บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์จากการเผาไหม้ร่วมของถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน โดยถ่านหินที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นถ่านหินจากประเทศอินโดนีเซีย ศักดิ์ซับบิทูมินัส และชีวมวลที่ใช้คือ แกลบจากจังหวัดนครปฐม ในวิจัยได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรสำคัญต่างๆ ที่มีผลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างถ่านหินและแกลบหรือปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิง, ปริมาณอากาศที่ป้อนทั้งหมด, สัดส่วนของปริมาณอากาศ ณ ตำแหน่งป้อนต่างๆ กัน คือ อากาศปฐมภูมิ อากาศทุติภูมิ และ อากาศที่สกรูฟีดเดอร์, ตำแหน่งของอากาศทุติยภูมิ และผลของการสเปรย์น้ำที่หอดูดซับ

4.1 สมบัติของเชื้อเพลิง

4.1.1 การวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis)

องค์ประกอบโดยประมาณของถ่านหินและแกลบที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ค่าพลังงานความร้อน ความหนาแน่น และ ขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) รวมทั้งค่าพลังงานความร้อน ความหนาแน่น และ ขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง

Proximate analysis	% By Mass	
	Coal	Rice Husk
Fixed Carbon	38.66	18.21
Volatile Matter	35.84	57.48
Moisture	17.11	8.18
Ash	8.39	16.13
Total	100.00	100.00

	Coal	Rice Husk	Silica Sand
Gross heat (cal/g)	4920	3537	-
Bulk density (g/l)	900.28	131.48	2100
Size (μm)	<1200	<1200	200 - 300

4.1.2 การวิเคราะห์โดยแยกธาตุ (ultimate analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยแยกธาตุเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจนและซัลเฟอร์ ผลการวิเคราะห์เป็นร้อยละองค์ประกอบของธาตุในเชื้อเพลิงแสดงดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์แยกธาตุ (ultimate analysis)

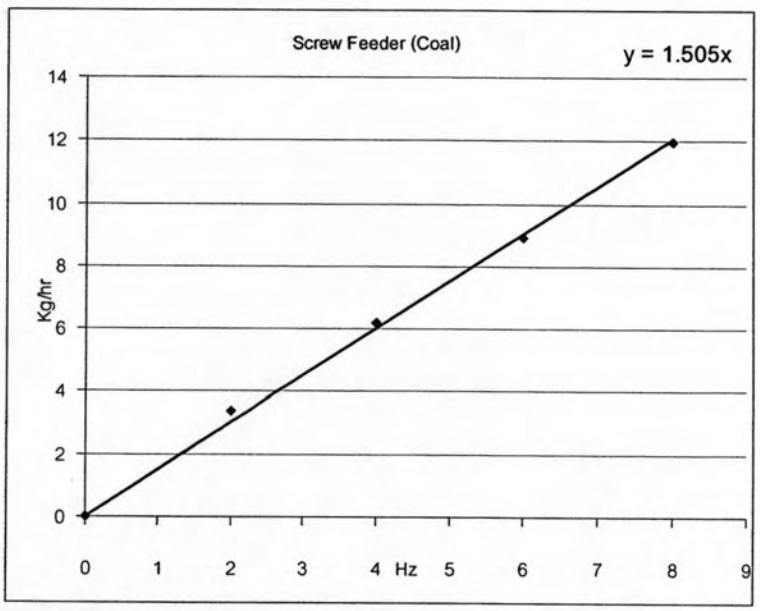
Ultimate analysis	% By Mass (daf)	
	Coal	Rice Husk
C	54.19	48.05
H	7.46	7.27
N	0.52	0.18
O	37.54	44.50
S	0.30	0.00
Total	100.00	100.00

4.2 การปรับเทียบสกรูฟีดเดอร์ และ inverter

เนื่องจากในการป้อนเชื้อเพลิงจะใช้ inverter เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับ สกรูฟีดเดอร์ ซึ่งหน่วยวัดความเร็วรอบของมอเตอร์คือ Hz แต่หน่วยของการป้อนเชื้อเพลิงที่ต้องการคือ กิโลกรัมของเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเทียบสกรูฟีดเดอร์ และ inverter เพื่อให้ได้ค่าเปรียบเทียบระหว่าง Hz และกิโลกรัมต่อชั่วโมง ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด คือ ถ่านหินและแกลบ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยสกรูฟีดเดอร์ 2 ชุด เพื่อแยกป้อนเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินและแกลบ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเทียบสกรูฟีดเดอร์ และ inverter ของทั้ง 2 ชุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 และ รูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของ inverter กับอัตราการป้อนถ่านหินผ่านสกรูฟีดเดอร์

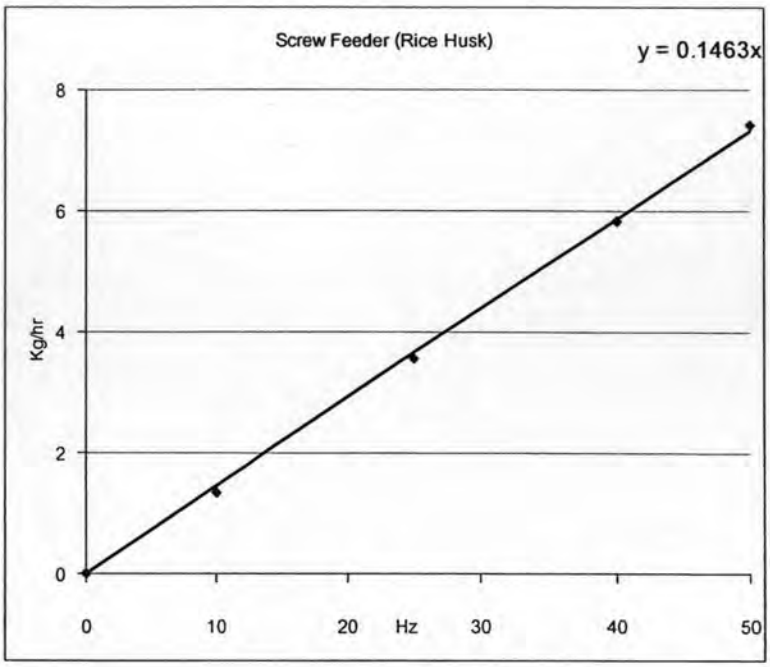
screw feeder (Coal)	
Hz	kg/hr
0	0
2	3.3534
4	6.2034
6	8.9034
8	11.958



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของ inverter กับอัตราการป้อนถ่านหินผ่านสกรูฟีดเดอร์

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของ inverter กับอัตราการป้อนแกลบผ่านสกรูฟีดเดอร์

screw feeder (Rice husk)	
Hz	kg/hr
0	0
10	1.35
25	3.57
40	5.82
50	7.41



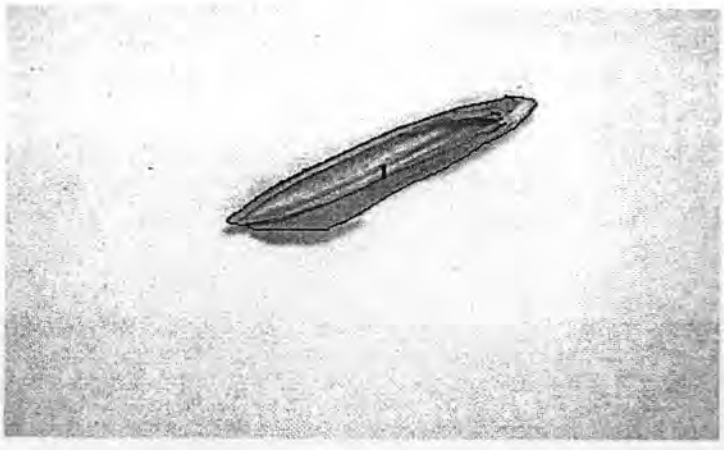
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของ inverter กับอัตราการป้อนแกลบผ่านสกรูฟีดเดอร์

4.3 การหาปริมาณอากาศปฐมภูมิต่ำสุดที่ทำให้ทรายในไรเซอร์เกิดการฟลูอิไดซ์และหมุนเวียน

เนื่องจากแก๊สออกซิเจนเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการเผาไหม้ โดยไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์จะเกิดได้มากขึ้นหากมีปริมาณแก๊สออกซิเจนมากขึ้น ซึ่งแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากอากาศ การป้อนอากาศหลายๆตำแหน่งในไรเซอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการสะสมของอากาศมากเกินไปที่จุดใดจุดหนึ่งจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการเกิดไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ได้ โดยเฉพาะการควบคุมการป้อนปริมาณอากาศที่ตำแหน่งด้านล่างของไรเซอร์ที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้ามาด้วยให้น้อยที่สุด ซึ่งการที่มีอากาศมาก เชื้อเพลิงมาก (ปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงมาก) อุณหภูมิจะสูงมาก ย่อมก่อให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ได้มากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ปริมาณอากาศปฐมภูมิที่น้อยที่สุดที่ทำให้ทรายซึ่งเป็นอนุภาคส่วนใหญ่ในระบบเกิดการฟลูอิไดซ์และหมุนเวียน โดยไรเซอร์หรือห้องเผาไหม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นท่อรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร สูง 3 เมตร อัตราการไหลของทรายผ่านแอลวาวล์ 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจาก downcomer มาสู่ด้านล่างของไรเซอร์ ซึ่งจากการสังเกตลักษณะการไหลของอนุภาคในไรเซอร์พบว่าอัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาทีเป็นปริมาณอากาศต่ำสุดที่ทำให้ทรายเกิดการฟลูอิไดซ์และหมุนเวียน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงป้อนอากาศปฐมภูมิคงที่ทุกการทดลองที่ 200 ลิตรต่อนาที

4.4 การหาขนาดของแกลบและปริมาณอากาศที่เหมาะสมสำหรับป้อนเข้าในสกรูฟีดเดอร์สำหรับป้อนแกลบเพื่อไม่ให้เปลวไฟและความร้อนไหลย้อนกลับไปไหม้แกลบในถังเก็บแกลบ

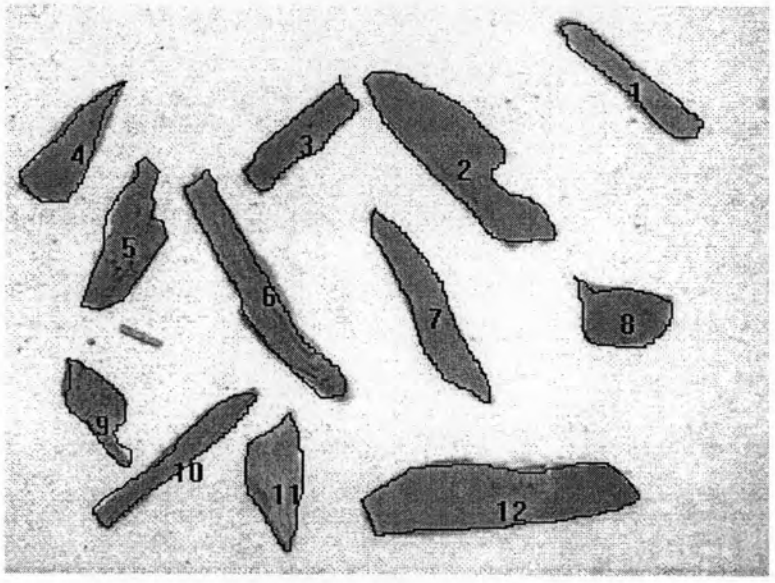
เนื่องจากการป้อนชีวมวลเข้าไรเซอร์โดยใช้ สกรูฟีดเดอร์ จะเกิดปัญหาไฟไหม้ย้อนกลับเข้าไปใน สกรูฟีดเดอร์ และเกิดการเผาไหม้ในถังเก็บเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากชีวมวลมีลักษณะเบา มีปริมาณสารระเหยค่อนข้างมาก ติดไฟได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ หากอัตราการป้อนเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาไหม้ย้อนกลับไปในสกรูฟีดเดอร์ ก็จะเกิดการเผาไหม้ในถังเก็บเชื้อเพลิง หรือความดันในถังเก็บชีวมวลน้อยกว่าความดันใน ไรเซอร์ เปลวไฟและความร้อนก็จะไหลย้อนกลับไปในสกรูฟีดเดอร์ได้ง่ายทำให้เกิดการเผาไหม้ในถังเก็บเชื้อเพลิงในที่สุด ดังนั้นหากป้อนชีวมวลที่มีความหนาแน่นน้อย มีลักษณะเป็นเส้นใย เกิดการเกาะติดกันเป็นกลุ่มก้อนได้ มีช่องว่างของอากาศแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคชีวมวลในปริมาณมาก ก็จะเกิดปัญหาการเผาไหม้ย้อนกลับเข้าไปในสกรูฟีดเดอร์และเกิดการเผาไหม้ในถังเก็บเชื้อเพลิงง่ายกว่าปกติ ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือแกลบ ซึ่งก็ประสบปัญหาการเผาไหม้ย้อนกลับเข้าไปในสกรูฟีดเดอร์ และเกิดการเผาไหม้ในถังเก็บเชื้อเพลิงเช่นกัน จากการทดลองพบว่าขนาดของแกลบที่ถูกบดย่อยและสามารถผ่านตระแกรงแยกขนาด 1200 ไมโครเมตร และปริมาณอากาศป้อนที่สกรูฟีดเดอร์ สำหรับป้อนแกลบมากกว่าหรือเท่ากับ 100 ลิตรต่อนาที ทำให้ไม่เกิดปัญหาไฟไหม้ย้อนกลับเข้าไปในสกรูฟีดเดอร์ โดยขนาดของแกลบปกติก่อนทำการบดย่อย แสดงดังรูปที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.5 และขนาดของแกลบที่ผ่านการบดย่อยแสดงดังรูปที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.3 ลักษณะของแกลบปกติก่อนการถูกบดย่อยและคัดแยกขนาด (ถ่ายโดยกล้อง CCD)

ตารางที่ 4.5 ขนาดของแกลบปกติก่อนการถูกบดย่อยและคัดแยกขนาด

Object	Equivalent diameter	Size (length)	Size (width)
	millimetre		
1	5.12	10.40	2.35



รูปที่ 4.4 ลักษณะของแกลบหลังการถูกบดย่อยและคัดแยกขนาด
ผ่านตระแกรงแยกขนาด 1200 ไมโครเมตร (ถ่ายโดยกล้อง CCD)

ตารางที่ 4.6 ขนาดของแกลบหลังการถูกบดย่อยและคัดแยกขนาดผ่านตระแกรงแยกขนาด 1200 ไมโครเมตร

Object	Equivalent diameter	Size (length)	Size (width)
	millimetre		
1	2.56	4.97	0.94
2	4.05	6.94	2.07
3	2.45	3.93	1.25
4	2.38	4.27	1.63
5	2.68	4.65	1.85
6	3.75	7.56	1.41
7	3.68	6.29	1.31
8	2.20	2.84	1.87
9	2.00	3.52	1.56
10	3.47	5.82	0.83
11	2.36	3.98	1.60
12	4.76	7.79	1.93
mean	3.03	5.21	1.52

4.5 การหาปริมาณเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศในการเผาไหม้ในระบบฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

จากการทดลองพบว่าอัตราการป้อนถ่านหิน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราการป้อนอากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ของการเผาไหม้สมบูรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และอุณหภูมิในไรเซอร์อยู่ในช่วง 800 องศาเซลเซียส ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดเถ้าหลอมเกาะติดในเตาได้น้อย โดยเถ้าหลอมจะเกิดขึ้นได้ง่ายหากอุณหภูมิในเตาเผาสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนแกลบ 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราการป้อนอากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ของการเผาไหม้สมบูรณ์ สามารถเผาไหม้ได้โดยที่ไฟไม่ดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงคงที่ที่ 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีการปรับค่าปริมาณอากาศที่ป้อน

ตารางที่ 4.7 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์, ถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 และแกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยคิดปริมาณอากาศที่การเผาไหม้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์

AIR	Air Required (L/min)		
	Feed	7.00	kg/hr
	Coal 100%	Coal:Rice husk = 50:50	Rice husk 100%
100% combustion	536.63	499.88	463.14

4.6 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่การป้อนเชื้อเพลิงอัตราเท่ากัน (7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง จะพบว่าแกลบมีค่าความร้อนเพียง 3537 แคลอรีต่อกรัม ในขณะที่ถ่านหินมีค่าความร้อน 4920 แคลอรีต่อกรัม โดยค่าความร้อนนี้คิดในกรณีที่เผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์เท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไม่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เกิดขึ้น โดยเฉพาะการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่มีการใช้ปริมาณอากาศมากๆ ความเร็วของไหลสูงๆ หากใช้ระบบดักจับและคัดแยกอนุภาคของแข็งและแก๊สที่มีประสิทธิภาพต่ำ ย่อมมีโอกาสที่เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หลุดลอดออกไปจากระบบได้มากยิ่งขึ้น จากการทดลอง ได้ป้อนอากาศปฐมภูมิคงที่ 200 ลิตรต่อนาที มีการป้อนอากาศเพิ่มที่สกรูฟีดเดอร์ ของแกลบซึ่งอยู่ที่ความสูง 0.35 เมตร จากแผ่นกระจายอากาศ เพื่อป้องกันการเผาไหม้ย้อนกลับไปในสกรูฟีดเดอร์ อีก 100 หรือ 200 ลิตรต่อนาที แก๊สและอนุภาคของแข็งจะไหลต่อไปยังไซโคลนที่ความสูง 2.8 เมตร ดังนั้นความเร็วของแก๊สในไรเซอร์ตั้งแต่ตำแหน่งของการป้อนเชื้อเพลิงขึ้นไปจึงเท่ากับ 0.636 เมตรต่อวินาทีหากป้อนอากาศเพิ่มที่สกรูฟีดเดอร์ 100 ลิตรต่อวินาที และ 0.849 เมตรต่อนาทีหากป้อนอากาศเพิ่มที่สกรูฟีดเดอร์ 200 ลิตรต่อนาที ถ้ามีการป้อนอากาศทุติยภูมิ ความเร็วของแก๊สเหนือตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิก็จะสูงขึ้นไปอีก ดังนั้นหากอนุภาคของเชื้อเพลิงมีความเร็วเท่าความเร็วของแก๊สที่มีการป้อนอากาศเพิ่มที่สกรูฟีดเดอร์ 100 ลิตรต่อนาทีเท่านั้น โดยที่ไม่คิดความเร็วที่เพิ่มขึ้นจากการเติมอากาศทุติยภูมิ ก็จะใช้เวลาอยู่ในไรเซอร์เพียง 3.85 วินาทีตั้งแต่เริ่มเข้าสู่ไรเซอร์ที่ความสูง 0.35 เมตร จนกระทั่งไหลต่อไปยังไซโคลนที่ความสูง 2.8 เมตร โดยปกติแล้วความเร็วของอนุภาคของแข็งย่อมน้อยกว่าแก๊ส แต่ก็ยังคงไม่นานพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในการไหลผ่านไรเซอร์เพียงครั้งเดียว จึงต้องมีไซโคลนคอยดักจับและคัดแยกอนุภาคของแข็งออกจากแก๊ส แล้วเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมดก็จะถูกนำเข้าไรเซอร์มาเผาไหม้ต่อไป

จากความหนาแน่นของถ่านหินและแกลบ ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 900.28 และ 131.48 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยขนาดของถ่านหินและแกลบที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีค่าน้อย

กว่า 1200 มิลลิเมตร หากความเร็วของอากาศในไรเซอร์เท่ากันโดยที่ไม่คำนึงถึงการสลายตัวหรือการเปลี่ยนรูปของเชื้อเพลิงเมื่อเกิดการเผาไหม้ แกลบย่อมเคลื่อนที่ไปเร็วกว่าถ่านหิน หรือมีเวลาอยู่ในไรเซอร์น้อยกว่าถ่านหิน เกิดการเผาไหม้ในไรเซอร์ได้น้อยกว่าถ่านหิน

หากคำนึงถึงการสลายตัวทางความร้อนหรือการเปลี่ยนรูปไปเมื่อเกิดการเผาไหม้ พบว่าเมื่อเชื้อเพลิงผ่านความร้อน 105 องศาเซลเซียส ความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิงจะระเหยเป็นไอน้ำ และความร้อนประมาณ 500 - 600 องศาเซลเซียส สารระเหยง่ายก็จะถูกเผาไหม้ออกไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งอุณหภูมิของทรายที่ใช้เป็นเบด หรืออุณหภูมิในไรเซอร์ สูงมากกว่า 600 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงเข้าสู่ไรเซอร์ ความชื้นและสารระเหยง่ายก็จะสลายตัวออกไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เชื้อเพลิงอยู่ในสภาพที่เปลี่ยนไปคือ มีความเป็นรูพรุนสูง ความหนาแน่นจึงลดลง และลอยตัวหลุดออกไปจากไรเซอร์ได้ง่ายขึ้น โดยแกลบจะมีความชื้นรวมกับสารระเหยง่ายมากกว่าถ่านหินจึงน่าจะมีความเป็นรูพรุนมากกว่าถ่านหิน ทำให้หลุดลอยออกจากไรเซอร์อย่างรวดเร็ว

ในไรเซอร์จะอยู่ในภาวะฟลูอิไดซ์เบดแบบปั่นป่วน คือมีการชนผสมคลุกเคล้ากันตลอดเวลา อนุภาคของทรายจะมีความคงที่ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อโดนความร้อน ในขณะที่เชื้อเพลิงถ่านหินและแกลบที่อยู่ในสภาพรูพรุนสูงจะเปราะ แตกหักง่าย เมื่อโดนทรายชนหรือชนกันเองหรือชนกับผนังก็จะมีขนาดเล็กลงอย่างรวดเร็วกว่าปกติ ทำให้เชื้อเพลิงซึ่งส่วนใหญ่เป็นถ่านชาร์มีขนาดเล็กกว่าปกติและไหลออกจากไรเซอร์ด้วยความเร็วสูง ซึ่งอาจมีขนาดเล็กและมีความเร็วมากจนกระทั่งไหลออกไปพร้อมกับฟลูแก๊สโดยที่ไซโคลนดักจับไม่ได้ ผลของการนำเถ้าลอย (มีทรายผสมปริมาณเล็กน้อย) ที่เก็บได้จากการทดลองหลายๆการทดลองมาวิเคราะห์แสดงผลโดยเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์โดยวิธีประมาณของเถ้าลอย

Proximate analysis	% By Mass dry basis
Fixed Carbon	15.44
Volatile Matter	4.51
Ash	80.05
Total	100.00

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์โดยวิธีแยกธาตุของเถ้าลอย

Ultimate analysis	% By Mass dry basis
C	15.35
H	0.53
N	0.10
O	n/a
S	n/a
Total	15.98

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่อง X-ray fluorescence ของเถ้าลอย

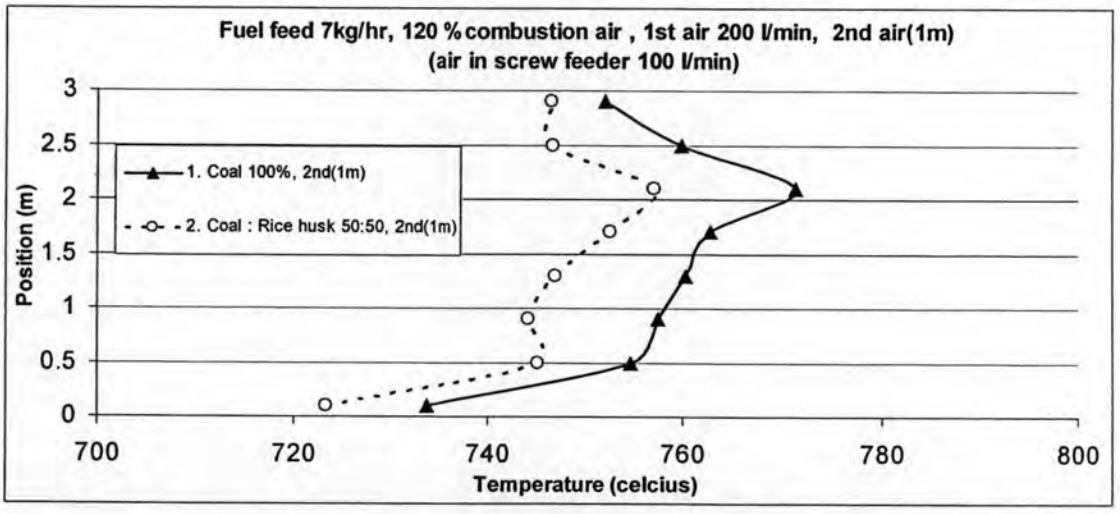
XRF analysis	% By Mass
Fe	6.670
Si	34.500
Na	0.405
Mg	0.323
Al	6.020
P	0.019
S	0.080
K	3.550
Ca	2.290
Ti	0.143
Cr	0.009
Mn	0.046
Ni	0.002
Rb	0.025
Sr	0.039
Y	0.001
Zr	0.040
Ba	0.159
Total	54.323

จากผลการวิเคราะห์เถ้าลอย พบว่าเถ้าลอยยังคงมีส่วนผสมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่ยังคงเผาไหม้ให้เป็นพลังงานได้ ซึ่งอยู่ในรูปของคาร์บอนคงตัว และสารระเหยง่าย ถึง 15.44 และ 4.51 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นน้ำหนักแห้ง แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นเถ้าถึง 80.05 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นน้ำหนักแห้ง และในเถ้าลอยยังมีส่วนผสมของไนโตรเจนอยู่ 0.10 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นน้ำหนักแห้ง แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนในเชื้อเพลิงไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นออกไซด์ของไนโตรเจนหรือแก๊สไนโตรเจนทั้งหมด (ออกไซด์ของไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สไนโตรเจนได้จากการเผาไหม้ในภาวะที่อากาศไม่เพียงพอ) เนื่องจากการทดลองมีอุณหภูมิไม่สูงมาก โดยอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 650 – 800 องศาเซลเซียส และมีการแบ่งการป้อนอากาศเป็นอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้เป็นขั้นๆ ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงหรือเกิดอากาศมากเกินพอที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน จากการศึกษาขนาดของเถ้าลอยโดยใช้

ตะแกรงแยกขนาด พบว่าเถ้าลอยมีขนาดที่เล็กพอสมควรโดยมีขนาดส่วนใหญ่อยู่ที่ช่วง 0 – 105 ไมโครเมตร เมื่อเทียบกับขนาดของไซโคลนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของแก๊ส 10 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่า ไซโคลนที่ใช้ในการทดลองดักจับอนุภาคที่ใหญ่กว่า 105 ไมโครเมตร ได้ดี แต่เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ได้ที่เล็กกว่า 105 ไมโครเมตร ยังคงหลุดออกไปจากระบบการเผาไหม้ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงาน

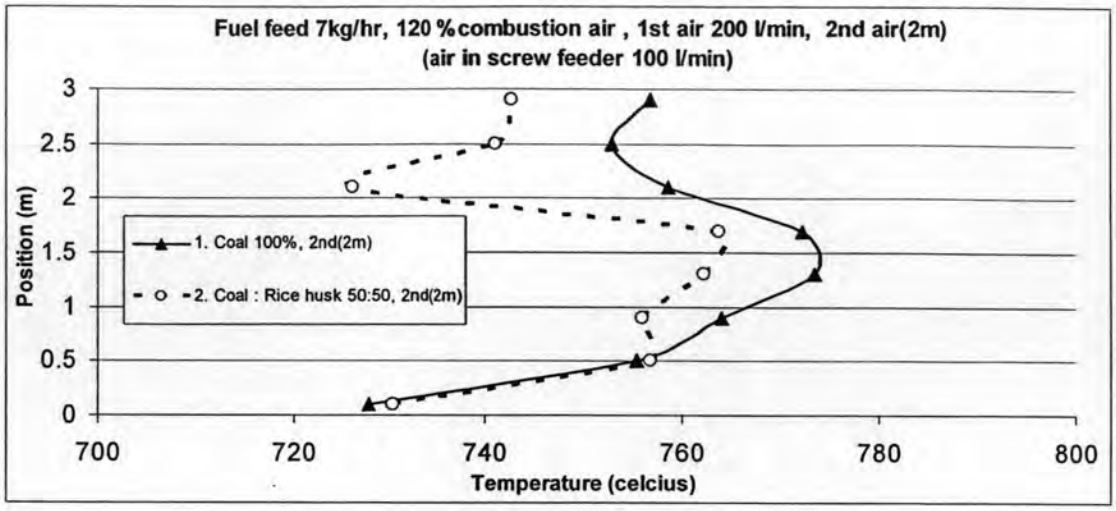
4.6.1 ศึกษาผลของชนิดเชื้อเพลิงที่ต่างกันที่มีผลต่ออุณหภูมิในไรเซอร์

ในการทดลองที่การป้อนอากาศเท่ากัน แต่เชื้อเพลิงต่างกัน การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของถ่านหินมากกว่าจะให้ความร้อนได้มากกว่า เนื่องจากค่าความร้อนในตัวของถ่านหินเองที่มีค่ามากกว่าแกลบ ถ่านหินมีเวลาเผาไหม้อยู่ในไรเซอร์นานกว่า มีโอกาสหลุดออกจากไซโคลนไปพร้อมกับฟลูแก๊สได้น้อยกว่าเนื่องจากมีขนาดใหญ่ แข็ง แตกได้ยาก และความหนาแน่นมากกว่าแกลบ อุณหภูมิตลอดไรเซอร์ในการทดลองต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.11



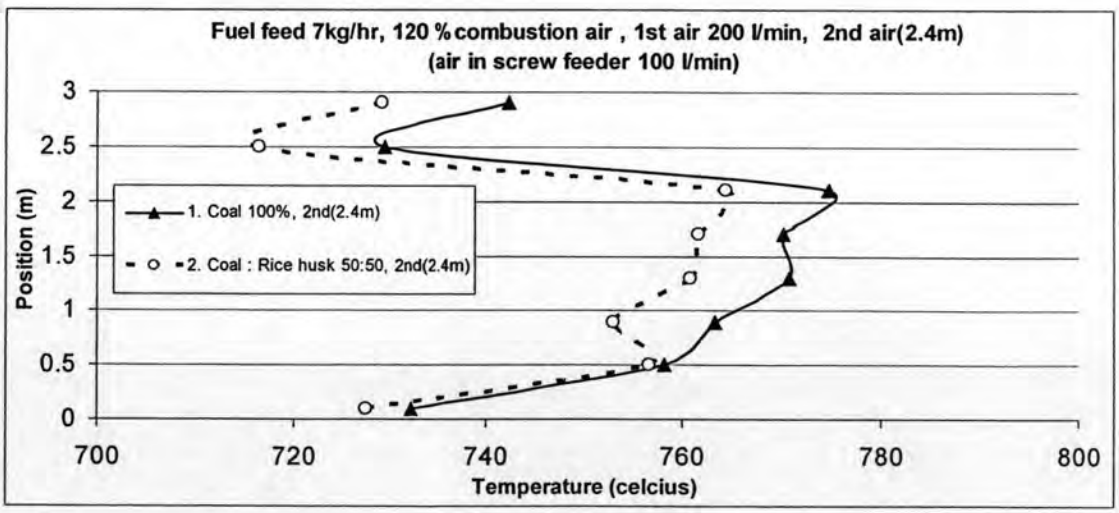
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศที่เหลือเป็นอากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร 343.96 ลิตรต่อนาที
2. ถ่านหิน:แกลบ 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร 299.86 ลิตรต่อนาที



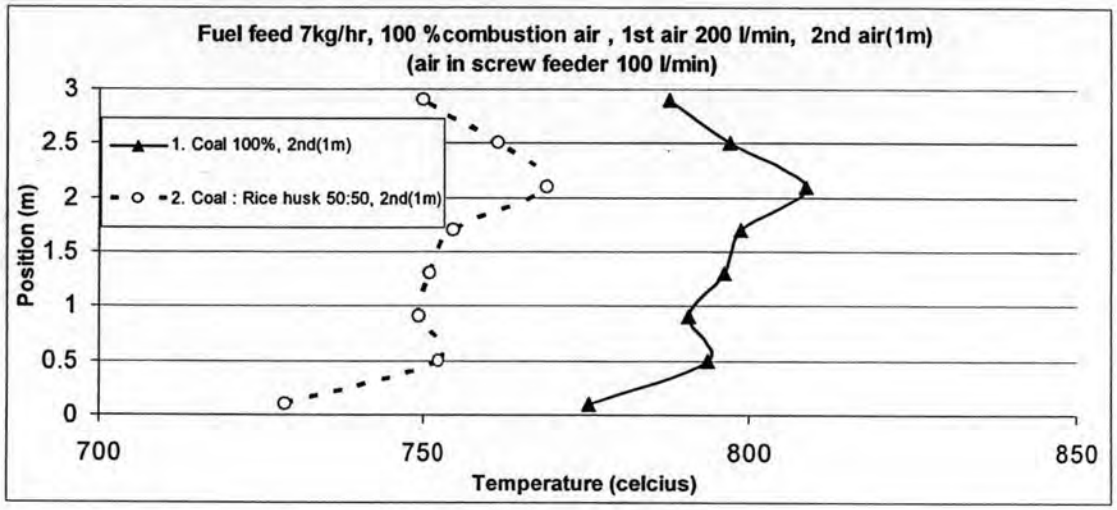
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศที่เหลือเป็นอากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร 343.96 ลิตรต่อนาที
2. ถ่านหิน:แกลบ 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร 299.86 ลิตรต่อนาที



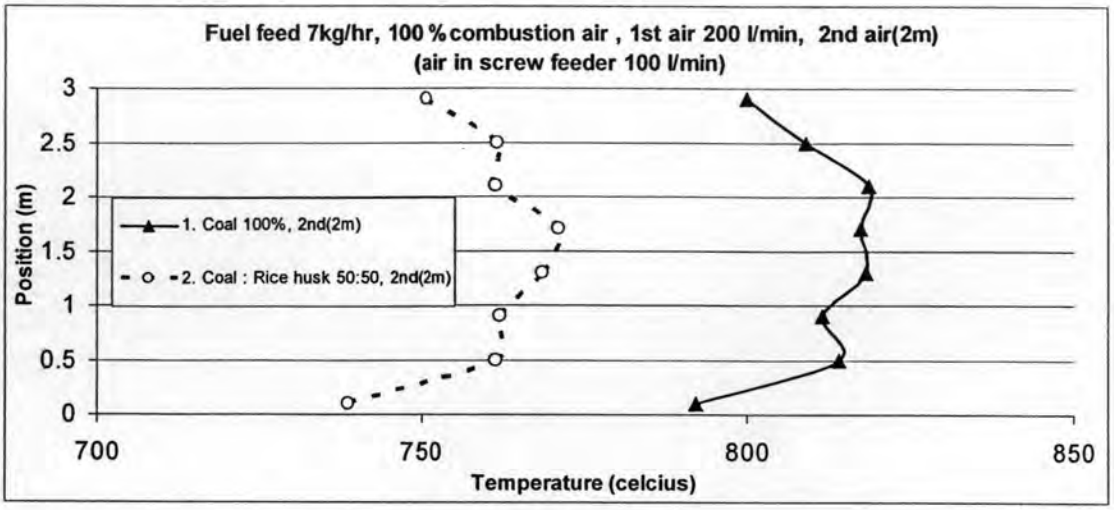
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศที่เหลือเป็นอากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร 343.96 ลิตรต่อนาที
2. ถ่านหิน:แกลบ 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร 299.86 ลิตรต่อนาที



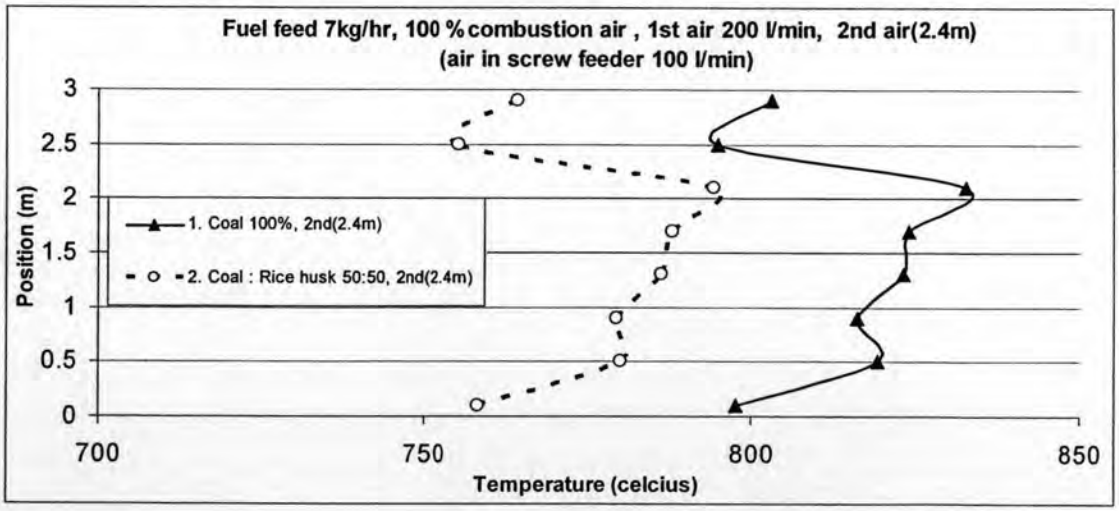
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศที่เหลือเป็นอากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร 236.63 ลิตรต่อนาที
2. ถ่านหิน:แกลบ 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร 199.88 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศที่เหลือเป็นอากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร

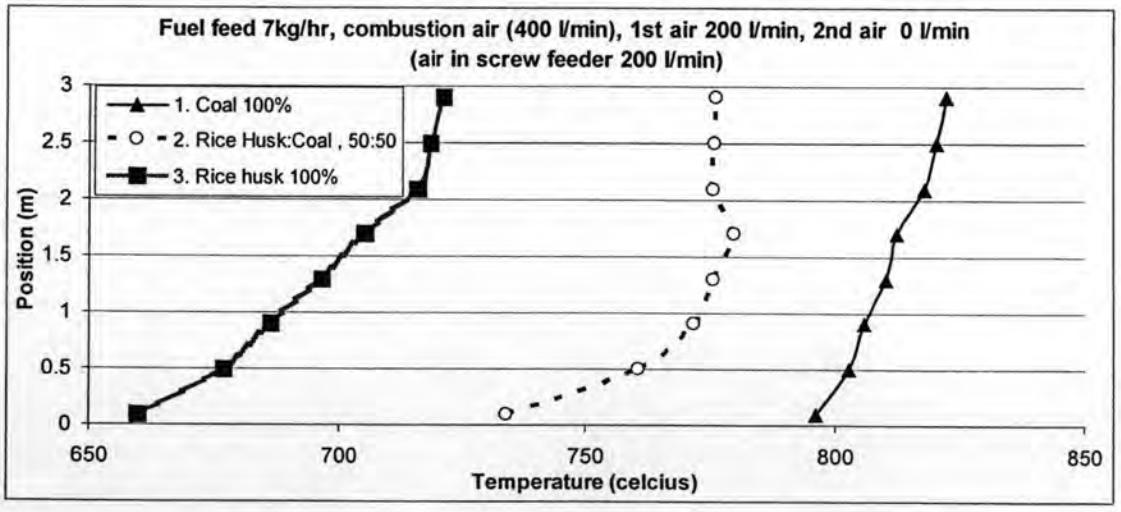
1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร 236.63 ลิตรต่อนาที
2. ถ่านหิน:แกลบ 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร 199.88 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม 100 เปอร์เซ็นในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศที่เหลือเป็นอากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร 236.63 ลิตรต่อนาที
2. ถ่านหิน:แกลบ 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร 199.88 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 4.5 ถึง 4.7 แสดงการป้อนอากาศรวมไม่เท่ากันแต่เมื่อคิดถึงปริมาณอากาศที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้แล้วมีค่าเท่ากันคือ 120 เปอร์เซ็นต์ของการเผาไหม้สมบูรณ์ รูปที่ 4.8 ถึง 4.10 แสดงการป้อนอากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ของการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยกราฟทั้ง 2 เส้น ในแต่ละรูปเป็นการทดลองที่ภาวะเดียวกัน ต่างกันตรงเชื้อเพลิง โดยเส้นทึบเป็นถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ และเส้นประเป็นถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 อุณหภูมิตลอดไรเซอร์ในทุกการทดลองเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของถ่านหินที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสาเหตุที่กล่าวไปข้างต้น หากสังเกตดูอุณหภูมิตลอดไรเซอร์ในแต่ละการทดลอง จะพบว่ามีอยู่ช่วงหนึ่งที่อุณหภูมิในไรเซอร์จะลดลงอย่างกะทันหันแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นใหม่ โดยอุณหภูมิจะลดลงที่ตำแหน่งความสูงประมาณ 1 เมตร, 2 เมตร และ 2.4 เมตร ซึ่งตำแหน่งความสูงเหล่านี้ก็คือตำแหน่งที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิซึ่งเป็นอากาศเย็นเข้ามานั่นเอง ทำให้อุณหภูมิลดลง และอากาศทุติยภูมิที่เติมเข้ามานี้ก็จะช่วยเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง



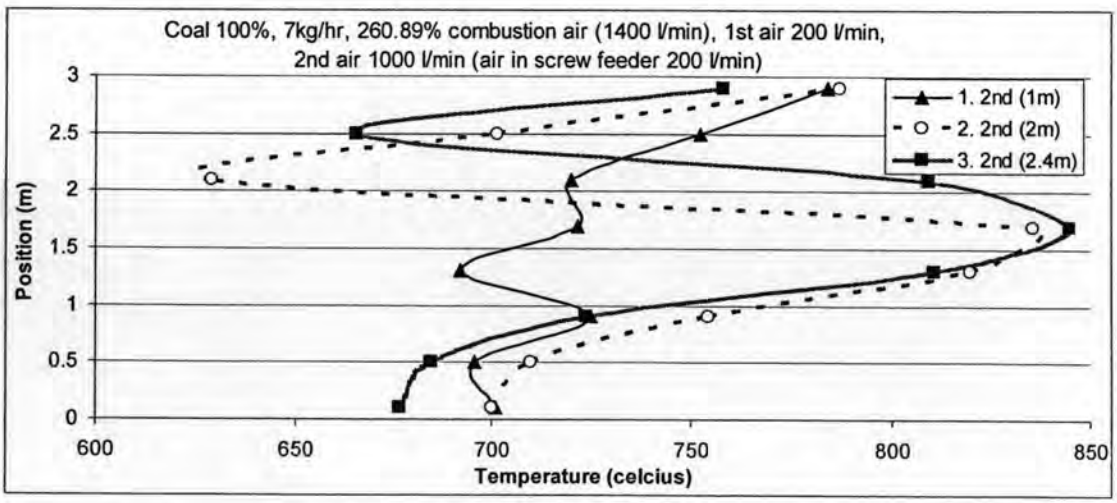
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม 400 ลิตรต่อนาที อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 74.54 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ200 ลิตรต่อนาที ไม่มีอากาศทุติยภูมิ
2. ถ่านหิน:แกลบ 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 80.02 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ200 ลิตรต่อนาที ไม่มีอากาศทุติยภูมิ
3. แกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 86.37 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ200 ลิตรต่อนาที ไม่มีอากาศทุติยภูมิ

จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณอากาศรวมเท่ากันคือ 400 ลิตรต่อนาที ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเผาไหม้สมบูรณ์แล้วยังคงน้อยกว่าอากาศที่ต้องใช้ในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่การป้อนแกลบ 100 เปอร์เซ็นต์จะมีอากาศสำหรับเผาไหม้สมบูรณ์มากที่สุดถึง 86.37 เปอร์เซ็นต์ และที่การป้อนถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นจะมีอากาศสำหรับเผาไหม้สมบูรณ์น้อยที่สุดเพียง 74.54 เปอร์เซ็นต์ แต่อุณหภูมิตลอดไรเซอร์ก็ยังคงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของถ่านหินที่เพิ่มมากขึ้นอยู่ดี โดยที่สัดส่วนการป้อนแกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิตลอดไรเซอร์ยังคงน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าแกลบยังคงเผาไหม้ได้ไม่ดีเท่าที่ควรแม้ว่าความเร็วของอากาศจะลดลงมากแล้วก็ตาม

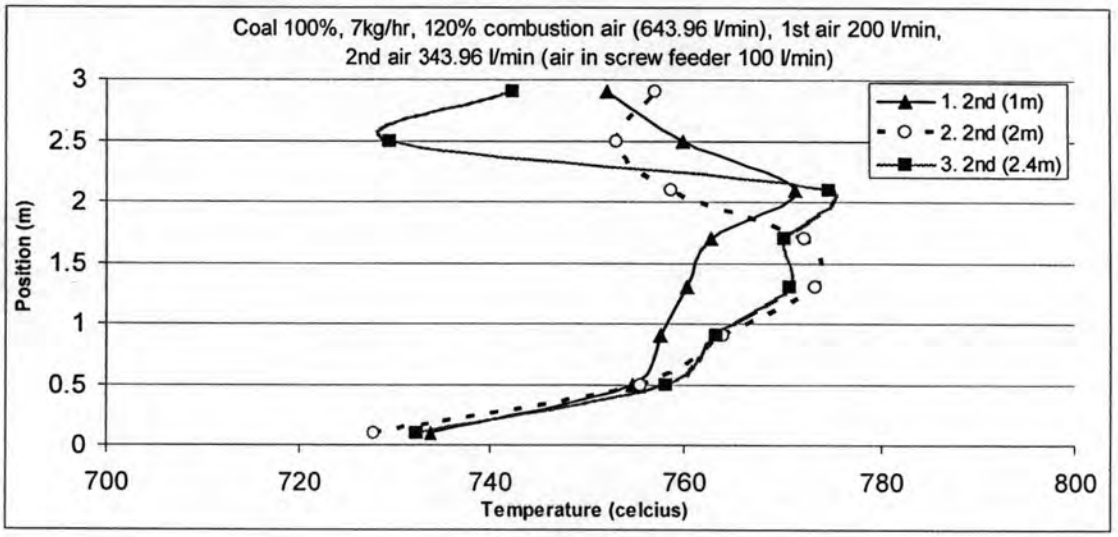
4.6.2 ศึกษาผลของตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิที่มีผลต่ออุณหภูมิในไรเซอร์

การป้อนอากาศทุติยภูมิในการทดลองนี้เป็นการเติมอากาศที่เกินจากอากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที และอากาศที่ป้อนที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ100 หรือ 200 ลิตรต่อนาที



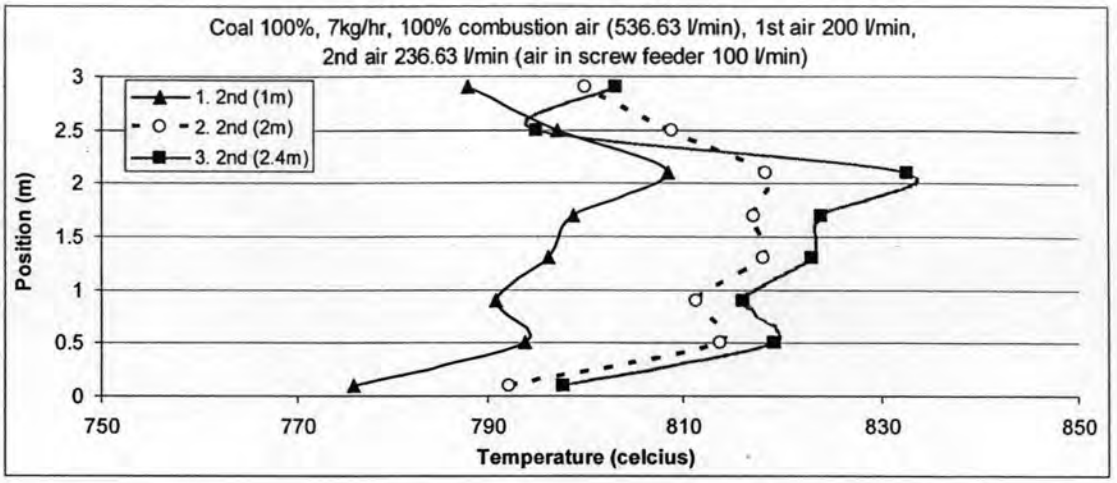
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนถ่านหิน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม(1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 1000 ลิตรต่อนาที ป้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

1. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร
2. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร
3. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร



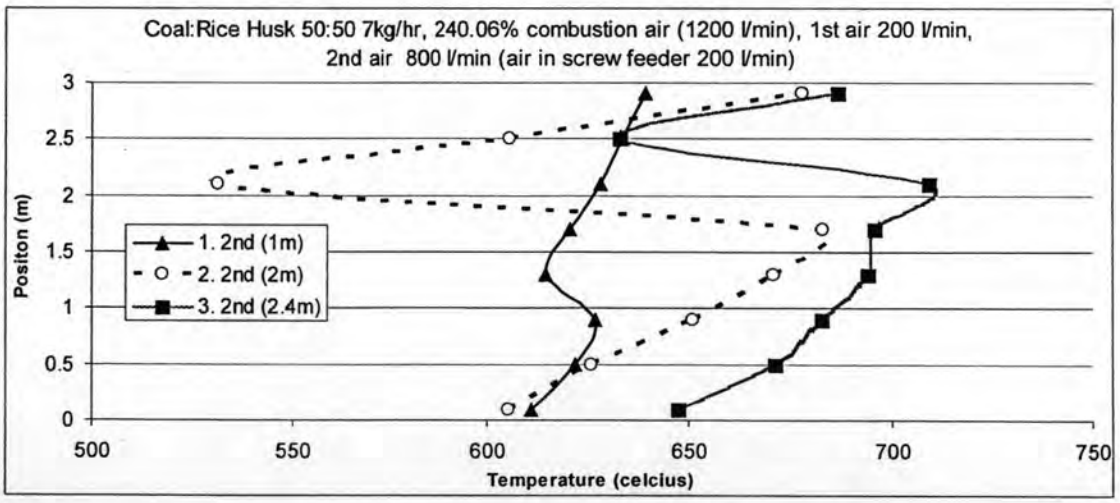
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนถ่านหิน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 343.96 ลิตรต่อนาที ป้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

1. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร
2. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร
3. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนถ่านหิน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 236.63 ลิตรต่อนาที ป้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

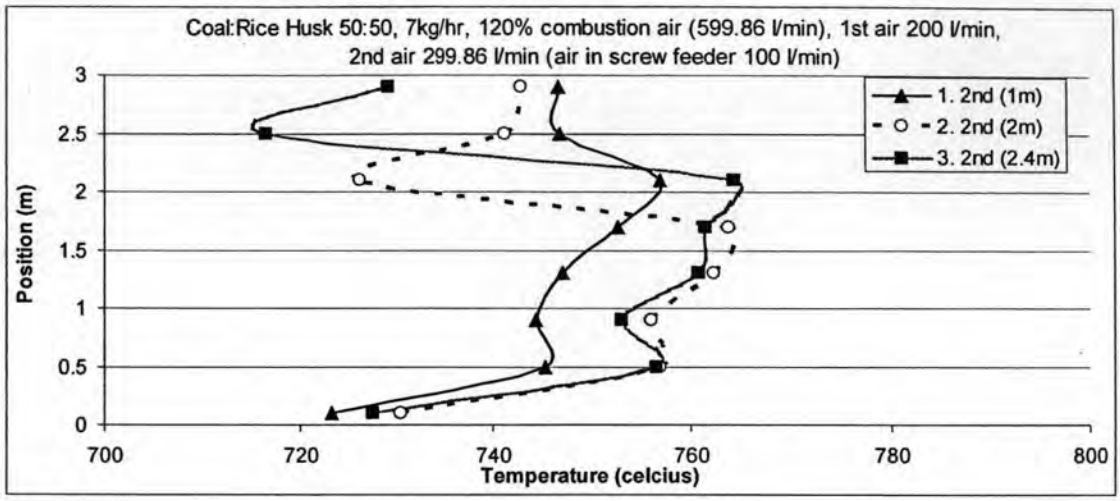
1. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร
2. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร
3. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 800 ลิตรต่อนาที ป้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

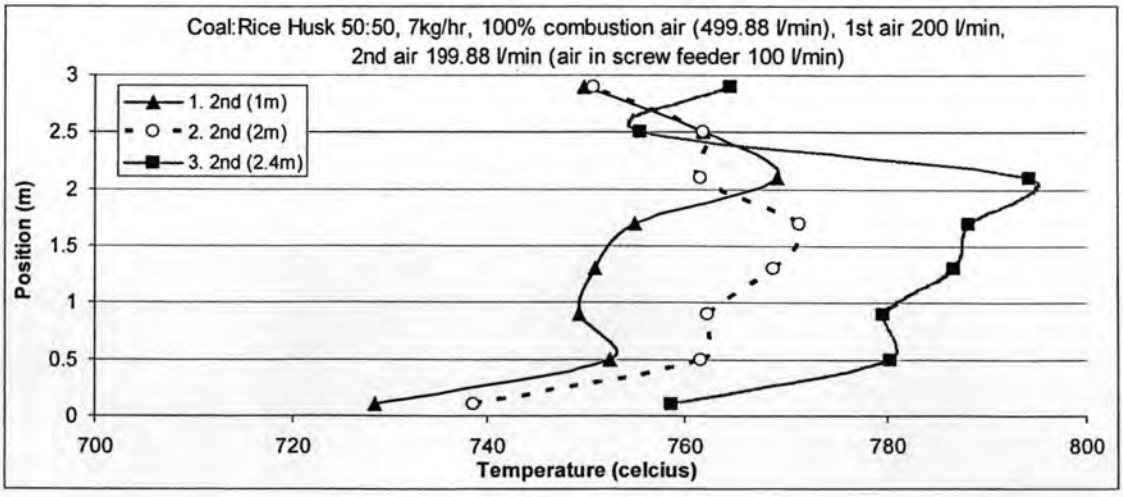
1. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร

2. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร
3. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร



รูปที่ 4.16 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 299.86 ลิตรต่อนาที ป้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

1. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร
2. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร
3. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆในไรเซอร์ที่อัตราการป้อนถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 ป้อน 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อากาศรวม (499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้

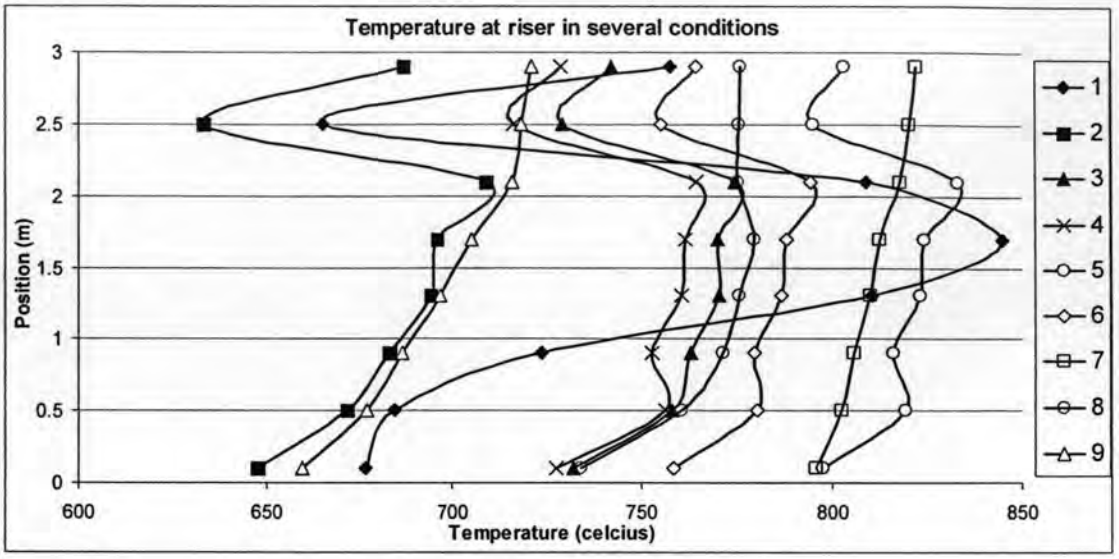
สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 199.88 ลิตรต่อนาที ป้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

1. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 1 เมตร
2. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2 เมตร
3. อากาศทุติยภูมิตำแหน่ง 2.4 เมตร

จากรูปที่ 4.12 ถึง 4.17 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิขึ้นไปในตำแหน่งที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิสูงมากขึ้นตลอดไรเซอร์ เนื่องจากด้านล่างของไรเซอร์เป็นตำแหน่งที่มีปริมาณอากาศหรือออกซิเจนมาก และมีความเร็วของอากาศค่อนข้างสูงอยู่แล้วจากการป้อนอากาศปฐมภูมิ และการป้อนอากาศใน สกรูฟีดเดอร์ ของแกลบที่ความสูง 0.35 เมตร ดังนั้นการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งด้านล่างจึงไม่ได้เป็นนำออกซิเจนไปช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น แต่จะเป็นการช่วยพาอนุภาคของเชื้อเพลิงออกไปจากไรเซอร์มากขึ้นแทน นอกจากนั้น อากาศที่มากเกินไปที่ไม่ได้ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ยังดูดซับความร้อนและพาความร้อนออกไปจากระบบอีกด้วย ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้น้อยลง อุณหภูมิจึงต่ำกว่าการเติมอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งด้านบนซึ่งปริมาณออกซิเจนลดลงแล้ว การเติมอากาศเข้าไปเพิ่มจึงเป็นการเพิ่มออกซิเจนเพื่อช่วยในการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้น แต่บริเวณตำแหน่งที่มีการเติมอากาศทุติยภูมิจะมีอุณหภูมิลดลงเนื่องจากอากาศทุติยภูมิป้อนมาจากเครื่องอัดอากาศที่มีเครื่องดักน้ำที่มีหลักการทำงานคือ ให้ความเย็นกับอากาศ ความชื้นในอากาศจะควบแน่นเป็นของเหลว แล้วมีการถ่ายของเหลวออกจากเครื่องดักน้ำเป็นช่วงๆ ทำให้อุณหภูมิขาเข้าของอากาศทุติยภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เมื่อไหลเข้าสู่ระบบ จึงทำให้อุณภูมิบริเวณนั้นลดลง เมื่อเกิดการเผาไหม้มากขึ้น อุณหภูมิจึงค่อยๆ สูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนในรูปที่ 4.12 และ 4.15 ที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิในปริมาณมากๆ

4.6.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ตัวแปรต่าง ๆ กัน

ในส่วนนี้จะนำผลของอุณหภูมิที่ได้ทำการทดลองหลายๆการทดลองมาศึกษาร่วมกัน โดยการทดลองที่มีภาวะเดียวกัน ต่างกันเพียงตำแหน่งของการป้อนอากาศทุติยภูมิ จะนำผลของการป้อนอากาศทุติยภูมิในตำแหน่งสูงสุดคือ 2.4 เมตร มาทำการศึกษาเนื่องจากให้อุณหภูมิสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง 1 เมตร และ 2 เมตร ซึ่งผลของอุณหภูมิแสดงได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่ภาวะในการทดลองต่างๆ กัน

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที
2. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 800 ลิตรต่อนาที
3. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 343.96 ลิตรต่อนาที
4. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 299.86 ลิตรต่อนาที
5. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 236.63 ลิตรต่อนาที
6. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 199.88 ลิตรต่อนาที
7. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 74.54 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

8. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 80.02 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ
9. แกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 86.37 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

จากรูปที่ 4.18 พบว่าการทดลองที่ 5 ให้อุณหภูมิสูงสุดตลอดไรเซอร์ที่ประมาณ 815 องศาเซลเซียส เนื่องจากเชื้อเพลิงคือถ่านหิน และปริมาณอากาศรวมที่ป้อนคือ 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งเป็นปริมาณอากาศที่ไม่มากหรือไม่น้อยจนเกินไป ในความเป็นจริง การจะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จำเป็นต้องใช้อากาศมากเกินพอ แต่ในเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย หรือการเผาไหม้ในระบบฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่มีการสูญเสียเชื้อเพลิงออกไปจากห้องเผาไหม้อย่างรวดเร็ว จึงไม่จำเป็นต้องใช้อากาศให้มากเกินพอ ส่วนการทดลองที่ 2 ให้อุณหภูมิต่ำสุดเนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและถ่านหิน อีกทั้งยังมีการป้อนอากาศรวมในปริมาณที่สูงมาก คือ 1200 ลิตรต่อนาที (240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์) ซึ่งมากเกินกว่าความเร็วต่ำสุดที่จำเป็นต้องใช้คือ 200 ลิตรต่อนาทีถึง 6 เท่า ทำให้แกลบและถ่านหินหลุดออกจากระบบอย่างรวดเร็ว และมีโอกาสหลุดออกจากไซโคลนไปพร้อมกับฟลูแก๊สได้ง่าย อากาศที่มากเกินพอนี้จะดูดซับความร้อนและนำความร้อนออกไปพร้อมกับฟลูแก๊สด้วย เมื่อคำนึงถึงการป้อนเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันแต่ปริมาณอากาศต่างกัน ดังเช่นอุณภูมิในการทดลองที่ 1, 3, 5 และ 7 ซึ่งเป็นการป้อนถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเหมือนกัน แต่อากาศรวมที่ 260.89 , 120 , 100 และ 75.54 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ตามลำดับ พบว่าในการทดลองที่ 5 ซึ่งป้อนอากาศรวมที่ 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ให้อุณหภูมิสูงสุดที่ประมาณ 815 องศาเซลเซียส รองลงมาคือการทดลองที่ 7 และ 3 ส่วนการทดลองที่ 1 อุณหภูมิมีค่าปั่นป่วนตลอดไรเซอร์เนื่องจากมีการป้อนปริมาณอากาศที่มากถึง 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยเฉพาะตำแหน่งที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ อุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีการป้อนอากาศทุติยภูมิซึ่งเป็นอากาศเย็นในปริมาณมากถึง 1000 ลิตรต่อนาที ในขณะที่อุณหภูมิในการทดลองที่ 2, 4, 6 และ 8 ซึ่งเป็นการป้อนถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 เหมือนกัน โดยการทดลองที่ 2 ป้อนอากาศรวมมากที่สุดที่ 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ และการทดลองที่ 4, 6 และ 8 ป้อนอากาศรวม 120, 100 และ 80.02 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ตามลำดับ พบว่าการทดลองที่ 6 ซึ่งป้อนอากาศรวม 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ก็ให้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดไรเซอร์สูงสุดเช่นกันโดยมีอุณหภูมิประมาณ 770

องศาเซลเซียส รองลงมาคือการทดลองที่ 8, 4 และ 2 ตามลำดับ ส่วนการทดลองที่ 9 ซึ่งเป็นการป้อนแกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม 400 ลิตรต่อนาที หรือคิดเป็น 86.37 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ให้อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 660 – 720 องศาเซลเซียส จากการทดลองที่ภาวะต่างๆ อุณหภูมิตลอดไรเซอร์อยู่ระหว่าง 650 ถึง 800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงพอสมควร และไม่ทำให้เกิดเถ้าหลอม

4.7 ศึกษาความเข้มข้นของแก๊สที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องเผาไหม้ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

เครื่องเผาไหม้ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้ในงานวิจัยมีช่องสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิลและสำหรับดึงแก๊ส 10 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 10 เซนติเมตร และตำแหน่งต่อไปห่างกัน 40 เซนติเมตรขึ้นมาทางด้านบนของท่อไรเซอร์ เหนือไซโคลนมี 1 ตำแหน่ง และเหนือหอสปรย์น้ำหรือหอดูดซับก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศอีก 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.1

ความเข้มข้นของแก๊สชนิดต่างๆ ที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนจะมีค่ามากน้อยเพียงใด ขึ้นกับ

- ชนิด สมบัติ และธาตุองค์ประกอบในเชื้อเพลิง

  เชื้อเพลิงที่มีความชื้นและเถ้าน้อย จะสามารถเผาไหม้ให้ความร้อนได้ดี ต้องใช้ปริมาณอากาศเยอะ เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก หากในเชื้อเพลิงมีซัลเฟอร์หรือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบร่วม ก็จะเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์ได้ ซึ่งถ่านหินที่ใช้ในการทดลองมีซัลเฟอร์และไนโตรเจนมากกว่าแกลบ ดังนั้นการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหินย่อมมีโอกาสเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์ได้มากกว่าการเผาไหม้แกลบ เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก ความหนาแน่นน้อยเช่นแกลบที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งถูกบดและมีขนาดเล็ก จะลอยหลุดออกจากไรเซอร์ได้ง่ายก่อนที่จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ แล้วไปรวมกับทรายร้อนใน downcomer ที่มีปริมาณอากาศน้อย ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ใน downcomer เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ได้
- ตำแหน่งที่ทำการวัด

  ตำแหน่งใดก็ตามที่เกิดการเผาไหม้ได้ดีซึ่งตามปกติแล้วจะเป็นตำแหน่งที่มีการป้อนเชื้อเพลิง และตำแหน่งเหนือจุดที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ ตำแหน่งนี้จะมีอุณหภูมิสูง มีเชื้อเพลิงเยอะและอากาศมากเพียงพอต่อการเผาไหม้ จะมีสัดส่วนของแก๊สเกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้มาก เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ตำแหน่งที่มีการป้อน

อากาศทุติยภูมิ อุณหภูมิจะลดลงเมื่อเทียบกับตำแหน่งก่อนหน้า มีอากาศมาก ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สทุกชนิดลดลงเนื่องจากถูกเจือจางด้วยอากาศ และแก๊สบางชนิดจะลดลงมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ ยกเว้นแก๊สออกซิเจนที่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอากาศป้อนเข้ามา หากวัด ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ ความเข้มข้นของแก๊สต่างๆ จะสูงกว่าปกติยกเว้นแก๊สออกซิเจน ซึ่งเป็นผลของการเกิดเป็นวงแหวน 2 ชั้น ในไรเซอร์ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป หากวัดที่ตำแหน่ง 10 หรือตำแหน่งเหนือไซโคลน จะไม่มีผลของวงแหวน 2 ชั้น (Zhao, 1997)

❖ ปริมาณอากาศรวม

ปริมาณอากาศรวมในที่นี้หมายถึงอากาศปฐมภูมิ อากาศที่ป้อนที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบและอากาศทุติยภูมิ โดยปริมาณอากาศรวมนี้จะมีผลกับฟลูแก๊ส หรือความเข้มข้นของแก๊สก่อนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ หรือที่ตำแหน่งที่ 10 ในรูปที่ 3.1 หากปริมาณอากาศรวมมีค่าน้อย ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจนต่ำ จะทำให้ความเข้มข้นของแก๊สอื่นๆ สูง หากปริมาณอากาศรวมมีค่ามากก็จะเกิดผลในทางตรงกันข้าม

❖ ตำแหน่งบนสุดของไรเซอร์

ทางออกของไรเซอร์หักทำมุม 90 องศา เพื่อไหลต่อไปยังไซโคลนอยู่ที่ความสูง 2.8 เมตร จากแผ่นกระจายอากาศ แต่ความสูงของไรเซอร์คือ 3 เมตร ดังนั้นจึงเหลือพื้นที่ว่างเหนือจุดทางออกของไรเซอร์อีก 20 เซนติเมตร ซึ่งด้านบนสุดของไรเซอร์เป็นทรงกระบอกตัด เชื้อเพลิงและทรายที่ไหลออกไปตรงทางออกเชื่อมต่อระหว่างไรเซอร์และไซโคลนไม่ทัน ก็จะพุ่งขึ้นเลยทางออก ชนผนังด้านบน และตกลงมา ทำให้ตำแหน่งด้านบนสุดของไรเซอร์เป็นเบดหนาแน่น มีเชื้อเพลิงมากเกิดแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ได้มากขึ้น

❖ การสเปรย์น้ำในสครับเบอร์หรือถังดูดซับเพื่อดักจับฝุ่นละอองและแก๊สพิษ

การสเปรย์น้ำสามารถดักจับฝุ่นละอองได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการดักจับแก๊สต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแก๊ส แก๊สบางชนิดสามารถละลายในน้ำได้ดี บางชนิดละลายได้บ้าง และบางชนิดละลายได้น้อยมาก ซึ่งหากแก๊สที่ละลายน้ำได้ดีไหลผ่านสเปรย์ของน้ำก็จะถูกน้ำดูดซับแก๊สบางส่วนไว้ ทำให้ความเข้มข้นลดลง แต่การสเปรย์น้ำจะไม่ค่อยมีผลกับแก๊สที่ละลายน้ำได้ไม่ดี

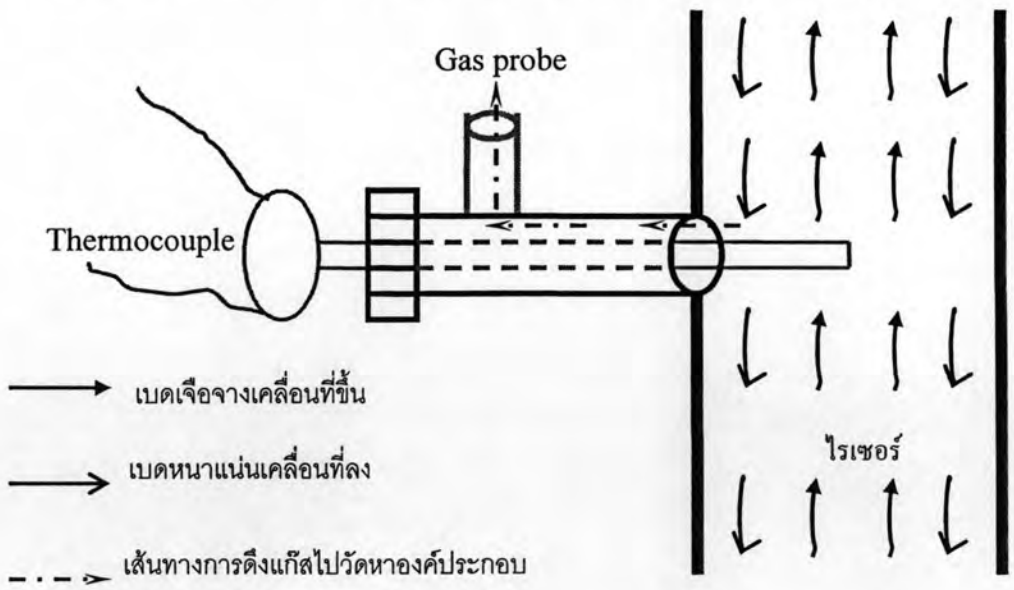
ตารางที่ 4.11 ค่าการละลายน้ำของแก๊สต่างๆ

Gas	Solubility (mg/l)
SO_2	hydrolysis
CO_2	2000
NO	67
O_2	39
CO	30
N_2	20
N_2O	2.2

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ละลายน้ำได้ดี หากผ่านสเปรย์ของน้ำก็จะทำให้ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงอย่างมาก ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายได้ดีรองลงมา ในขณะที่ แก๊สไนตรัสออกไซด์ละลายน้ำได้น้อยมาก ทำให้การสเปรย์น้ำไม่ค่อยมีผลต่อแก๊สไนตรัสออกไซด์

การเกิดวงแหวน 2 ชั้นในไรเซอร์ (core annulus)

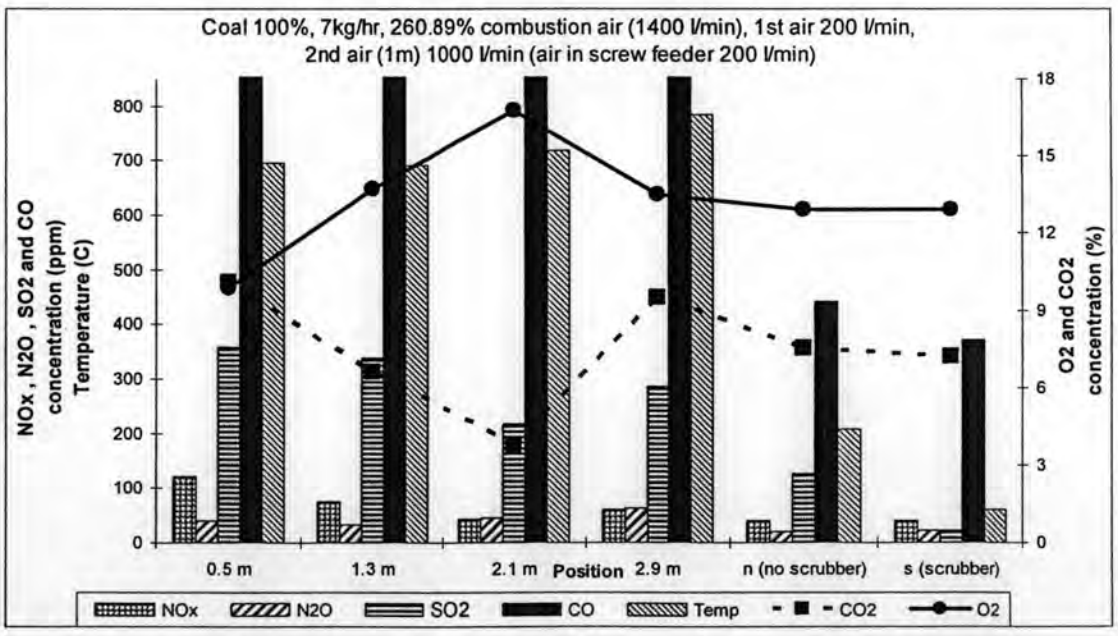
วงแหวน 2 ชั้นในไรเซอร์ คือการไหลของอนุภาคมีการไหลสวนทางกัน ดังรูปที่ 4.19



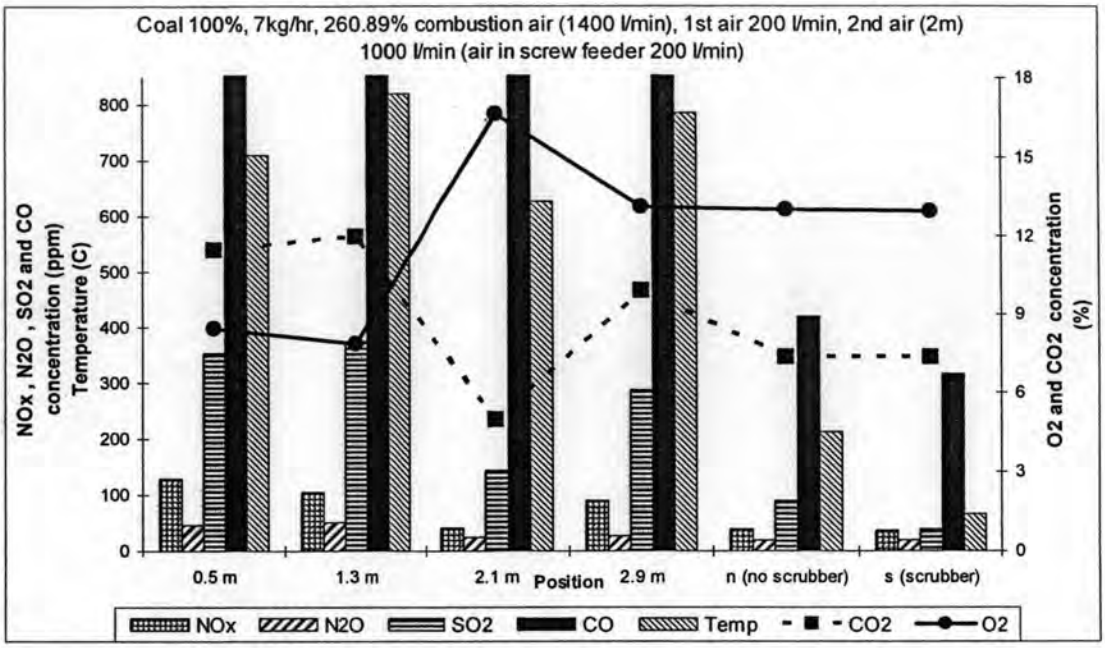
รูปที่ 4.19 การเกิด core annulus ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล และ probe สำหรับเก็บตัวอย่างแก๊สในไรเซอร์ไปวิเคราะห์

จากรูป 4.19 จะเห็นได้ว่าในไรเซอร์มีการไหลของอนุภาคสวนทางกัน โดยตรงกลางจะไหลขึ้น เป็นเบดเจือจาง มีความเร็วของอากาศมาก ในขณะที่ริมผนังจะไหลลง เนื่องจากมีแรงเสียดทานของผนังท่ออนุภาคชนกับผนัง สูญเสียความเร็ว และตกลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก จะเป็นเบดหนาแน่น มีอนุภาคของแข็งซึ่งก็คือเชื้อเพลิงและทรายร้อนเยอะ ความเร็วของอากาศ หรือปริมาณออกซิเจนน้อย จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างแก๊สในการทดลองนี้อยู่ที่ริมผนังของไรเซอร์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการยื่นของ probe เข้าไปขวางการไหลในไรเซอร์ และเพื่อป้องกัน probe เสียหายเนื่องจากความร้อนและการกระแทกด้วยเบดเป็นเวลานานๆ ดังนั้นความเข้มข้นของแก๊สที่วัดได้ในไรเซอร์จึงมีความเข้มข้นมากกว่าปกติ ยกเว้นแก๊สออกซิเจนที่จะน้อยกว่าปกติ โดยเฉพาะ คาร์บอนมอนอกไซด์ เนื่องจากมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ผนังในปริมาณมาก และมีอากาศปริมาณน้อย ในขณะที่ตำแหน่งที่ 10 จะไม่เกิดวงแหวน 2 ชั้นเนื่องจากมีอนุภาคของแข็งน้อยมาก ส่วนใหญ่จะเป็นฟลูแก๊สซึ่งความเข้มข้นของแก๊สต่างๆ จะลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแก๊สต่างๆ ในไรเซอร์ ยกเว้นออกซิเจนที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยความเข้มข้นที่ตำแหน่งที่ 10 นี้เป็นความเข้มข้นของแก๊สก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ

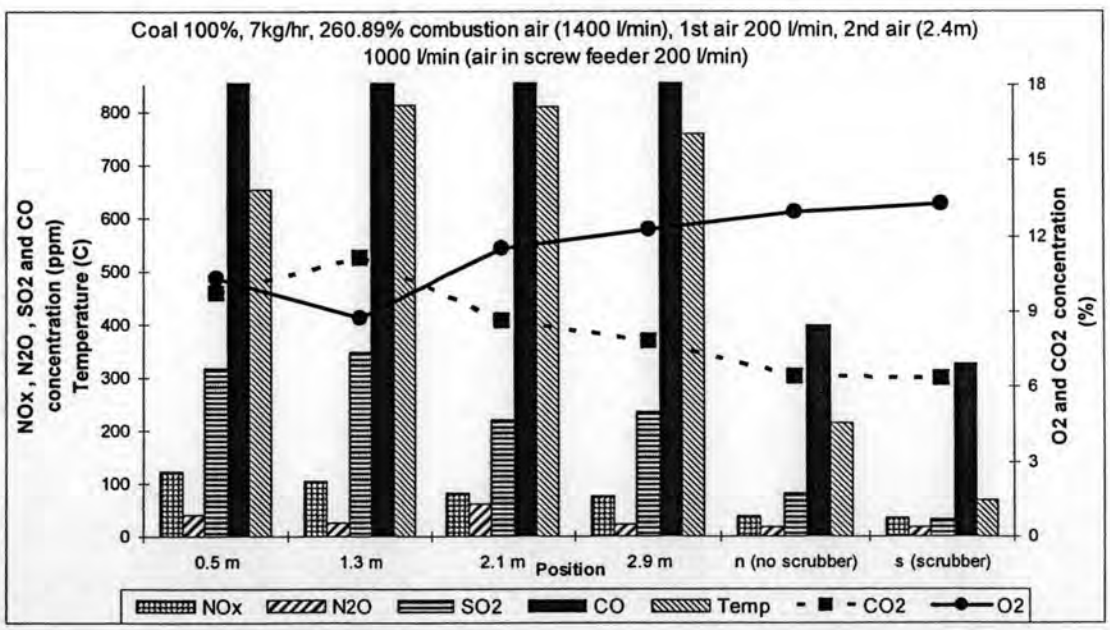
ผลของความเข้มข้นของแก๊สที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องเผาไหม้ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนในการทดลองที่มีตัวแปรต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 4.20 ถึง 4.28



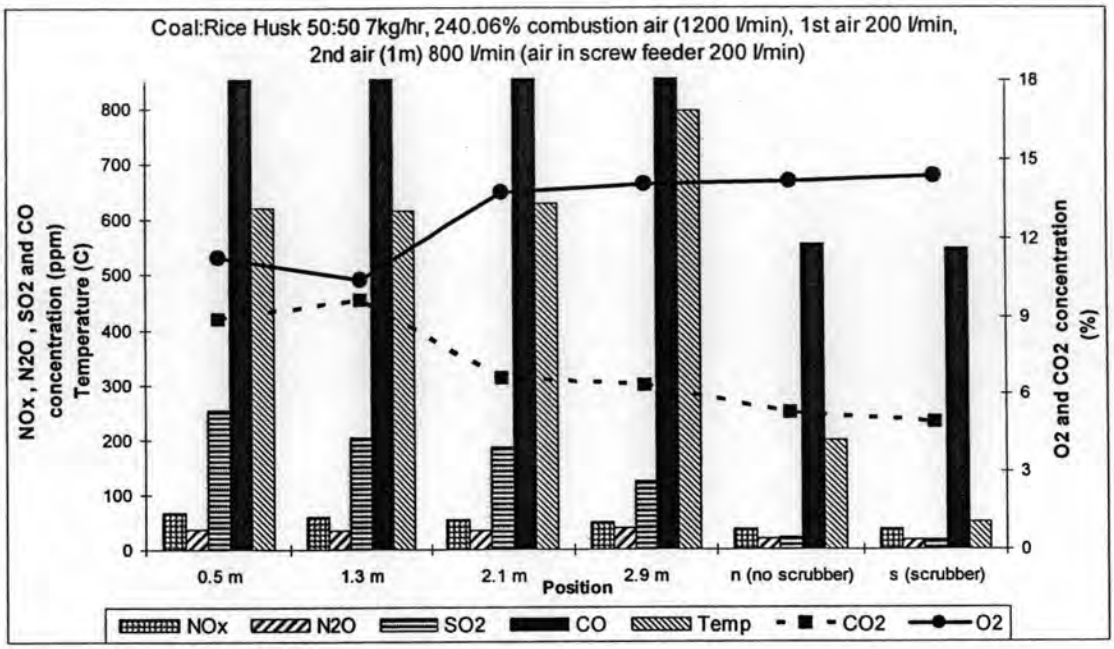
รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที



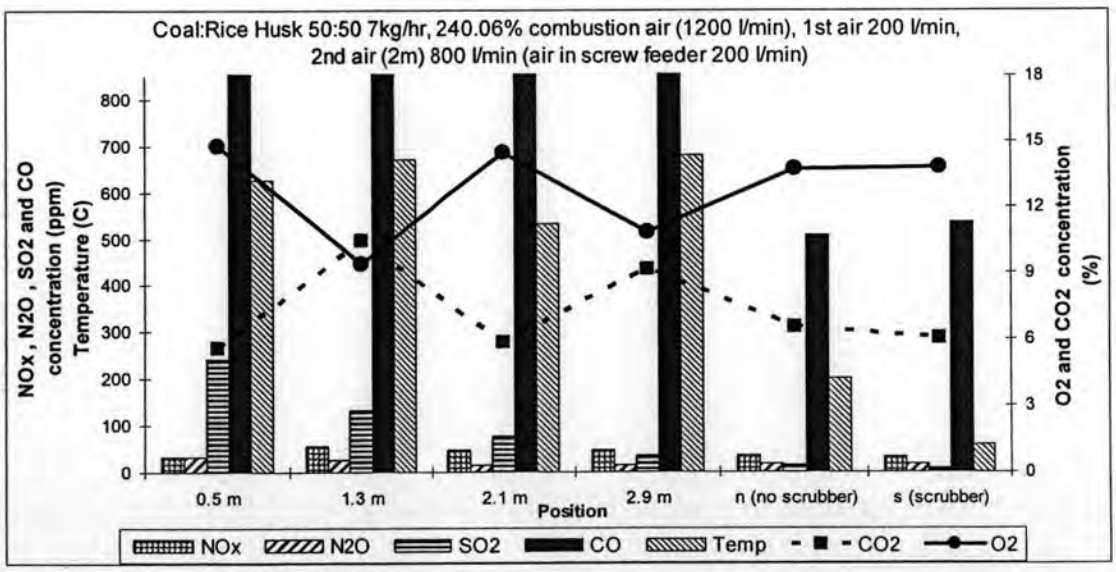
รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที



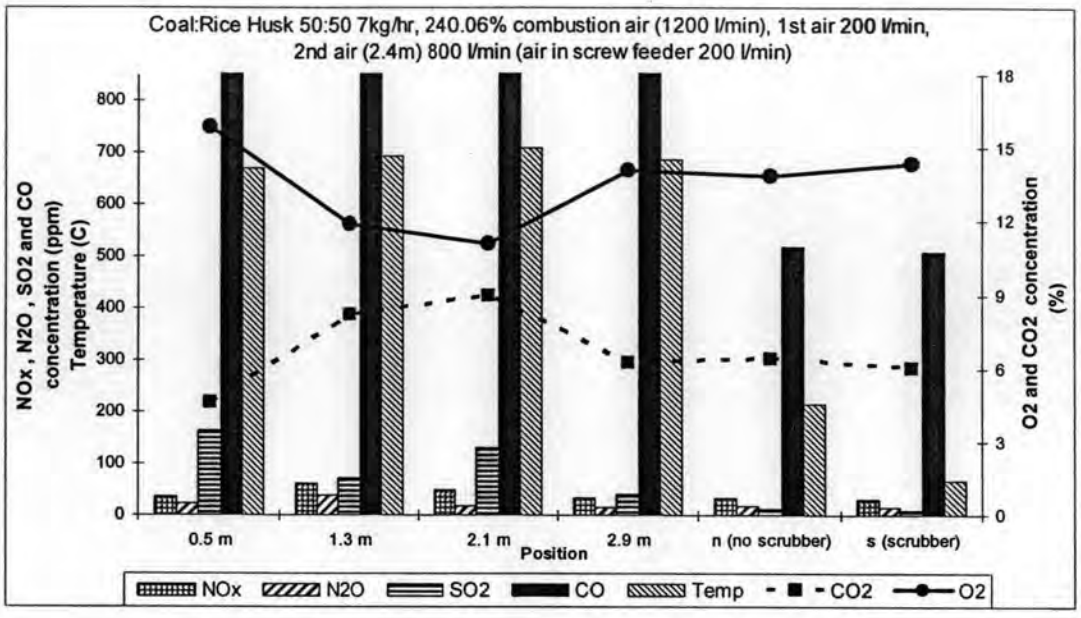
รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที



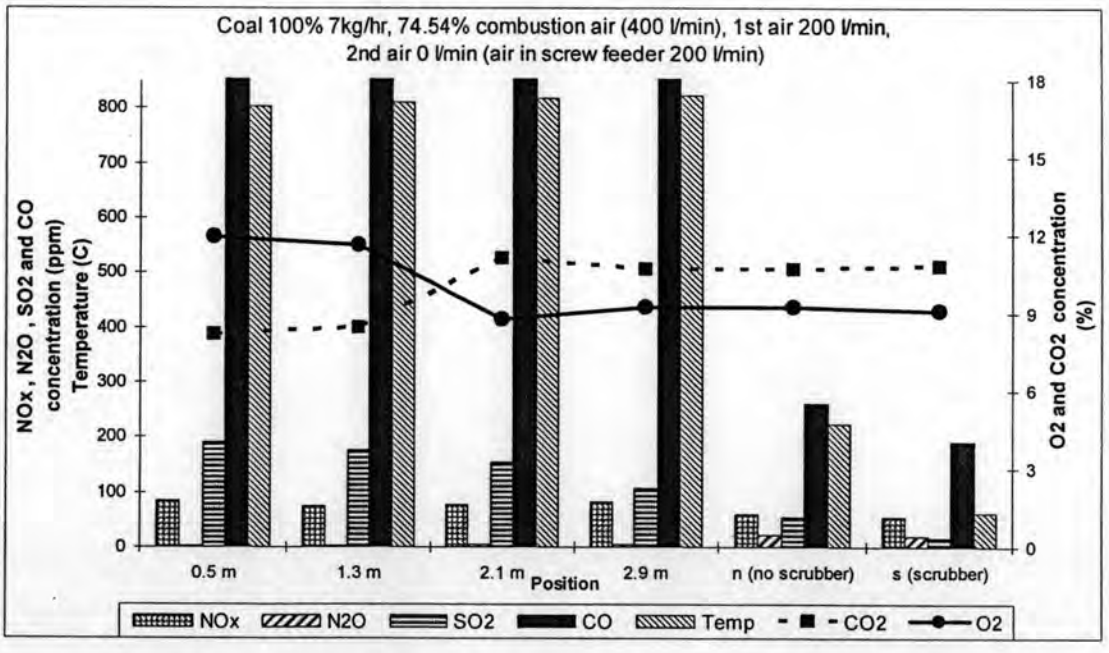
รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 800 ลิตรต่อนาที



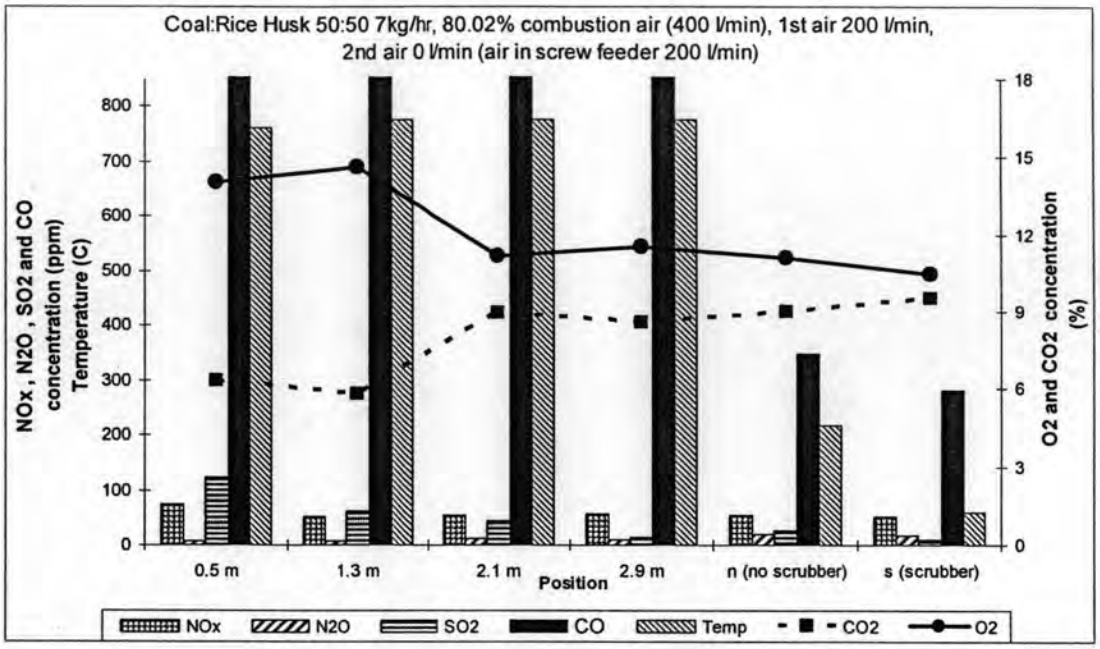
รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 800 ลิตรต่อนาที



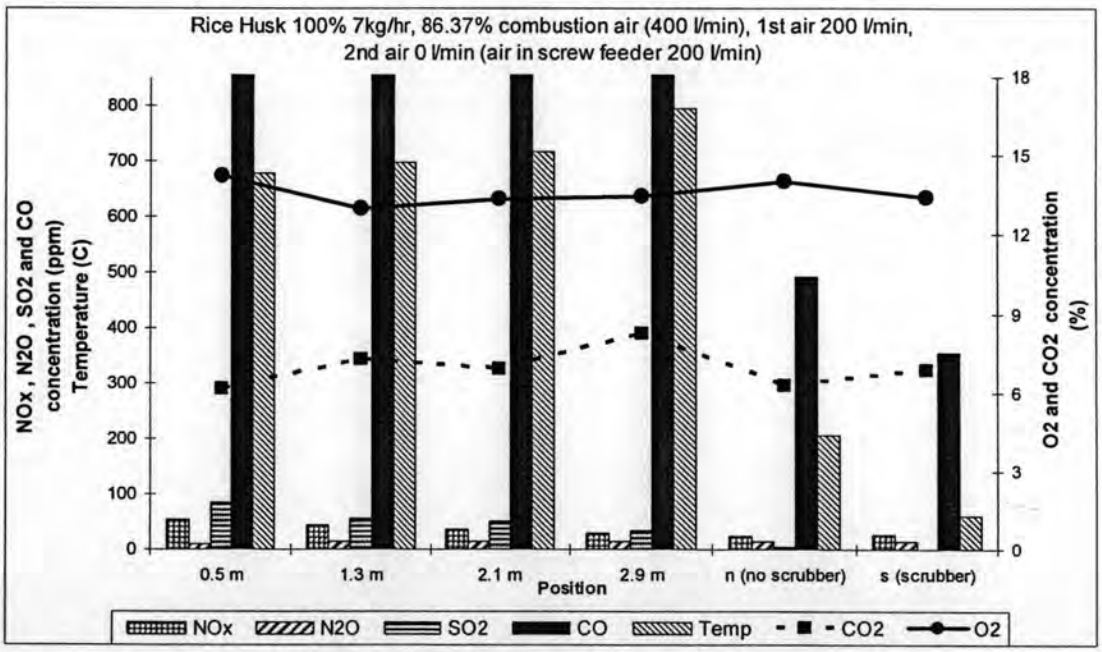
รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 800 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.26 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 74.54 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ



รูปที่ 4.27 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 80.02 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีอากาศทุติยภูมิ



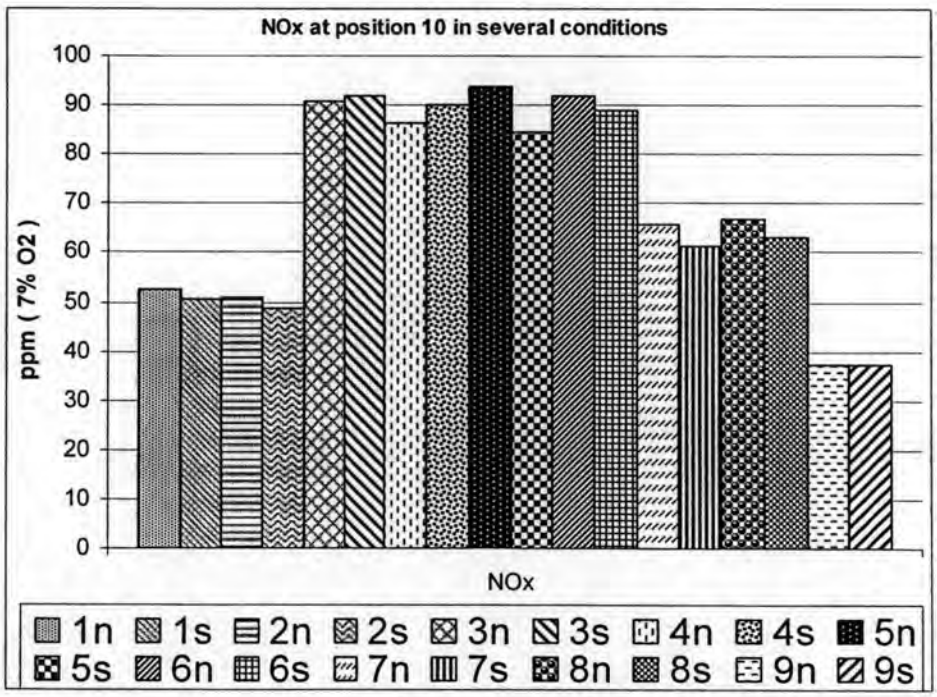
รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC แกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 86.37 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

*** ทุกการทดลอง แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไรเซอร์มีความเข้มข้นมากกว่า 850 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งได้แสดงค่าความเข้มข้นเป็นตัวเลขไว้ในภาคผนวก ค

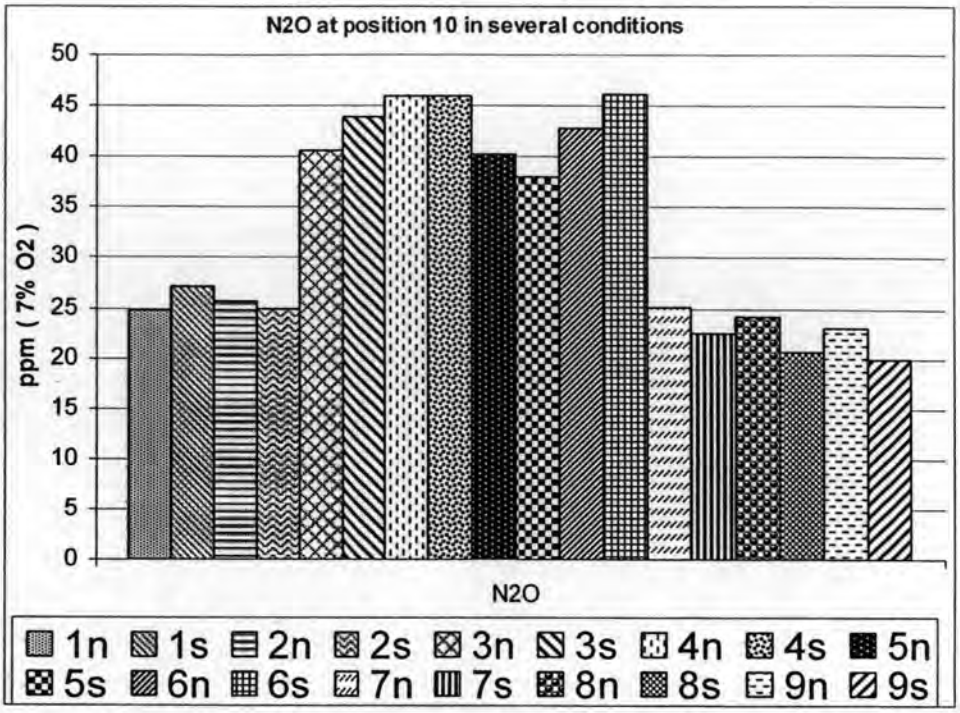
จากรูปที่ 4.20 ถึง 4.28 ซึ่งแสดงความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่อง CFBC เนื่องจากการวัดองค์ประกอบของแก๊ส ณ ตำแหน่งความสูง 0.5, 1.3, 2.1 และ 2.9 เมตร เป็นการวัดองค์ประกอบของแก๊สในไรเซอร์ ความเข้มข้นของแก๊สต่างๆ ที่วัดได้จะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของแก๊สที่วัดได้จากตำแหน่งที่ 10 หรือตำแหน่งเหนือสครับเบอร์ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากการเกิดวงแหวน 2 ชั้น ในไรเซอร์ องค์ประกอบของแก๊สในไรเซอร์จะมีความแปรปรวนเนื่องจากผลกระทบหลายๆอย่าง เช่น ตำแหน่งที่มีการป้อนเชื้อเพลิง คือตำแหน่ง 0.35 เมตร เป็นจุดที่เชื้อเพลิง อากาศปฐมภูมิรวมกับอากาศจาก สกรูฟีดเดอร์ ป้อนแกลบ และความร้อนจากทรายที่ไหลมาจาก downcomer มาบรรจบกัน เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ทำให้แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ในปริมาณมาก ตำแหน่งที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ คือ ตำแหน่ง 1 เมตร, 2 เมตร หรือ 2.4 เมตร ปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แก๊สชนิดอื่นๆ และอุณหภูมิจะลดลง แล้วตำแหน่งเหนือจุดป้อนอากาศทุติยภูมิ ออกซิเจนจะค่อยๆ ลดลง ในขณะที่แก๊สชนิดอื่นๆ และอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ตำแหน่งบนสุดของไรเซอร์หรือที่ตำแหน่ง 2.9 เมตร จะเป็นเบดหนาแน่นอีกครั้ง เนื่องจากด้านบนสุดของไรเซอร์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกตัด และทางออกของไรเซอร์ไปยังไซโคลนอยู่ที่ความสูง 2.8 เมตร หักทำมุม 90 องศา จึงเหลือพื้นที่อีก 0.2 เมตรเหนือทางออกของไรเซอร์ ซึ่งจะเกิดการสะสมของเชื้อเพลิงและทรายที่ไหลออกไปไม่ทัน ทำให้เกิดการเผาไหม้และเกิดแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น

4.8 ศึกษาองค์ประกอบของฟลูแก๊สที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ 10 ของเครื่องเผาไหม้ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

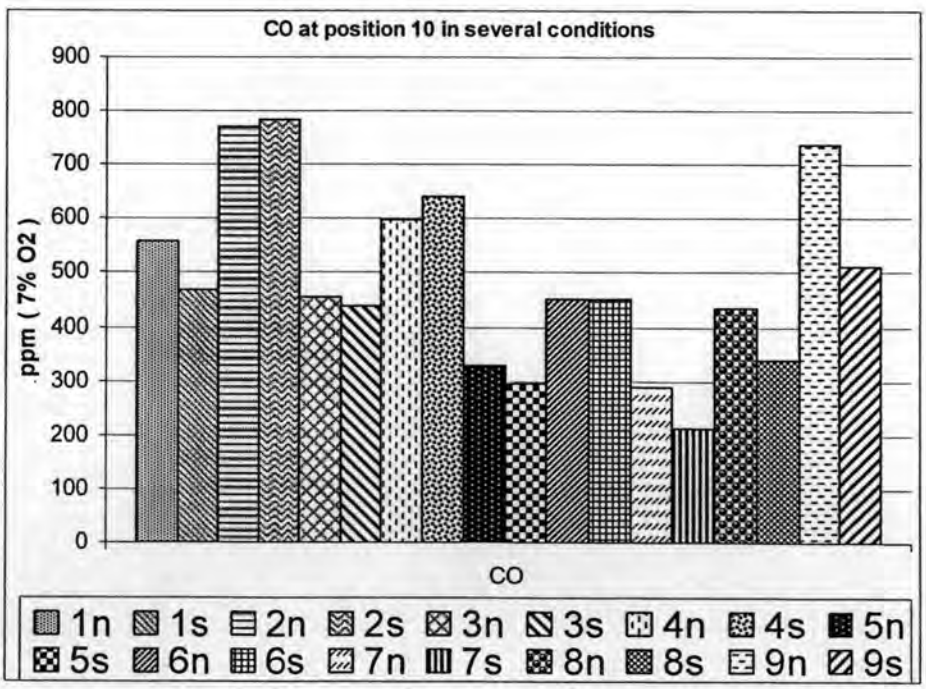
เนื่องจากองค์ประกอบของแก๊สที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์มีความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยหลายๆ อย่าง ในหัวข้อนี้จึงเน้นทำการศึกษาองค์ประกอบของฟลูแก๊สที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ 10 ของเครื่องเผาไหม้ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่มีปัจจัยรบกวนเหมือนในไรเซอร์ อีกทั้งยังเป็นการวัดองค์ประกอบของแก๊สก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยการวัดในตำแหน่งที่ 10 นี้ จะทำการศึกษาผลของสครับเบอร์โดยใช้การสเปรย์น้ำด้วย ความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่วัดได้จากตำแหน่งที่ 10 ที่การทดลองเผาไหม้ที่ภาวะต่างๆ โดยคำนวณที่ภาวะมาตรฐาน (อากาศแห้ง , 25 องศาเซลเซียส, ความดัน 1 บรรยากาศ และ มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 7) แสดงได้ดังรูปที่ 4.29 ถึง 4.32



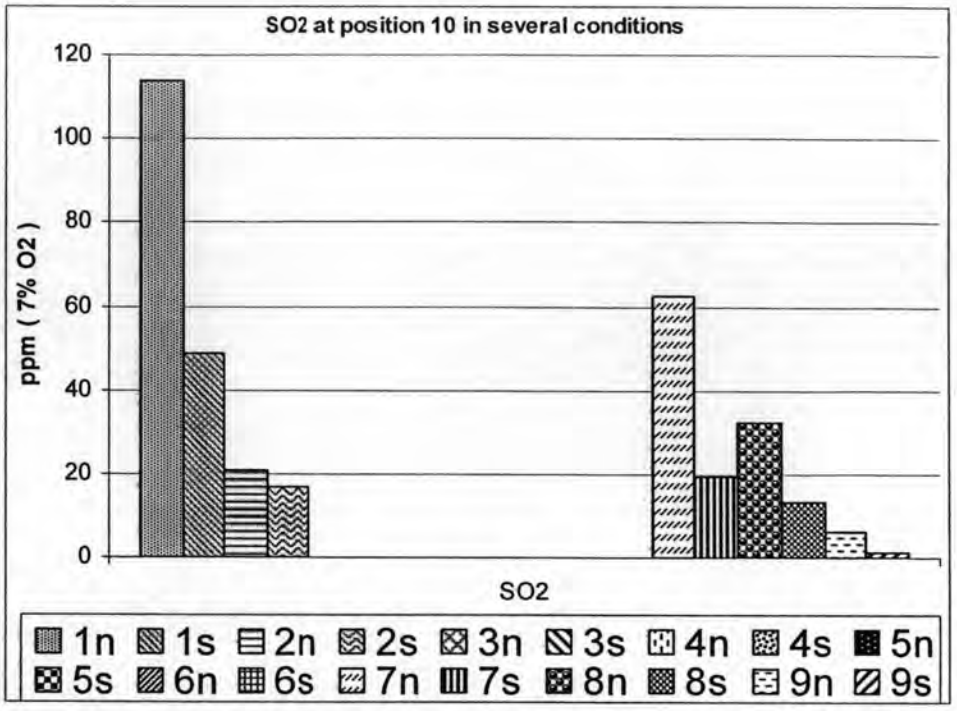
รูปที่ 4.29 ความเข้มข้นของแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ที่ตำแหน่ง 10 ก่อนที่จะปล่อยฟลูแก๊สออกสู่บรรยากาศในหลายๆ ภาวะการทดลอง โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่ตำแหน่ง 10 ก่อนที่จะปล่อยฟลูแก๊สออกสู่บรรยากาศในหลายๆ ภาวะการทดลอง โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.31 ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตำแหน่ง 10 ก่อนที่จะปล่อยฟลูแก๊สออกสู่บรรยากาศในหลายๆ ภาวะการทดลอง โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)



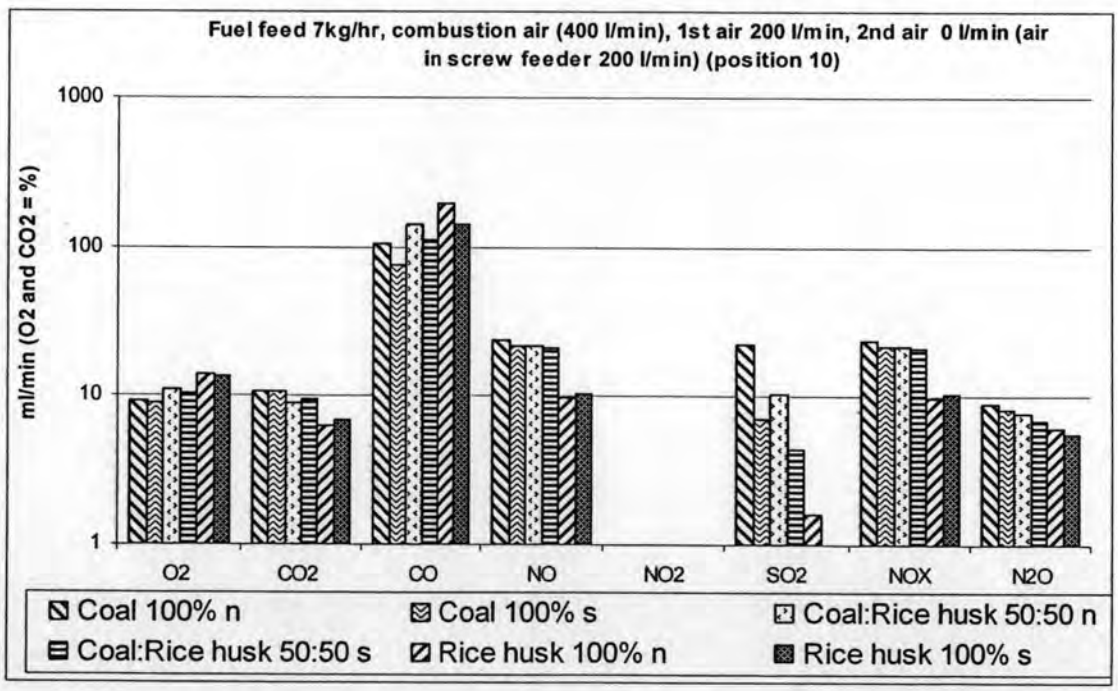
รูปที่ 4.32 ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตำแหน่ง 10 ก่อนที่จะปล่อยฟลูแก๊สออกสู่บรรยากาศในหลายๆ ภาวะการทดลอง โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)

จากรูปที่ 4.29 ถึง 4.32 เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของการปล่อยแก๊สพิษในประเทศไทยในตารางที่ 2.4 จะพบว่าออกไซด์ของไนโตรเจน (ไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์) ที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องเผาไหม้ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ภาวะต่างๆมีค่าไม่เกิน 140 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งยังคงอยู่ในระดับค่ามาตรฐานการปล่อยแก๊สพิษในประเทศไทยที่ค่าต่ำสุด คือ 200 ส่วนในล้านส่วน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์โดยส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 690 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งยังคงอยู่ในระดับมาตรฐาน ยกเว้นในการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการทดลองเผาถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 และใช้ปริมาณอากาศรวมถึง 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งเป็นปริมาณอากาศที่มากเกินไปทำให้เชื้อเพลิง (โดยเฉพาะแกลบ) ลอยหลุดออกจากไรเซอร์อย่างรวดเร็วโดยที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และไปเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ใน downcomer และในการทดลองที่ 9 ซึ่งเป็นการเผาไหม้แกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ แกลบจะลอยหลุดออกจากไรเซอร์อย่างรวดเร็วและไปเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ใน downcomer เช่นกัน ทำให้การทดลองที่ 2 และ 9 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐาน โดยมีค่ามากที่สุดที่ 780 ส่วนในล้านส่วน ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์มีค่าไม่เกิน 115

ส่วนในล้านส่วน ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้ปล่อยได้ไม่เกิน 700 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 ก็ยังคงน้อยกว่าค่ามาตรฐาน

เนื่องจากความเข้มข้นของฟลูแก๊สที่ปล่อยออกมาอยู่ในระดับมาตรฐานแล้ว ในส่วนนี้จึงศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบแต่ละชนิดในฟลูแก๊ส โดยจะเปลี่ยนจากการแสดงเป็นหน่วยความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน) ให้เป็นอัตราการปล่อย (มิลลิลิตรต่อนาที) ของฟลูแก๊สแต่ละชนิด ยกเว้นแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยังคงแสดงเป็นหน่วยความเข้มข้นในรูปเปอร์เซ็นต์เนื่องจากมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับแก๊สชนิดอื่นๆ โดยการแสดงเป็นอัตราการไหลจะสามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนโดยลดผลกระทบของการป้อนปริมาณอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละกรณี เพราะอัตราการป้อนปริมาณอากาศมีผลต่อความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ ในฟลูแก๊ส

4.8.1 ศึกษาผลของอัตราการปล่อยฟลูแก๊สที่มีการใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน แต่ปริมาณอากาศที่ป้อนเท่ากัน



รูปที่ 4.33 อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่ง 10 ที่การป้อนเชื้อเพลิงต่างๆกัน ปริมาณอากาศรวมเท่ากันคือ 400 ลิตรต่อนาที แบ่งเป็นอากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที และป้อนที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์)

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(400 ลิตรต่อนาที) 74.54 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ
2. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 80.02 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ
3. แกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (400 ลิตรต่อนาที) 86.37เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

จากรูปที่ 4.33 แสดงการปล่อยฟลูแก๊สที่การป้อนเชื้อเพลิงต่างชนิดกัน แต่มีการป้อนอากาศที่ภาวะเดียวกันคือ อากาศรวม 400 ลิตรต่อนาที แบ่งเป็นอากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที และอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ โดยมีการเปรียบเทียบผลของการสเปรย์น้ำในหอดูดซับด้วย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า อัตราการปล่อยแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของแกลบเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์ จะมีค่าลดลงตามสัดส่วนของแกลบที่มากขึ้น ส่วนไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่าน้อยมาก ดังนั้นไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในงานวิจัยนี้จึงเป็นไนตริกออกไซด์เกือบทั้งหมด หากสังเกตดูที่อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ให้ดี พบว่ามีความขัดแย้งกัน ปริมาณอากาศที่ป้อน 400 ลิตรต่อนาทีนี้ยังไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ โดยถ่านหินอยู่ที่ 74.54 เปอร์เซ็นต์ ถ่านหินผสมแกลบอยู่ที่ 80.02 เปอร์เซ็นต์ และแกลบอยู่ที่ 86.36 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตามปกติแล้ว การที่แก๊สออกซิเจนยิ่งมากเข้าใกล้การเผาไหม้สมบูรณ์ย่อมต้องมีการเผาไหม้ได้ดี มีอุณหภูมิสูง เหลือแก๊สออกซิเจนน้อย ปล่อยแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้สูง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนตริกออกไซด์ ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย แต่จากการทดลองนี้ให้ผลลัพธ์ในทางตรงกันข้าม คือ การเผาไหม้แกลบที่มีปริมาณอากาศที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้สูงสุดซึ่งยังคงน้อยกว่าอากาศสำหรับเผาไหม้สมบูรณ์ ปล่อยแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุด ในขณะที่แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนตริกออกไซด์ ปล่อยออกมาน้อยที่สุด ซึ่งการที่แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนตริกออกไซด์ถูกปล่อยออกมาน้อยนั้นเป็นเพราะว่าแกลบมีซัลเฟอร์และไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าถ่านหินซึ่งแกลบมีซัลเฟอร์น้อยมากจนวัดไม่ได้ แต่การที่ปริมาณแก๊สออกซิเจน

คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่สมดุลกันนั้น เพราะแกลบที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็ก ความหนาแน่นน้อย ระยะเวลาที่อยู่ในไรเซอร์หรือห้องเผาไหม้น้อย ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.6 จากรูป 4.11 ก็จะเห็นได้ว่าการเผาแกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ ได้อุณภูมิน้อยที่สุด แสดงว่าแกลบที่ป้อนเข้าไปเผาไหม้ไม่สมบูณ์ ซึ่งจากการนำเบดใน downcomer ออกมาวิเคราะห์หลังการทดลองเผาไหม้แกลบ พบว่ามีแกลบปนอยู่ในทรายที่ใช้เป็นเบดค่อนข้างเยอะ โดยจะอยู่ด้านบนของ downcomer เป็นส่วนใหญ่ แต่ลักษณะของแกลบจะเปลี่ยนไป คือมีลักษณะเป็นถ่านสีดำแต่รูปร่างยังคงสภาพคล้ายแกลบอยู่ แสดงให้เห็นว่ามีแกลบจำนวนไม่น้อยที่ไม่ได้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในไรเซอร์ แต่จะลอยหลุดออกจากไรเซอร์อย่างรวดเร็วและมาเผาไหม้ต่อใน downcomer ซึ่งการเผาไหม้ใน downcomer นี้จะเป็นการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากเป็นเบดหนาแน่น ปริมาณออกซิเจนน้อย แต่ยังคงมีความร้อนสูง เนื่องจากทรายเป็นตัวกักเก็บความร้อนมาจากไรเซอร์ ซึ่งปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นดังสมการ

$$2C + O_2 \Longrightarrow 2CO$$

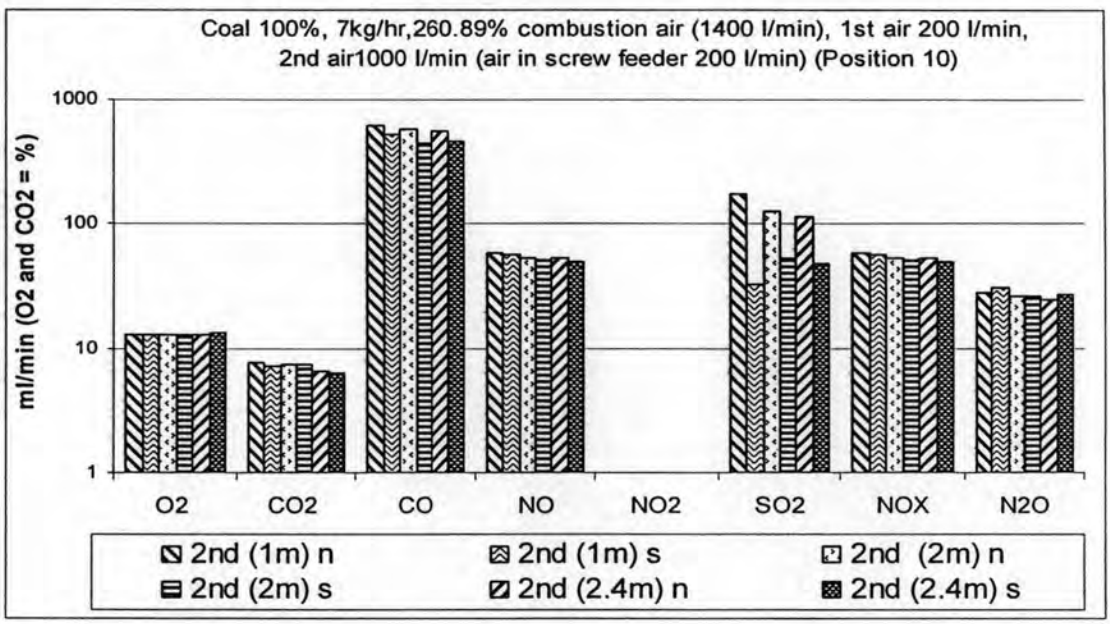
$$C + CO_2 \Longrightarrow 2CO$$

จึงเป็นสาเหตุให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มมากขึ้น และการที่แกลบบางส่วนไม่ได้เกิดการเผาไหม้ในไรเซอร์ ทำให้แก๊สออกซิเจนเหลือมาก เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยแต่จากการนำเบดใน downcomer มาวิเคราะห์หลังการทดลองเผาไหม้ถ่านหินพบว่ามีอนุภาคของถ่านหินอยู่น้อย โดยส่วนใหญ่จะคลุกเคล้าปนอยู่กับทราย และไหลออกมาพร้อมทราย เนื่องจากอนุภาคถ่านหินมีความหนาแน่นสูง หลังจากเผาไหม้สารระเหยและขับไล่ความชื้นไปแล้วยังคงเหลือปริมาณคาร์บอนคงตัวอีกมาก มีลักษณะเป็นเม็ดคล้ายทรงกลมเหมือนทรายจึงผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายและไหลหมุนเวียนเผาไหม้ในระบบพร้อมทรายได้ดี ในขณะที่แกลบส่วนใหญ่จะรวมตัวอยู่ด้านบนของ downcomer และไหลออกมาทีหลัง เนื่องจากแกลบมีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา ลักษณะเป็นแผ่นแบนๆ ผสมเป็นเนื้อเดียวกับทรายไม่ดี ทรายซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 200 – 300 ไมโครเมตร และมีความหนาแน่นมากกว่า จึงเคลท่อนที่ลงทางด้านล่าง หลังจากเผาไหม้สารระเหยและขับไล่ความชื้นไปแล้วจะเหลือปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อย ซึ่งคาร์บอนคงตัวของแกลบอาจจะเกิดการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ทางด้านบนของไรเซอร์ ทำให้ได้พลังงานความร้อนน้อยและสูญเสียความร้อนไปกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แสดงให้เห็นว่าถ่านหินถูกเผาไหม้ให้สมบูรณ์ในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้ในงานวิจัยได้ดีกว่าแกลบ

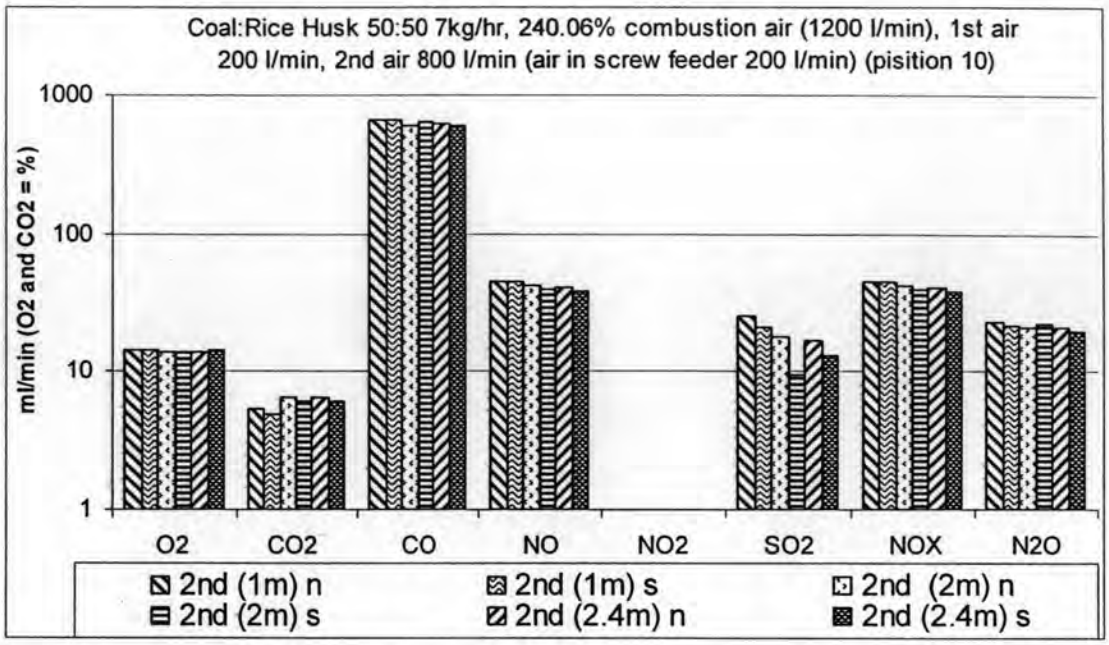
ดังนั้นการเผาไหม้ที่มีส่วนผสมของถ่านหินมากขึ้นจึงปล่อยแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนตริกออกไซด์จะถูกปล่อยออกมามากขึ้น

4.8.2 ศึกษาผลของอัตราการปล่อยฟลูแก๊สที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กัน แต่ปริมาณอากาศที่ป้อนเท่ากัน

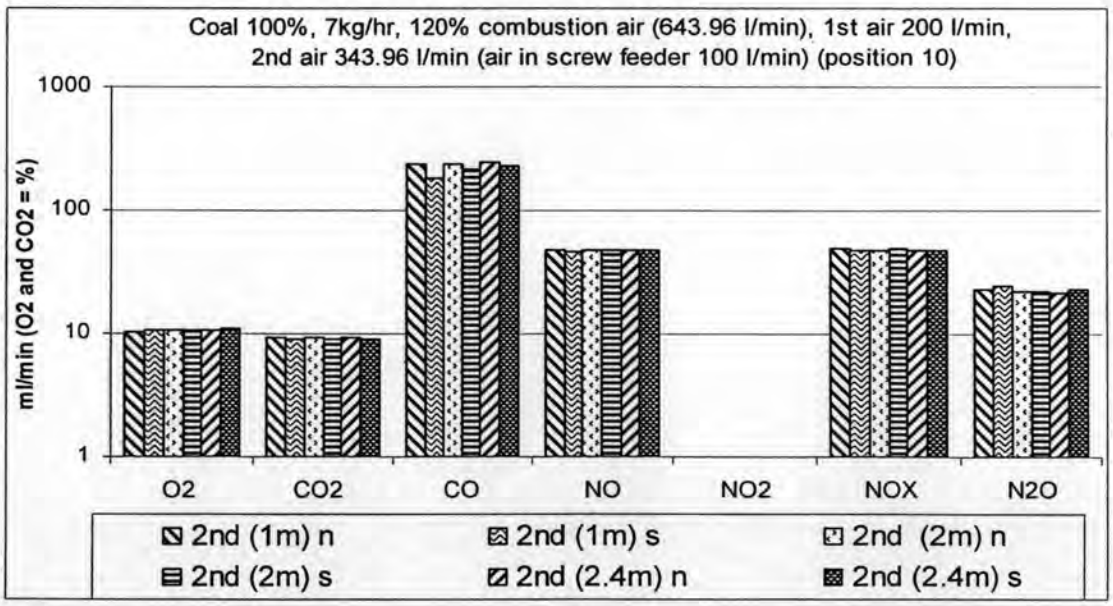
ผลของอัตราการปล่อยฟลูแก๊สที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กัน แต่ปริมาณอากาศที่ป้อนเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 4.34 ถึง 4.39



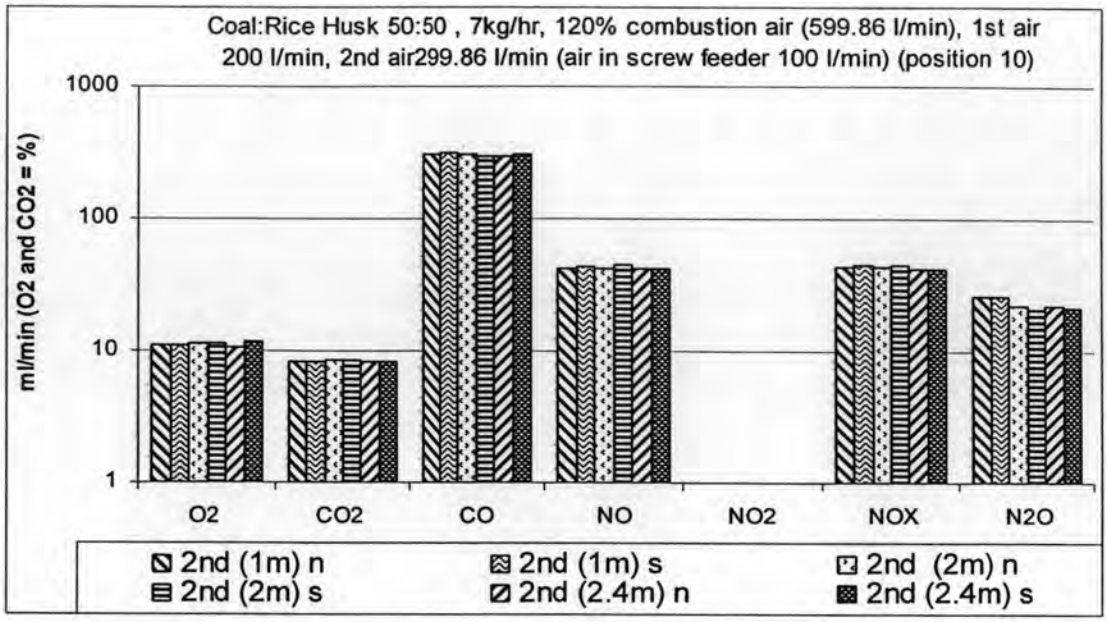
รูปที่ 4.34 อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่ง 10 ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 1000 ลิตรต่อนาที
(n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์)



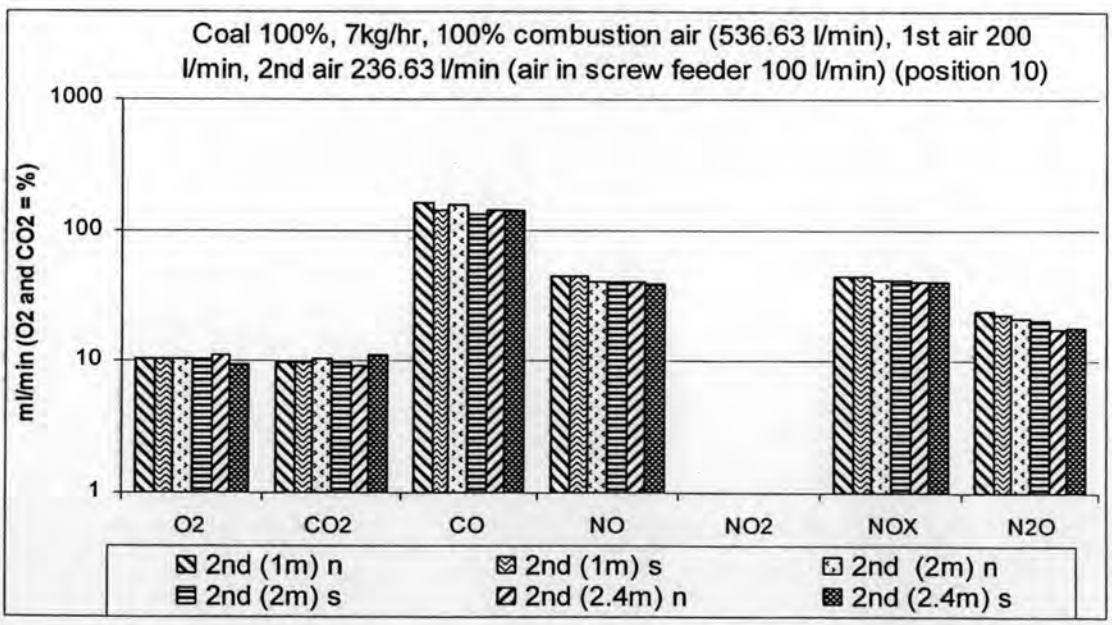
รูปที่ 4.35 อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่ง 10 ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 800 ลิตรต่อนาที
(n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์)



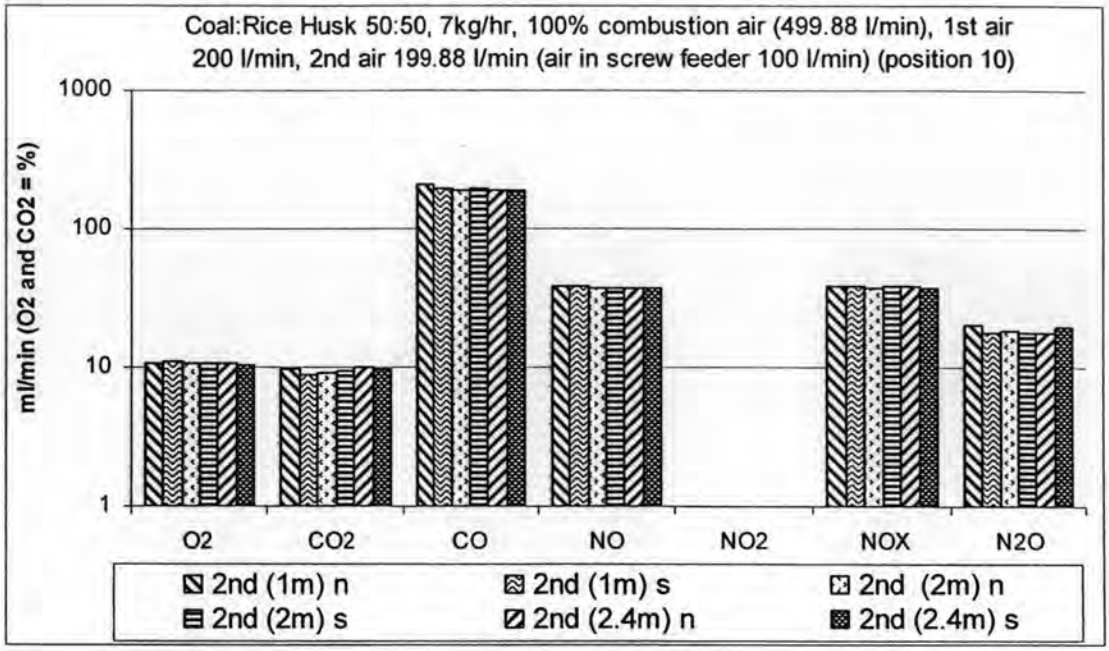
รูปที่ 4.36 อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่ง 10 ถ่านหิน100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 343.96 ลิตรต่อนาที
(n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ไม่ได้วัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์)



รูปที่ 4.37 อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่ง 10 ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 299.86 ลิตรต่อนาที (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ไม่ได้วัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์)



รูปที่ 4.38 อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่ง 10 ถ่านหิน100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 236.63 ลิตรต่อนาที (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ไม่ได้วัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์)



รูปที่ 4.39 อัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่ง 10 ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม (499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิ 199.88 ลิตรต่อนาที (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ไม่ได้วัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์)

จากรูป 4.34 ถึง 4.39 แสดงผลของการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกัน ซึ่งมีผลต่ออัตราการปล่อยฟลูแก๊สชนิดต่างๆ โดยจุดประสงค์หลักของการป้อนอากาศทุติยภูมิก็คือ ลดปริมาณอากาศบริเวณด้านล่างของไรเซอร์ เพราะการที่อากาศและเชื้อเพลิงมีปริมาณมาก ประกอบกับได้รับความร้อนจากทราย จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรง อุณหภูมิเบดสูงอย่างรวดเร็ว แต่จะสูงมากเพียงจุดที่เกิดการเผาไหม้เท่านั้น เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้หมด อุณหภูมิตำแหน่งด้านบนก็จะลดลง ซึ่งการที่อุณหภูมิสูงมากจะทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างตามมาคือ การสึกกร่อนของวัสดุบริเวณที่มีความร้อนสูงเกินไป ปัญหาเถ้าหลอมในเครื่อง การอุดตัน และปัญหามลพิษจากฟลูแก๊สที่ปล่อยออกมา เนื่องจากมีแก๊สพิษหลายชนิดเกิดขึ้นได้ดีที่ปริมาณอากาศมากๆ อุณหภูมิสูงๆ ซึ่งตามปกติแล้วแก๊สออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของคาร์บอนและไฮโดรเจนได้อย่างรวดเร็วมาก แต่หากมีแก๊สออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอ ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ก็จะสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เช่นกัน อีกทั้งแก๊สไนตริกออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ยังสามารถเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงๆ โดยแก๊สไนตริกออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น และแก๊สไนตรัสออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงประมาณ 850

องศาเซลเซียส หากเกิน 850 องศาเซลเซียส แก๊สไนตรัสออกไซด์จะค่อยๆลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น (Miccio และ คณะ, 2001) ดังนั้นการลดปริมาณอากาศด้านล่างไรเซอร์โดยไปป้อนเพิ่มที่อากาศทุติยภูมิ จะทำเกิดการเผาไหม้เป็นขั้นๆ คือเผาไหม้ตรงตำแหน่งที่มีการป้อนเชื้อเพลิง แต่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก หลังจากนั้นจึงมีการเผาไหม้เพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิ ดังสมการ

$$C + O_2 \Longrightarrow CO_2$$
$$2CO + O_2 \Longrightarrow 2CO_2$$

และการป้อนอากาศบริเวณด้านล่างไรเซอร์น้อยๆ จะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดถ่านชาร์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จำนวนมาก ซึ่งถ่านชาร์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้มีส่วนช่วยในการลดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้นด้วย โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$2NO + 2C \Longrightarrow N_2 + 2CO$$
$$2NO_2 + 2C \Longrightarrow N_2 + 2CO_2$$
$$2NO + C \Longrightarrow N_2 + CO_2$$
$$2NO + 2CO \Longrightarrow N_2 + 2CO_2$$
$$N_2O + C \Longrightarrow N_2 + CO$$
$$N_2O + CO \Longrightarrow N_2 + CO_2$$

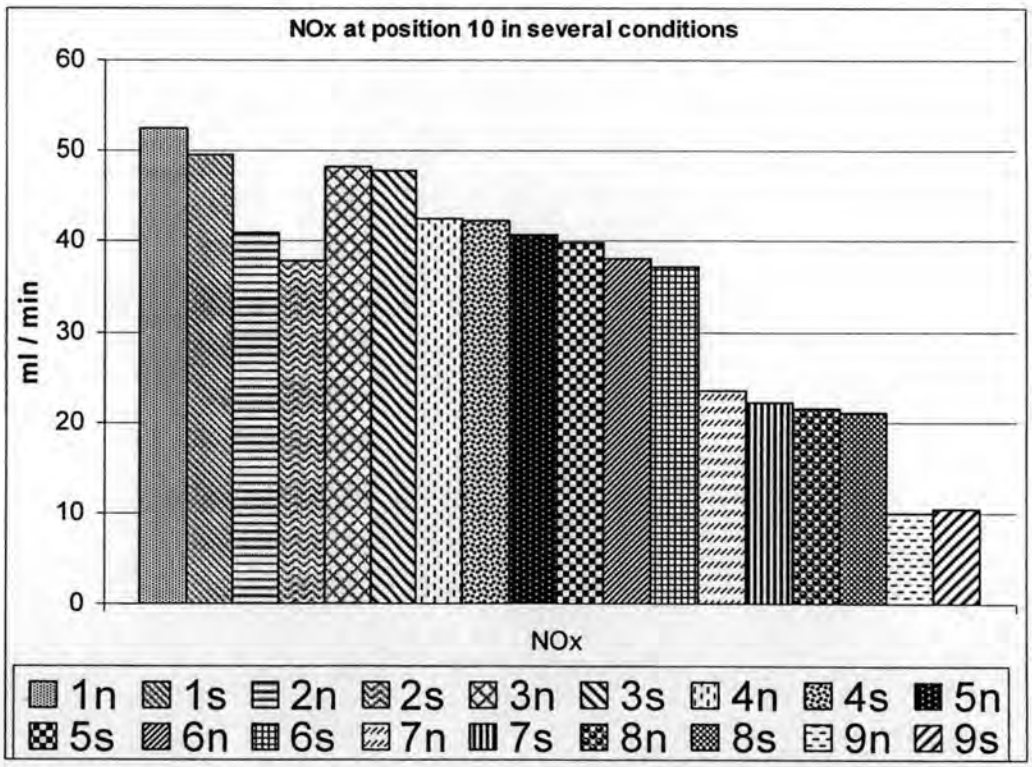
นอกจากนี้ การที่อากาศด้านล่างไรเซอร์มากเกินไป มีโอกาสทำให้อนุภาคของเชื้อเพลิงและทรายไหลออกไปจากไรเซอร์อย่างรวดเร็วตามความเร็วของอากาศที่มากขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในตำแหน่งที่ 10 มีแนวโน้มลดลงตามความสูงของตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิที่มากขึ้น เนื่องจากความเร็วของอากาศเหนือตำแหน่งป้อนอากาศทุติยภูมิจะเร็วขึ้น ในขณะที่อากาศปฐมภูมิเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอต่อการเกิดฟลูอิไดซ์และหมุนเวียนของเบดแล้ว ดังนั้นเชื้อเพลิงจะลอยออกจากไรเซอร์อย่างรวดเร็วหากเติมอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งด้านล่าง เชื้อเพลิงมีเวลาอยู่ในไรเซอร์เพื่อเผาไหม้น้อยลง ในขณะที่การเติมด้านบนจะทำให้เชื้อเพลิงมีเวลาเผาไหม้ (อย่างไม่สมบูรณ์) ในไรเซอร์ได้มากขึ้น แล้วจึงเกิดการเผาไหม้ให้สมบูรณ์อีกครั้งที่ตำแหน่งป้อนอากาศทุติยภูมิ ส่วนแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนตรัส

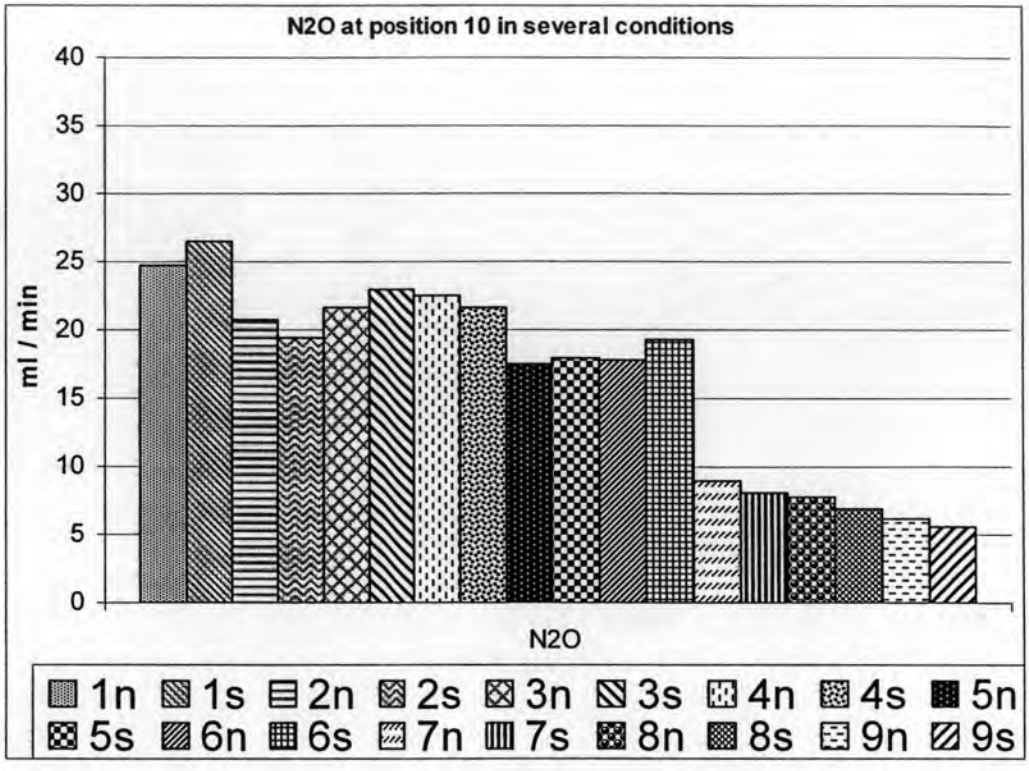
ออกไซด์ลดลงตามความสูงของตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิที่มากขึ้น เนื่องจากการเติมอากาศทุติยภูมิด้านบนจะเป็นการลดปริมาณออกซิเจนที่จะได้ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงหรือลดโอกาสที่ซัลเฟอร์และไนโตรเจนในเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ถึงแม้ว่าการป้อนอากาศทุติยภูมิในตำแหน่งสูงๆ จะให้อุณหภูมิสูงกว่าซึ่งก็น่าจะเกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ได้มากกว่า แต่ผลของปริมาณอากาศที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงน้อยลงมีผลต่อการลดลงของแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์มากกว่า และช่วงของอุณหภูมิที่ทำการทดลองไม่กว้างนัก คือ 650 – 800 องศาเซลเซียส

4.9 ศึกษาผลของอัตราการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ที่ตำแหน่งที่ 10 ที่ภาวการณ์ทดลองต่างๆ กัน

เนื่องจากการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร ปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์น้อยที่สุด ในการทดลองที่มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิ จะนำผลการทดลองของการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง 2.4 เมตรมาทำการศึกษาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 4.40 อัตราการปล่อยของแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ที่ตำแหน่ง 10 ก่อนที่จะปล่อยฟลูแก๊สออกสู่บรรยากาศในหลายๆ ภาวะการทดลอง โดยในแต่ละภาวะดำเนินการโดยเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.41 อัตราการปล่อยของแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่ตำแหน่ง 10 ก่อนที่จะปล่อยฟลูแก๊สออกสู่บรรยากาศในหลายๆ ภาวะการทดลอง โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)

จากรูปที่ 4.40 และ 4.41 จะเห็นได้ว่าแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และแก๊สไนตรัสออกไซด์ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือถ้าไนโตรเจนออกไซด์มาก แก๊สไนตรัสออกไซด์ก็จะมากด้วย เนื่องจากแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และแก๊สไนตรัสออกไซด์มีแหล่งกำเนิดจากแหล่งเดียวกันคือ ไนโตรเจนในเชื้อเพลิง และ ออกซิเจนในอากาศ โดยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และแก๊สไนตรัสออกไซด์สามารถแปรเปลี่ยนกันไปมาได้ โดยปกติแล้วไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จะน้อยกว่าไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และไนโตรเจนออกไซด์เกือบทั้งหมดจะเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ในขณะที่ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งเป็นไปตามค่าพลังงานเสรีของกิบส์ ดังตารางที่ 4.12 พลังงานเสรีของกิบส์ของไนตริกออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดจึงเกิดได้ง่ายที่สุด และพลังงานเสรีของกิบส์ของไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่ามากที่สุดและมีค่ามากกว่าไนตริกออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ค่อนข้างมากจึงเกิดได้น้อยมาก

ตารางที่ 4.12 ค่าพลังงานเสรีของกิบส์ของออกไซด์ของไนโตรเจน
(ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ, 2545)

Gas	ΔG_f (kJ/kmol) *10^{-4}
Nitric oxide (NO)	8.657
Nitrogen dioxide (NO_2)	51.990
Nitrous oxide (N_2O)	10.417

ปฏิกิริยาการแปรเปลี่ยนไปมาระหว่างแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และแก๊สไนตรัสออกไซด์ แสดงได้ดังนี้

$$N_2O + O \Longrightarrow NO + NO$$
$$NCO + NO \Longrightarrow N_2O + CO$$
$$NH + NO \Longrightarrow N_2O + H$$

เนื่องจากแก๊สไนโตรเจนออกไซด์และแก๊สไนตรัสออกไซด์ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จึงขอกล่าวรวมแก๊สทั้ง 2 ชนิดนี้ว่า ออกไซด์ของไนโตรเจน

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในกระบวนการเผาไหม้

- ปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิง

จากผลการวิเคราะห์โดยแยกธาตุ แสดงให้เห็นว่าถ่านหินมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมากกว่าแกลบ เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของถ่านหินมากๆ ก็ย่อมมีสัดส่วนของปริมาณไนโตรเจนมากขึ้นไปด้วย ดังนั้นการเผาไหม้ที่ใช้ปริมาณอากาศรวมเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านหินที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในการทดลองที่ 7, 8 และ 9 ที่มีการป้อนอากาศรวมเท่ากัน คือ 400 ลิตรต่อนาที การทดลองที่ 7 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์จะมีออกไซด์ของไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาคือการทดลองที่ 8 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและถ่านหินในอัตราส่วน 50:50 และ การทดลองที่ 9 น้อยที่สุดเนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงแกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือเปรียบเทียบการทดลองที่ 3 กับ 4 หรือ การทดลองที่ 5 กับ 6 ที่มีการป้อนอากาศรวม 120 และ 100 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ก็ให้ผลในทำนองเดียวกันคือ การทดลองที่ 3 มีออกไซด์ของไนโตรเจนมากกว่าการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 5 ก็

มากกว่าการทดลองที่ 6 เนื่องจากการทดลองที่ 3 และ 5 มีปริมาณถ่านหินมากกว่าการทดลองที่ 4 และ 6 ตามลำดับ

- ปริมาณออกซิเจนที่มาสัมผัสกับเชื้อเพลิง

จากหัวข้อ 4.8.2 ซึ่งแสดงปริมาณฟลูแก๊สที่วัดได้จากการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกัน ได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปริมาณออกซิเจนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงแล้ว ในหัวข้อ 4.9 นี้ จะกล่าวถึงปริมาณอากาศรวมที่แตกต่างกัน โดยการทดลองที่ 1, 3, 5 และ 7 เป็นเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันคือถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการทดลองที่ 1 มีปริมาณอากาศรวมมากที่สุด รองลงมาคือ การทดลองที่ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งผลของออกไซด์ของไนโตรเจนที่วัดได้จะมากขึ้นตามปริมาณอากาศที่มากขึ้น คือการทดลองที่ 1 มากที่สุด รองลงมาคือ การทดลองที่ 3, 5 และ 7 ตามลำดับของปริมาณอากาศรวม หรือผลการทดลองที่ 2, 4, 6 และ 8 ที่เป็นเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันคือถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 ซึ่งปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่วัดได้ยังคงให้ผลเช่นเดิมคือ การทดลองที่ 4 มากกว่าการทดลองที่ 6 และ 8 ตามลำดับของปริมาณอากาศรวม ยกเว้นการทดลองที่ 2 ที่อากาศมากที่สุดแต่ออกไซด์ของไนโตรเจนไม่ได้มากที่สุด โดยค่าออกไซด์ของไนโตรเจนอยู่ระหว่างการทดลองที่ 4 และ 6 ซึ่งสาเหตุเกิดจากอุณหภูมิของการทดลองที่ 2 น้อยกว่าการทดลองทั้งหมด โดยอยู่ที่ประมาณ 670 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะน้อยเกินไปที่จะทำให้ออกไซด์ของไนโตรเจนเกิดได้ดี เนื่องจากออกไซด์ของไนโตรเจนเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงๆ

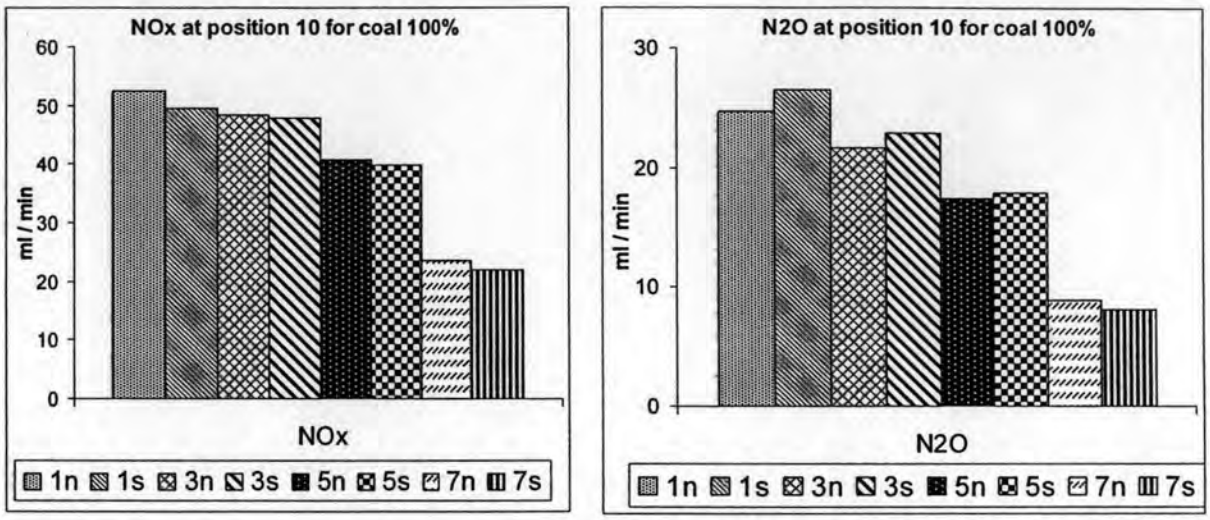
- อุณหภูมิ

อุณหภูมิตามทฤษฎีที่มีผลต่อการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์จะเพิ่มขึ้น แต่ไนตรัสออกไซด์จะลดลงอีกทีเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 850 องศาเซลเซียส แต่จากผลการทดลองที่ได้ ไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนกับอุณหภูมิที่แน่นอน เนื่องจากช่วงของอุณหภูมิที่ทำการทดลองไม่กว้างนัก คือ 650 – 800 องศาเซลเซียส ซึ่งปัจจัยของชนิดเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศ มีความสำคัญมากกว่า

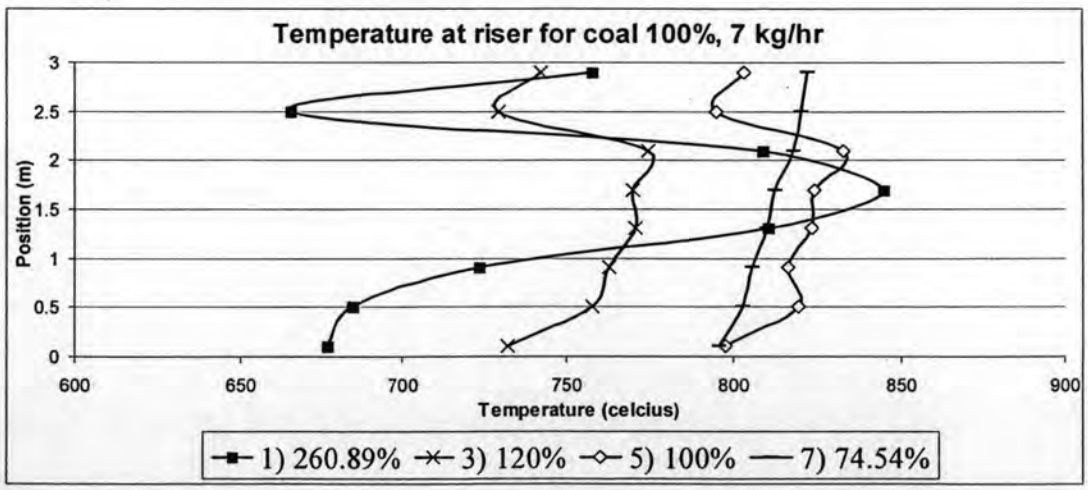
- การสเปรย์น้ำในหอดูดซับ

การสเปรย์น้ำในหอดูดซับทำให้ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณไนตรัสออกไซด์ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากไนโตรเจนออกไซด์สามารถละลายในน้ำได้เล็กน้อย คือ 67 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ในขณะที่ไนตรัสออกไซด์ละลายน้ำได้น้อยมาก คือ 2.2 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

ทั้งนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมีอยู่ 3 ปัจจัยหลักคือ ปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิง (อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง) อุณหภูมิ และ ปริมาณอากาศ ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีความสัมพันธ์กันเองด้วย จึงได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุด

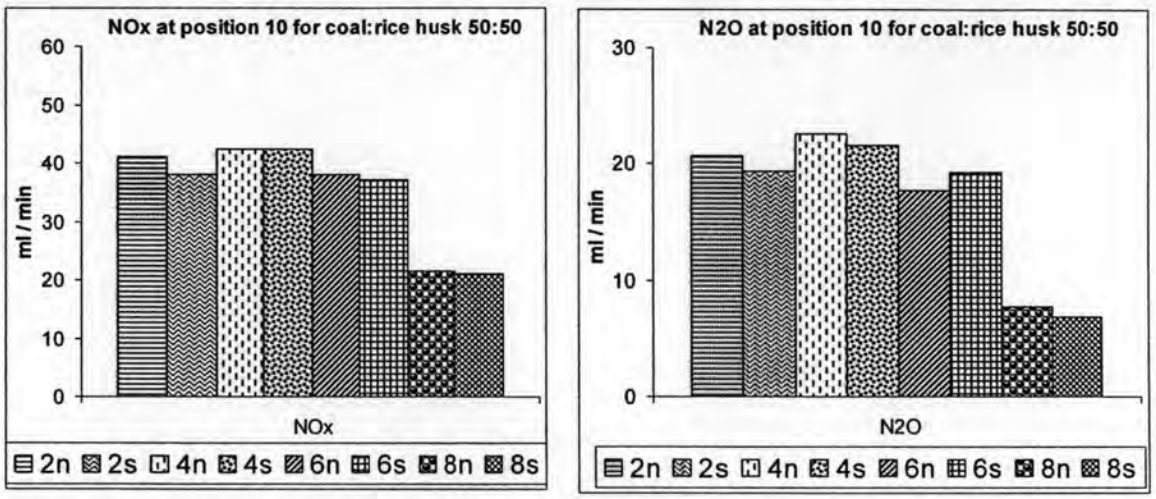


รูปที่ 4.42 อัตราการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่ตำแหน่ง 10 ที่การป้อนถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ การป้อนปริมาณอากาศรวมต่างๆ กัน และมีการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)

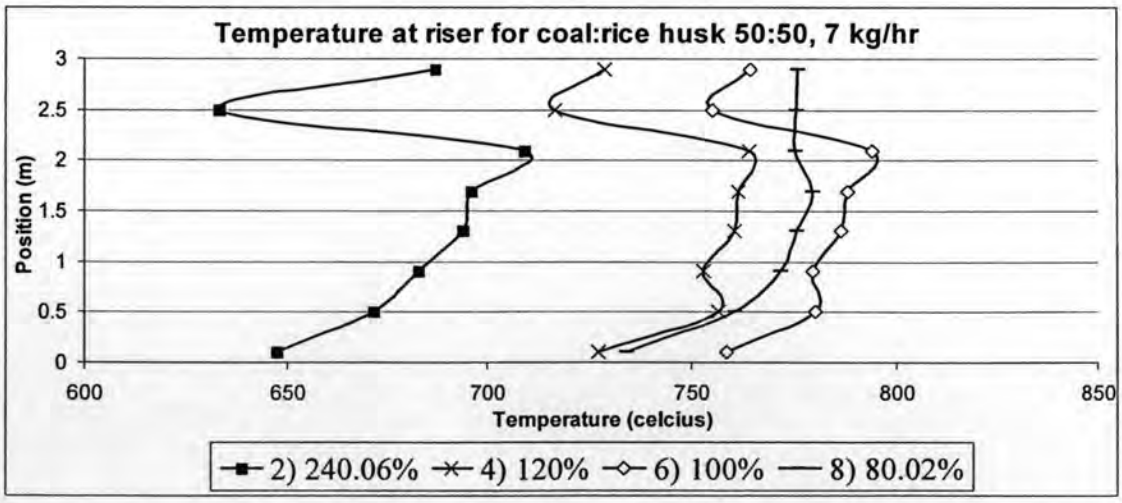


รูปที่ 4.43 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่การป้อนถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ การป้อนปริมาณอากาศรวมต่างๆ กัน และมีการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)

จากรูปที่ 4.42 และ 4.43 แสดงอัตราการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและอุณหภูมิในไรเซอร์ ที่การป้อนถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณการป้อนไนโตรเจนในเชื้อเพลิงเท่ากัน) การป้อนปริมาณอากาศรวมต่างๆ กัน พบว่าปริมาณอากาศมีผลต่อการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมากกว่าอุณหภูมิ ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศที่ป้อนมากขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น

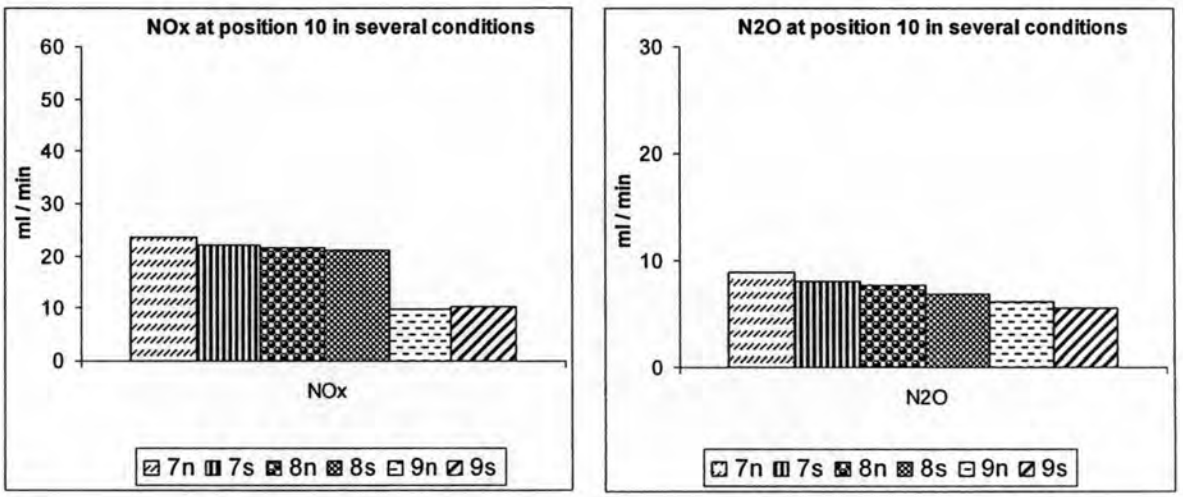


รูปที่ 4.44 อัตราการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่ตำแหน่ง 10 ที่การป้อนถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 การป้อนปริมาณอากาศรวมต่างๆ กัน และมีการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)

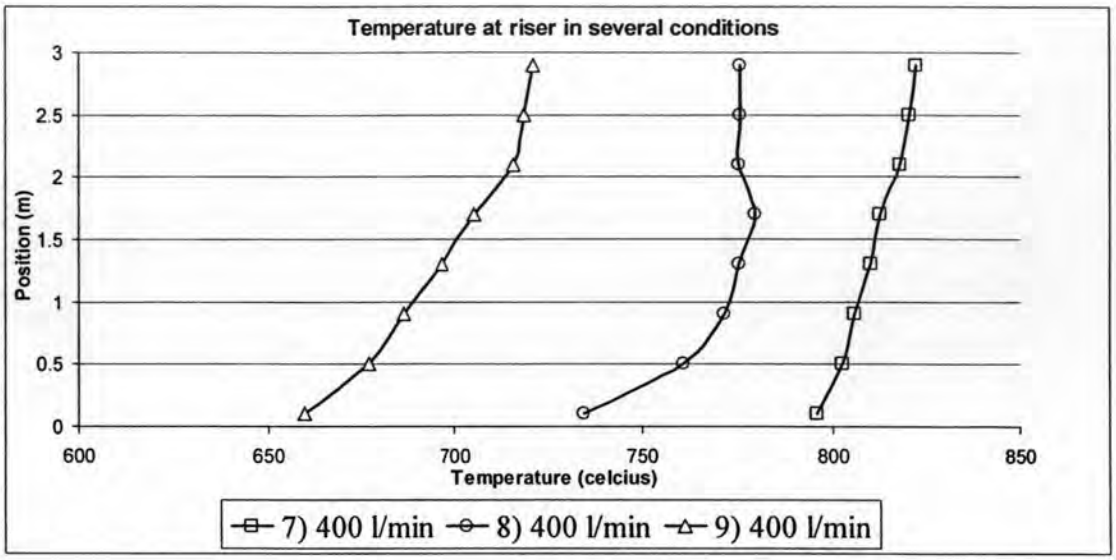


รูปที่ 4.45 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ที่การป้อนถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 การป้อนปริมาณอากาศรวมต่างๆ กัน และมีการป้อนอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)

จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 แสดงอัตราการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและอุณหภูมิในไรเซอร์ ที่การป้อนถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 (ปริมาณการป้อนไนโตรเจนในเชื้อเพลิงเท่ากัน) การป้อนปริมาณอากาศรวมต่างๆ กัน ยืนยันให้เห็นว่าปริมาณอากาศมีผลต่อการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมากกว่าอุณหภูมิ แต่อุณหภูมิจะมีผลต่อการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมากขึ้นที่ผลต่างของอุณหภูมิมากๆ โดยสังเกตได้จากการทดลองที่ 2 ที่มีการป้อนอากาศรวมมากที่สุดแต่ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนไม่ได้มากที่สุด โดยมีค่าน้อยกว่าการทดลองที่ 4 แต่ยังคงมีค่ามากกว่าการทดลองที่ 6 และ 8 ซึ่งสาเหตุเกิดจากอุณหภูมิของการทดลองที่ 2 น้อยกว่าการทดลองทั้งหมด โดยอยู่ที่ประมาณ 670 องศาเซลเซียส ซึ่งมีช่วงห่างของอุณหภูมิต่างจากการทดลองที่ 4, 6 และ 8 ค่อนข้างมาก



รูปที่ 4.46 อัตราการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่ตำแหน่ง 10 ที่การป้อนเชื้อเพลิงต่างกัน การป้อนปริมาณอากาศรวม 400 ลิตรต่อนาทีเท่ากัน โดยในแต่ละภาวะมีการเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปิดหอดูดซับด้วย (n = ไม่มีสครับเบอร์ , s = สครับเบอร์) (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.47 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในไรเซอร์ ที่การป้อนเชื้อเพลิงต่างกัน การป้อนปริมาณอากาศรวม 400 ลิตรต่อนาทีเท่ากัน (ภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 4.18)

จากรูปที่ 4.46 และ 4.47 แสดงอัตราการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและอุณหภูมิในไรเซอร์ ที่การป้อนเชื้อเพลิงต่างกัน การป้อนปริมาณอากาศรวม 400 ลิตรต่อนาที (ปริมาณอากาศเท่ากัน) พบว่าออกไซด์ของไนโตรเจนแปรผันตามปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงและอุณหภูมิ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าความร้อนแปรผันตามปริมาณไนโตรเจน จึงทำให้อุณหภูมิแปรผันตามปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงด้วย ทำให้ไม่สามารถบอกความแตกต่างของผลกระทบระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงและอุณหภูมิได้

ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทดลองที่อุณหภูมิเท่าๆ กัน เนื่องจากไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและการป้อนปริมาณอากาศรวมคงที่ได้ เพราะการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่จะมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเป็นช่วง คือป้อนไม่สม่ำเสมอกัน และปริมาณอากาศก็จะแปรผันตามปริมาณเชื้อเพลิง คือ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ ทำให้ปริมาณอากาศที่ป้อนไม่สม่ำเสมอด้วย