บทที่ 2

การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานจากชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง (Cassava-Rhizome) ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนให้กับระบบทางความร้อนในงานทางวิศวกรรม ที่ได้มีการศึกษาค้นคว้าและวิจัยมาก่อนหน้านี้มีดังต่อไปนี้

สุวิทย์ บุณยวานิชกุล [26] ได้ทดลองใช้เหง้ามันสำปะหลัง (มันเส้น) เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาแบบตะกรับเตาเคลื่อนที่สำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง เพื่อให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำในการผลิตไอน้ำของโรงงานไทยแอลกอฮอล์ จำกัด อ.บางเลน จ.นครปฐม ซึ่งหม้อไอน้ำมีขีดความสามารถในการผลิตไอน้ำได้สูงสุด 90 ตันต่อชั่วโมง ที่ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 360 °C ไอน้ำที่ผลิตได้ส่วนหนึ่งถูกจ่ายเข้าไปยัง Steam turbine เพื่อผลิตไฟฟ้า ส่วนที่สองถูกส่งเข้าไปยังหอกลั่นแอลกอฮอล์ และส่วนที่สามถูกส่งเพื่อนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อ ในการศึกษามีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการยืนยันความเป็นไปได้ในการใช้มันสำปะหลัง (มันเส้น) เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

จากผลการทดลองพบว่า

1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านการเป็นเชื้อเพลิงของมันสำปะหลังโดยวิธี proximate analysis ได้ดังนี้

Calorific Value	3,500-4,000 kcal/kg
Moisture Content	11.5-12.8%
Volatile Matter	69-72%
Fixed Carbon	10-13%
Sulfur	0.16%

2. ในการทดลองมีการใช้มันสำปะหลัง (มันเส้น) ร่วมกับแกลบและใช้ bio-gas ช่วยในการเผาไหม้ การทดลองได้เพิ่มสัดส่วนของปริมาณมันสำปะหลังมากขึ้นจนใช้มันสำปะหลังอย่างเดียว ทั้งลดระดับการใช้ bio-gas ที่ช่วยในการเผาไหม้ แต่การเผาไหม้กลับดียิ่งขึ้น

3. ไม่พบว่ามีการเกิด explosion หรือ detonation ที่เป็นอันตรายร้ายแรงต่อเครื่องจักรในการทดลอง
4. ไม่เกิดการหลอมละลายขี้เถ้า (molten ash) ของเชื้อเพลิงในทุกกรณีที่ทำการทดลอง
5. ไม่พบกลิ่นหรือควันที่เกิดจากการเผาไหม้มันสำปะหลัง (มันเส้น) ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงที่อาจเกิดอันตราย
6. การกระจายของมันสำปะหลัง (มันเส้น) บนตะกรับเตากระจายตัวเป็นชั้นบางๆ สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดซึ่งแตกต่างจากแกลบที่มีการกองรวมตัวเป็นจุดๆ
7. จากการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ใช้มันสำปะหลัง (มันเส้น) เป็นเชื้อเพลิง พบว่าได้ประสิทธิภาพ 46-49% โดยมีความร้อนสูญเสียมากที่สุดไปกับแก๊สไอเสียประมาณ 26% จากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียทั้งหมด 50%

นอกจากงานการศึกษาและทดลองข้างต้นแล้ว ยังมีงานค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้มันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ ซึ่งมันสัมปะหลังที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนี้อยู่ในรูปผงแป้งมันสำปะหลัง

เศรษฐการ เศรษฐการุณย์ [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับหัวเผาที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งหัวเผาที่ใช้ในการทดลองมี 2 แบบ แบบที่หนึ่งคือ premixed burner โดยอากาศส่วนที่หนึ่งถูกส่งมาพร้อมกับผงแป้งมันสำปะหลังในแนวแกนท่อ และอากาศส่วนที่สองถูกส่งมาในแนวรัศมีเพื่อช่วยในการเผาไหม้ หัวเผาแบบที่สองคือ แบบ diffusion burner โดยอากาศส่วนที่หนึ่งถูกส่งมาพร้อมกับผงแป้งมันสำปะหลังโดยอาศัยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร สอดอยู่ในแนวแกนของหัวเผา และอากาศส่วนที่สองถูกส่งมาในแนวรัศมี

ในการทดลองทำการวัดค่าอุณหภูมิของเปลวไฟ วัดระยะความยาวของเปลวไฟ และวัดปริมาณก๊าซเสียและขี้เถ้าจากการเผาไหม้ จากการศึกษาพบว่า

1 ค่าของอุณหภูมิและค่าความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) จะมีจุดที่สูงที่สุดใกล้เคียงกันในช่วงอัตราส่วนสมมูล (ϕ) 1.6-1.75 อุณหภูมิเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้สูงสุดคือประมาณ 850 °C
2 ที่ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) 1.6-1.75 ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) จะมีค่าต่ำที่สุดและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะมีค่าสูงสุด ซึ่งแสดงถึงช่วงอัตราส่วนสมมูลนี้จะเกิดการเผาไหม้ดีที่สุดและสมบูรณ์ที่สุด เช่นเดียวกันก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีปริมาณน้อยที่สุด

3 จากการทดลองเก็บปริมาณขี้เถ้าหลังการเผาไหม้ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่างๆ พบว่าที่ค่าอัตราส่วนสมมูลในช่วง 1.65 ถึง 1.75 ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิและค่าความเร็วในการเผาไหม้สูงสุด จะมีปริมาณขี้เถ้าหลังการเผาไหม้น้อยที่สุด

4 สีของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้จะมีสีม่วงที่แกนกลางของเปลวไฟ ขณะเกิดการลุกไหม้ภายในหัวเผาทั้งสองแบบ

5 จากการทำการทดลองพบว่าไม่มีการระเบิด (explosion) หรือการลุกไหม้แบบย้อนกลับของเปลวไฟของเชื้อเพลิงผงแป้งมันสำปะหลังเลย

6 ขณะที่ใช้ส่วนผสมหนา (rich mixture) จะเกิดเปลวไฟที่ระยะห่างจากท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ของหัวเผามากกว่าขณะที่ใช้ส่วนผสมบาง (lean mixture) เนื่องจากส่วนผสมหนาต้องการอากาศจากภายนอกมาส่วยในการเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งทำให้ส่วนผสมเบาบางลงให้เหมาะกับการเผาไหม้

นอกจากงานค้นคว้าและวิจัยคุณสมบัติด้านการเป็นเชื้อเพลิงของมันสำปะหลังทั้งสองข้างต้นนั้น ยังมีงานการศึกษาและทดลองคุณสมบัติด้านการเป็นเชื้อเพลิงของเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้น (Cassava Rhizome Chips) ในเตาเผาแบบการเผาไหม้สมบูรณ์ (การเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลังโดยตรง)

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตปทุมธานี [27] ได้ทำการศึกษาและทดลองเผาเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้น (Cassava Rhizome Chips) ในเตาหุงต้มอาหาร เพื่อศึกษาดูลักษณะการเผาไหม้และคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของเหง้ามันสำปะหลัง พร้อมทั้งสังเกตลักษณะของเปลวเพลิง (flame) ที่ได้จากการเผาไหม้ โดยทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์กับธาตุและสารองค์ประกอบในเหง้ามันสำปะหลัง โดยได้ผลการทดลองศึกษาดังนี้

1. ในการพิจารณานำ “เหง้ามันสำปะหลัง” มาเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากเป็น**วัสดุเหลือจากผลผลิตทางการเกษตร** แล้วยังมีค่าความร้อนประมาณ 3,500 kcal/kg ที่ค่าความชื้น 12% และ 4,007 kcal/kg (Moisture Free at 105 °C)

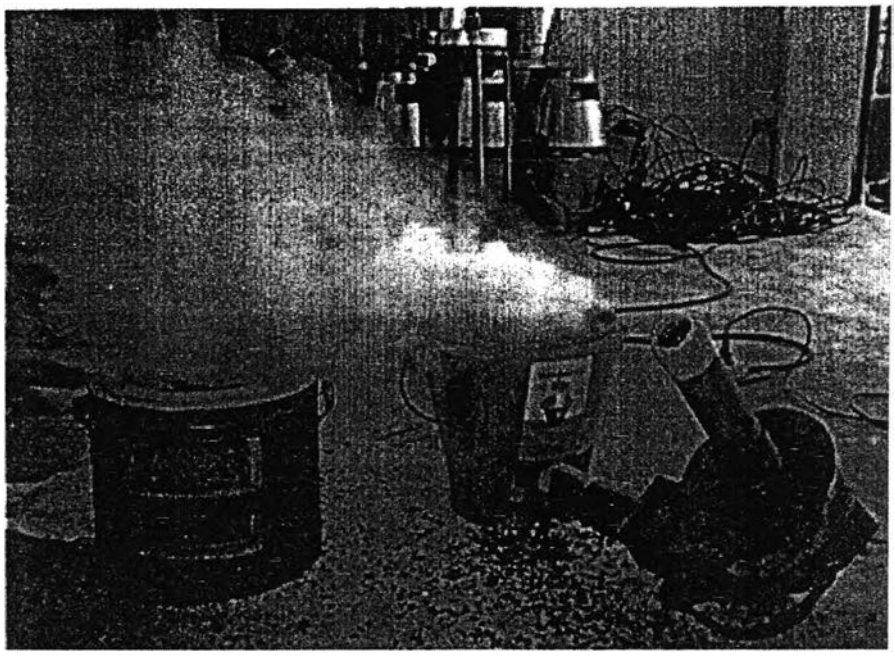
   ค่าความร้อนขนาดนี้ **สูงกว่า** ของถ่านหินลิกไนต์ที่แม่เมาะ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,500 kcal/kg และมีค่า **ใกล้เคียง** กับของไม้ฟืน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,800 kcal/kg

   ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของ “เหง้ามันสำปะหลัง” มีดังนี้ Moisture 12.2% , Ash 4.8% , Volatile Matter 72.6% , Fixed Carbon 10.4% (Total = 100%)

และ Volatile Matter (Cellulose and Lignin) ประกอบด้วย

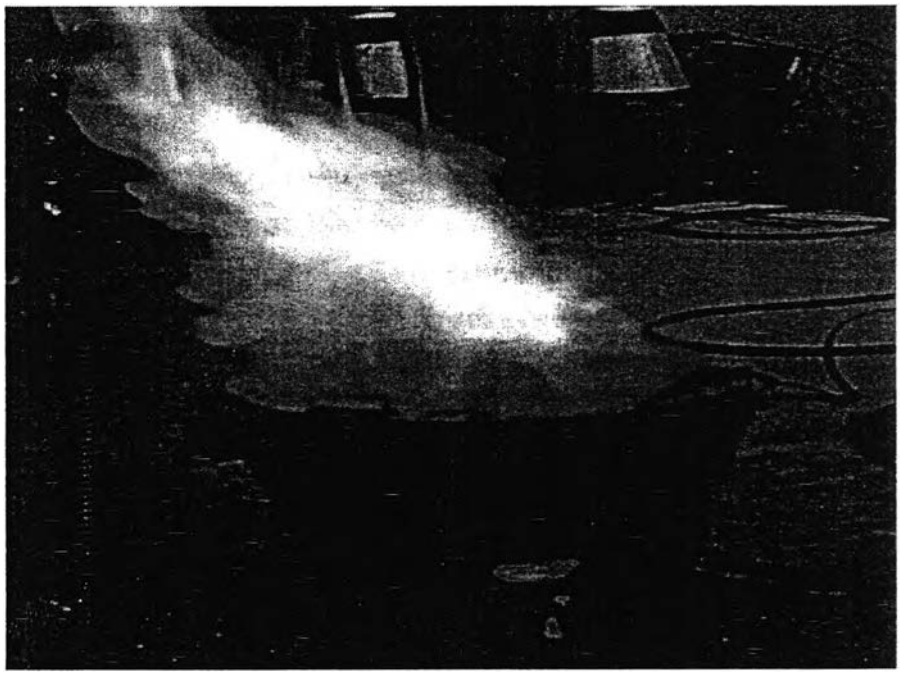
1. Organic Carbon		42.10%
2. Hydrogen		6.02%
3. Total Sulfur		0.05%
4. Combustible Sulfur		0.03%
5. Non-combustible Sulfur		0.02%
6. Nitrogen		0.37%
7. Ash		5.5%
8. Oxygen		45.98%
	Total	100%

2. ดังนั้นค่าความร้อน (Calorific Value) ของ "เหง้ามันสำปะหลัง" ซึ่งเท่ากับ 3,500 kcal/kg นั้น **ส่วนใหญ่**จะเกิดมาจาก Volatile Matter **มิใช่มาจาก** Fixed Carbon 10.4%
3. Volatile Matter 72.6% จะสลายตัว (Breakdown) **ได้ง่ายตามหลังการไล่ความชื้น** ออกจากเหง้ามันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 100 – 105 องศาเซลเซียส และจะเกิดเป็น Volatile Combustible Gas ซึ่งจะติดไฟขึ้นได้ด้วยตัวเองที่อุณหภูมิประมาณ 186 องศาเซลเซียส (Ignition Temperature 186 °C) ขอให้พิจารณาดูจาก**รูปที่ 2.1** เมื่อโปะ "ชิ้นเหง้ามันสำปะหลังตากแห้ง (Rhizome Chips)" ไว้บน Red-heat Charcoal จะเห็นว่าเกิด **"ควันสีขาว"** ซึ่งประกอบด้วย Volatile Gas (ที่สลายตัวมาจาก Volatile Matter) รวมตัวอยู่กับไอน้ำและฝุ่นละออง



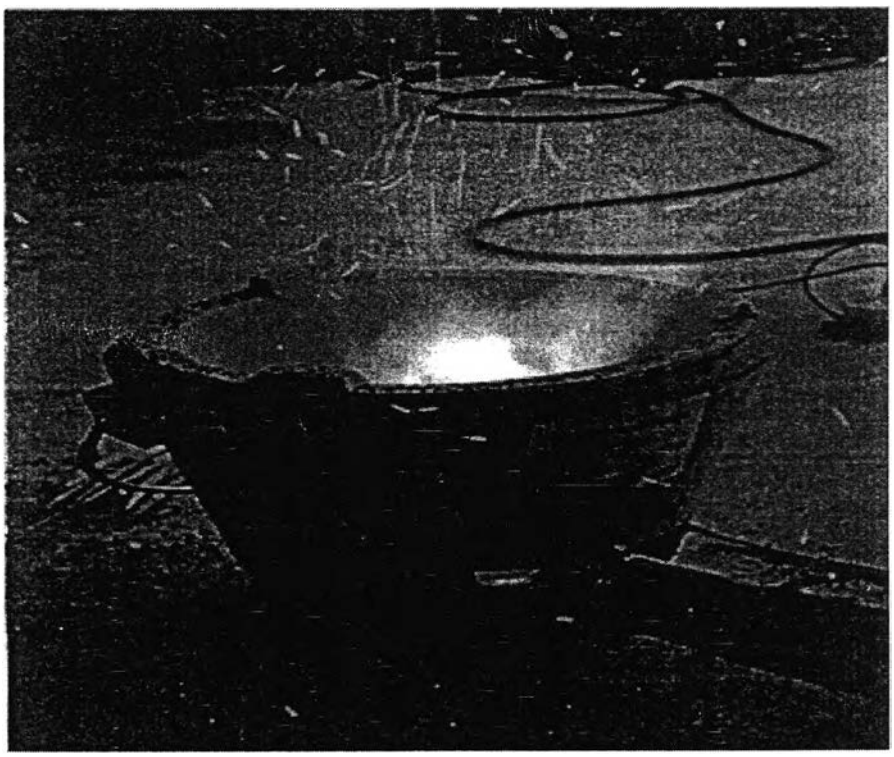
รูปที่ 2.1 ควันสีขาวเมื่อโปะ "ชิ้นเหง้ามันสำปะหลังตากแห้ง"

รูปที่ 2.2 แสดงการติดไฟลุกไหม้ Volatile Gas อย่างรวดเร็วได้ด้วยตัวเอง ภายหลังจากที่เกิด **"ควันสีขาว"** ดังกล่าวในรูปที่ 2.1 ในเวลาที่เร็วมาก 4 ถึง 5 วินาที ได้แสงสว่างจ้า



รูปที่ 2.2 เปลวไฟจากการเผาไหม้แบบสมบูรณ์จากเหง้ามันสำปะหลัง

4. สีของเปลวไฟเป็น **สีแดง-สีส้ม-สีเหลือง** ผสมอยู่ด้วยกันจากการติดไฟลุกไหม้แบบสมบูรณ์ (Complete Combustion) ของก๊าซ Ethylene (C_2H_4) และก๊าซ Ethane (C_2H_6) ซึ่งได้สลายตัวมาจาก Volatile Matter
5. เมื่อเปลวไฟดับมอดหมดแล้ว ส่วนที่เหลืออยู่ สีน้ำตาลเข้ม คือ **"Char"** ซึ่งมีน้ำหนักเบาประมาณ 15% (โดยน้ำหนักจากเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลัง 100%) และประกอบด้วย Fixed Carbon (10%) รวมอยู่กับ Non-Combustible Solids (5%)
6. เมื่อปล่อยให้ **"Char"** ติดไฟไหม้ต่อไปอีก จึงจะกลายเป็น**ขี้เถ้าสีขาว** ประมาณ 5% โดยน้ำหนัก และการปลดปล่อยพลังงานความร้อน**ค่อนข้างช้ามาก** เมื่อเปรียบเทียบกับการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากถ่านไม้ (Wood Charcoal) **รูปที่ 2.3** แสดงการติดไฟลุกไหม้แบบสมบูรณ์ (Complete Combustion) ของถ่านไม้ (Wood Charcoal) ซึ่งมี Volatile Matter เพียง 10-20% Fixed Carbon 80-90%



รูปที่ 2.3 การเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของถ่านไม้

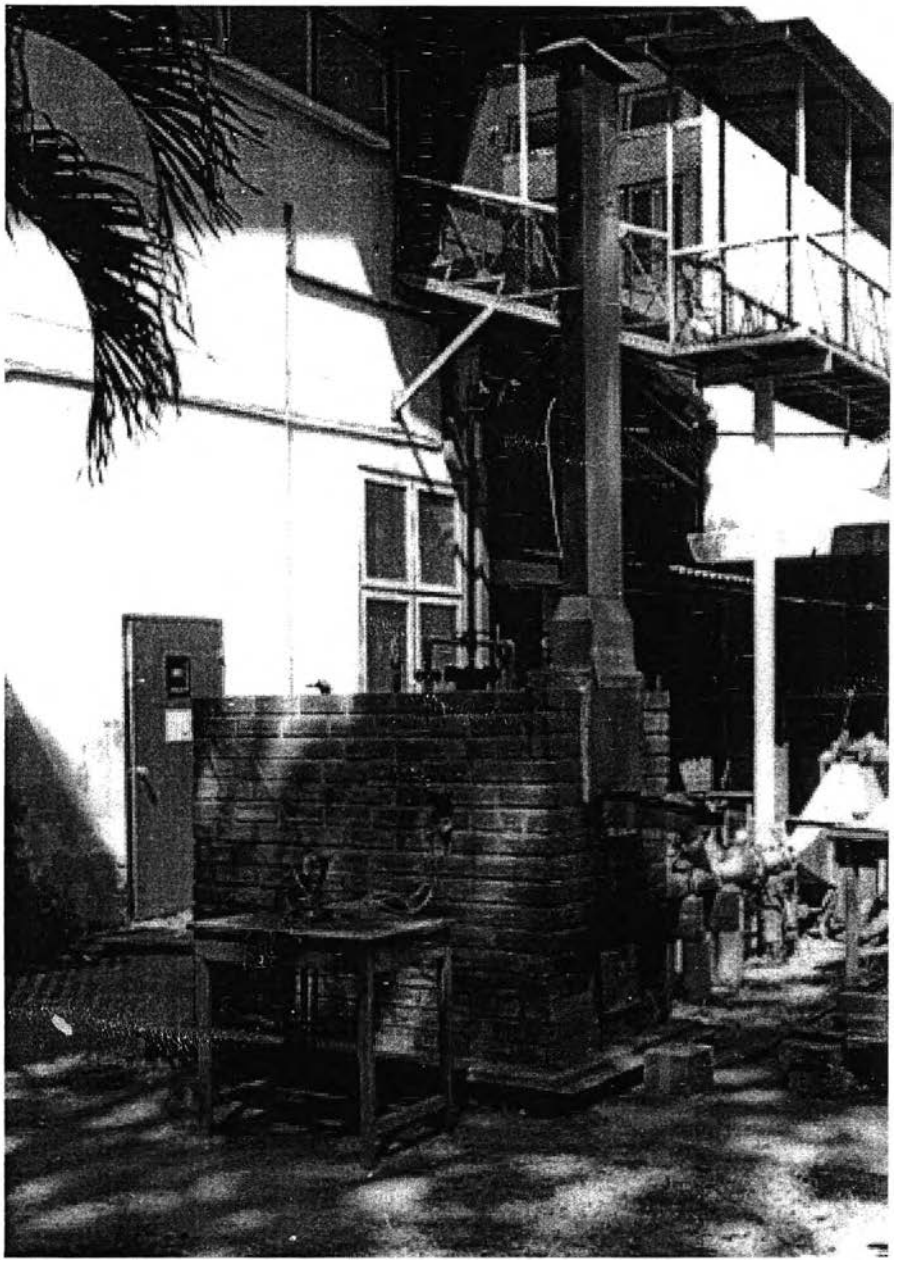
จิรวุฒิ จิตตโสภณ [28] ได้ทำการศึกษา ออกแบบ และจัดสร้างหม้อไอน้ำความดันต่ำที่ใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง โดยออกแบบหม้อไอน้ำเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ โดยทำการผลิตไอน้ำที่ความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 2 บาร์ ไอน้ำที่ได้มีอุณหภูมิประมาณ 120 °C หม้อไอน้ำนี้ถือว่าเป็นหม้อไอน้ำความดันต่ำและเป็นหม้อไอน้ำขนาดเล็ก เชื้อเพลิงที่ใช้คือ เหง้ามันสำปะหลัง โดยรูปแบบของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ลักษณะ อย่างแรกเป็นเหง้ามันสำปะหลังที่มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ (Chips) อย่างที่สองเป็นเหง้ามันสำปะหลังที่ถูกสับออกเป็นท่อนๆ (Chunks) โดยมีความยาวประมาณ 2 ถึง 3 นิ้ว โดยทำการทดลอง 4 กรณี คือ การทดลองที่ค่าปริมาณอากาศ 40%EA, 80%EA, 120%EA และ 160%EA โดยการทดลองที่ 40%EA และ 120%EA ใช้เหง้ามันสำปะหลังที่เป็นชิ้น ส่วนการทดลองที่ 80%EA และ 160%EA ใช้เหง้ามันสำปะหลังที่เป็นท่อน อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังเท่ากับ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ทุก 10 นาที

ผลการทดลองการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลังได้ผลดังนี้

1. อุณหภูมิสูงสุดของแก๊สไอเสียในห้องเผาไหม้เท่ากับ 780.6 °C ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 80%EA
2. อุณหภูมิของแก๊สไอเสียในห้องเผาไหม้ จากผลการทดลองมีค่าที่แกว่งขึ้นลง เป็นผลเนื่องจากการที่ต้องป้อนเชื้อเพลิงเป็นจังหวะทุกๆ 10 นาที ในตอนที่ป้อนเชื้อเพลิงกองใหม่เข้าไป เชื้อเพลิงยังติดไฟไม่ดี ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 นาที เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟดีขึ้น อุณหภูมิในห้องเผาไหม้จึงเริ่มสูงขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ที่ต้องทำการป้อนเชื้อเพลิงกองใหม่เข้าไป ก็ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลงอีก แต่เมื่อเวลาผ่านไปได้ประมาณ 5 นาที เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟดีขึ้น อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ก็จะสูงขึ้นอีก ซึ่งจังหวะการขึ้นลงของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เป็นไปตามจังหวะการป้อนเชื้อเพลิง
3. ผลการที่ป้อนเชื้อเพลิงที่ทุกๆ 10 นาทีนี้เองทำให้ผลการวัดองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย ที่ทุกค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ทำการทดลอง มีค่าที่แกว่งขึ้นลงตามช่วงเวลาของการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ด้วย ทำให้ผลการวัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สไอเสีย ที่ได้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ ซึ่งจากการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลอง ได้ค่าเบี่ยงเบนออกมาสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

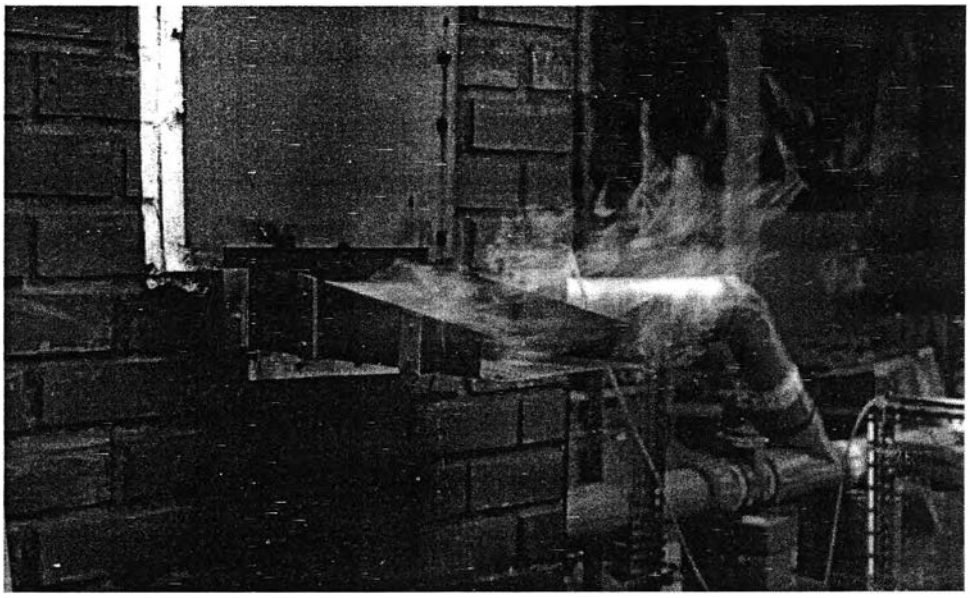
4. เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน ความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถถ่ายเทให้กับน้ำในตัวหม้อไอน้ำได้มาก คือผลิตไอน้ำได้มากขึ้น ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจึงสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน โดยที่ 120%EA ได้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ออกมามากที่สุดและการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นก็ดีที่สุด คือมีเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ 38.40% ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดในการทดลองทั้งหมดที่ 80%EA ได้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ต่ำที่สุดเพราะการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มากที่สุด คือ มีเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ 68.42% ซึ่งสูงที่สุดในการทดลองทั้งหมด ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สามารถสูญเสียไปกับผนังหม้อไอน้ำที่จะดูดซับความร้อนไว้ ความร้อนสูญเสียไปกับการถ่ายเทโดยการนำผ่านผนังหม้อไอน้ำและเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งความร้อนสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียออกทางปล่องควัน ดังนั้นความร้อนที่เหลือที่สามารถจะถ่ายเทให้กับน้ำจึงลดลง
5. จากผลการทดลอง การเผาไหม้ของเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นดีกว่าเหง้ามันสำปะหลังแบบท่อน เพราะว่าแบบชิ้นมีพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้มากกว่า ดังนั้นที่ทุกเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ได้ทำการทดลอง ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจากการใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นจึงสูงกว่าการใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบท่อน
6. ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 47.23% และมีอัตราการผลิตไอน้ำที่ความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 2 บาร์ ได้สูงสุดเท่ากับ 55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 120%EA โดยใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นเป็นเชื้อเพลิง
7. ในขณะทำการทดลอง ควันที่ออกมาจากปล่องไอเสีย สังเกตได้ว่ามีสีขาวเกือบเทาซึ่งน่าจะเป็นไอน้ำ แต่ไม่สังเกตเห็นขี้เถ้าบินออกมาแต่อย่างใด และมีกลิ่นเหม็นด้วยแต่ไม่มีเครื่องมือที่จะตรวจสอบได้ว่า กลิ่นที่มีนี้จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานหรือไม่
8. ในขณะทำการทดลอง ไม่พบว่ามีการเกิด Detonation หรือการระเบิดเนื่องจากการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลัง แต่ในขณะที่ทำการป้อนเหง้ามันสำปะหลังเข้าไปในห้องเผาไหม้ บางครั้งมีเปลวไฟลุกไหม้ออกมาจากช่องป้อนเชื้อเพลิง เนื่องจากว่าอากาศที่ให้เข้าไปนั้นมีอัตราการไหลสูงและมีความเร็วสูง ทำให้ความดันในห้องเผาไหม้สูงขึ้นเช่นที่ 160%EA
9. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว จากการขึ้นไปสังเกตดูที่ปลายของปล่องควัน พบว่าที่ปลายปล่องควันมีฟิล์มน้ำมันสีดำบางๆ หรือที่เรียกว่า tar ซึ่งมีเพียงเล็กน้อยได้จากการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลังเคลือบอยู่บริเวณผิวด้านในของปลายปล่องควันแต่เป็นระยะสั้นๆ และมีไม่มาก

10. ขี้เถ้าจากการเผาไหม้มีลักษณะเป็นผงสีเทาค่อนข้างละเอียด แต่ส่วนที่เป็นชิ้นเหง้ามันสำปะหลังที่เผาไหม้ไม่หมดมีน้อยมาก ที่ตะกรับก็ไม่พบว่ามีการหลอมละลายของเหง้ามันสำปะหลัง (molten ash) จนเกิดเป็นกากติดแน่นบนตะกรับแต่อย่างใด
11. ในการออกแบบได้กำหนดให้หม้อไอน้ำมีอัตราการผลิตไอน้ำเท่ากับ 95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่จากการทดลอง หม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้สูงสุดเท่ากับ 55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 84 W/m^2 K ที่การทดลองที่ 120%EA
12. การสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นของหม้อไอน้ำที่สำคัญคือ ความร้อนที่ผนังของหม้อไอน้ำดูดซับไว้ ซึ่งมีค่ามากที่สุดของความร้อนสูญเสียทั้งหมดของหม้อไอน้ำนี้
13. การใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากว่าเหง้ามันสำปะหลังมีค่าซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเพียง 0.14% จากการทดลองพบว่า ปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ไม่เกิน 500 ppm และปริมาณแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 73 ppm ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ไม่เกิน 200 ppm สำหรับปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2,600 ppm ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ไม่เกิน 870 ppm

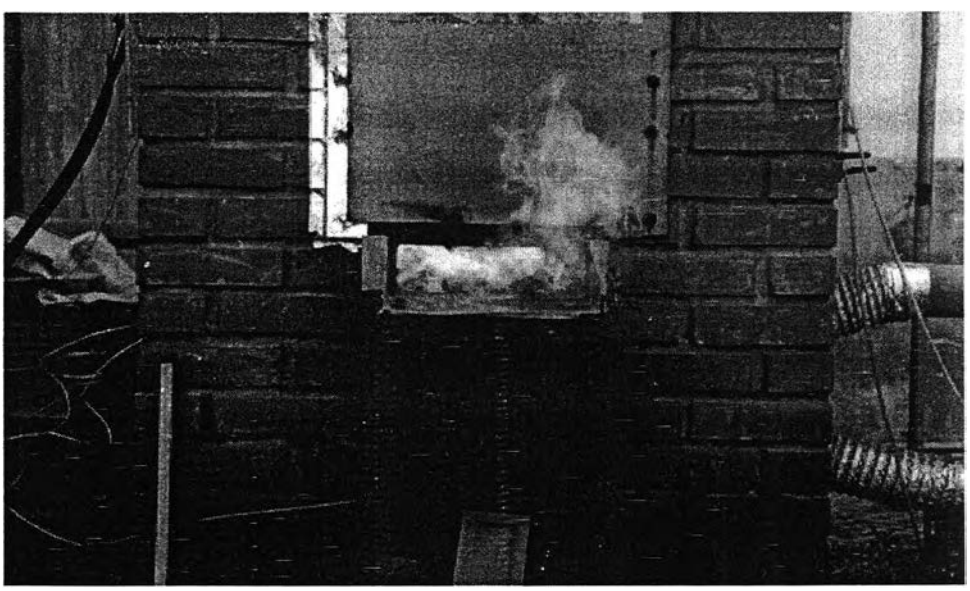


รูปที่ 2.4 แสดงหม้อไอน้ำความดันต่ำที่ใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

เมื่อทำการเผาเหง้ามันสำปะหลังในห้องเผาไหม้ของเตาเผาจะได้เปลวไฟและความร้อนออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงเปลวไฟที่ได้จากการเผาเหง้ามันสำปะหลังในเตาเผาแบบสมบูรณ์



รูปที่ 2.6 แสดงความร้อนที่ได้จากการเผาเหง้ามันสำปะหลังในเตาเผาแบบสมบูรณ์