บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

หม้อไอน้ำที่ได้ออกแบบมาเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ซึ่งส่วนที่เป็นส่วนของตัวหม้อไอน้ำ (boiler shell) กับส่วนที่เป็นห้องเผาไหม้ (combustion chamber) แยกออกจากกันอย่างชัดเจน การไหลของแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เป็นแบบ 2 กลับ ดังนั้นความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำภายในตัวหม้อไอน้ำเป็น 2 ช่วง ช่วงแรก ความร้อนจากแก๊สร้อนถ่ายเทไปให้กับน้ำจากบริเวณในส่วนของห้องเผาไหม้ที่อยู่ภายนอกตัวหม้อไอน้ำ และช่วงที่สอง ความร้อนถ่ายเทให้กับน้ำเมื่อแก๊สร้อนไหลเข้าไปในท่อไฟ

หม้อไอน้ำนี้สามารถผลิตไอน้ำที่ความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 2 บาร์ หรือเทียบได้เท่ากับ ไอน้ำที่ผลิตได้มีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 120°C หม้อไอน้ำนี้ถือว่าเป็นหม้อไอน้ำแรงดันต่ำและเป็นหม้อไอน้ำขนาดเล็ก เชื้อเพลิงที่ใช้คือ เหง้ามันสำปะหลัง (cassava-rhizome) ซึ่งเหง้ามันสำปะหลังเป็นสิ่งที่เหลือใช้หลังจากที่เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังแล้ว โดยปกติไม่มีการใช้ประโยชน์จากเหง้ามันสำปะหลังนี้ และเกษตรกรมักจะเผาทิ้งไป แต่จากการนำตัวอย่างเหง้ามันสำปะหลังไปทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของการใช้เป็นเชื้อเพลิง พบว่า เหง้ามันสำปะหลังมีค่าความร้อนสูง สูงถึง 3967 cal/g ที่ความชื้น 9.1% และมีปริมาณของกำมะถันเพียง 0.14% ซึ่งต่ำมาก แสดงให้เห็นว่า เหง้ามันสำปะหลังมีศักยภาพของการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำ จากผลการคำนวณจำนวนเหง้ามันสำปะหลังที่ต้องป้อนให้กับหม้อไอน้ำเพื่อใช้ในการเผาไหม้เท่ากับ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งการป้อนเชื้อเพลิงเป็นแบบใช้แรงงานคน ที่เรียกว่า batch-operation รูปแบบของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ลักษณะ อย่างแรก เป็นเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านเข้าเครื่องหั่นย่อย ดังนั้นที่ได้ออกมาจึงเป็นชิ้นเล็กๆ (chips) อย่างที่สอง เป็นเหง้ามันสำปะหลังที่ถูกสับเป็นท่อนๆ (chunks) โดยใช้แรงงานคน ท่อนหนึ่งยาวประมาณ 2-3 นิ้ว

ในการทดลองมี 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

จากผลการทดลองพบว่า

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 ซึ่งจังหวะการขึ้นลงของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ เป็นไปตามจังหวะการป้อนเชื้อเพลิง

3 ผลการที่ป้อนเชื้อเพลิงที่ทุกๆ 10 นาทีนี้เองทำให้ผลการวัดองค์ประกอบของแก๊สไอเสียที่ทุกค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ทำการทดลอง มีค่าที่แกว่งขึ้นลงตามช่วงเวลาของการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ด้วย ทำให้ผลการวัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สไอเสีย ที่ได้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ ซึ่งจากการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลอง ได้ค่าเบี่ยงเบนออกมาสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

4 เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน ความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถถ่ายเทให้กับน้ำในตัวหม้อไอน้ำได้มาก คือผลิตไอน้ำได้มากขึ้น ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจึงสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน โดยที่ 120%EA ได้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ออกมามากที่สุด และการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นก็ดีที่สุด คือมีเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ 38.40% ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดในการทดลองทั้งหมด ที่ 80%EA ได้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ต่ำที่สุด เพราะการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มากที่สุด คือ มีเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ 68.42% ซึ่งสูงที่สุดในการทดลองทั้งหมด ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สามารถสูญเสียไปกับผนังหม้อไอน้ำที่จะดูดซับความร้อนไว้ ความร้อนสูญเสียไปกับการถ่ายเทโดยการนำผ่านผนังหม้อไอน้ำ และเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งความร้อนสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียออกทางปล่องควัน ดังนั้นความร้อนที่เหลือที่สามารถจะถ่ายเทให้กับน้ำ จึงลดลง

5 จากผลการทดลอง การเผาไหม้ของเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้น ดีกว่าเหง้ามันสำปะหลังแบบท่อน เพราะว่าแบบชิ้นมีพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้มากกว่า ดังนั้นที่ทุกเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ได้ทำการทดลอง ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจากการใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นจึงสูงกว่าการใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบท่อน

6 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 47.23% และมีอัตราการผลิตไอน้ำที่ความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 2 บาร์ ได้สูงสุดเท่ากับ 55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่การทดลองที่ 120%EA ซึ่งใช้เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้น

7 ในขณะทำการทดลอง ควันที่ออกมาจากปล่องไอเสีย สังเกตได้ว่ามีสีขาวเกือบเทาซึ่งน่าจะเป็นไอน้ำ แต่ไม่สังเกตเห็นขี้เถ้าบินออกมาแต่อย่างใด และมีกลิ่นเหม็นด้วยแต่ไม่มีเครื่องมือที่จะตรวจสอบได้ว่า กลิ่นที่มีนี้จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานหรือไม่

8 ในขณะทำการทดลอง ไม่พบว่ามีการเกิด Detonation หรือการระเบิดเนื่องจากการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลัง แต่ในขณะที่ทำการป้อนเหง้ามันสำปะหลังเข้าไปในห้องเผาไหม้ บางครั้งมีเปลวไฟลุกไหม้ออกมาจากช่องป้อนเชื้อเพลิง เนื่องจากว่าอากาศที่ให้เข้าไปนั้นมีอัตราการไหลสูงและมีความเร็วสูง ทำให้ความดันในห้องเผาไหม้สูงขึ้น เช่นที่ 160%EA

9 เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว จากการขึ้นไปสังเกตดูที่ปลายของปล่องควัน พบว่าที่ปลายปล่องควันมีฟิล์มน้ำมันสีดำบางๆ หรือที่เรียกว่า tar ซึ่งมีเพียงเล็กน้อยได้จากการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลังเคลือบอยู่บริเวณผิวด้านในของปลายปล่องควันแต่เป็นระยะสั้นๆ และมีไม่มาก

10 ขี้เถ้าจากการเผาไหม้มีลักษณะเป็นผงสีเทาค่อนข้างละเอียด แต่ส่วนที่เป็นชิ้นเหง้ามันสำปะหลังที่เผาไหม้ไม่หมดมีน้อยมาก ที่ตะกรับก็ไม่พบว่ามีการหลอมละลายของเหง้ามันสำปะหลัง (moltant 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 2600 ppm ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ไม่เกิน 870 ppm

จากการวิจัยครั้งนี้สามารถยืนยันได้ว่า เหง้ามันสำปะหลังนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำในการผลิตไอน้ำได้

7.2 ข้อเสนอแนะ

1 ขนาดของเหง้ามันสำปะหลังที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ควรมีขนาดที่เหมาะสม ไม่ละเอียดหรือโตเกินไป และควรมีขนาดที่สม่ำเสมอเท่ากัน ก่อนนำมาใช้ควรตากแดดให้แห้งเพราะเวลาที่เผาไหม้จะไม่เกิดควันและช่วยรักษาเชื้อเพลิงให้เก็บได้นาน เหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองมี ความชื้นที่ประมาณ 9% หากสามารถลดความชื้นได้ต่ำกว่านี้ ก็จะทำให้การเผาไหม้ดียิ่งขึ้น ควันที่ออกมาก็จะน้อยด้วย

2 ควรมีอุปกรณ์อุ่นเชื้อเพลิงก่อนที่จะป้อนเข้าห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการลดความชื้นที่มีอยู่ในเหง้ามันสำปะหลัง

3 ควรปรับปรุงให้มีอุปกรณ์สำหรับป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และระบบน้ำป้อนเข้าตัวหม้อไอน้ำ ให้มีความต่อเนื่อง ปลอดภัยและสามารถควบคุมอัตราการป้อนได้แม่นยำ ติดตั้งพัดลมดูด (induced draft fan) ที่ปลายปล่องควันเพื่อป้องกันไฟลุกไหม้ออกมาทางช่องป้อนเชื้อเพลิง

4 ควรทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษาผลการใช้เชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังทั้งสองแบบ คือแบบชิ้นและแบบท่อน ในกรณีที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าเดียวกัน เพื่อศึกษาว่าเหง้ามันสำปะหลังแบบไหนที่จะเกิดการเผาไหม้ได้ดีกว่าและทำให้หม้อไอน้ำแรงดันต่ำมีประสิทธิภาพรวมได้ดีกว่า

5 ควบคุมปฏิกิริยาการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ให้เผาไหม้ได้สมบูรณ์มากขึ้นและเปรียบเทียบว่าปริมาณแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้มีองค์ประกอบของแก๊สชนิดต่างๆ เกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรือไม่

6 ในงานวิจัยนี้ การคำนวณสมดุลมวลของหม้อไอน้ำเน้นที่การทำสมดุลมวลของหม้อไอน้ำทั้งระบบไม่ได้เน้นการทำสมดุลมวลของแก๊สไอเสีย ดังนั้นต่อไปควรมีการคำนวณสมดุลมวลของแก๊สไอเสียด้วย