จากพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 9 ล้านไร่และเฉพาะในภาคอีสานมีพื้นที่ปลูกประมาณ 6 ล้านไร่ ผลิตหัวมันสดได้ปีละ 12 ล้านตัน[1] โดยปกติเหง้ามันสำปะหลังจะถูกเกษตรกรรื้อเผาทิ้งหลังจากเก็บเกี่ยวหัวมัน ซึ่งการเผาเหง้ามันสำปะหลังทิ้งเทียบเท่ากับเผาน้ำมันเตาชนิดดี (กำมะถันต่ำกว่า 0.1%) ทั้งปีปีละ 3 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณหนึ่งหมื่นห้าพันล้านบาท (คิดที่น้ำมันเตาราคาเฉลี่ย 5 บาท) [2]

ในการจะใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากไม่เคยมีการวิจัยในด้าน การใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้โดยตรง ซึ่งเหง้ามันสำปะหลังมีคุณลักษณะการติดไฟลุกไหม้ต่างจากไม้พืชน ถ่านหินหรือแกลบที่มี volatile gas ต่ำ แต่เหง้ามันสำปะหลังมี volatile gas ก่อนข้างสูง จึงต้องทำการออกแบบห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมกับการนำเหง้ามันสำปะหลังมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

2. ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ

- (1) เวลาต้องนานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้หมด
- (2) อุณหภูมิในการเผาไหม้ต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง
- (3) การผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศต้องอยู่ในลักษณะของการผสมผสานแบบปั่นป่วนซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

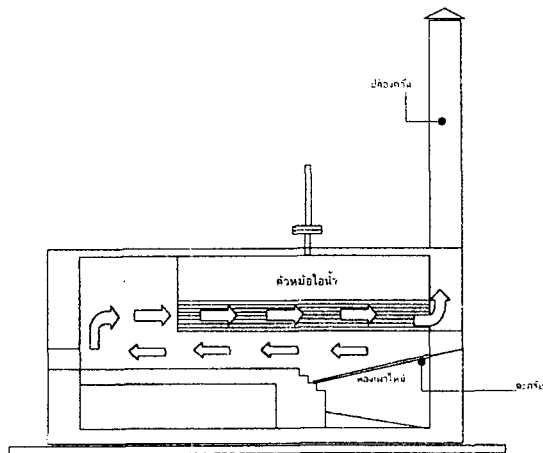
3. การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ [3]

$$\eta_B = \frac{m_s (h_s - h_w)}{m_f (LHV)} \quad (7)$$

โดยที่ $\dot{m}_g$ คือ อัตราการไหลของไอน้ำจากหม้อไอน้ำ kg/hr
 $\dot{m}_f$ คือ อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง kg/hr
 h_g คือ เอนทัลปีของไอน้ำจากหม้อไอน้ำ kJ/kg
 h_w คือ เอนทัลปีของน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำ kJ/kg
 LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง kJ/kg

4. การออกแบบ

หม้อไอน้ำแรงดันต่ำที่ออกแบบเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ส่วนของห้องเผาไหม้อยู่ภายนอกเปลือกหม้อไอน้ำ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแห้งมันสำปะหลังเท่ากับ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การไหลของแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้เป็นแบบ 2 กลีบคือแก๊สร้อนจากการเผาไหม้จะไหลจากห้องเผาไหม้ที่อยู่บริเวณด้านหน้าหม้อไอน้ำไปยังด้านหลังเพื่อจะไหลเข้าท่อไฟในตัวหม้อไอน้ำเป็นการถ่ายเทความร้อนครั้งที่หนึ่ง จากนั้นแก๊สร้อนจะไหลเข้าท่อไฟวกกลับมาด้านหน้าหม้อไอน้ำเป็นการถ่ายเทความร้อนครั้งที่สอง จึงจะไหลออกไปทางปล่องควัน ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงการไหลของแก๊สร้อนแบบ 2 กลีบ

ส่วนประกอบหลักของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำที่สำคัญมีดังนี้

(1) ตัวหม้อไอน้ำ

มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร มีท่อไฟจำนวน 41 ท่อ

(2) ห้องเผาไหม้

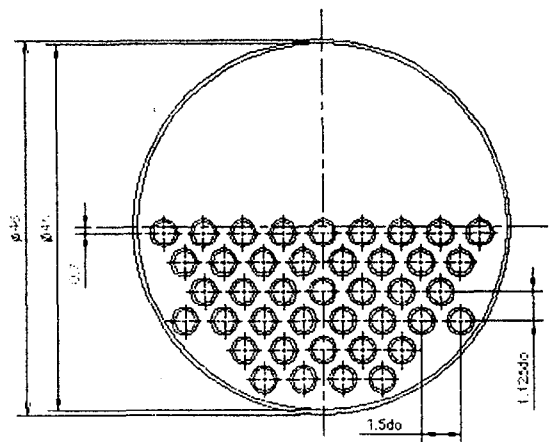
มีปริมาตรภายในกว้าง 0.5 เมตร ยาว 0.56 เมตร สูง 0.56 เมตร ผนังด้านหน้าเป็นอิฐทนไฟและอิฐธรรมดา ผนังด้านข้างทั้งสองด้านประกอบด้วยอิฐทนไฟ ช่องอากาศและอิฐธรรมดา

(3) ปล่องควัน

ทำหน้าที่ย่น้ำแก๊สร้อนที่ผ่านหม้อไอน้ำออกไปภายนอก มีความสูงเท่ากับ 2 เมตร

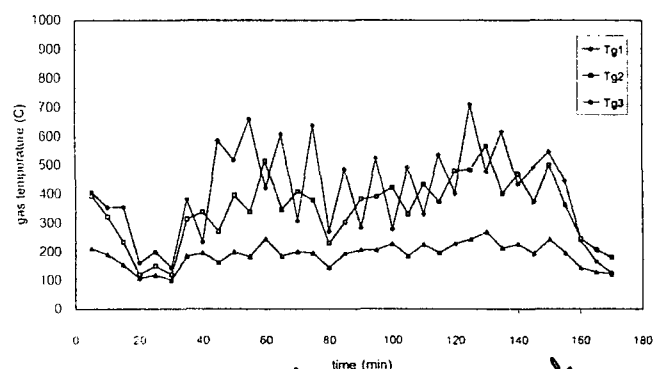
(4) ตะกรับ

ทำจากเหล็กแผ่นเจาะรูแบบเรียงสลับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะเท่ากับ 7 มิลลิเมตร

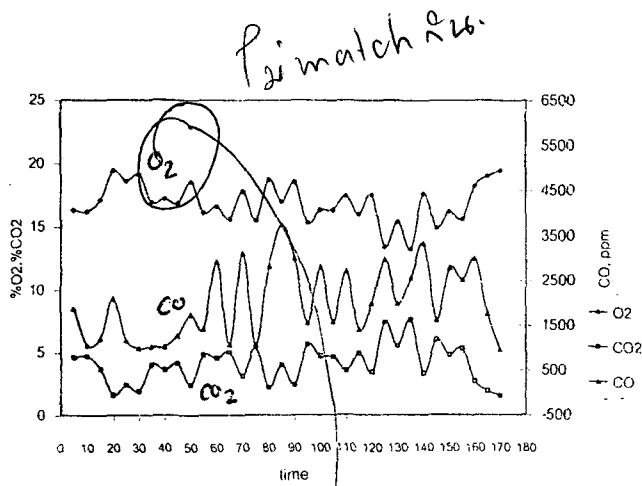


รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งท่อไฟในตัวหม้อไอน้ำ

5. ผลการทดลอง

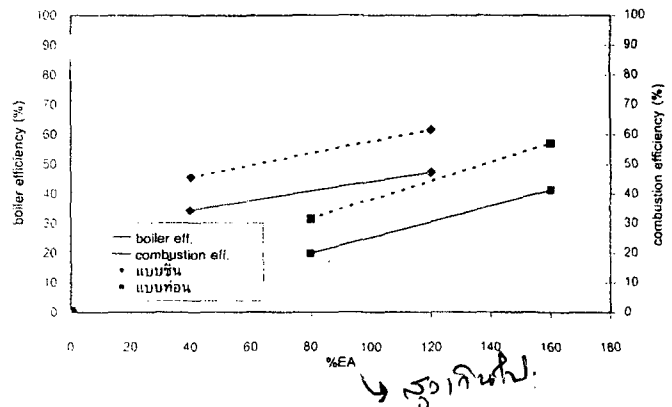


รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่จุดต่างๆในหม้อไอน้ำที่ 40%EA



รูปที่ 4 แสดงผลการตรวจวัดองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย

ที่ 40%EA



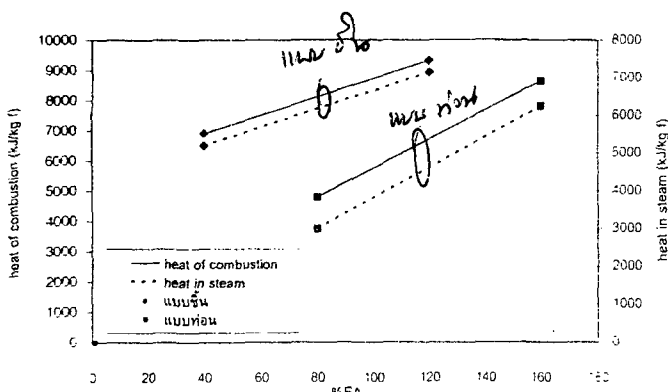
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำกับอากาศส่วนเกิน

6. สรุปผลการวิจัย

หม้อไอน้ำนี้สามารถผลิตไอน้ำที่ความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 2 บาร์หรือเทียบได้เท่ากับไอน้ำที่ได้มีอุณหภูมิ 120°C จากการนำตัวอย่างเหง้ามันสำปะหลังไปวิเคราะห์ทางเคมีพบว่ามีความร้อนสูง สูงถึง 3967 cal/g ที่ความชื้น 9% มีปริมาณกัมมะถันเพียง 0.14% รูปแบบเหง้ามันสำปะหลังที่ใช้มี 2 แบบ คือแบบชิ้นเล็ก ๆ (chips) กับแบบท่อน (chunks) ท่อนหนึ่งยาวประมาณ 2-3 นิ้ว การทดลองมี 4 กรณีคือที่ อากาศส่วนเกิน 40%, 80%, 120%, 160% จากผลการทดลองพบว่า

(1) ในการทำการทดลอง เนื่องจากทำการป้อนเชื้อเพลิงทุก 10 นาที พบว่าอุณหภูมิของแก๊สไอเสียในห้องเผาไหม้มีค่าแกว่งขึ้นลง ดังแสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ผลการวัดองค์ประกอบของแก๊สไอเสียก็มีค่าแกว่งขึ้นลงเช่นเดียวกัน จากการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ได้ค่าออกมาสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในรูปที่ 4

(2) ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ได้ออกมามากที่สุด ที่การทดลอง 120%EA ดังนั้นจึงสามารถถ่ายเทความร้อนไปให้น้ำเพื่อผลิตไอน้ำได้มากขึ้นด้วย ที่ 120%EA ใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้น สำหรับการทดลองที่ได้ความร้อนจากการเผาไหม้ออกมาน้อยที่สุดคือที่ 80%EA ดังนั้นความร้อนที่จะสามารถถ่ายเทให้กับน้ำเพื่อผลิตไอน้ำจึงมีค่าต่ำด้วย ซึ่งที่ 80%EA นี้ใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบท่อนเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูป 5 จะเห็นว่าการเผาไหม้ของเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นดีกว่าแบบท่อนเพราะว่าแบบชิ้นมีพื้นที่ผิวสำหรับเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้และความร้อนในไอน้ำกับอากาศส่วนเกิน

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักซีเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้

เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%)	ปริมาณซีเถ้าที่ได้ทั้งหมด (kg)	ปริมาณซีเถ้าที่ได้ต่อหน่วยเวลา (kg/hr)
40	8	2.83
80	14	3.36
120	10	2.61
160	8.5	1.96

การเผาไหม้ได้มากกว่า ปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สามารถสูญเสียไปโดยถูกผนังหม้อไอน้ำดูดซับไว้ ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังหม้อไอน้ำ เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียทางปล่องควัน

(5) ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำนี้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 47% ผลิตไอน้ำที่ความดันสัมบูรณ์ 2 บาร์ได้สูงสุดเท่ากับ 55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ 120%EA ดังแสดงในรูปที่ 6

(8) เชื้อเพลิงจากการเผาไหม้มีลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อนข้างละเอียด ที่ตะกรับไม่พบว่าการหลอมละลายของเหง้ามันสำปะหลังแต่อย่างใด

(9) การใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากว่ามีกำมะถันเป็นองค์ประกอบเพียง 0.14% จากการทดลองพบว่าปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 ppm และปริมาณแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 73 ppm ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 200 ppm สำหรับปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2600 ppm ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 870 ppm

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยพลังงาน และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาทดลองมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงด้วยระบบเผาไหม้สมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: 2538.
- [2] สุวรรณ แสงเพชร. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเหง้ามันสำปะหลัง. ใน การบรรยายพิเศษของ IEEE Thailand Section ร่วมกับศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. 22 ธันวาคม 2541 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] Terrell Croft. Steam Boilers. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1937.
- [4] Frank P. Incropera, and David P. De Witt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- [5] สุวิทย์ บุญยวานิชกุล. เชื้อเพลิงจากมันสำปะหลัง. วารสารพลังงาน ปีที่ 3 (2539): 40-50.