รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัญจนา บุณยเกียรติ. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์. การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ดวงเพ็ญ ศรีบัวงาม และ คณะ. การใช้ถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบด. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

ปิยะพันธ์ จะกอ. การควบคุมการปล่อยแก๊สของการเผาไหม้ถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

โปรดปราน สิริธีรศาสน์. การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนในเตาหุงต้มในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

พรเทพ จิตวุฒิไกร, ภัทราวุธ พฤกษ์อมรพันธ์, แสง แซ่เล้า. การศึกษาการเผาไหม้ชีวมวลในเตาฟลูอิไดซ์เบด. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.

พล สาเกทอง. การเผาไหม้แกลบโดยวิธีฟลูอิไดเซชันและการนำพลังงานความร้อนมาใช้ประโยชน์. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

พล สาเกทอง. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟลูอิไดซ์เบด. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

พล สาเกทอง และ คณะ. ระบบการใช้ถ่านหินลิกไนท์โดยการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิไดซ์เบด. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ. เทอร์โมไดนามิกส์วิศวกรรมเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ศันสนีย์ กำธนาทรัพย์. ผลของอัตราการไหลอากาศต่อโพรไฟล์ความเร็วอนุภาคในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

สมบัติ นิธิฐิมณีรัตน์. การเผาไหม้ถ่านหินและการควบคุมมลพิษในฟลูอิไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชั่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. จุลวิทยาทางดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2549

สำเริง จักรใจ. การเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

อันธิการ์ วรรณะ. ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ภาษาอังกฤษ

Akira, N.; Toshihiko, I.; Hisanao, H.; Nobuyuki, S.; and Masahiro H. Application of CFB (Circulating Fluidized Bed) to Sewage Sludge Incinerator. NKK Technical Review 86 (2002): 30-35.

Amand, L. E.; and Leckner, B. Co-Combustion of Sewage Sludge with Wood/Coal in a Circulating Fluidized Boiler-A study of gaseous Emissions. Presented at the First Biennial Meeting of the Scandinavian-Nordic Section of the Combustion Institute at Charmer University of Technology. Goteborg (April 18-20 2001).

Fang, M.; Yang, L.; Chen, G.; Shi, Z.; Luo, Z.; and Cen, K. Experimental Study on Rice Husk Combustion in a Circulating Fluidized Bed. Fuel Processing Technology 85 (2004): 1273-1282.

Grace, J. R.; Avedan, A. A.; and Knowlton, T. M. Circulating Fluidized Beds. London: Chapman & Hall, 1977.

Hayhurst, A. N.; and Lawrence, A. D. The Amounts of NO_x and N_2O Formed in a Fluidized Bed Combustor During The Burning of Coal Volatiles and Also of Char. Combustion and Flame 105 (1996): 341-357.

Jensen, A., et al. Formation and Reduction of NO_x in Pressurized Fluidized Bed Combustion of Coal. Fuel 74 (1995): 1555-1569.

Kunii, D.; and Levenspiel, O. Fluidization engineering. New York: John Wiley and Sons Inc, 1969.

Leckner, B.; Amand, L. E.; Lucke, K.; and Werther, J. Gaseous Emissions from Co-Combustion of Sewage Sludge and Coal/Wood in a Fluidized Bed. Fuel 83 (2004): 477-486.

Liu, H.; and Gibbs, B.M. The Influence of Calcined Limestone on NO_x and N_2O Emissions from Char Combustion in Fluidized Combustor. Fuel 80 (2001): 1211-1215.

Liu, H.; and Gibbs, B.M. The Influence of Limestone Addition at Different Positions on Gaseous Emissions from a Coal-Fired Circulating Fluidized Bed Combustor. Fuel 77 (1998): 1569-1577.

Miccio, F.; Löffler, G.; Wargadalam, V.J.; and Winter, F. The Influence of SO_2 Level and Operating Conditions on NOx and N2O Emissions during Fluidised Bed Combustions of Coals. Fuel 80 (2001): 1555 – 1566.

Nimmo, W., et al. Calcium Magnesium Acetate and Urea Advanced Reburning for NO Control with Simultaneous SO_2 Reduction. Fuel 83 (2004): 1143-1150.

Nimmo, W.; Patsias, A.A.; Hampartsoumian, E.; Gibbs, B.M.; and Williams, P.T. Simutaneous Reduction NO_x and SO_2 Emissions from Coal Combustion by Calcium Magnesium Acetate. Fuel 83 (2004): 149-155.

Okasha, F. Staged combustion of rice straw in a fluidized bed. Experimental Thermal and Fluid Science 32 (2007): 52–59.

Rogmuae, T.; Jabouille, F.; and Torero, J.L. Effect of excess air on grate combustion of solid wastes and on gaseous products. International Journal of Thermal Sciences (2008).

Shen, B.X., et al. N_2O Emission under Fluidized Bed Combustion Condition. Fuel Processing Technology 84 (2003): 13-21.

Topal, H.; Atimtay, A. T.; and Durmaz, A. Olive Cake Combustion in a Circulating Fluidized Bed. Fuel 82 (2003): 1049-1056.

Werther, J.; Hartge, E. U.; Lucke, K.; Fehr, M.; Amand, L. E; and Leckner, B. New Air-Staging Techniques for Co-Combustion in Fluidized Bed Combustors. VGB Conference Research for Power Plant Technology (October 10-12 2000).

Zhao, J.; Brereton, C.; Grace, J.R.; Lim, C.J.; and Legros, R. Gas Concentration Profiles and NO_x Formation in Circulating Fluidized Combustion. Fuel 76 (1997): 853-860.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis): ASTM D3172

1.1 ความชื้น (Moisture): ASTM D3173

<u>วิธีการทดลอง</u>

1) อบครูซิเบิลในเตาอบ (Furnace) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครูซิเบิล

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ครูซิเบิล ประมาณ 1 กรัม

3) อบครูซิเบิลพร้อมตัวอย่างในเตาอบโดยไม่ต้องปิดฝา ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมตัวอย่าง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = 100 - 100(W_1 - W_2) / W$$

เมื่อ M = ร้อยละของความชื้น

W_2 = น้ำหนักของครูซิเบิล (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของครูซิเบิลที่มีตัวอย่างผ่านการอบที่ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter): ASTM D3175

<u>วิธีการทดลอง</u>

1) เผาครูซิเบิลพร้อมฝาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝา บันทึกผล

2) ชั่งตัวอย่างแห้งใส่ในครูซิเบิลประมาณ 1 กรัม แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย

3) นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (Tubular Furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

4) หย่อนครูซิเบิลให้อยู่บริเวณปากเตา ที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

5) หย่อนครูซิเบิลให้อยู่กึ่งกลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที

6) นำครูซิเบิลออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = [100(W_5 - W_6) / W] - M$$

เมื่อ	V	=	ร้อยละของสารระเหย
	W_5	=	น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
	W_6	=	น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)
	M	=	ร้อยละของความชื้น

1.3 เถ้า (Ash): ASTM D3174

<u>วิธีการทดลอง</u>

1) เผาครูซิเบิล (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครูซิเบิล

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้งใส่ครูซิเบิล ประมาณ 1 กรัม

3) นำไปเผาบนตะเกียงบุนเซนจนควันระเหยหมด

4) ใส่ครูซิเบิลในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

5) นำครูซิเบิลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = 100(W_3 - W_4) / W$$

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_3 = น้ำหนักของครูซิเบิลที่มีเถ้า (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของครูซิเบิล (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 – A – V – M

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

V = ร้อยละของสารระเหย

M = ร้อยละของความชื้น

ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาปริมาณอากาศที่จำเป็นในการเผาไหม้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ตารางแสดงค่าการวิเคราะห์โดยประมาณ

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

ตารางแสดงค่าการวิเคราะห์โดยแยกธาตุ

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

คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ

ความหนาแน่น	1.165438	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มวลโมเลกุล	28.97	
สัดส่วนของออกซิเจน	21	เปอร์เซ็นต์

สัดส่วนของไนโตรเจน 79 เปอร์เซ็นต์

มวลโมเลกุลของ C H O และ S เนื่องจากไนโตรเจนส่วนใหญ่แล้วจะเฉื่อย ไม่ค่อยเกิดปฏิกิริยา จึงไม่นำไนโตรเจนมาคิด

C	=	12
H	=	1
O	=	16
S	=	32

ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นน้ำหนักแห้งและปราศจากเถ้าได้เป็น

7(100 – 17.11 – 8.39)/100 = 5.215 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

มีปริมาณ C H N O และ S คิดเป็นน้ำหนักแห้งและปราศจากเถ้าได้เป็น

ปริมาณ C ;	5.215(54.19)/100	=	2.826 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
	2.826/12	=	0.236 กิโลโมลต่อชั่วโมง
ปริมาณ H ;	5.215(7.46)/100	=	0.389 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
	0.389/1	=	0.389 กิโลโมลต่อชั่วโมง
ปริมาณ O ;	5.215(37.54)/100	=	1.958 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
	2.826/16	=	0.122 กิโลโมลต่อชั่วโมง
ปริมาณ S ;	5.215(0.30)/100	=	0.016 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
	2.826/32	=	0.0005 กิโลโมลต่อชั่วโมง

ต้องใช้ O_2 ในการเผาไหม้สมบูรณ์

ปริมาณ C ;	0.236 * 1	=	0.236 กิโลโมล O_2 ต่อชั่วโมง
ปริมาณ H ;	0.389/4	=	0.0972 กิโลโมล O_2 ต่อชั่วโมง
ปริมาณ O ;	- 0.122/2	=	- 0.061 กิโลโมล O_2 ต่อชั่วโมง
ปริมาณ S ;	0.0005 * 1	=	0.0005 กิโลโมล O_2 ต่อชั่วโมง
รวมต้องใช้แก๊สออกซิเจน		=	0.2727 กิโลโมล O_2 ต่อชั่วโมง

ต้องใช้อากาศในการเผาไหม้สมบูรณ์

0.2727 * 100/21	=	1.2986 กิโลโมลอากาศต่อชั่วโมง
1.2986 * 28.97	=	37.620 กิโลกรัมอากาศต่อชั่วโมง

37.620 / 1.165438	=	32.279 ลูกบาศก์เมตรอากาศต่อชั่วโมง
32.279 * 1000	=	32279 ลิตรต่อชั่วโมง
32279 / 60	=	537.99 ลิตรต่อนาที

2. การคำนวณหาความเร็วอากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ในไรเซอร์ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร

200 ลิตรต่อนาที	=	200/1000	=	0.2 ลูกบาศก์เมตรอากาศต่อนาที
		0.2 / 60	=	$3.33 * 10^{-3}$ ลูกบาศก์เมตรอากาศต่อวินาที
		$3.33 * 10^{-3} * 7/22/(0.05^2)$	=	0.4242 เมตรต่อวินาที

3. การเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้น ส่วนในล้านส่วน เป็นอัตราการปล่อยแก๊ส มิลลิลิตรต่อนาที ตัวอย่างเช่น ในการป้อนเชื้อเพลิง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที

   ปริมาณ CO ณ ตำแหน่ง 10 ที่ไม่มีการสเปรย์น้ำในหอดูดซับมีค่า 441.2 ส่วนในล้านส่วน

441.2 ส่วนในล้านส่วน =	441.2 * 1400/1000000	=	0.6177 ลิตรต่อนาที
	0.6177 * 1000	=	617.7 มิลลิลิตรต่อนาที

ภาคผนวก ค

ตารางบันทึกผลการทดลอง

1. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม (1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	9.89	10.08	12585	121.4	0	357.4	121.4	41.16
4	1.3	13.71	6.6	12850.4	74.6	0	337.2	74.6	32.12
6	2.1	16.77	3.81	8516.8	44	0	216.8	44	46.57
8	2.9	13.51	9.52	9129.8	60.2	0	285.2	60.2	62.59
10 No Scruber	-	12.95	7.55	441.2	41.4	0	125	41.4	20.17
10 Scruber	-	12.94	7.23	370	39.8	0	23	39.8	22.07

Position (m)	Temperature (°C)
0.1	701
0.5	695.7
0.9	725.1
1.3	692
1.7	722
2.1	720.1
2.5	752.4
2.9	784.2
10 no Scrubber	208
10 Scrubber	60

2. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	8.43	11.41	11221	128.8	0	355.2	128.8	45.46
4	1.3	7.86	11.94	4755.2	104	0	375	104	51.96
6	2.1	16.62	4.95	3569.2	41.4	0	145.2	41.4	25.62
8	2.9	13.1	9.89	5425.6	90	0	287.8	90	26.13
10 No Scruber	-	12.97	7.32	419.2	38.4	0	90.8	38.4	18.35
10 Scruber	-	12.92	7.37	318.4	36.6	0	38	36.6	18.55

Position	Temperature (°C)
0.1	699.8
0.5	710
0.9	754.3
1.3	819.5
1.7	835.3
2.1	628.7
2.5	701.2
2.9	787.1
10 no Scrubber	212
10 Scrubber	65

3. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(1400 ลิตรต่อนาที) 260.89 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 1000 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	10.32	9.7	7802.6	123.6	0	316.4	123.6	41.68
4	1.3	8.74	11.13	4194	105.4	0	347.6	105.4	26.59
6	2.1	11.52	8.6	2895.8	81.2	0	220.4	81.2	60.54
8	2.9	12.23	7.83	4839.4	77.8	0	235.2	77.8	23.77
10 No Scruber	-	12.98	6.41	400	37.5	0	81.4	37.5	17.68
10 Scruber	-	13.3	6.34	327.6	35.4	0	34	35.4	18.94

Position	Temperature (°C)
0.1	676.3
0.5	684.1
0.9	723.8
1.3	810.4
1.7	844.7
2.1	808.9
2.5	665.2
2.9	758
10 no Scrubber	215
10 Scrubber	69

4. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 800 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	11.24	8.86	8008.6	68	0	254	68	37.57
4	1.3	10.41	9.61	6630.8	59	0	205	59	33.87
6	2.1	13.7	6.61	5307.6	54.6	0	187	54.6	35.49
8	2.9	14.03	6.31	4799	49	0	125.2	49	38.82
10 No Scrubber	-	14.15	5.29	556.4	37.7	0	21.2	37.7	19.02
10 Scrubber	-	14.37	4.91	547.2	37.5	0	17.2	37.5	18.11

Position (m)	Temperature (°C)
0.1	610.9
0.5	621.9
0.9	627.1
1.3	614.6
1.7	620.7
2.1	628.4
2.5	633.7
2.9	639.4
10 no Scrubber	200
10 Scrubber	50

5. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 800 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	14.8	5.61	8432.6	32.6	0	243	32.6	31.24
4	1.3	9.46	10.47	6061.6	56	0	132.6	56	27.21
6	2.1	14.5	5.89	5778.6	45.8	0	76.2	45.8	15.44
8	2.9	10.86	9.2	7916.8	46.6	0	36.4	46.6	16.19
10 No Scrubber	-	13.75	6.56	508.6	34.8	0	15	34.8	17.40
10 Scrubber	-	13.79	6.07	532.8	33.2	0	8	33.2	18.60

Position	Temperature (°C)
0.1	605.2
0.5	626
0.9	651.2
1.3	670.8
1.7	682.9
2.1	531.3
2.5	605.7
2.9	677.8
10 no Scrubber	200
10 Scrubber	60

6. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(1200 ลิตรต่อนาที) 240.06 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 800 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	15.86	4.64	8706.2	35.8	0	163.4	35.8	22.14
4	1.3	11.93	8.22	8711.4	61.4	0	71.8	61.4	37.31
6	2.1	11.1	8.99	8673.4	49.4	0	132.2	49.4	18.14
8	2.9	14.09	6.25	8025.4	32.6	0	41.4	32.6	14.98
10 No Scrubber	-	13.89	6.44	518.8	34.2	0	14	34.2	17.27
10 Scrubber	-	14.36	6.01	508.4	31.6	0	10.8	31.6	16.19

Position	Temperature (°C)
0.1	647.3
0.5	671.4
0.9	682.5
1.3	694
1.7	695.8
2.1	709
2.5	632.9
2.9	686.6
10 no Scrubber	216
10 Scrubber	67

7. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 343.96 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.49	9.36	371.2	75	1	76	36.21
10 Scruber	-	10.75	9.12	285.4	72.6	1	73.6	38.13

Position (m)	Temperature (°C)
0.1	733.7
0.5	754.7
0.9	757.5
1.3	760.3
1.7	762.7
2.1	771.3
2.5	759.9
2.9	752.1
upper cyclone	583
10 no Scrubber	208
10 Scrubber	66

8. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 343.96 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.87	9.25	368.6	74.2	1	75.2	35.00
10 Scruber	-	10.84	9.16	338.2	75.4	1	76.4	34.56

Position	Temperature (°C)
0.1	727.8
0.5	755.5
0.9	764
1.3	773.4
1.7	772.2
2.1	758.6
2.5	753
2.9	756.9
upper cyclone	575
10 no Scrubber	178
10 Scrubber	65

9. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(643.96 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 343.96 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.62	9.33	376.2	74	1	75	33.56
10 Scruber	-	10.98	9.09	354.2	73.4	1	74.4	35.58

Position	Temperature (°C)
0.1	732.2
0.5	758.1
0.9	763.2
1.3	770.7
1.7	770.2
2.1	774.7
2.5	729.4
2.9	742.4
upper cyclone	572
10 no Scrubber	178
10 Scrubber	66

10. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 299.86 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.9	8.27	510.2	71	1	72	42.92
10 Scruber	-	11.16	8.2	522.6	72.8	1	73.8	43.90

Position (m)	Temperature (°C)
0.1	723.2
0.5	745.2
0.9	744.2
1.3	747
1.7	752.6
2.1	757
2.5	746.7
2.9	746.6
upper cyclone	583
10 no Scrubber	208
10 Scrubber	66

11. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 299.86 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	11.3	8.63	511	71.2	1	72.2	36.76
10 Scruber	-	11.54	8.4	499.2	74	1	75	34.55

Position	Temperature (°C)
0.1	730.3
0.5	756.9
0.9	756
1.3	762.3
1.7	763.8
2.1	726.2
2.5	741.1
2.9	742.8
upper cyclone	575
10 no Scrubber	178
10 Scrubber	65

12. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(599.86 ลิตรต่อนาที) 120 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 299.86 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.79	8.17	489.8	69.8	1	70.8	37.62
10 Scruber	-	11.56	8.38	503	69.6	1	70.6	35.97

Position	Temperature (°C)
0.1	727.5
0.5	756.6
0.9	753.1
1.3	760.8
1.7	761.6
2.1	764.4
2.5	716.5
2.9	729.2
upper cyclone	572
10 no Scrubber	178
10 Scrubber	66

13. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 236.63 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.47	9.82	296.2	82.6	0.2	82.8	44.40
10 Scruber	-	10.4	9.71	258.6	81.8	1	82.8	42.56

Position (m)	Temperature (°C)
0.1	775.8
0.5	793.9
0.9	790.9
1.3	796.3
1.7	798.9
2.1	808.5
2.5	797.2
2.9	788
upper cyclone	623
10 no Scrubber	158
10 Scrubber	62

14. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 236.63 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.52	10.51	285	76	1	77	39.27
10 Scruber	-	10.38	9.91	244.8	75.4	1	76.4	37.65

Position	Temperature (°C)
0.1	792.2
0.5	813.8
0.9	811.3
1.3	818
1.7	817.1
2.1	818.4
2.5	808.9
2.9	800
upper cyclone	626
10 no Scrubber	160
10 Scrubber	62

15. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(536.63 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 236.63 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.49	9.68	265.8	75	1	76	32.63
10 Scruber	-	9.58	10.11	258.6	73.2	1	74.2	33.34

Position	Temperature (°C)
0.1	797.7
0.5	819.1
0.9	816
1.3	823
1.7	823.9
2.1	832.6
2.5	795
2.9	803.2
upper cyclone	628
10 no Scrubber	162
10 Scrubber	62

16. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 1 เมตร 199.88 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.59	9.72	411.6	76.2	1	77.2	41.02
10 Scruber	-	11.07	8.73	388	75.8	1	76.8	35.40

Position (m)	Temperature (°C)
0.1	728.5
0.5	752.4
0.9	749.3
1.3	750.9
1.7	755
2.1	769.2
2.5	761.8
2.9	749.9
upper cyclone	596
10 no Scrubber	150
10 Scrubber	63

17. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2 เมตร 199.88 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.83	9.23	381.6	73.4	1	74.4	37.05
10 Scruber	-	10.51	9.43	388.4	74.8	1	75.8	35.14

Position	Temperature (^oC)
0.1	738.7
0.5	761.6
0.9	762.3
1.3	768.8
1.7	771.3
2.1	761.6
2.5	761.9
2.9	750.8
upper cyclone	603
10 no Scrubber	155
10 Scrubber	61

18. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(499.88 ลิตรต่อนาที) 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 100 ลิตรต่อนาที อากาศทุติยภูมิป้อนที่ตำแหน่ง 2.4 เมตร 199.88 ลิตรต่อนาที

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)				
10 No Scruber	-	10.61	9.24	375	75	1	76	35.45
10 Scruber	-	10.43	9.39	377.6	73.4	1	74.4	38.59

Position	Temperature (^oC)
0.1	758.6
0.5	780.3
0.9	779.7
1.3	786.6
1.7	788.1
2.1	794.3
2.5	755.5
2.9	764.6
upper cyclone	601
10 no Scrubber	166
10 Scrubber	64

19. ถ่านหิน 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(400 ลิตรต่อนาที) 74.54 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_x	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	9.89	10.08	12585	121.4	0	357.4	121.4	41.16
4	1.3	13.71	6.6	12850.4	74.6	0	337.2	74.6	32.12
6	2.1	16.77	3.81	8516.8	44	0	216.8	44	46.57
8	2.9	13.51	9.52	9129.8	60.2	0	285.2	60.2	62.59
10 No Scruber	-	12.95	7.55	441.2	41.4	0	125	41.4	20.17
10 Scruber	-	12.94	7.23	370	39.8	0	23	39.8	22.07

Position (m)	Temperature (^{o}C)
0.1	701
0.5	695.7
0.9	725.1
1.3	692
1.7	722
2.1	720.1
2.5	752.4
2.9	784.2
10 no Scrubber	208
10 Scrubber	60

20. ถ่านหินผสมแกลบ 50:50 อากาศรวม(400 ลิตรต่อนาที) 80.02 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_x	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	8.43	11.41	11221	128.8	0	355.2	128.8	45.46
4	1.3	7.86	11.94	4755.2	104	0	375	104	51.96
6	2.1	16.62	4.95	3569.2	41.4	0	145.2	41.4	25.62
8	2.9	13.1	9.89	5425.6	90	0	287.8	90	26.13
10 No Scruber	-	12.97	7.32	419.2	38.4	0	90.8	38.4	18.35
10 Scruber	-	12.92	7.37	318.4	36.6	0	38	36.6	18.55

Position	Temperature (^{o}C)
0.1	699.8
0.5	710
0.9	754.3
1.3	819.5
1.7	835.3
2.1	628.7
2.5	701.2
2.9	787.1
10 no Scrubber	212
10 Scrubber	65

21. แกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศรวม(400 ลิตรต่อนาที) 86.37 เปอร์เซ็นต์ ในการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที ป้อนอากาศที่ screw feeder ของแกลบ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

Position	Height	O_2	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	NO_X	N_2O
	(m)	(%)		(ppm)					
2	0.5	10.32	9.7	7802.6	123.6	0	316.4	123.6	41.68
4	1.3	8.74	11.13	4194	105.4	0	347.6	105.4	26.59
6	2.1	11.52	8.6	2895.8	81.2	0	220.4	81.2	60.54
8	2.9	12.23	7.83	4839.4	77.8	0	235.2	77.8	23.77
10 No Scruber	-	12.98	6.41	400	37.5	0	81.4	37.5	17.68
10 Scruber	-	13.3	6.34	327.6	35.4	0	34	35.4	18.94

Position	Temperature (°C)
0.1	676.3
0.5	684.1
0.9	723.8
1.3	810.4
1.7	844.7
2.1	808.9
2.5	665.2
2.9	758
10 no Scrubber	215
10 Scrubber	69

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประจักษ์ ทรัพย์อุดมมาก เกิดวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2547