บทที่ 5 ผลการทดลอง

ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงได้แก่ ชนิดของเชื้อเพลิงแข็ง ขนาดของเชื้อเพลิง อัตราการป้อนอากาศ รวมไปถึงการออกแบบเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งมีผลต่ออัตราการเผาไหม้และปฏิกิริยาภายในโซนต่างๆภายในเตา ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้ต้องมีความเหมาะสมและสัมพันธ์กัน จึงจะสามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพ จากการทดลองได้ทำการเลือกถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสที่มีขนาด 2.5 x 2.5 cm และทำการทดลองปรับอัตราการป้อนอากาศให้อยู่ในช่วง 600 - 1,000 L/min เพื่อที่จะหาปริมาณของอากาศที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และการศึกษาอิทธิพลของน้ำและของไหลนาโนในเชื้อเพลิงถ่านหินโดยเปรียบเทียบเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ถ่านหิน ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น และ ถ่านหินผสมของไหลนาโน ซึ่งของไหลนาโนที่ใช้ทดสอบอยู่ในรูปของผสมระหว่างน้ำกับอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

5.1 การเปลี่ยนอัตราการป้อนอากาศ

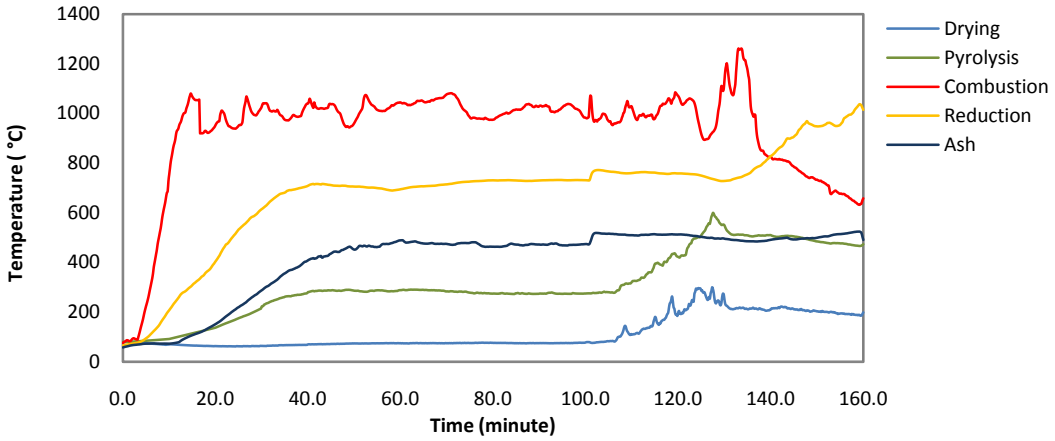
สำหรับการทดลองได้ทำการปรับอัตราการป้อนอากาศที่อัตรา 600 - 1,000 L/min สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองคือ ถ่านหินชนิดซับบิทูมินัส และกำหนดขนาดของถ่านหินที่ใช้คือถ่านหินที่มีขนาด 2.5 x 2.5 cm ใช้ถ่านหินในการทดลองครั้งละ 60 kg ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สภาวะการทดลองกรณีการเปลี่ยนอัตราป้อนอากาศ

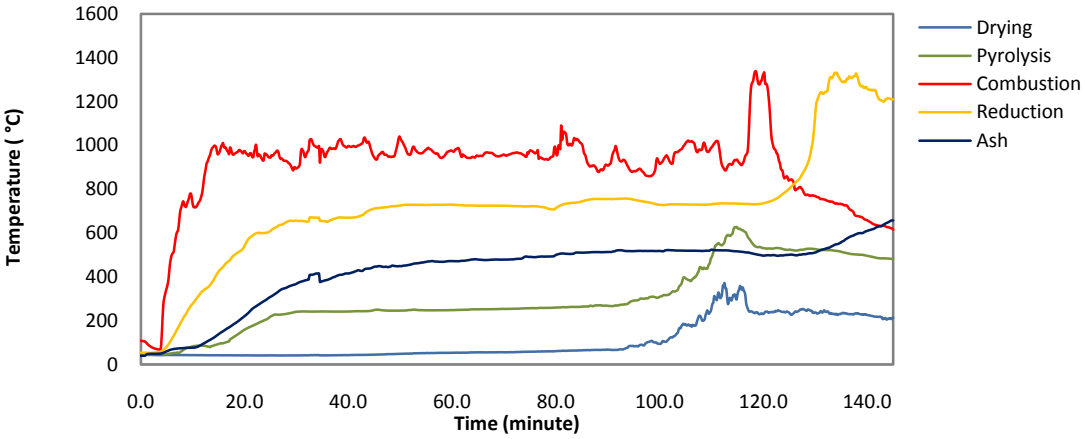
อัตราการป้อนอากาศ (L/min)	ถ่านหินที่ใช้ในการทดลอง (kg)
600	60
700	60
800	60
900	60
1,000	60

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง

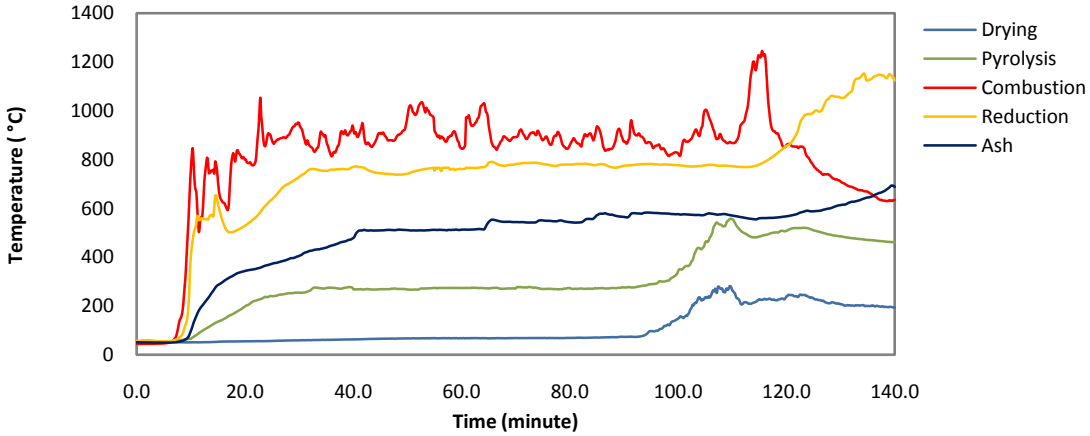
จากการทดลองปรับอัตราการป้อนอากาศพบว่ามีผลต่ออุณหภูมิภายใน ที่ตำแหน่งโซนต่างๆภายในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ตำแหน่ง คือ โซนอบแห้ง โซนไพโรไลซิส โซนเผาไหม้ โซนรีดักชั่น และห้องเก็บเถ้าดังแสดงในรูปที่ 5.1 - 5.5 โดยช่วงของอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.2



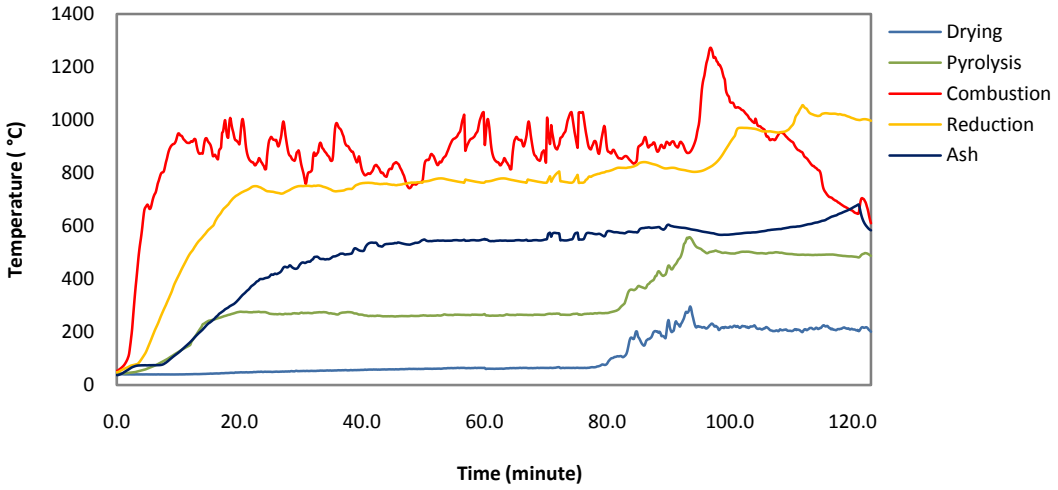
รูปที่ 5.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการป้อนอากาศ 600 L/min



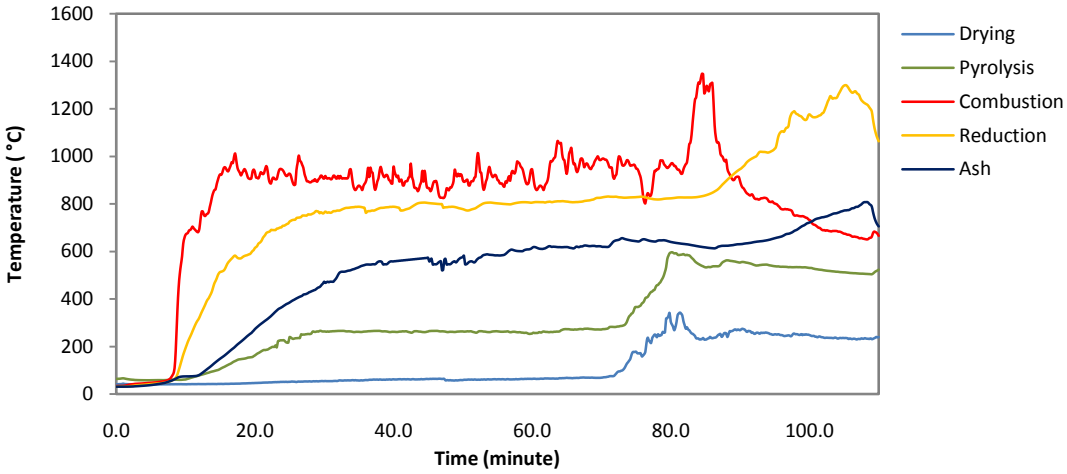
รูปที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการป้อนอากาศ 700 L/min



รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการป้อนอากาศ 800 L/min



รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการป้อนอากาศ 900 L/min

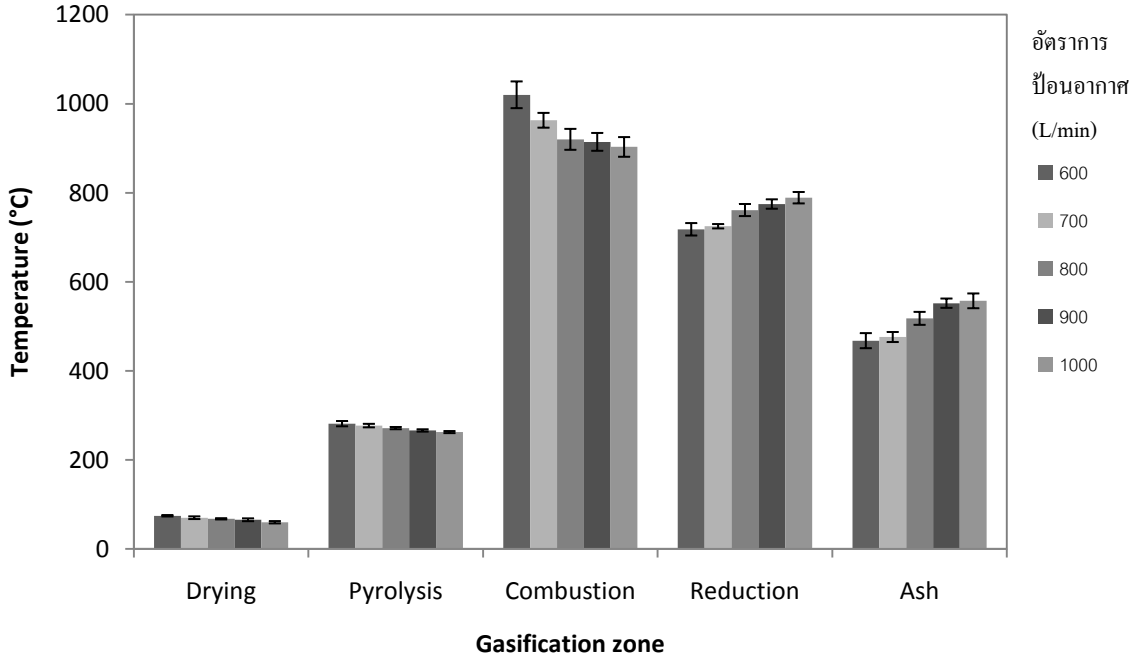


รูปที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการป้อนอากาศ 1,000 L/min

ตารางที่ 5.2 อุณหภูมิภายในเตากรณีการเปลี่ยนอัตราป้อนอากาศ

ตำแหน่งภายในเตา	อุณหภูมิ (°C)
โซนอบแห้ง (Drying zone)	น้อยกว่า 100
โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis zone)	200 - 300
โซนเผาไหม้ (Combustion zone)	800 - 1,100
โซนรีดักชั่น (Reduction zone)	700 - 800
ห้องเก็บเถ้า (Ash pit)	400 - 600

อุณหภูมิภายในเตาที่ทำการวัดในตำแหน่งต่างๆ 5 ตำแหน่งคือ T1 โซนอบแห้ง, T2 โซนไพโรไลซิส, T3 โซนเผาไหม้, T4 โซนรีดักชั่น และ T5 ห้องเก็บเถ้า ผลการทดลองพบว่าอัตราการป้อนอากาศที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเตาโดยพบว่าอุณหภูมิในโซนอบแห้ง โซนไพโรไลซิสและโซนเผาไหม้มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในโซนเผาไหม้ที่ลดลงทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถ่านหินในโซนเผาไหม้ ถ่ายเทขึ้นไปยังโซนอบแห้งและโซนไพโรไลซิสได้น้อยลงทำให้อุณหภูมิในโซนอบแห้งและไพโรไลซิสมีแนวโน้มลดลง สำหรับแนวโน้มของ อุณภูมิในโซนเผาไหม้ที่ลดลงเนื่องจากปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงไหลผ่านโซนเผาไหม้ลงไปยังโซนโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้ามากขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากโซนเผาไหม้ลงไปยังโซนโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้ามากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.6



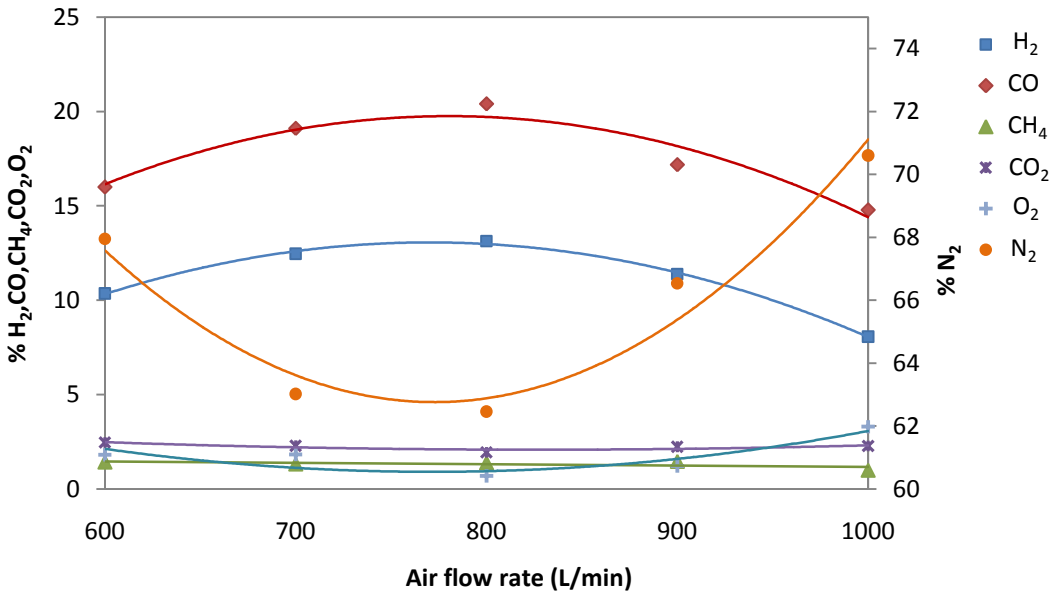
รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในโซนต่างๆภายในเตาในการทดลองที่อัตราการป้อนอากาศต่างๆ

5.1.2 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง

องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงหาได้จากการเก็บตัวอย่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ทางออกมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงโดยเลือกเก็บก๊าซเชื้อเพลิงในช่วงที่อุณหภูมิภายในเตาที่ตำแหน่งโซนต่างๆคงที่ ซึ่งช่วงสภาวะคงที่สังเกตได้จากอุณหภูมิที่แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์แบบประมวลผลตามเวลาจริง (Real time) ซึ่งใช้เวลาในการเก็บก๊าซเชื้อเพลิงประมาณ 10 min เมื่อได้ตัวอย่างก๊าซเชื้อเพลิง นำก๊าซเชื้อเพลิงไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยเครื่อง Gas chromatography ซึ่งองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วย H_2, CO, CH_4, CO_2, O_2 และ N_2 ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และในรูปที่ 5.7

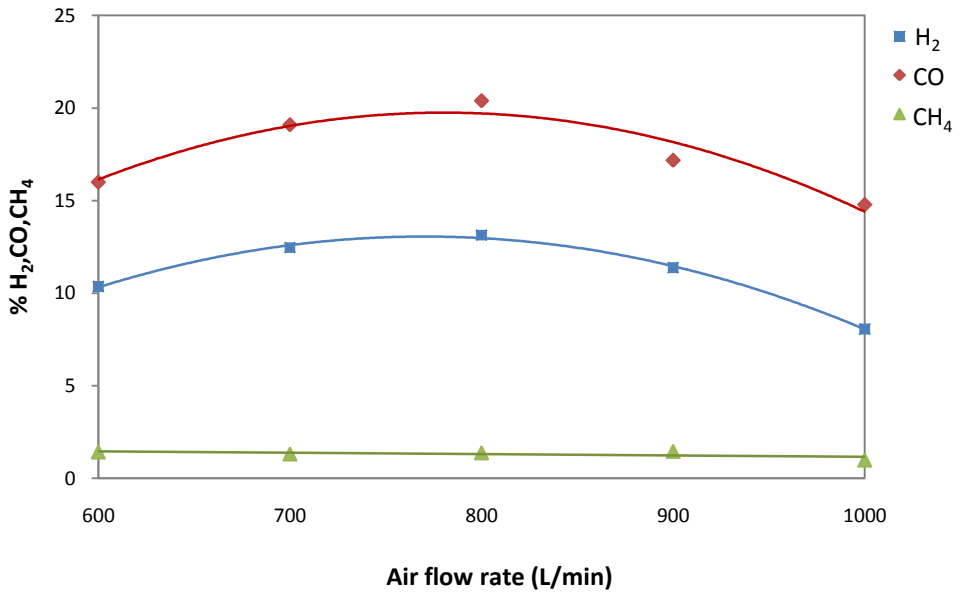
ตารางที่ 5.3 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนอัตราป้อนอากาศ

Air flow rate (L/min)	Gas Composition by volume (%)					
	H_2	CO	CH_4	CO_2	O_2	N_2
600	10.36	15.99	1.42	2.46	1.81	67.95
700	12.46	19.10	1.32	2.28	1.82	63.02
800	13.13	20.40	1.38	1.94	0.69	62.46
900	11.38	17.18	1.46	2.23	1.22	66.53
1,000	8.07	14.78	0.99	2.28	3.29	70.60



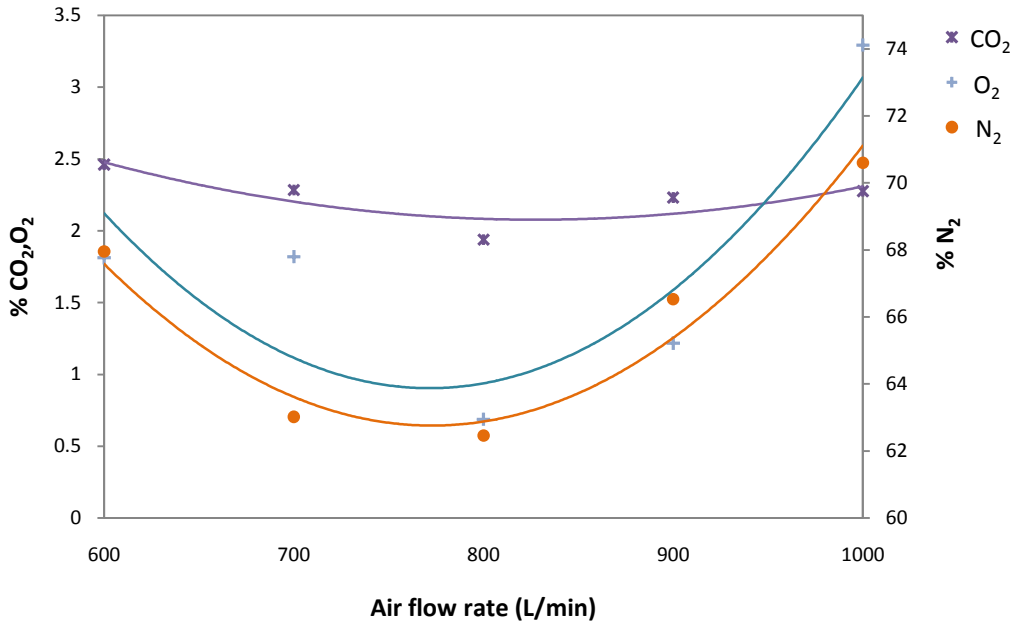
รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ

ก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้ประกอบด้วย H_2, CO และ CH_4 โดยพบว่าปริมาณของ H_2 และ CO มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 600 - 800 L/min โดยมีปริมาณสูงสุดเมื่ออัตราการป้อนอากาศ 800 L/min โดย H_2 และ CO มีค่าเท่ากับ 20.40% และ 13.13% ตามลำดับ และลดลงเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 900 - 1,000 L/min และปริมาณของ CH_4 มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 700 - 900 L/min โดยมีปริมาณสูงที่สุดเมื่ออัตราการป้อนอากาศ 900 L/min โดยมีค่าเท่ากับ 1.46% ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้มีความแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปภายในเพื่อทำปฏิกิริยาก๊าซซิฟิเคชั่นมีผลต่ออัตราการเผาไหม้ของถ่านหินและอุณหภูมิซึ่งส่งผลต่อความเหมาะสมของปฏิกิริยาการเปลี่ยนเชื้อเพลิงถ่านหินให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง



รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้เปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ประกอบด้วย O_2, N_2 และ CO_2 โดยพบว่า O_2, N_2 และ CO_2 มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 600 - 800 L/min โดยมีปริมาณต่ำที่สุดที่อัตราการป้อนอากาศ 800 L/min เท่ากับ 0.69%, 62.46% และ 1.94% ตามลำดับ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอากาศตั้งแต่ 900 - 1,000 L/min ดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้เปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ

5.1.3 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง

หลังจากนำตัวอย่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซแล้ว สามารถคำนวณหาค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงได้ ดังสมการที่ 5.1 โดยค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 5.4 จากการทดลองพบว่าอัตราการป้อนอากาศ มีผลต่อค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ โดยพบว่าค่าความร้อนของก๊าซมีค่าอยู่ในช่วง 3.29 - 4.80 MJ/Nm^3 โดยพบว่าที่อัตราการป้อนอากาศ 800 L/min ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นอัตราส่วนสมมูลดังสมการที่ 5.2 คิดเป็นอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.34 ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนมากที่สุดคือ 4.80 MJ/Nm^3 ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และในรูปที่ 5.10

ตารางที่ 5.4 ค่าความร้อนทางสูงขององค์ประกอบก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ในก๊าซเชื้อเพลิง

ก๊าซ	ค่าความร้อน (MJ/kmol)
ไฮโดรเจน (H_2)	285.840
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	282.990
มีเทน (CH_4)	890.360

การหาค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงหาได้จาก

$$HHV_{Gas} = \frac{\sum(Mole\ fraction \times HHV)}{V} \tag{5.1}$$

โดยที่

HHV_{Gas} = ค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิง (Higher heating value; MJ/Nm^3)

Mole fraction = องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ (Mole fraction) คือ H_2, CO และ CH_4

HHV = ค่าความร้อนขององค์ประกอบก๊าซ (MJ/kmol)

V = ปริมาณของก๊าซ (Nm^3)

การหาค่าอัตราส่วนสมมูลสามารถหาได้จาก

$$ER = \frac{(\dot{m}_{Air} / \dot{m}_{Fuel})}{(A/F_{Stoi})} \tag{5.2}$$

โดยที่

ER = อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)

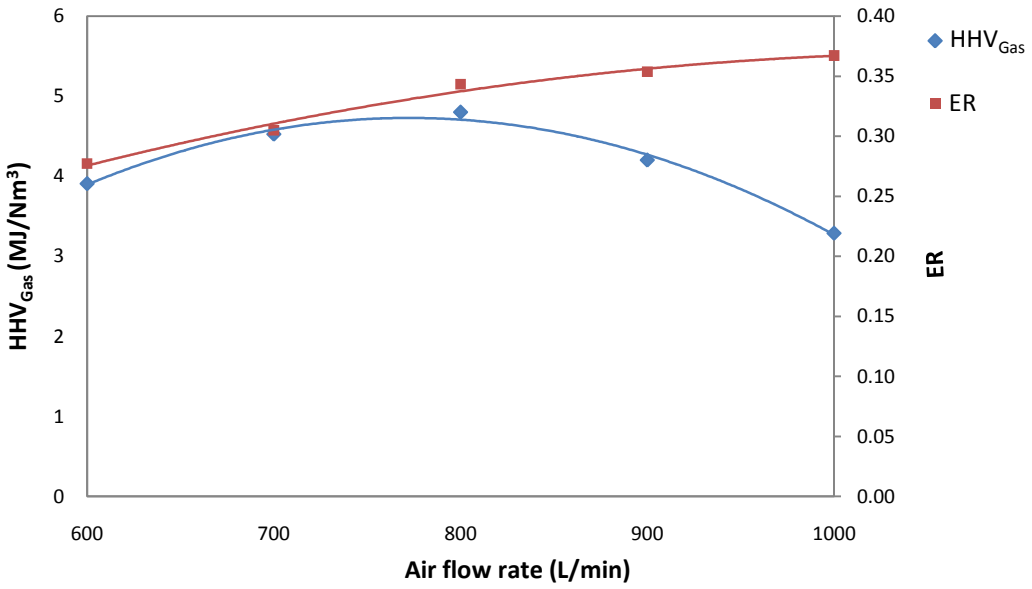
$\dot{m}_{Air}$ = อัตราการป้อนอากาศ (kg/h)

$\dot{m}_{Fuel}$ = อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kg/h)

A/F_{Stoi} = อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

ตารางที่ 5.5 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กรณีการเปลี่ยนอัตราป้อนอากาศ

อัตราการป้อนอากาศ (L/min)	อัตราส่วนสมมูล (ER)	ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง (MJ/Nm^3)
600	0.28	3.91
700	0.31	4.53
800	0.34	4.80
900	0.35	4.20
1,000	0.37	3.29



รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูล เปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ

5.1.4 อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง

อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงหาได้จากความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนอากาศเข้าไปในเตา ปริมาณ N_2 ของอากาศและปริมาณ N_2 ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ซึ่งจะสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงได้ ดังสมการที่ 5.4 โดยพบว่าอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 41.85 - 67.14 Nm^3/h โดยอัตราการป้อนอากาศที่มีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงมากที่สุดคือ

อัตราการป้อนอากาศ 1,000 L/min โดยก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีอัตราการไหล 67.15 Nm^3/h ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และในรูปที่ 5.11

การหาค่าอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง [15] สามารถหาได้จาก

$$Q_{Gas} = [N_{2Air}]Q_{Air} / [N_{2Gas}] \quad (5.3)$$

โดยที่

Q_{Gas} = อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (Nm^3/h)

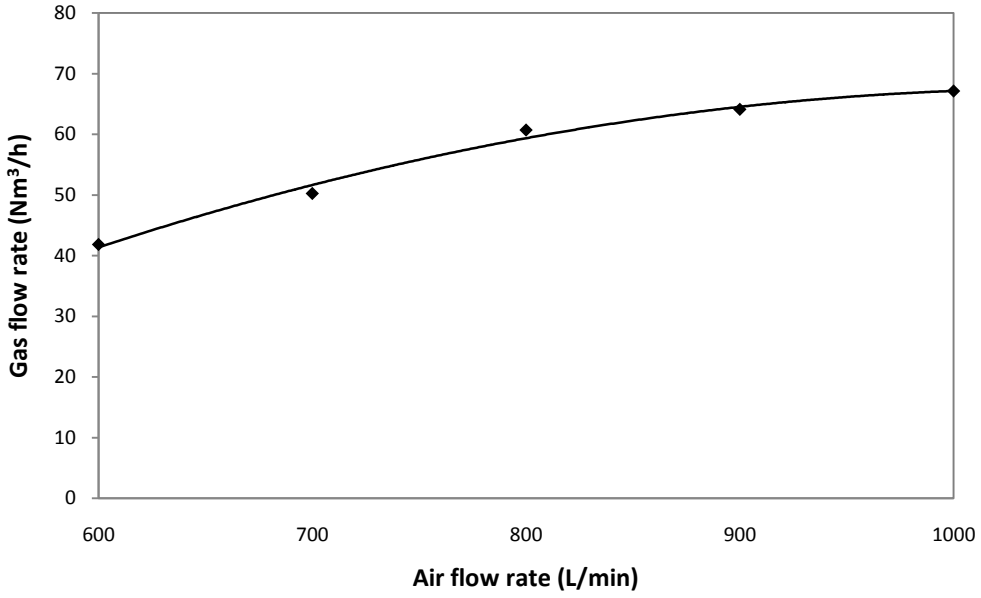
Q_{Air} = อัตราการป้อนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (m^3/h)

N_{2Air} = ปริมาณก๊าซ N_2 ในอากาศ (%)

N_{2Gas} = ปริมาณก๊าซ N_2 ในก๊าซเชื้อเพลิง (%)

ตารางที่ 5.6 อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนอัตราป้อนอากาศ

อัตราการป้อนอากาศ (L/min)	อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (Nm^3/h)
600	41.85
700	52.65
800	60.71
900	64.12
1,000	67.14



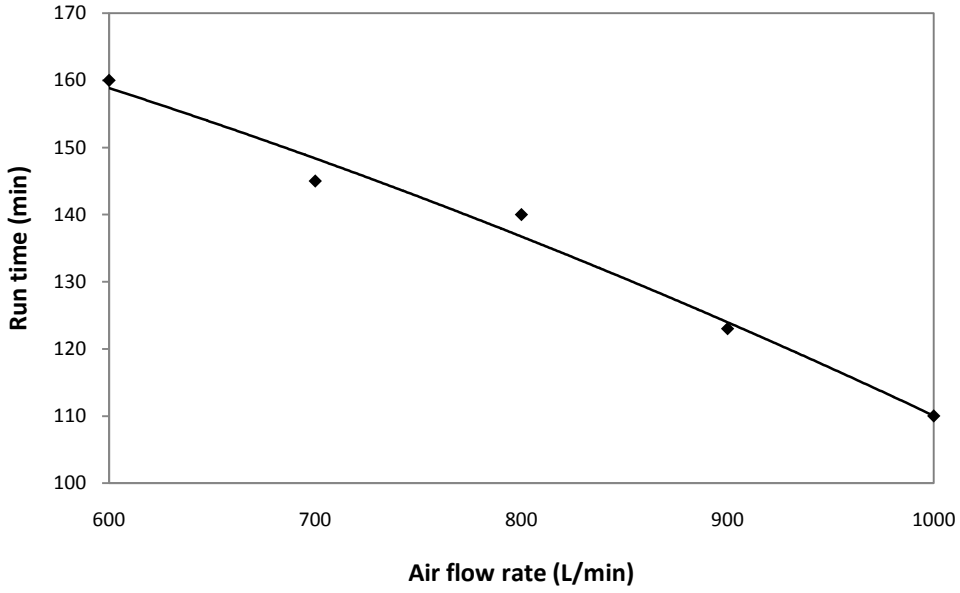
รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ

5.1.5 อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

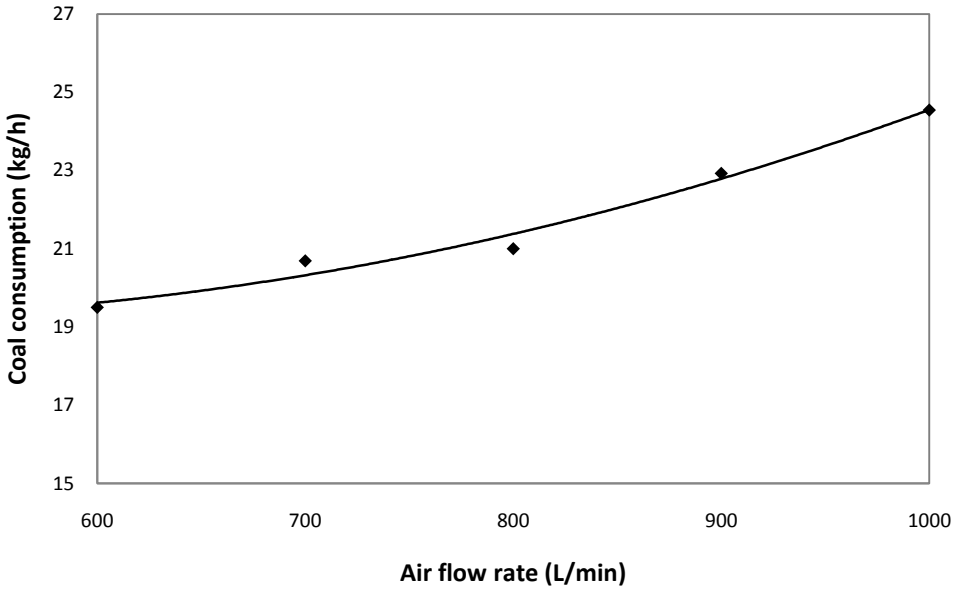
อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหาได้จากปริมาณถ่านหินที่ถูกเผาไหม้หารด้วยเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยพบว่า อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเผาไหม้อยู่ในช่วง 19.50 - 24.55 kg/h อัตราการป้อนอากาศที่มีผลต่ออัตราเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมากที่สุดคือ 1,000 L/minโดยมีอัตราการเผาไหม้ 24.55 kg/h ดังแสดงในตารางที่ 5.7 และในรูปที่ 5.12 และ5.13

ตารางที่ 5.7 เวลาและอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนอัตราป้อนอากาศ

อัตราการป้อนอากาศ (L/min)	เวลาในการเผาไหม้ (min)	อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kg/h)
600	160	19.50
700	145	20.69
800	140	21.00
900	123	22.93
1,000	110	24.55



รูปที่ 5.12 การเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ



รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ

5.1.6 การประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนอากาศตั้งแต่ 600 - 1,000 L/min มีผลต่อค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 3.29 - 4.80 MJ/Nm^3 โดยที่อัตราการป้อนอากาศ 800 L/min ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนมากที่สุดคือ 4.80 MJ/Nm^3 โดยคำนวณค่าความร้อนของก๊าซที่สภาวะ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิง 273 K และเมื่อทราบค่าความร้อนและอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง สามารถคำนวณหา อัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง ดังสมการที่ 5.4 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 45.43 - 80.98 kW โดยที่อัตราการป้อนอากาศ 800 L/min มีอัตราการปลดปล่อยพลังงานของก๊าซเชื้อเพลิงมากที่สุดคือ 80.98 kW ดังแสดงในตารางที่ 5.8 และในรูปที่ 5.14 และ 5.15

การหาอัตราปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง

$$Power_{Gas} = HHV_{Gas} \times Q_{Gas} \tag{5.4}$$

โดยที่

$Power_{Gas}$ = อัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง (kW)

HHV_{Gas} = ค่าความร้อนทางสูงของก๊าซ (MJ/Nm^3)

Q_{Gas} = อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (Nm^3 /s)

เมื่อทราบอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง ค่าความร้อนทางสูงของถ่านหินซับบิทูมินัส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.73 MJ/kg และอัตราการเผาไหม้ถ่านหิน สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินซับบิทูมินัสได้ดังสมการที่ 5.5 โดยพบว่า ประสิทธิภาพของเตาอยู่ในช่วง 35.35 - 58.51% โดยที่อัตราการป้อนอากาศ 800 L/min จะมีค่าประสิทธิภาพของเตาสูงที่สุดคือ 58.51% ดังแสดงในตารางที่ 5.8 และในรูปที่ 5.16 และ 5.17 การหาประสิทธิภาพของเตา ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง

$$\eta_{Gasifier} = \frac{HHV_{Gas} \times Q_{Gas}}{HHV_{Fuel} \times \dot{m}_{Fuel}} \times 100 \qquad (5.5)$$

โดยที่

$\eta_{Gasifier}$ = ประสิทธิภาพของเตา (%)

HHV_{Gas} = ค่าความร้อนทางสูงของก๊าซ (MJ/Nm^3)

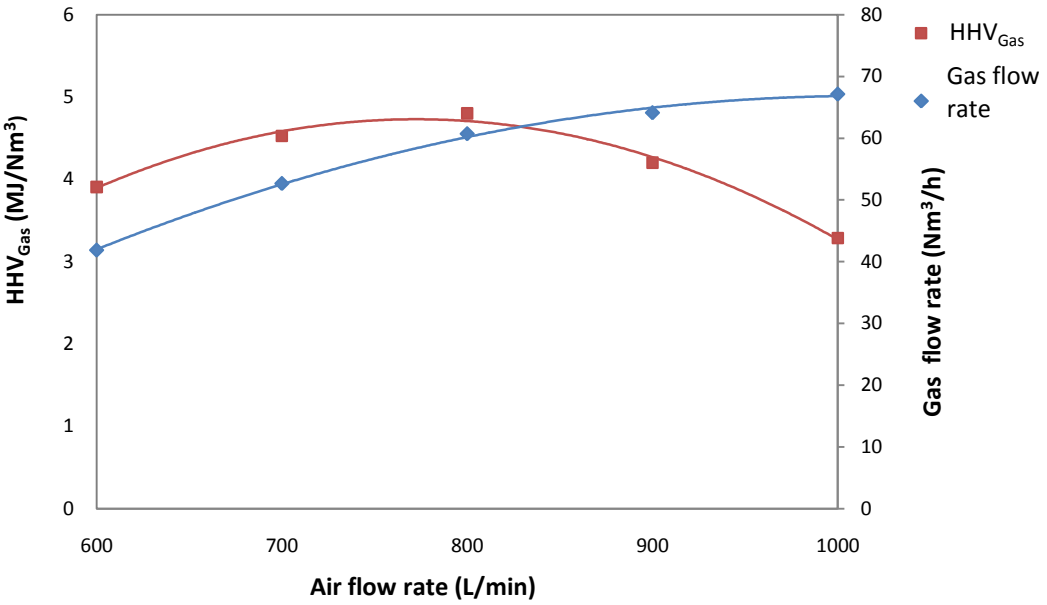
Q_{Gas} = อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (Nm^3/h)

HHV_{Fuel} = ค่าความร้อนทางสูงของเชื้อเพลิง (MJ/kg)

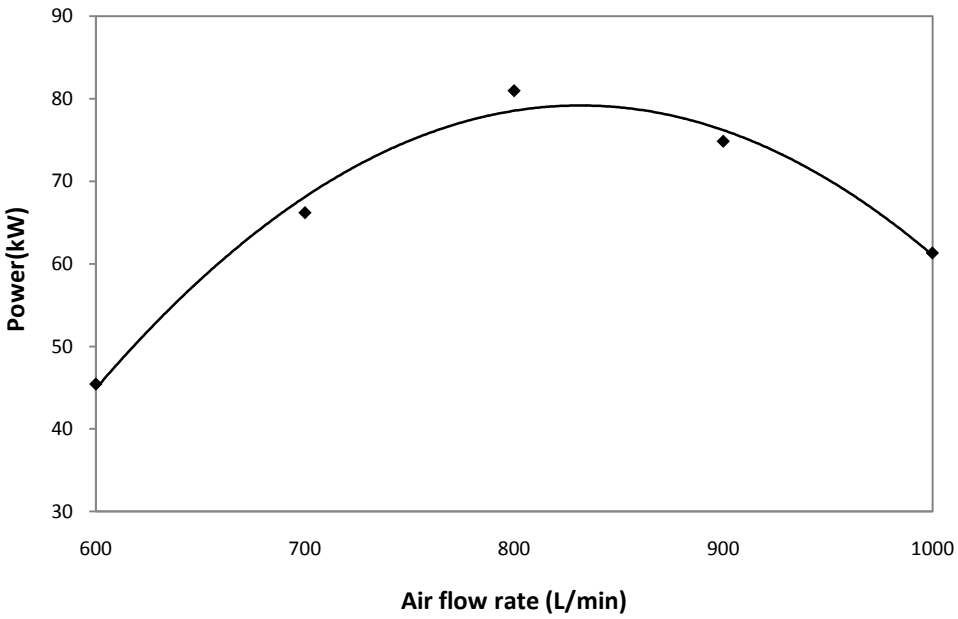
$\dot{m}_{Fuel}$ = อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)

ตารางที่ 5.8 อัตราการปลดปล่อยพลังงานและประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนอัตราป้อนอากาศ

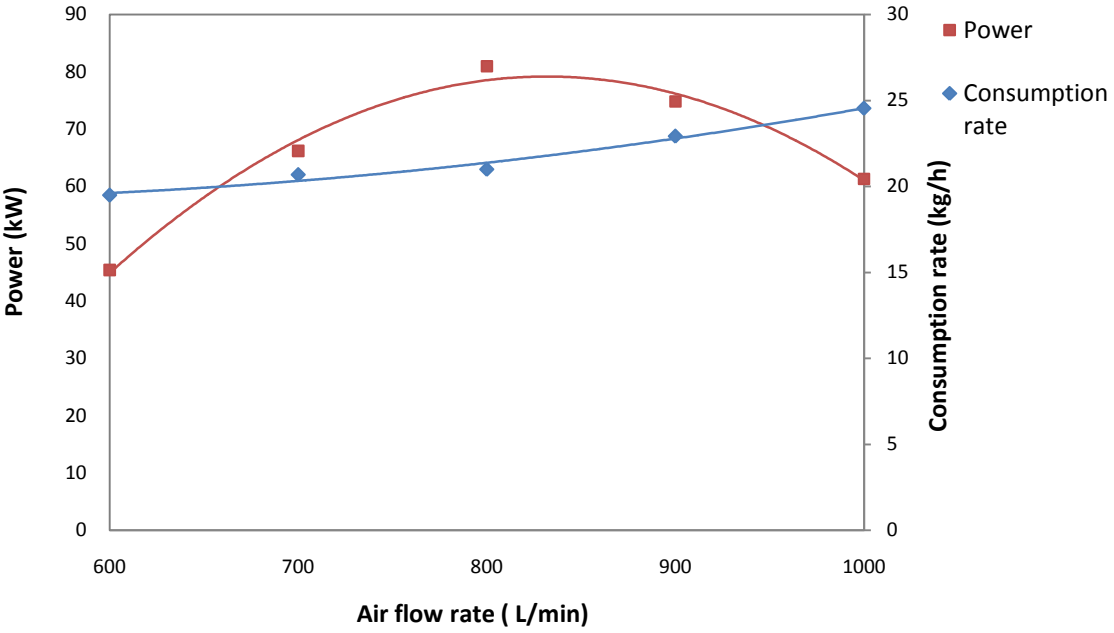
อัตราการป้อนอากาศ (L/min)	**อัตราการปลดปล่อยพลังงานของก๊าซเชื้อเพลิง (kW)**	**ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (%)**
600	45.43	35.35
700	66.20	48.55
800	80.98	58.51
900	74.85	49.54
1,000	61.32	37.91



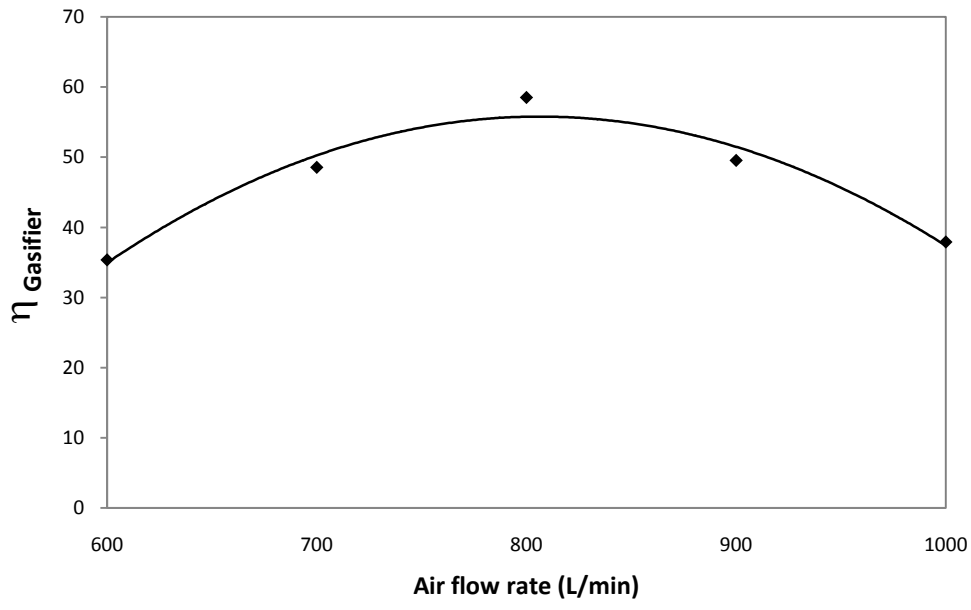
รูปที่ 5.14 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ



รูปที่ 5.15 การเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ



รูปที่ 5.16 การเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง และอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ



รูปที่ 5.17 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศต่างๆ

5.2 อิทธิพลของน้ำในเชื้อเพลิงถ่านหินและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของน้ำและของไหลนาโนในเชื้อเพลิงถ่านหินโดยเปรียบเทียบเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ถ่านหิน (A), ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น (AW) และ ถ่านหินผสมของไหลนาโนจำนวน 2 ความเข้มข้น (AWT10, AWT20) โดยทดลองที่อัตราการป้อนอากาศคงที่ 700 L/min สำหรับถ่านหินที่เพิ่มความชื้นมีอัตราส่วนของน้ำต่อถ่านหินเท่ากับ 1:100 และถ่านหินผสมของของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 และ 20 ppm โดยของไหลนาโนที่ใช้ทดลอง อยู่ในรูปของผสมระหว่างน้ำกับอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ สภาวะการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.9

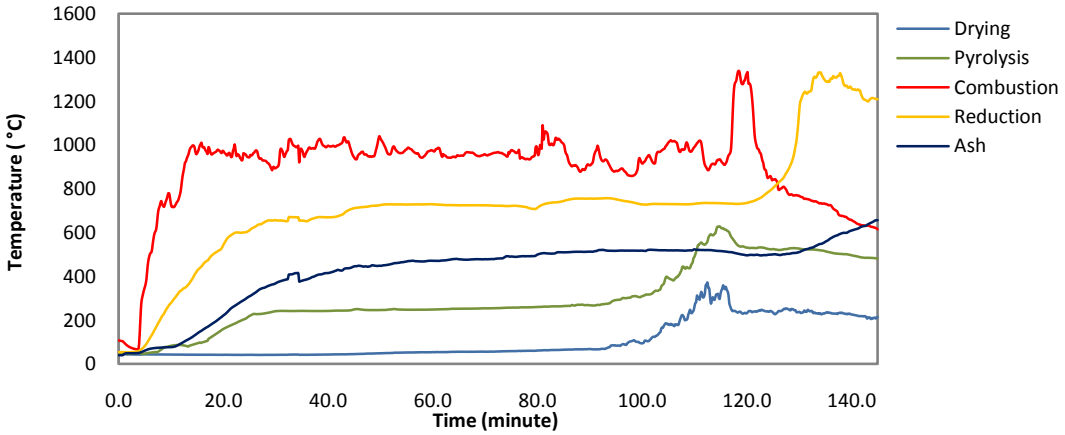
ตารางที่ 5.9 สภาวะการทดลองกรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

กรณีการทดลอง	ความข้มข้นของของไหลนาโน	อัตราส่วนน้ำต่อถ่านหิน	อัตราการป้อนอากาศ (L/min)	น้ำหนักถ่านหิน (kg)
A	0	0	700	60
AW	0	1:100	700	60
AWT10	10 ppm	1:100	700	60
AWT20	20 ppm	1:100	700	60

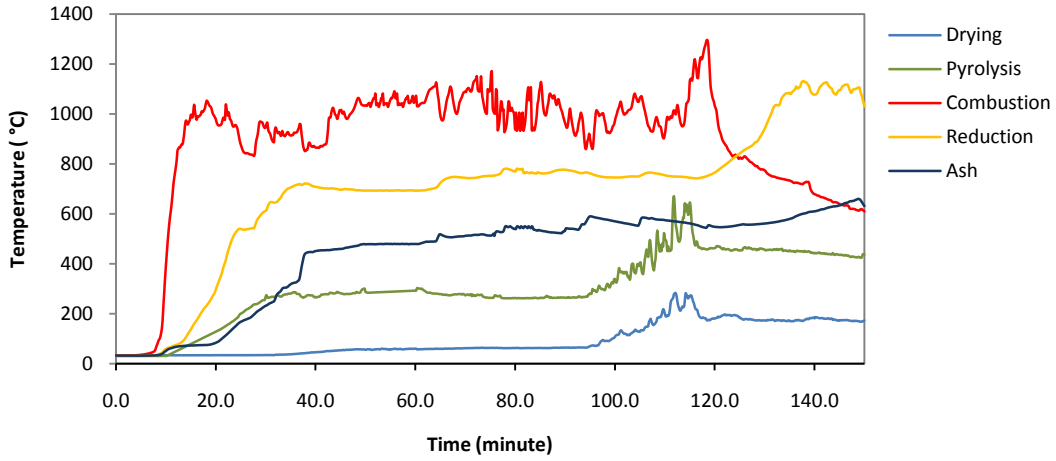
A (ถ่านหิน) / AW (ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น) / AWT10 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm) / AWT20 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 20 ppm)

5.2.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง

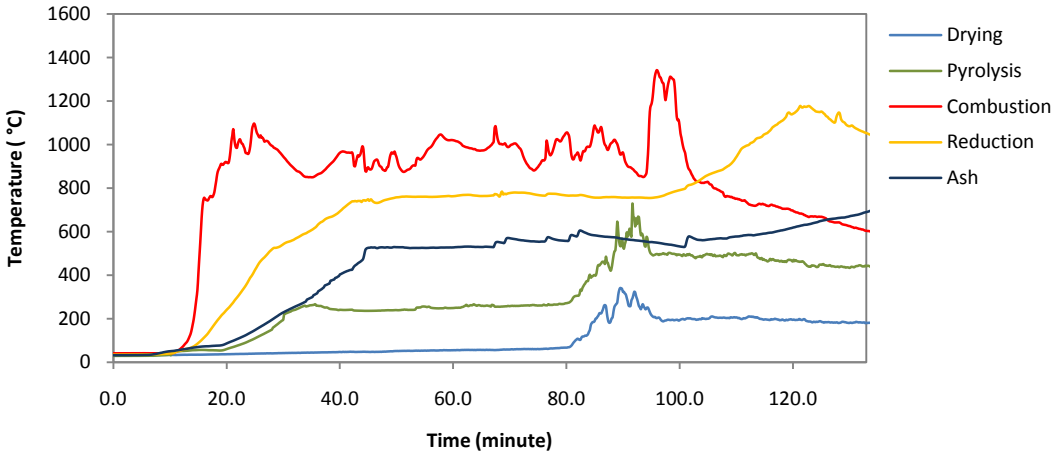
จากการทดลองเพิ่มความชื้นและการผสมของไหลนาโนลงบนถ่านหิน พบว่า มีผลต่ออุณหภูมิภายในเตา ดังแสดงในรูปที่ 5.18 - 5.21 โดยช่วงของอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.10



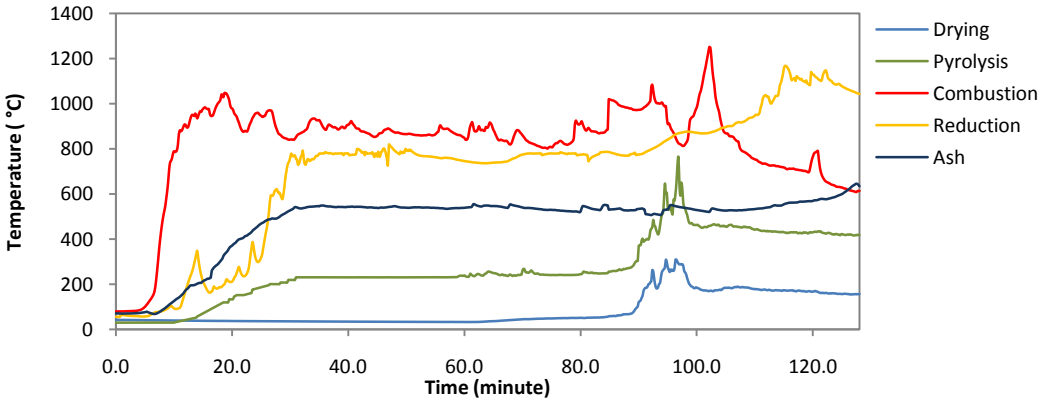
รูปที่ 5.18 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลองกรณีเชื้อเพลิงถ่านหิน (A)



รูปที่ 5.19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลองกรณีเชื้อเพลิงถ่านหินที่เพิ่มความชื้น (AW)



รูปที่ 5.20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลองกรณีเชื้อเพลิงถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm (AWT10)



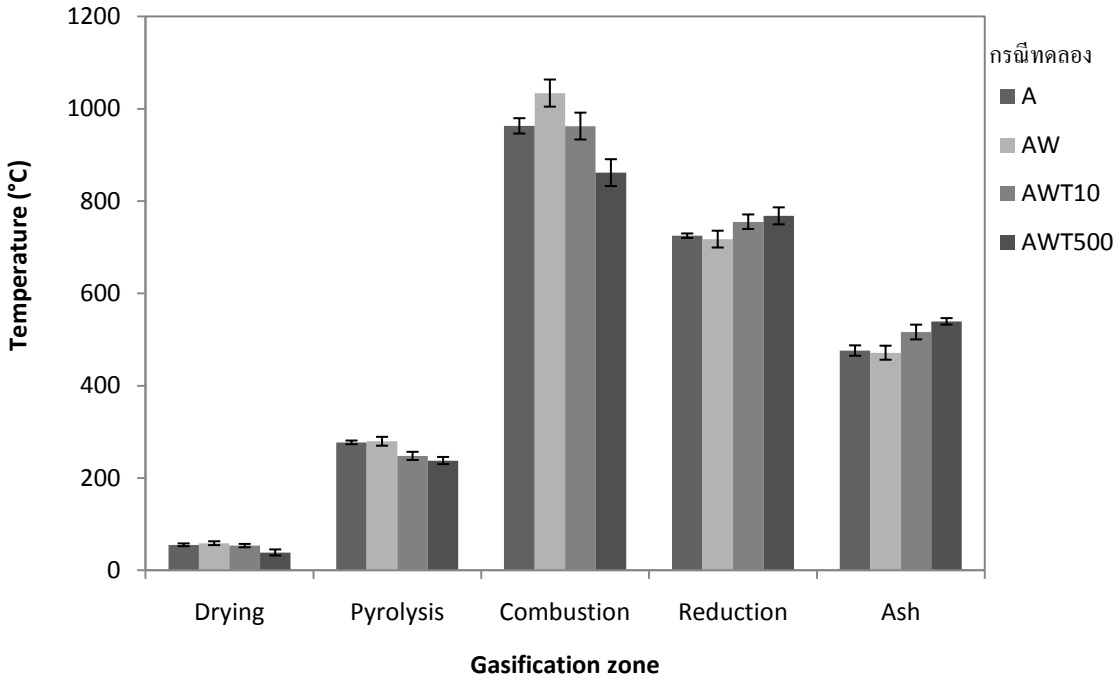
รูปที่ 5.21 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในโซนต่างๆเปรียบเทียบกับเวลาในการทดลองกรณีเชื้อเพลิงถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 20 ppm (AWT20)

ตารางที่ 5.10 อุณหภูมิภายในเตากรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

ตำแหน่งภายในเตา	อุณหภูมิ (°C)
โซนอบแห้ง (Drying zone)	น้อยกว่า 100
โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis zone)	200 - 300
โซนเผาไหม้ (Combustion zone)	800 - 1,100
โซนรีดักชั่น (Reduction zone)	700 - 800
โซนเก็บขี้เถ้า (Ash pit)	400 - 600

อุณหภูมิภายในเตาที่ทำการวัดในตำแหน่งต่างๆ 5 ตำแหน่งคือ T1 โซนอบแห้ง, T2 โซนไพโรไลซิส, T3 โซนเผาไหม้, T4 โซนรีดักชั่น และ T5 ห้องเก็บเถ้า ผลการทดลองพบว่า ถ่านหินที่เพิ่มความชื้นมีผลทำให้อุณหภูมิในโซนอบแห้ง โซนไพโรไลซิส และโซนเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่อุณหภูมิในโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ในโซนเผาไหม้สามารถถ่ายเทลงไปยังโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้าได้น้อยลงทำให้อุณหภูมิในโซนเผาไหม้มีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้อุณหภูมิในโซนอบแห้งและโซนไพโรไลซิส มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.22

การผสมของไหลนาโนลงบนถ่านหินมีผลต่ออุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยเมื่อความเข้มข้นของของไหลนาโนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในโซนอบแห้ง โซนไพโรไลซิสและโซนเผาไหม้มีแนวโน้มของอุณหภูมิลดลงแต่อุณหภูมิในโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้ามีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ถ่านหิน เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ในโซนเผาไหม้สามารถถ่ายเทลงไปยังโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้าได้มากขึ้นทำให้อุณหภูมิในโซนเผาไหม้มีค่าลดลง มีผลทำให้อุณหภูมิในโซนรีดักชั่นและห้องเก็บเถ้ามีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในโซนต่างๆภายในเตาในการทดลองครณีต่างๆ

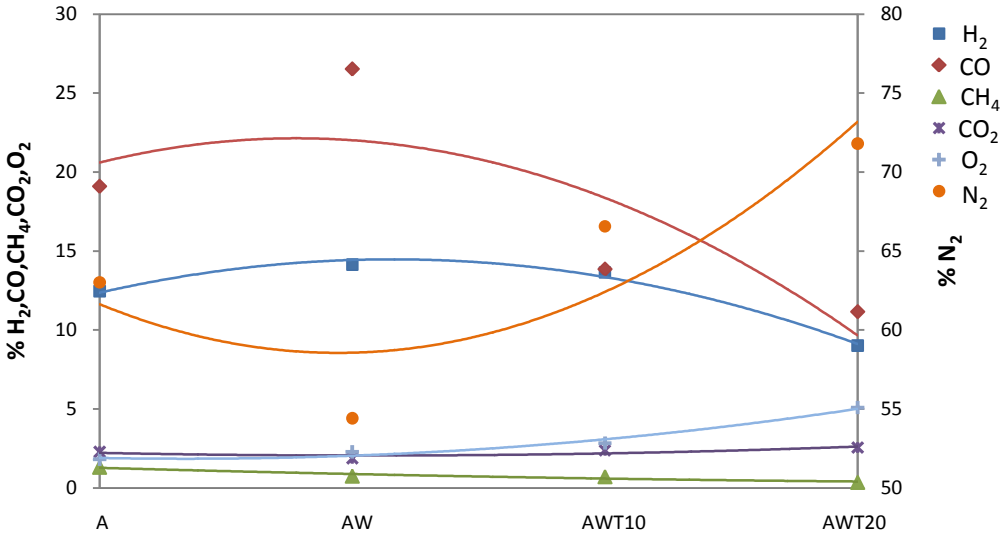
5.2.2 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง

องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงหาได้จากการเก็บตัวอย่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ทางออกมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงโดยนำก๊าซเชื้อเพลิงไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยเครื่อง Gas Chromatography ซึ่งองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วย H_2, CO, CH_4, CO_2, O_2 และ N_2 ดังแสดงในตารางที่ 5.11 และในรูปที่ 5.23

ตารางที่ 5.11 องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

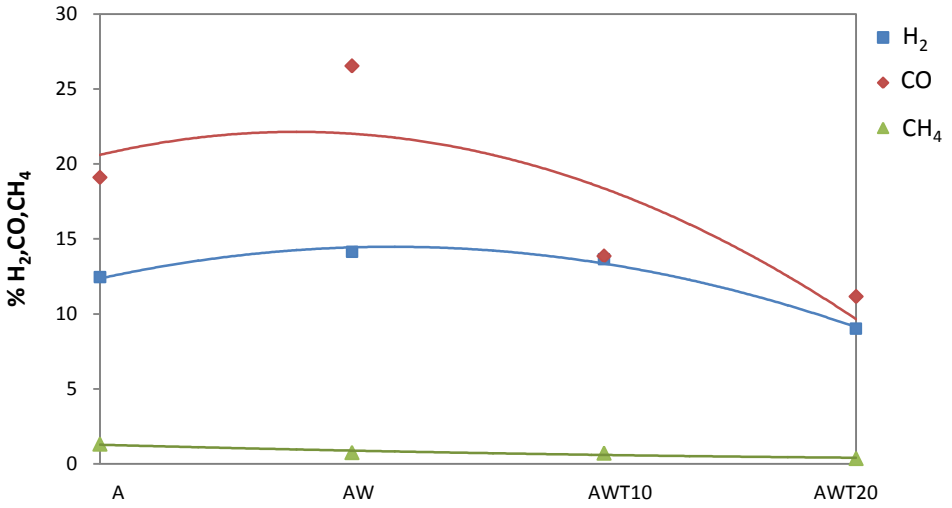
กรณีการทดลอง	Gas Composition by Volume (%)					
	H_2	CO	CH_4	CO_2	O_2	N_2
A	12.46	19.10	1.32	2.28	1.82	63.02
AW	14.14	26.53	0.76	1.87	2.28	54.42
AWT10	13.65	13.86	0.72	2.37	2.84	66.56
AWT20	9.02	11.16	0.37	2.56	5.09	71.80

A (ถ่านหิน) / AW (ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น) / AWT10 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm) / AWT20 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 20 ppm)



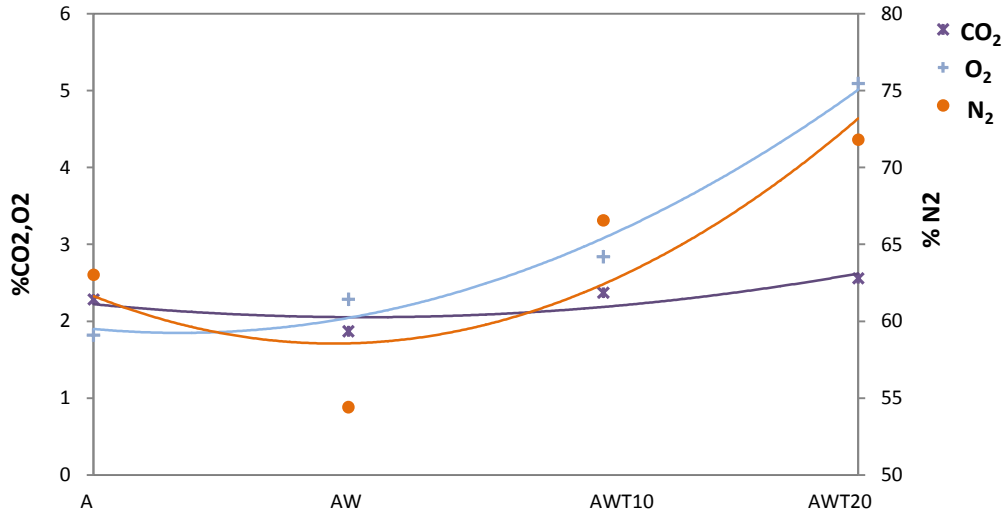
รูปที่ 5.23 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ

ก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้ประกอบด้วย H_2, CO และ CH_4 โดยพบว่าถ่านหินที่เพิ่มความชื้นมีผลทำให้ปริมาณของ H_2 และ CO มีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 1.68% และ 7.43% ตามลำดับ แต่ปริมาณของ CH_4 ลดลง 0.56% ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทำให้อัตราการเผาไหม้ถ่านหินในเตาช้าลง ซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นภายในเตา และสำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm พบว่ามีผลทำให้ CO มีแนวโน้มที่ลดลง 5.24% และ 7.94% ตามลำดับ และปริมาณของ H_2 จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยที่ความเข้มข้น 10 ppm ปริมาณของ H_2 มีปริมาณสูงขึ้น 1.19% และที่ความเข้มข้น 20 ppm ปริมาณของ H_2 จะมีปริมาณลดลง 3.44% และปริมาณของ CH_4 จะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นกันโดยพบว่าที่ความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm ปริมาณของ CH_4 มีค่าลดลง 0.6% และ 0.95% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ทั้งนี้เนื่องจากของไหลนาโนมีผลทำให้อัตราการเผาไหม้ถ่านหินในเตาเร็วขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นภายในเตา ดังแสดงในรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้เปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ประกอบด้วย O_2, N_2 และ CO_2 โดยพบว่าถ่านหินที่เพิ่มความชื้นมีผลทำให้ปริมาณของ N_2 และ CO_2 ลดลงจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 8.6% และ 0.41% แต่ O_2 มีปริมาณสูงขึ้น 0.46% สำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 และ 20 ppm มีผลทำให้ปริมาณของ N_2, CO_2 และ O_2 มีแนวโน้มสูงขึ้นจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 3.54%, 1.02% และ 0.42% สำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm และสูงขึ้น 8.78%, 3.27% และ 0.28% สำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 20 ppm ดังแสดงในรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้เปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ

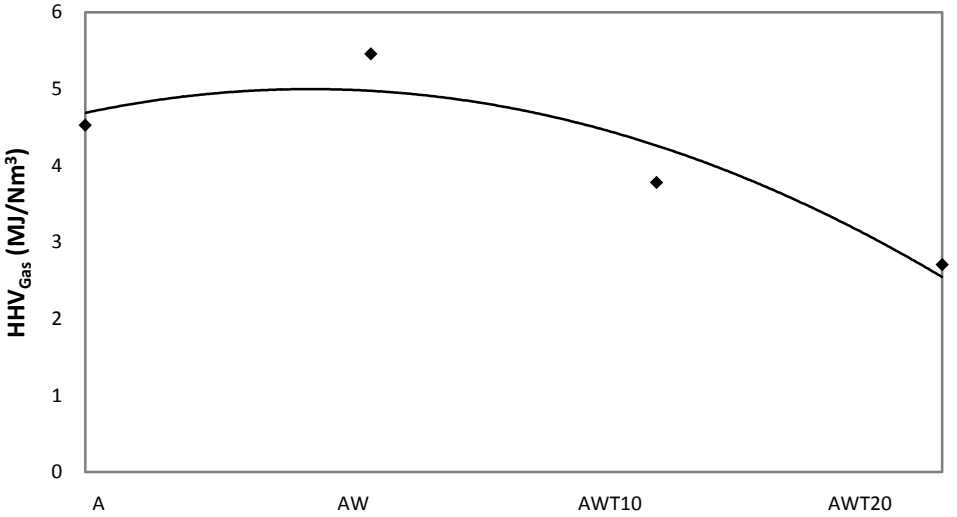
5.2.3 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลอง สามารถคำนวณหาค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงได้ โดยพบว่าถ่านหินที่เพิ่มความชื้นสามารถเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงได้โดยมีเท่ากับ 5.46 MJ/Nm^3 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 17.03% และสำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm มีผลทำให้ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 3.78 MJ/Nm^3 และ 2.71 MJ/Nm^3 ซึ่งลดลงจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 16.55% และ 40.17% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.12 และในรูปที่ 5.26

ตารางที่ 5.12 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

กรณีของการทดลอง	ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง (MJ/Nm^3)
A	4.53
AW	5.46
AWT10	3.78
AWT20	2.71

A (ถ่านหิน) / AW (ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น) / AWT10 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้นข้น 10 ppm) / AWT20 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้นข้น 20 ppm)



รูปที่ 5.26 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ

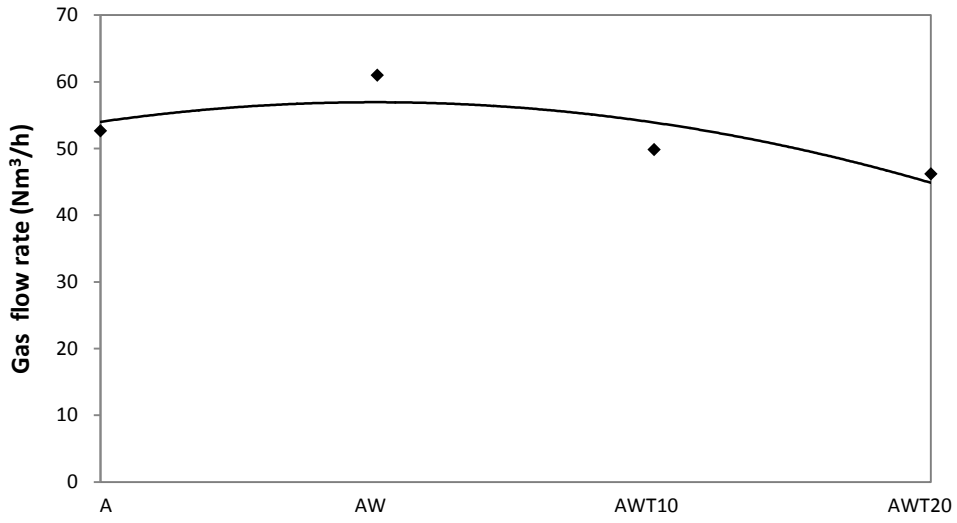
5.2.4 อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง

จากการทดลองพบว่าถ่านหินที่เพิ่มความชื้นมีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงโดยมีค่าเท่ากับ 60.98 Nm^3/h ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 13.66% และสำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm มีผลทำให้อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 49.85 Nm^3/h และ 46.21 Nm^3/h ซึ่งลดลงจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 5.31% และ 12.23% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.13 และในรูปที่ 5.27

ตารางที่ 5.13 อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

กรณีของการทดลอง	อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (Nm^3/h)
A	52.65
AW	60.98
AWT10	49.85
AWT20	46.21

A (ถ่านหิน) / AW (ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น) / AWT10 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm) / AWT20 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 20 ppm)



รูปที่ 5.27 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ

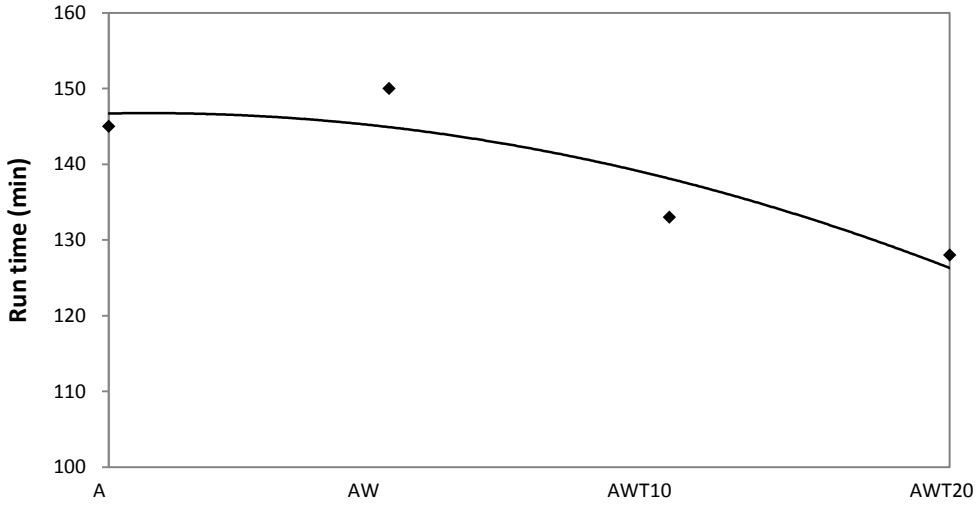
5.2.5 อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหาได้จากปริมาณถ่านหินที่ถูกเผาไหม้หารด้วยเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ พบว่า ถ่านหินที่เพิ่มความชื้นมีผลต่อเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยเวลาในการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้นจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 3.33% ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงลดลง 3.33% และสำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm ทำให้เวลาในการเผาไหม้มีแนวโน้มลดลง 8.27% และ 11.72% ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 10.08% และ 15.13% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.14 และในรูปที่ 5.28 และ 5.29

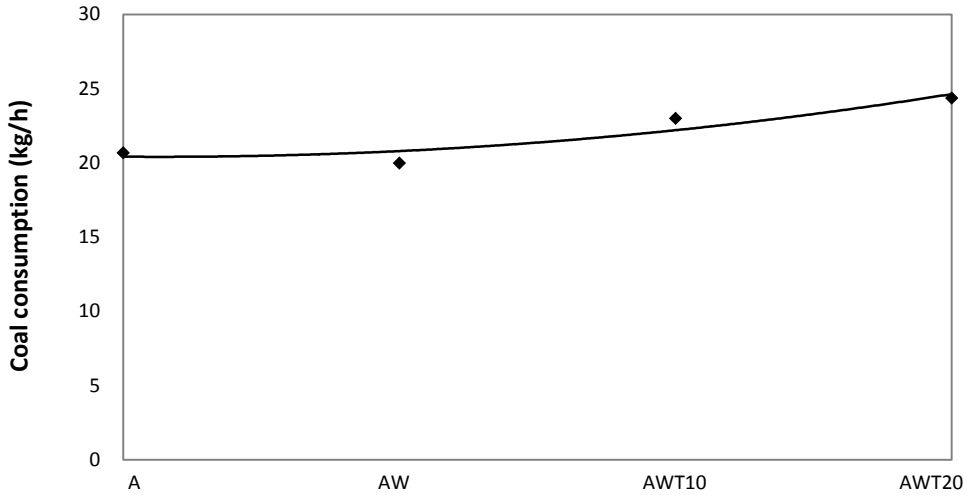
ตารางที่ 5.14 เวลาและอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

กรณีของการทดลอง	เวลาในการเผาไหม้ (min)	อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kg/h)
A	145	20.69
AW	150	20.00
AWT10	133	23.01
AWT20	128	24.38

A (ถ่านหิน) / AW (ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น) / AWT10 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้นข้น 10 ppm) / AWT20 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้นข้น 20 ppm)



รูปที่ 5.28 การเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ



รูปที่ 5.29 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ

5.2.6 การประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

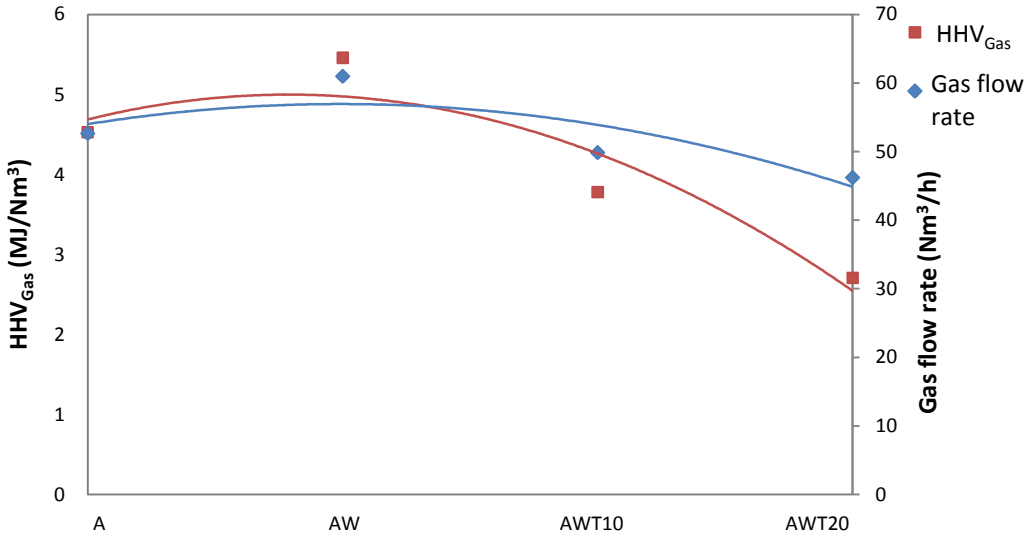
ถ่านหินที่เพิ่มความชื้นส่งผลต่อค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงและอัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน และเมื่อนำมาคำนวณอัตราการปลดปล่อยพลังงานของก๊าซเชื้อเพลิงโดยพบว่ามีค่าเท่ากับ 92.43 kW ซึ่งเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 28.37% และ สำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm มีผลทำให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานของก๊าซเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 52.32 kW และ 34.74 kW ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 20.96% และ 47.52% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.15 และในรูปที่ 5.30 และ 5.31

เมื่อทราบอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง ค่าความร้อนทางสูงของถ่านหินซับบิทูมินัส และอัตราการเผาไหม้ถ่านหิน ก็จะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงได้ โดยถ่านหินที่เพิ่มความชื้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของเตาในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยมีค่าเท่ากับ 70.13% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 21.58% และสำหรับถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm มีผลทำให้ประสิทธิภาพของเตาในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 34.50% และ 21.62% ซึ่งลดลงจากกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน 14.05% และ 26.93% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.15 และในรูปที่ 5.32 และ 5.33

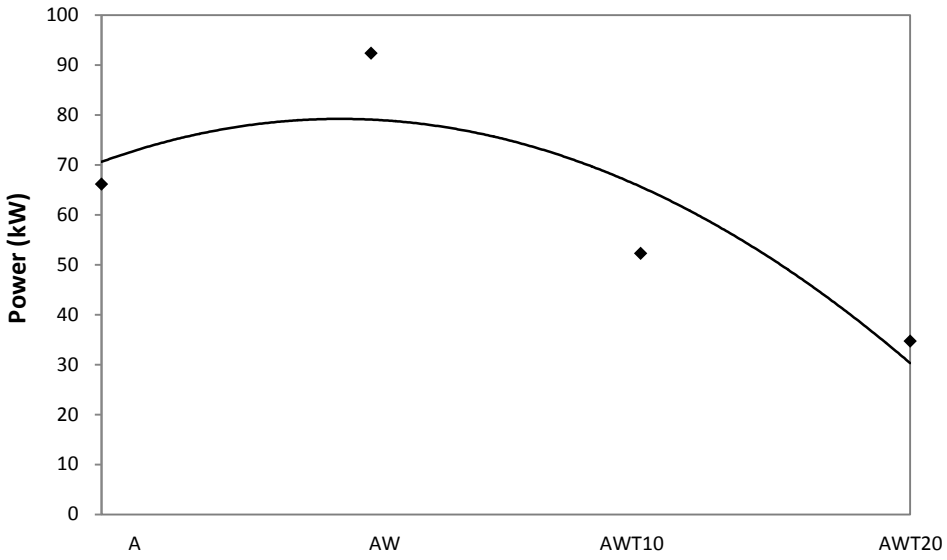
ตารางที่ 5.15 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของก๊าซเชื้อเพลิงกรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของไหลนาโน

กรณีของการทดลอง	อัตราการปลดปล่อยพลังงานของก๊าซเชื้อเพลิง (kW)	ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (%)
A	66.20	48.55
AW	92.43	70.13
AWT10	52.32	34.50
AWT20	34.74	21.62

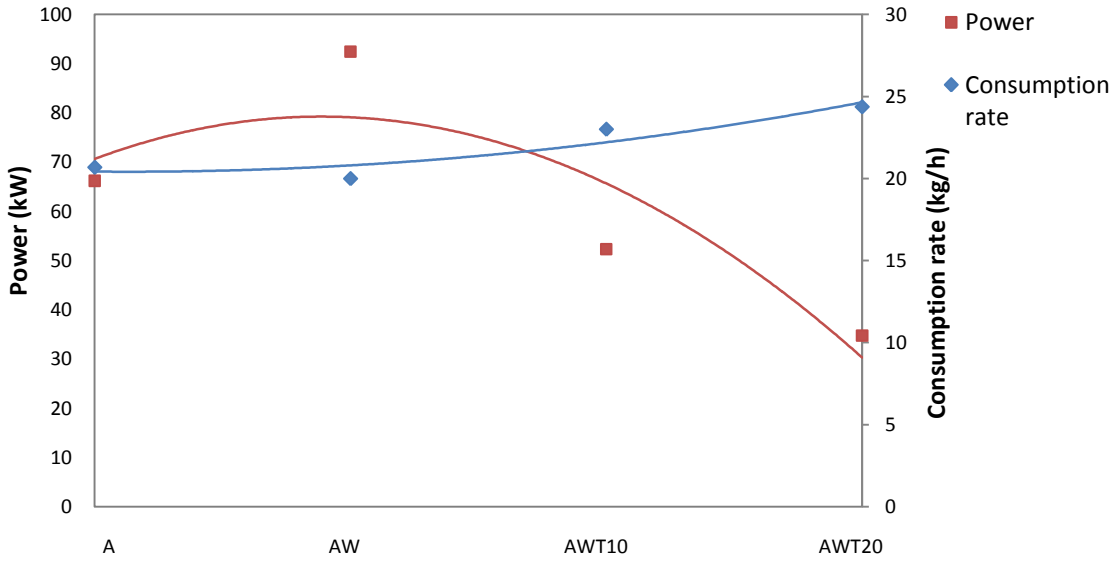
A (ถ่านหิน) / AW (ถ่านหินที่เพิ่มความชื้น) / AWT10 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm) / AWT20 (ถ่านหินผสมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 20 ppm)



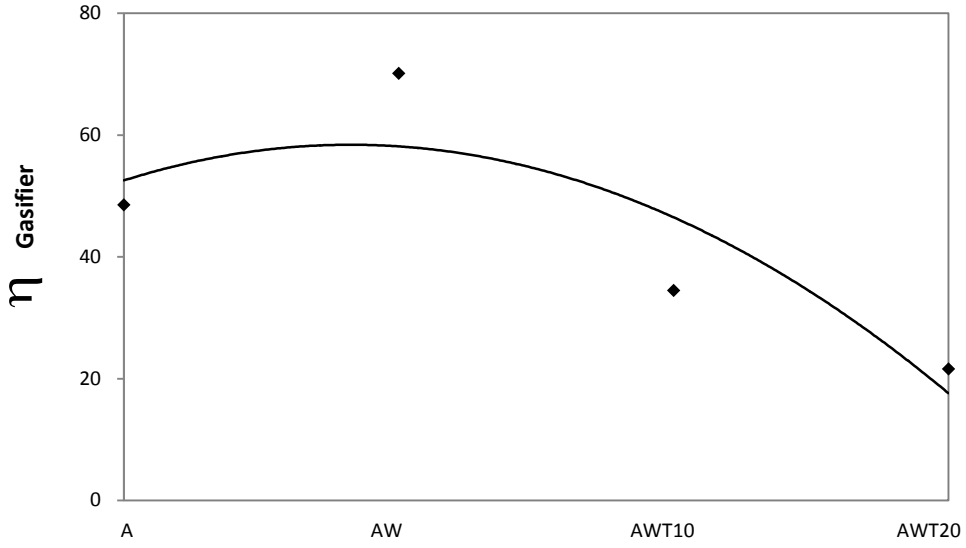
รูปที่ 5.30 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ



รูปที่ 5.31 การเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ



รูปที่ 5.32 การเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิงและอัตราเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับกรณีการทดลองต่างๆ



รูปที่ 5.33 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการทดลองกรณีต่างๆ