

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดหัวข้อการวิเคราะห์ ตามลำดับ
ดังนี้

1. อิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่ออุณหภูมิต่าง ๆ
2. อิทธิพลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่มีต่ออุณหภูมิที่ต่าง ๆ
3. อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่ออัตราการผลิตไอน้ำ
4. อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อองค์ประกอบของไอเสียที่ปล่อง

ทางออก

5. อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเตาเผา ประสิทธิภาพระบบโดยรวม และประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
6. อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้
7. อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้
8. อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อพลังงานที่ออกจากระบบ
9. การทดลองที่สภาวะการออกแบบ
10. การวิเคราะห์หาค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะการป้อนอากาศส่วนเกิน ควรทราบถึงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่
ปริมาณต่าง ๆ เพื่อนำไปหาค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกิน แสดงดัง
ตารางที่ 2 ดังนี้

ตาราง 3 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นอากาศส่วนเกินที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่าง ๆ

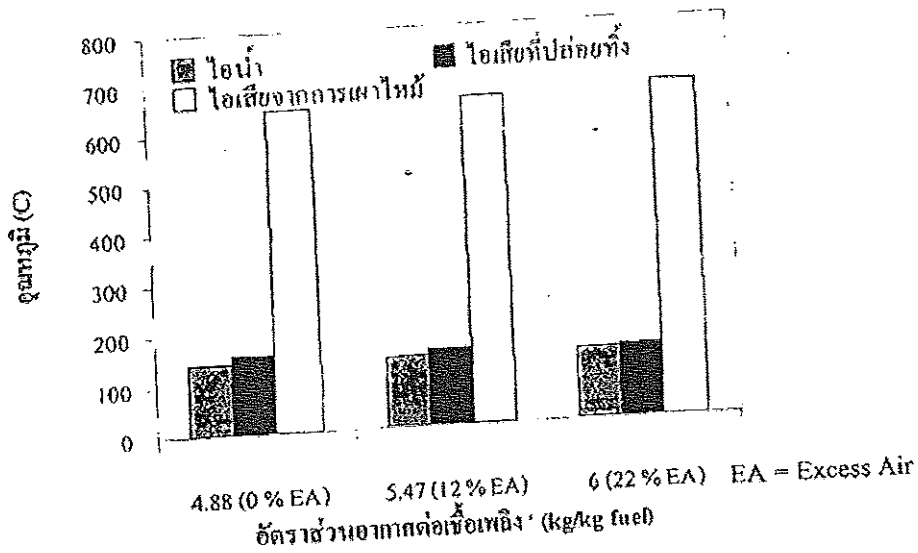
ชนิดเชื้อเพลิง	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg)	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อ	อากาศส่วนเกิน
		เพลิง	(%)
ฟางข้าว	16	4.88	0
		5.47	12
		5.96	22

ตาราง 3 (ต่อ)

ชนิดเชื้อเพลิง	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg)	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง	อากาศส่วนเกิน (%)
	14	5.57	14
		6.25	28
		6.84	40
	12	6.49	33
		7.28	49
		8.01	64
ขานอ้อย	17	4.58	-6
		5.16	6
		5.65	16
	15	5.21	7
		5.84	20
		6.38	31
	13	5.99	23
		6.77	39
		7.4	52

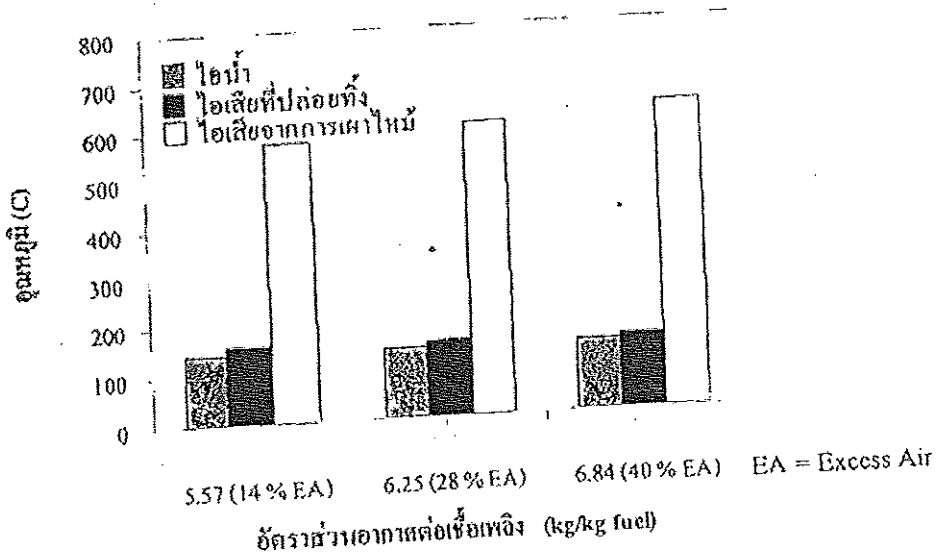
อิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ต่าง ๆ

ภาพประกอบ 35–37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิที่ต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าวที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเป็น 16, 14 และ 12 kg ตามลำดับ พบว่าในขณะที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่และมีการเพิ่มอากาศส่วนเกิน จะส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น สาเหตุหนึ่งจากเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลนั้นมีสารระเหย (Volatile Matter) ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ต่อได้หลังจากช่วงที่เชื้อเพลิงได้ผ่านการลดความชื้นแล้วและการเผาไหม้ในส่วนสารระเหยนี้เกิดขึ้นบริเวณเหนือของเชื้อเพลิง จึงทำให้เป็นเหตุผลหนึ่งที่อุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้สูงขึ้นตามอากาศส่วนเกิน นอกจากนี้เชื้อเพลิงยังมีการเผาไหม้ในส่วนคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ควบคู่กันไปด้วย (Holman, 1997)



ภาพประกอบ 35 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว 16 kg/hr

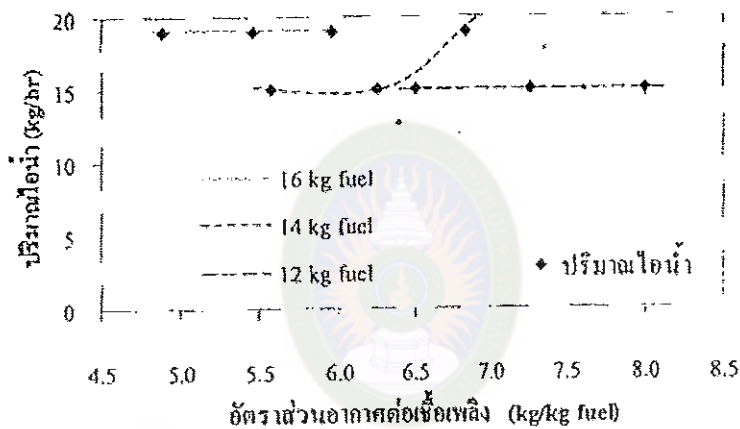
ภาพประกอบ 36 แสดงถึงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าวที่อัตราการป้อน 14 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 5.57, 6.25 และ 6.84 kg/kg_{fuel} ซึ่งจะเท่ากับปริมาตรอากาศส่วนเกินที่ 14% 28 และ 40% ซึ่งจะได้อุณหภูมิไอน้ำ 140, 140 และ 140°C อุณหภูมิไอเสียที่ปล่อยทิ้ง 156, 153 และ 149°C อุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้ 574, 602 และ 628°C ตามลำดับ



ภาพประกอบ 36 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว 14kg/hr

อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่ออัตราการผลิตไอน้ำ

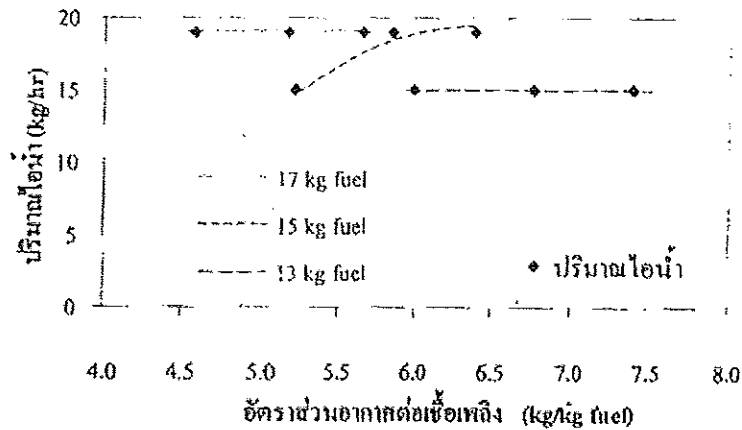
จากภาพประกอบ 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงฟางข้าว กับปริมาณไอน้ำ พบว่า ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จะอยู่ระหว่าง 15 – 19 kg/hr ซึ่งเมื่อมองถึง ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้กับอุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ดังแสดงในภาพประกอบ 38 แล้ว พบว่าปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้ เพราะมีการควบคุม ความดันไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิไอเสียที่ปล่อยทิ้งมีค่าใกล้เคียงกันที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่าง กัน สาเหตุนี้เนื่องจากความร้อนจากไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้มีการถ่ายโอนความร้อนได้มากกว่า จึงทำให้ได้ปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้นนั่นเอง



ภาพประกอบ 39 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับปริมาณไอน้ำจากการเผาไหม้ฟางข้าว

ในลักษณะเดียวกันเมื่อเชื้อเพลิงเป็นชานอ้อย การทดลองแสดงดังภาพประกอบ 40–2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ชานอ้อยที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเป็น 17, 15 และ 13 kg ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มเช่นเดียวกับการเผาไหม้ฟางข้าว และจากภาพประกอบ 43 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ชานอ้อย อุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ชานอ้อยจะมีค่าสูงกว่าการเผาไหม้ฟางข้าวเพราะค่าความร้อนของชานอ้อยจะสูงกว่ามากถึงแม้ว่าความชื้นเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกันและในการทดลองนั้น อัตราส่วนป้อนชานอ้อยจะมากกว่าฟางข้าว

ส่วนอิทธิพลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงนั้น พบว่าเมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้อุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามกัน เมื่อมองในจุดที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างกัน (17, 15 และ 13 kg/hr) แต่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกัน (อัตราส่วน

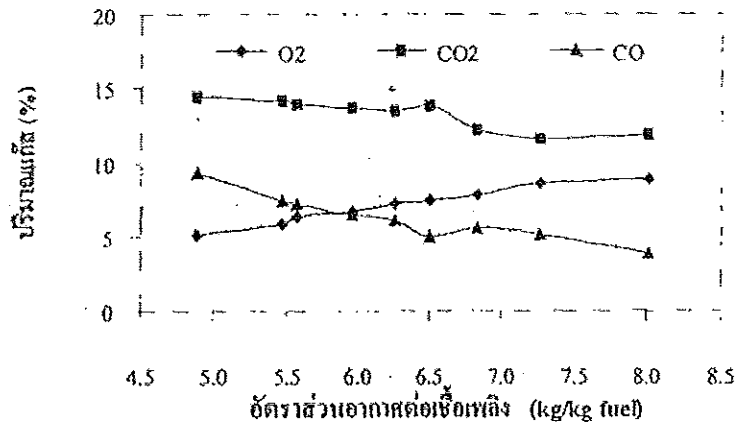


ภาพประกอบ 44 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับปริมาณไอน้ำจากการเผาไหม้ขาน้อย

อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อองค์ประกอบของไอเสียที่ปล่องทางออก

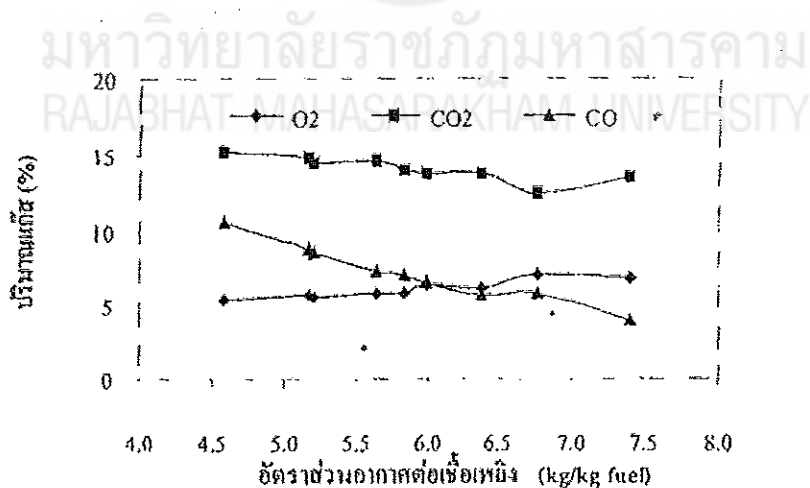
ภาพประกอบ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงฟางข้าวกับองค์ประกอบของไอเสียที่ปล่องทางออก จากการทดลองพบว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลงจาก 15% ถึง 12% แก๊สออกซิเจนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 5% ถึง 9% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีแนวโน้มลดลงจาก 9% ถึง 4% แสดงว่าอัตราการไหลของอากาศมากขึ้น ปฏิกริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ความต้องการแก๊สออกซิเจนในการเผาไหม้เกินความต้องการอากาศส่วนเกินเข้าไปเจือจางความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ให้ลดลงและไปเพิ่มความเข้มข้นให้กับแก๊สออกซิเจน โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงลดลง เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงในสัดส่วนที่สูงกว่า

ในทางตรงกันข้าม เมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ความต้องการแก๊สออกซิเจนในการเผาไหม้มากขึ้น ทำให้แก๊สออกซิเจนลดลง ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 45 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับปริมาณแก๊สต่างๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว

สำหรับการเผาไหม้โดยใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ดังภาพประกอบ 46 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย พบว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลงจาก 15% ถึง 14% แก๊สออกซิเจนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 5% ถึง 7% แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ มีแนวโน้มลดลง 10% ถึง 4% กลไกการเผาไหม้มีลักษณะคล้ายกับการเผาไหม้โดยใช้ฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิง

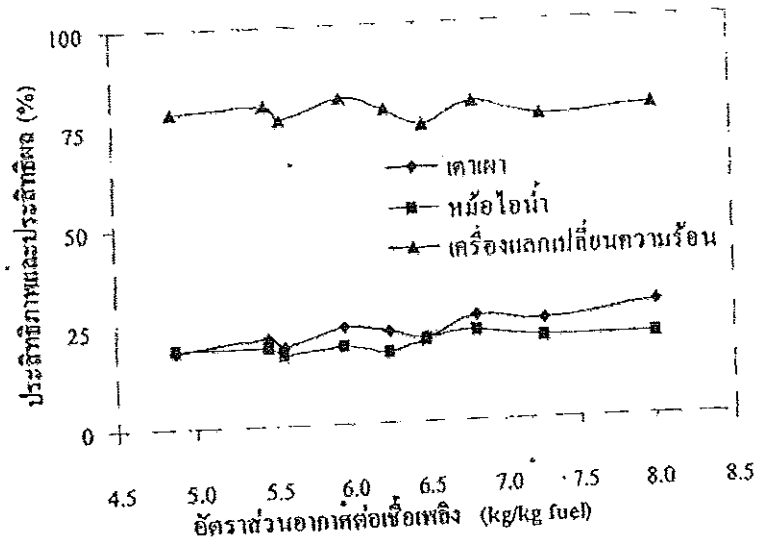


ภาพประกอบ 46 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับปริมาณแก๊สต่างๆ จากการเผาไหม้ชานอ้อย

อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเตาเผา ประสิทธิภาพระบบโดยรวม และประสิทธิผลเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ภาพประกอบ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว พบว่า ประสิทธิภาพเตาเผาและหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพไม่สูงนักเนื่องจากทั้งเตาเผาและหม้อไอน้ำเป็นระบบเปิดซึ่งต้องป้อนเชื้อเพลิงทางด้านหน้าเตาเผาแลปาคซีเล้าออกที่ด้านท้ายจึงทำให้เกิดความร้อนสูญเสียเป็นจำนวนมากและประสิทธิภาพของเตาเผาหม้อไอน้ำรวมทั้งประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เนื่องมาจากอุณหภูมิของไอเสียจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างไอเสียเข้าและออกจากหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของไอเสียเพิ่มขึ้น ความดันของไอเสียร้อนก็เพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพเตาเผาและระบบโดยรวมที่เพิ่มขึ้นตามอากาศส่วนเกิน เพราะอากาศส่วนเกินทำให้คาร์บอนในเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้จนเกือบทั้งหมดและสารระเหยในเชื้อเพลิงก็เผาไหม้ได้ดีขึ้นทำให้ได้อุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้สูงขึ้น การนำความร้อน ไปใช้ประโยชน์ดีขึ้นนั่นเอง

ส่วนอิทธิพลจากอัตราการป้อนเชื้อเพลิงทำให้ทราบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น เพราะว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงจะทำให้อุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ ซึ่งก็คืออุณหภูมิทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงและมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำได้มากกว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า เพราะไม่ว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม แต่อุณหภูมิไอน้ำจะถูกกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกันเสมอ (อาจจะเท่ากันได้) ส่วนประสิทธิภาพของเตาเผาและประสิทธิภาพหม้อไอน้ำมีเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงลดลง ซึ่งหมายความว่ามีการป้อนเชื้อเพลิงเกินความจำเป็น เพราะเชื้อเพลิงมีการคายความร้อนออกมาเต็มที่แต่ระบบสามารถนำความร้อนนั้นไปใช้งานได้น้อยกว่า จึงทำให้มีการสูญเสียความร้อนเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิง



ภาพประกอบ 47 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว

จากภาพประกอบ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อย พบว่า ประสิทธิภาพเตาเผาและหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพไม่สูงนักและประสิทธิภาพของเตาเผา หม้อไอน้ำรวมทั้งประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราอากาศต่อเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการเผาไหม้ฟางข้าว แต่ประสิทธิภาพของเตาเผาและหม้อไอน้ำจากการเผาไหม้ขานอ้อยจะต่ำกว่าการเผาไหม้ฟางข้าวเล็กน้อย เนื่องจากอัตราการดูดความร้อนของไอน้ำจากการเผาไหม้สูงกว่าอัตราการคายความร้อนของเชื้อเพลิงเมื่อมีการป้อนเชื้อเพลิงมากกว่า

ส่วนอิทธิพลจากอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจะส่งผลในทำนองเดียวกันกับการเผาไหม้ฟางข้าว

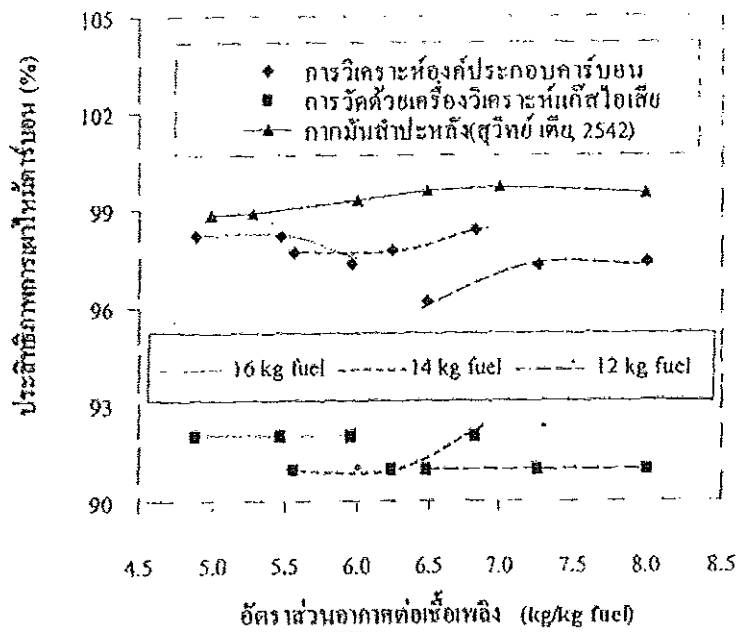
ภาพประกอบ 48 อัตราส่วนต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อย

อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน

จากภาพประกอบ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนจากการเผาไหม้ฟางข้าว โดยแสดงให้เห็นผลระหว่างการวิเคราะห์หองค์ประกอบคาร์บอนเป็นประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนและการวัดจากเครื่องวัดองค์ประกอบไอเสียเป็นประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเล็กน้อย เป็นผลสืบเนื่องมาจากการเพิ่มอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงมีโอกาสสัมผัสและคลุกเคล้ากับอากาศได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น การเผาไหม้ดีขึ้นนั่นเอง ทำให้คาร์บอนในเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้จนเกือบทั้งหมด ส่วนประสิทธิภาพที่ลดลงเล็กน้อยนั้นอาจเป็นเพราะการเพิ่มอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความแรงของกระแสลมจากอากาศส่วนเกินอาจพัดพาเอาอนุภาคบางส่วนของเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้ยังไม่หมดปลิวหลุดออกจากแผ่นตะแกรงที่ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับการเผาไหม้ได้ ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนจากการคำนวณซึ่งให้ผลสูงกว่าประสิทธิภาพจากการวัดนั้นเป็นผลมาจากข้อผิดพลาดในการเก็บตัวอย่าง คือ จี๊ไฉ้ที่นำออกจากเตาเผาแล้วยังคงมีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องอีกระยะหนึ่ง จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนในจี๊ไฉ้ลดลง

และประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนสูงขึ้นตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น เพราะอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงอุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้สูงการเผาไหม้ดีกว่านั่นเอง

ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนจากกากมันสำปะหลัง (สุวิทย์ เตีย, 2542) เป็นการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด ที่อัตราการป้อนคงที่ 15kg/hr พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ สูงกว่างานวิจัยในครั้งนี้ เพราะเตาแบบฟลูอิดไคซ์เบดจะเผาไหม้ได้ดีกว่า

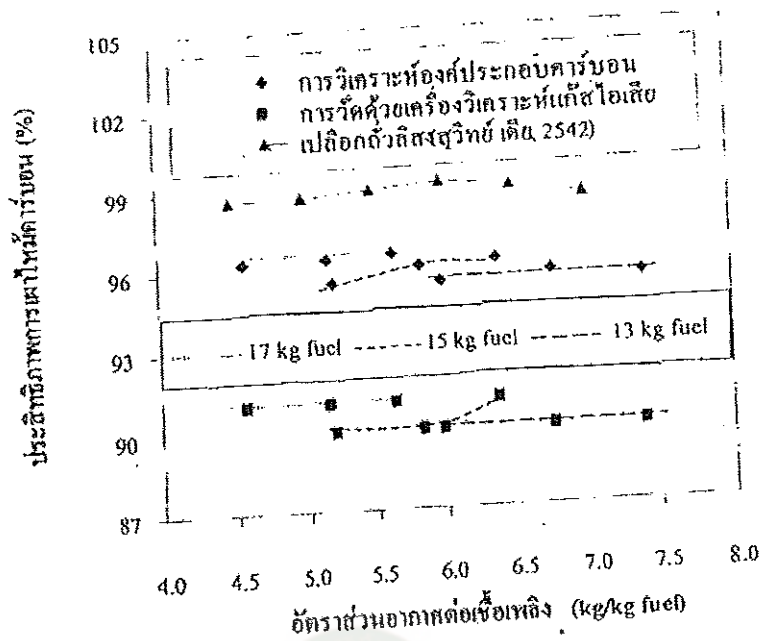


ภาพประกอบ 49 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน
จากการเผาไหม้ฟางข้าว

จากภาพประกอบ 50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนจากการเผาให้ชานอ้อย โดยแสดงให้เห็นผลระหว่างการคำนวณและการวัดจากเครื่องวัดองค์ประกอบไอเสีย พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนยังคงอยู่ในเกณฑ์ดี แต่อย่างน้อยก็ว่าการเผาไหม้ฟางข้าวเล็กน้อย ส่วนประสิทธิภาพที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเล็กน้อยนั้น สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการเผาไหม้ฟางข้าว ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนจากการคำนวณซึ่งให้ผลสูงกว่าประสิทธิภาพจากการวัดนั้นสามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับการเผาไหม้ฟางข้าว

และประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนสูงขึ้นตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น เพราะอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงอุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้สูงการเผาไหม้ดีกว่านั่นเอง

ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนจากเปลือกถั่วลิสง (สุวิทย์, 2542) เป็นการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด ที่อัตราการป้อนคงที่ 15 kg/hr พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงกว่างานวิจัยในครั้งนี้ เพราะเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดจะเผาไหม้ได้ดีกว่า

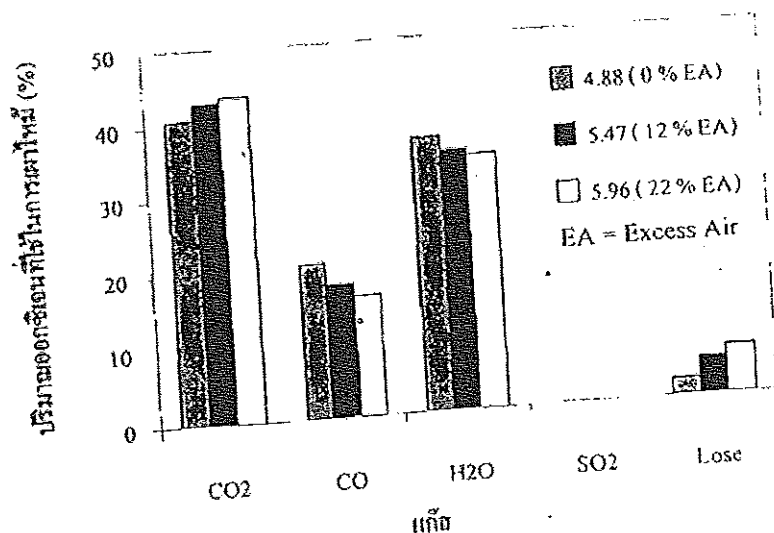


ภาพประกอบ 50 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน
 จากการเผาไหม้ขานอ้อย

อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

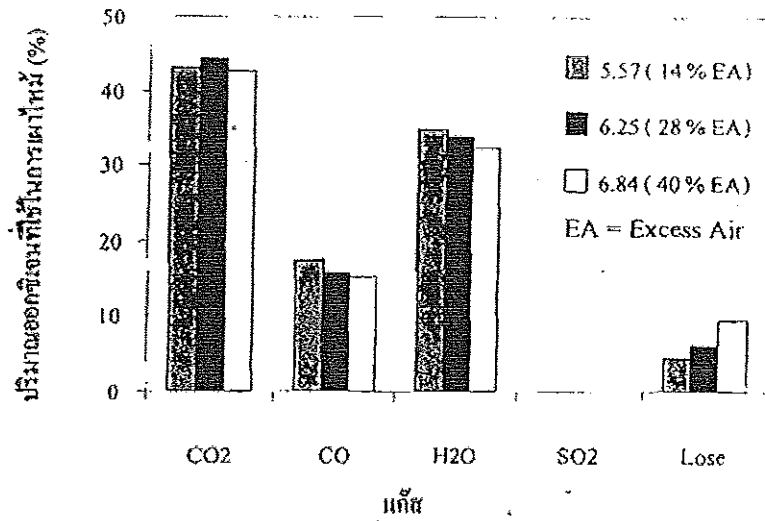
จากภาพประกอบ 51-54 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่เข้าไปช่วย
 ในการเผาไหม้ให้เกิดแก๊สต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว พบว่าแก๊สออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยา
 กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ ประมาณ 43% รองลงมาคือ การเกิดน้ำ ประมาณ
 33% และตามมาด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ประมาณ 17% ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้น
 น้อยมาก เพราะในเชื้อเพลิงมีธาตุซัลเฟอร์น้อยมาก ส่วนนอกจากนี้ก็คือการสูญเสียออกซิเจนออก
 จากเตา ประมาณ 7% ซึ่งออกซิเจนที่สูญเสียนี้จะมากขึ้นตามอัตราการป้อนอากาศส่วนเกิน

ภาพประกอบ 51 แสดงถึงแก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ
 จากการเผาไหม้ฟางข้าว 16 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 4.88, 5.47 และ 6.0
 kg/kg_{fuel} ซึ่งจะเท่ากับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 0, 12 และ 22% พบว่าปริมาณ O₂ ที่ใช้ในการ
 เกิดปฏิกิริยากับ CO₂ เท่ากับ 40.6, 42.8 และ 43.7% CO เท่ากับ 20.8, 17.6 และ 16.3% H₂O
 เท่ากับ 36.4, 34.6 และ 33.8 และสูญเสียออกจากเตาเท่ากับ 2.1, 4.9 และ 6.4% ตามลำดับ ส่วน
 O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา SO₂ น้อยมาก



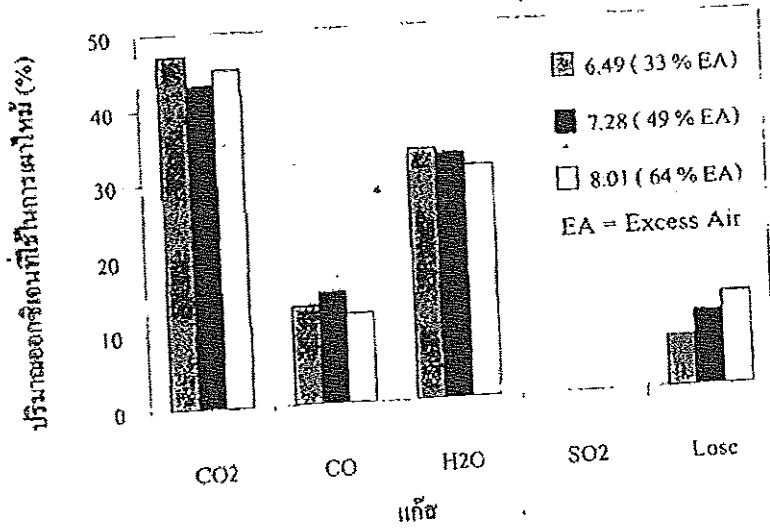
ภาพประกอบ 51 แก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ
จากการเผาไหม้ฟางข้าว 16 kg/hr

ภาพประกอบ 52 แสดงถึงแก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ จาก
การเผาไหม้ฟางข้าว 14 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 5.57, 6.25 และ 6.84
kg/kg_{fuel} ซึ่งจะเท่ากับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 14, 28 และ 40% พบว่าปริมาณ O₂ ที่ใช้ในการ
เกิดปฏิกิริยากับ CO₂ เท่ากับ 43.1, 44.4 และ 42.6% CO เท่ากับ 17.5, 15.7 และ 15.3% H₂O
เท่ากับ 34.8, 33.7 และ 32.4% และสูญเสียออกจากเตาเท่ากับ 4.5, 6.2 และ 9.7% ตามลำดับ
ส่วน O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา SO₂ น้อยมาก

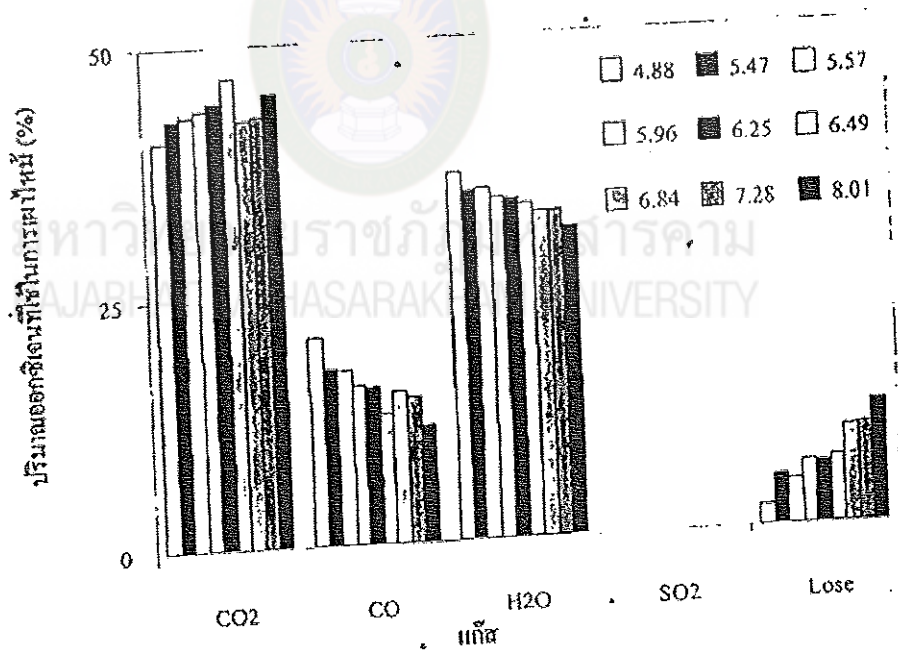


ภาพประกอบ 52 แก๊สที่เกิดกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่างๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว 14 kg/hr

ภาพประกอบ 53 แสดงถึงแก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่างๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว 12 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 6.49, 7.27 และ 8.0 kg/kg_{fuel} ซึ่งจะเท่ากับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 33, 49 และ 64% พบว่าปริมาณ O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยากับ CO₂ เท่ากับ 46.9, 43.0 และ 45.2% CO เท่ากับ 13.2, 14.7 และ 11.8% H₂O เท่ากับ 33.1, 32.4 และ 30.7% และสูญเสียออกจากเตาเท่ากับ 6.7, 9.8 และ 12.3% ตามลำดับ ส่วน O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา SO₂ น้อยมาก



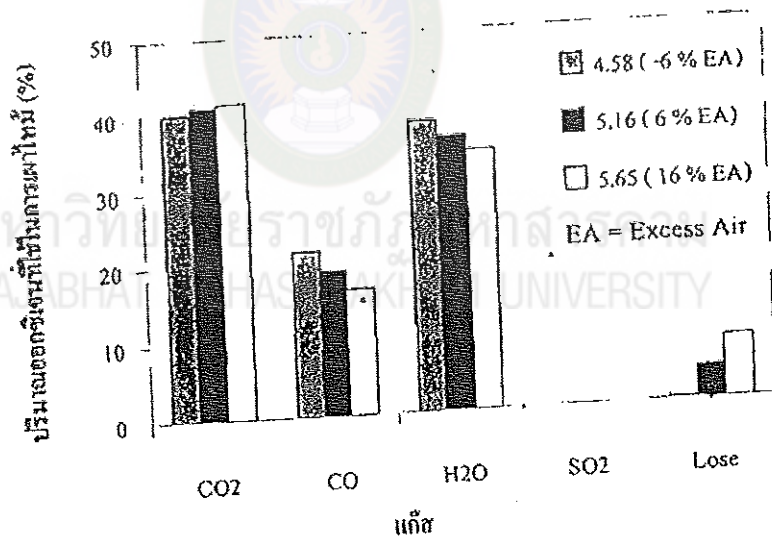
ภาพประกอบ 53 แก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่างๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว 12 kg/hr



ภาพประกอบ 54 แก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่างๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว

จากภาพประกอบ 55-58 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่เข้าไปช่วยในการเผาไหม้ให้เกิดแก๊สต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อย พบว่าแก๊สออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ ประมาณ 41% รองลงมาคือ การเกิดน้ำ ประมาณ 34% และตามมาด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ประมาณ 15% ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้น น้อยมาก ส่วนนอกจากนี้คือการสูญเสียออกซิเจนออกจากเตา ประมาณ 10% ซึ่งออกซิเจนที่สูญเสียนี้จะมากขึ้นตามอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินเช่นเดียวกับการเผาไหม้ฟางข้าว

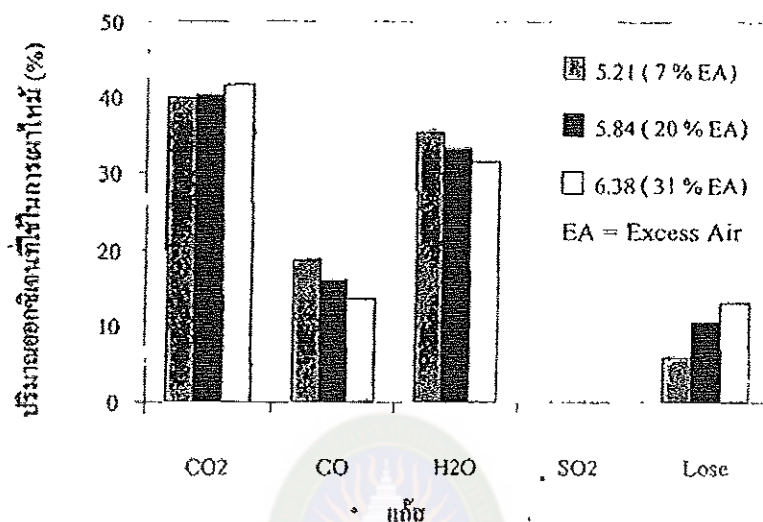
ภาพประกอบ 55 แสดงถึงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อยที่อัตราการป้อน 17 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 4.59, 5.16 และ 5.67 kg/kg_{fuel} ซึ่งจะเท่ากับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ -6, 6 และ 16% พบว่าปริมาณ O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยากับ CO₂ เท่ากับ 40.1, 41.0 และ 41.5% CO เท่ากับ 21.7, 18.9 และ 16.4% H₂O เท่ากับ 38.0, 35.8 และ 33.8% และสูญเสียออกจากเตาเท่ากับ 0.2, 4.3 และ 8.2% ตามลำดับ ส่วน O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา SO₂ น้อยมาก



ภาพประกอบ 55 แก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อย 17 kg/hr

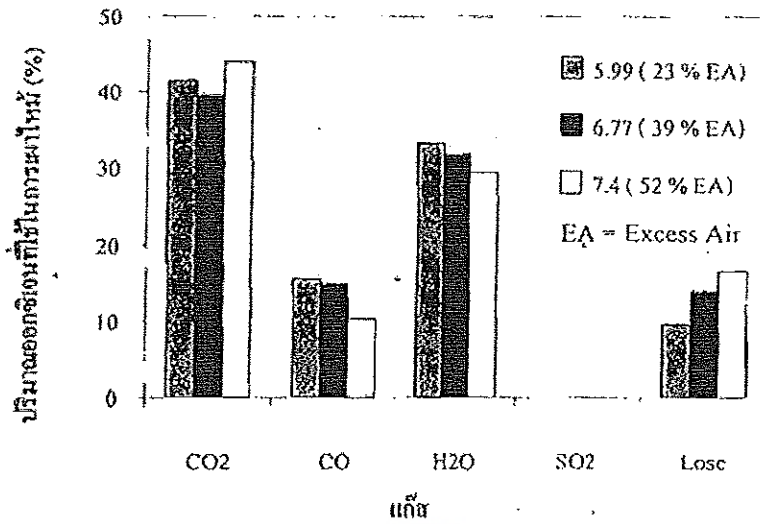
ภาพประกอบ 56 แสดงถึงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อยที่อัตราการป้อน 15 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 5.21, 5.84 และ 6.38 kg/kg_{fuel} ซึ่งจะเท่ากับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 7, 20 และ 31% พบว่าปริมาณ O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยากับ CO₂ เท่ากับ 40.0, 40.4 และ 41.7% CO เท่ากับ 18.7, 16.1 และ 13.6%

H₂O เท่ากับ 35.5, 33.1 และ 31.4% และสูญเสียออกจากเตาเท่ากับ 5.7, 10.3 และ 13.2% ตามลำดับ ส่วน O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา SO₂ น้อยมาก

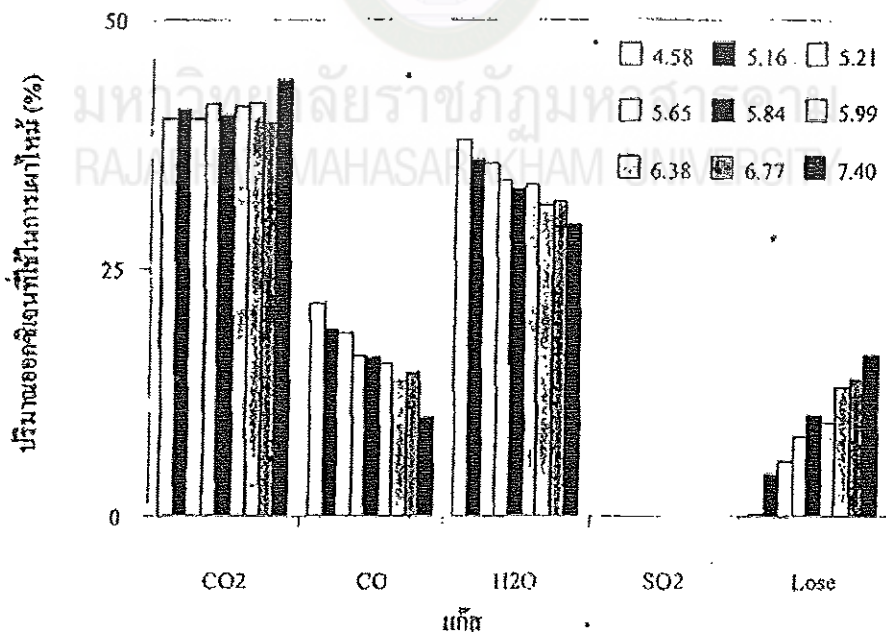


ภาพประกอบ 56 แก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อย 15 kg/hr

ภาพประกอบ 57 แสดงถึงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิต่าง ๆ จากการเผาไหม้ขานอ้อยที่อัตราการป้อน 13 kg/hr ซึ่งพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 5.99, 6.77 และ 7.4 kg/kg_{fuel} ซึ่งจะเท่ากับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 23, 29 และ 52% พบว่าปริมาณ O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยากับ CO₂ เท่ากับ 41.4, 39.7 และ 44.0% CO เท่ากับ 15.6, 14.8 และ 10.1% H₂O เท่ากับ 33.4, 31.7 และ 29.5% และสูญเสียออกจากเตาเท่ากับ 9.6, 13.8 และ 16.4% ตามลำดับ ส่วน O₂ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา SO₂ น้อยมาก



ภาพประกอบ 57 แก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่างๆ จากการเผาไหม้ชานอ้อย 13 kg/hr



ภาพประกอบ 58 แก๊สที่เกิดกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่างๆ จากการเผาไหม้ชานอ้อย

อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อพลังงานที่ออกจากระบบ

จากภาพประกอบ 59 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างรายการพลังงานกับปริมาณพลังงานต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่ามีการสูญเสียพลังงานในด้านใดบ้าง จากการจัดทำสมดุลพลังงานหม้อไอน้ำ พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มพลังงานออกได้ดังนี้

1. พลังงานที่เข้าสู่ระบบ คือ พลังงานเคมีในเชื้อเพลิง (e)
2. พลังงานที่ออกจากระบบ ซึ่งแยกย่อยออกได้ดังนี้

2.1 พลังงานที่นำป้อนได้รับเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นไออิ่มตัว (e1) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 19.8% ซึ่งพลังงาน e1 นี้ก็คือพลังงานที่เพิ่มขึ้นในไอน้ำ เมื่ออากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น e1 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว คือ อัตราการไหลของไอเสียที่เพิ่มขึ้น ความดันของไอเสียร้อนก็เพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำได้รับพลังงานมากขึ้น

2.2 พลังงานในไอเสียแห้งที่ไหลออกปล่อง (e2) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 5.3% ซึ่งพลังงาน E2 นี้ก็คือพลังงานที่สูญเสียกับไอเสียแห้งที่ไหลออกปล่อง เมื่ออากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น พลังงานในส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพราะความร้อนบางส่วนจะถูกพาออกสู่ปล่องตามอากาศส่วนเกิน

2.3 พลังงานที่ทำให้ความชื้นในเชื้อเพลิงกลายเป็นไอ (e3) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.4% ซึ่งพลังงาน e3 นี้ก็คือพลังงานที่สูญเสียไปกับความชื้นในเชื้อเพลิง ในส่วนนี้มีการสูญเสียเล็กน้อยเพราะเชื้อเพลิงที่นำมาทดลองได้รับการตากแดด ซึ่งทำให้ความชื้นในเชื้อเพลิงลดลงมาก

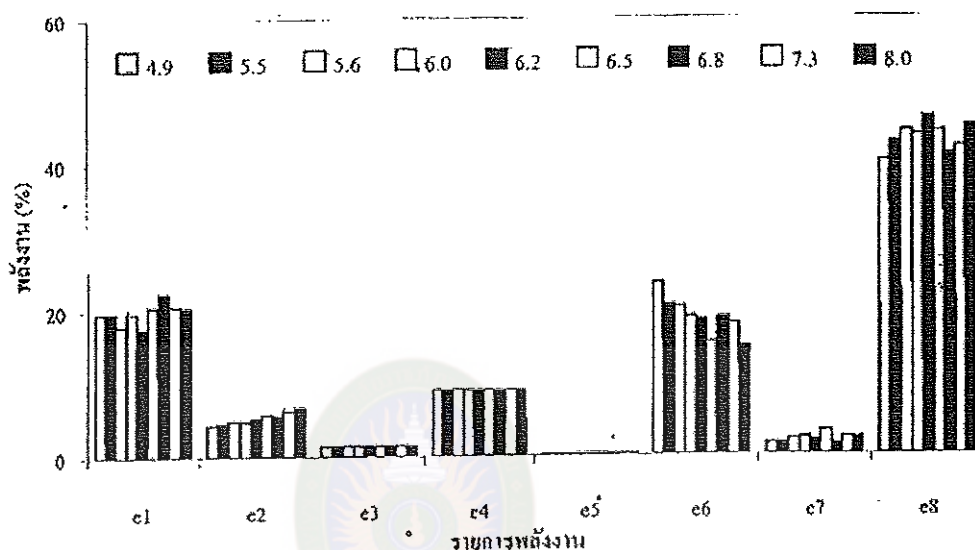
2.4 พลังงานที่ทำให้น้ำที่เกิดจากการรวมตัวของ H₂, O₂ กลายเป็นไอ (e4) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 9.0% ซึ่งพลังงาน e4 นี้ก็คือพลังงานที่สูญเสียจากการเผาไหม้ไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงในส่วนนี้มีการสูญเสียค่อนข้างคงที่เพราะในเชื้อเพลิงมีไฮโดรเจนเท่ากัน

2.5 พลังงานที่ทำให้ความชื้นในอากาศที่เข้าเผาไหม้กลายเป็นไอ (e5) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.3% ซึ่งพลังงาน e5 นี้ก็คือพลังงานที่สูญเสียไปกับความชื้นในอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ในส่วนนี้มีการสูญเสียน้อยที่สุด

2.6 พลังงานความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (e6) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 18.1% ซึ่งพลังงาน e6 นี้ก็คือพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เมื่ออากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น e6 มีค่าลดลง เพราะมีการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

2.7 พลังงานเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมด (e7) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.1% ซึ่งพลังงาน e7 นี้ก็คือพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมด เมื่ออากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น e7 มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย เพราะมีการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

2.8 พลังงานที่ไม่สามารถวัดได้ (e8) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 43.3% เป็นส่วนที่สูญเสียมากที่สุด ซึ่งตามที่ได้กล่าวไว้ว่าหม้อไอน้ำที่สร้างขึ้นเป็นระบบเปิดจึงทำให้มีพลังงานสูญเสียเป็นจำนวนมาก ซึ่งพลังงานส่วนนี้สูญเสียมากบริเวณด้านหน้าเตาที่เป็นช่องป้อนเชื้อเพลิง และส่วนที่สูญเสียรองลงมาคือบริเวณด้านท้ายเตาที่เป็นช่องน้ำจี้ไถ้ออก



ภาพประกอบ 59 รายการพลังงานกับปริมาณพลังงานต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว

และจากภาพประกอบ 60 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างรายการพลังงานกับปริมาณพลังงานต่าง ๆ จากการเผาไหม้ชานอ้อย จากการจัดทำสมดุลพลังงานหม้อไอน้ำ พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มพลังงานออกได้ดังนี้

1. พลังงานที่เข้าสู่ระบบ คือ พลังงานเคมีในเชื้อเพลิง (e)
2. พลังงานที่ออกจากระบบ ซึ่งแยกย่อยออกได้ดังนี้

2.1 พลังงานที่นำป้อนได้รับเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นอิมตัว (e1) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 17.0%

2.2 พลังงานในไอเสียแห้งที่ไหลออกปล่อง (e2) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.4%

2.3 พลังงานที่ทำให้ความชื้นในเชื้อเพลิงกลายเป็นไอ (e3) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.4%

2.4 พลังงานที่ทำให้น้ำที่เกิดจากการรวมตัวของ H₂, O₂ กลายเป็นไอ (e4) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.5%

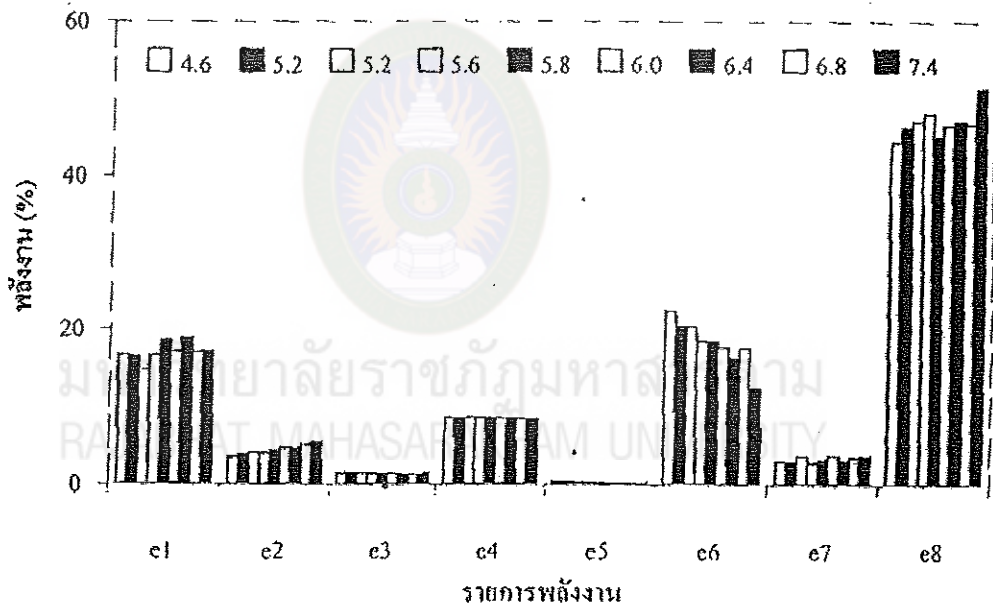
2.5 พลังงานที่ทำให้ความชื้นในอากาศที่เข้าเผาไหม้กลายเป็นไอ (e5) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.2%

2.6 พลังงานความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (e6) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 18.2%

2.7 พลังงานเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมด (e7) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.3%

2.8 พลังงานที่ไม่สามารถวัดได้ (e8) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 47.0%

เมื่ออากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น พลังงานในแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการเผาไหม้ฟางข้าว



ภาพประกอบ 60 รายการพลังงานกับปริมาณพลังงานต่าง ๆ จากการเผาไหม้ฟางข้าว

การทดลองที่สภาวะการออกแบบ

จากการออกแบบหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลในเบื้องต้นนั้นได้ทำการออกแบบให้สามารถผลิตไอน้ำได้ในอัตรา 20 kg/hr ที่ความดัน 6 kg/hr ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทดลองที่ความดันไอน้ำ 6kg/cm² เพื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำระหว่างการออกแบบและการทดลองจริง

ตาราง 4 ผลการทดลองการผลิตไอน้ำที่สภาวะการออกแบบ

	ฟางข้าว	ชานอ้อย
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (kg/kgfuel)	6.2	5.8
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/hr)	14.18	15.15
อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/hr)	28	28
อุณหภูมิไอน้ำ (C)	158	158
ประสิทธิภาพเตาเผา (%)	23.1	19.5
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	33.0	27.6
ประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (%)	72.8	79.4
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (ออกแบบ) (m ²)	1.77	1.77
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (สร้าง) (m ²)	2.66	2.66
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้น(%)	44	44
ปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้น (%)	39	39

จากผลการทดลองดังตาราง 4 เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไอน้ำที่ความดัน 3 kg/cm² พบว่า สิ่งที่เพิ่มขึ้นจากการผลิตไอน้ำที่ความดัน 6 kg/cm² ที่ทราบได้ชัดเจนที่สุดคือประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการผลิตปริมาณไอน้ำที่ได้มากขึ้น มีการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการสูญเสียความร้อนลดลง

ส่วนรายละเอียดอื่น เช่น อุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้ แก๊สที่เกิดขึ้น เป็นต้น มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองผลิตไอน้ำที่ความดัน 3kg/cm² ซึ่งสามารถดูผลการทดลองและตัวอย่างการคำนวณได้ในภาคผนวก

อัตราการผลิตไอน้ำที่ได้จากการทดลองมากกว่าที่ออกแบบไว้เป็นผลมาจากพื้นที่ท่อไฟของหม้อไอน้ำที่สร้างไว้มีพื้นที่มากกว่าที่ได้ออกแบบนั่นเอง (เนื่องมาจากข้อจำกัดในการใช้อุปกรณ์ที่มีเฉพาะในท้องตลาด)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบโดยความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชีวมวลและน้ำมันดีเซล โดยใช้ผลการทดลองจากการผลิตไอน้ำที่สภาวะการออกแบบ คือการผลิตไอน้ำที่ความดัน 6g/cm^2

จากตารางที่ 4 พบว่า การนำเชื้อเพลิงชนิดชีวมวลแทนน้ำมันเพื่อใช้เผาไหม้เป็นแหล่งความร้อนในการผลิตไอน้ำ ทำให้ได้ระยะเวลาการคืนทุนภายใน 1.86 และ 1.88 ปี เมื่อเทียบกับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบันของธนาคารพาณิชย์อยู่ที่ 8% ต่อปี และมีอัตราผลตอบแทนเป็น 54.87 และ 54.37% โดยกำหนดให้หม้อไอน้ำมีอายุการใช้งาน 10 ปี สำหรับฟางข้าวและชานอ้อยตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่ามีระยะเวลาการคืนทุนเร็วและมีอัตราผลตอบแทนสูง เพราะเชื้อเพลิงชีวมวลมีราคาต่ำมาก

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ชนิดเชื้อเพลิง	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/h)	ดอกเบี่ยธนาคาร (%)	อายุการใช้งานเครื่อง (year)	ระยะเวลาคืนทุน (year)	อัตราผลตอบแทน (%)
ฟางข้าว	14	8	10	1.86	54.87
ชานอ้อย	15	8	10	1.88	54.37