บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองต่างๆที่ทำการวิจัยโดยการผลการทดลองดังกล่าวคือ

5.1 การหาคุณสมบัติของทรายที่ใช้เป็นเบด

5.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษ

5.3 การทดลองปรับเทียบค่าอัตราการป้อนกากตะกอนด้วยเครื่องป้อนกากตะกอนแบบสกรูและปรับเทียบความเร็วกับอัตราการไหลของอากาศ

5.4 การหาค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่น

5.5 การหาค่าความเร็วตกอิสระของของแข็งในของไหลที่อยู่นิ่ง

5.6 การหาค่าความเร็วของของไหลที่ใช้ในการฟลูอิดไดเซชั่น

5.7 ผลการทดลองการเผากากตะกอนที่เกิดจากระบวนการผลิตกระดาษ

ซึ่งรายละเอียดต่างๆมีดังต่อไปนี้

5.1 การหาคุณสมบัติของทรายที่ใช้เป็นเบด

การหาคุณสมบัติของทรายที่ใช้เป็นเบดมีการหาคุณสมบัติต่างๆดังนี้คือ สัดส่วนช่องว่าง ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า และความหนาแน่นโดยวิธีการหาคุณสมบัติดังกล่าวมีรายละเอียดตามที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.3.1 สำหรับวิธีการคำนวณคุณสมบัติดังกล่าวแสดงรายละเอียดให้เห็นในภาคผนวก ก โดยผลของการหาคุณสมบัติของทรายที่ใช้เป็นเบดได้ทำการสรุปไว้ในตารางที่ 5.1.1

5.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษ

คุณสมบัติของกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษ สามารถทำการวิเคราะห์ได้ 2 วิธีคือ การวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนแบบประมาณ และการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนแบบละเอียด ซึ่งวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณจะเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัวของตัวอย่างกาก

ตะกอนที่ใช้ในการทดลอง ส่วนวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนแบบละเอียดจะเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกากตะกอนซึ่งธาตุดังกล่าวได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และซัลเฟอร์ (S) รวมทั้งการหาคุณค่าทางความร้อน (Heating Value) ของกากตะกอนดังกล่าวด้วย โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนแบบประมาณแสดงให้เห็นในหัวข้อที่ 4.4.1 ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วนั้นวิธีการวิเคราะห์ของกากตะกอนแบบประมาณและแบบละเอียดนี้ได้ทำการวิเคราะห์โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์ ซึ่งผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนแบบประมาณและแบบละเอียดได้แสดงให้เห็นไว้ในตารางที่ 5.2.1 และตารางที่ 5.2.2

5.3 การทดลองปรับเทียบอัตราการป้อนกากตะกอนด้วยเครื่องป้อนกากตะกอนแบบสกรูและปรับเทียบความเร็วกับอัตราการไหลของอากาศ

ผลการทดลองการปรับเทียบอัตราการป้อนกากตะกอนด้วยเครื่องป้อนกากตะกอนแบบสกรูและปรับเทียบความเร็วกับอัตราการไหลของอากาศแสดงให้เห็นไว้ในตารางที่ 5.3.1 และ ในตารางที่ 5.3.2 ซึ่งเมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนกากตะกอนกับความเร็วรอบของเครื่องป้อนกากตะกอนและความเร็วกับอัตราการไหลของอากาศจะได้กราฟดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.3.1 และรูปที่ 5.3.2

5.4 การหาค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่น

สำหรับวิธีการหาค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่นนั้นทำได้ด้วยกัน 2 วิธีคือ วิธีการทดลองและวิธีการคำนวณ โดยวิธีการทดลองนั้นแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 4.6.1 และผลของการทดลองแสดงให้เห็นตารางที่ 5.4.1 ซึ่งเมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟจะมีรายละเอียดตามรูปที่ 5.4.1 สำหรับวิธีการและผลการคำนวณจะแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข

5.5 การหาค่าความเร็วตกอิสระของของแข็งในของไหลที่อยู่นิ่ง

วิธีการหาค่าความเร็วตกอิสระของของแข็งในของไหลที่อยู่นิ่งนั้นทำได้โดยการคำนวณซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.7.3 ซึ่งผลของการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ค

5.6 การหาค่าความเร็วของของไหลที่ใช้ในการฟลูอิดไดเซชั่น

โดยทั่วไปการเดินเครื่องอุปกรณ์ฟลูอิดไดเซชั่น จะทำการเดินเครื่องที่ความเร็วของของไหลเป็น 2-5 เท่าของความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่น ซึ่งก็คือความเร็วของของไหลที่ใช้ในการฟลูอิดไดเซชั่นนั่นเอง โดยรายละเอียดและผลของการคำนวณค่าความเร็วดังกล่าวแสดงไว้ในภาคผนวก ง

5.7 ผลการทดลองการเผากากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษ

สำหรับวิธีการทดลองเผากากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษนั้น ได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 4.3 ซึ่งผลการทดลองเผากากตะกอนดังกล่าวแสดงให้เห็นไว้ในตารางที่ 5.7.1-5.7.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1.1 การวิเคราะห์ทรายที่ใช้เป็นเบด

รายละเอียดคุณสมบัติของทรายที่ใช้เป็นเบด	สัญลักษณ์	หน่วย	ผลการทดลอง
ขนาดของทราย		เมช	20-50
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย		ไมครอน	366.41
สัดส่วนช่องว่าง	ε_m		0.38
ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า	ϕ_s		0.97
ความหนาแน่น	ρ_s	กก./ลบ.ม.	2,230
ความสูงของเบดนิ่ง	L_{mf}	เมตร	0.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนแบบประมาณ

การวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ		
รายละเอียดการวิเคราะห์	หน่วย	ค่าที่ได้
เถ้า	%	11.3
ความชื้น	%	70.9
ปริมาณสารระเหย	%	17.7
คาร์บอนคงตัว	%	0.10

ตารางที่ 5.2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติกากตะกอนแบบละเอียด

การวิเคราะห์คุณสมบัติแบบละเอียด		
รายละเอียดการวิเคราะห์	หน่วย	ค่าที่ได้
คาร์บอน	%	6.4
ไฮโดรเจน	%	9.0
ไนโตรเจน	%	0.20
ซัลเฟอร์	%	0.07
ออกซิเจน	%	73.0
คุณค่าทางความร้อน	Joule/g	2,020.87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3.1 การปรับเทียบอัตราการป้อนกากตะกอน

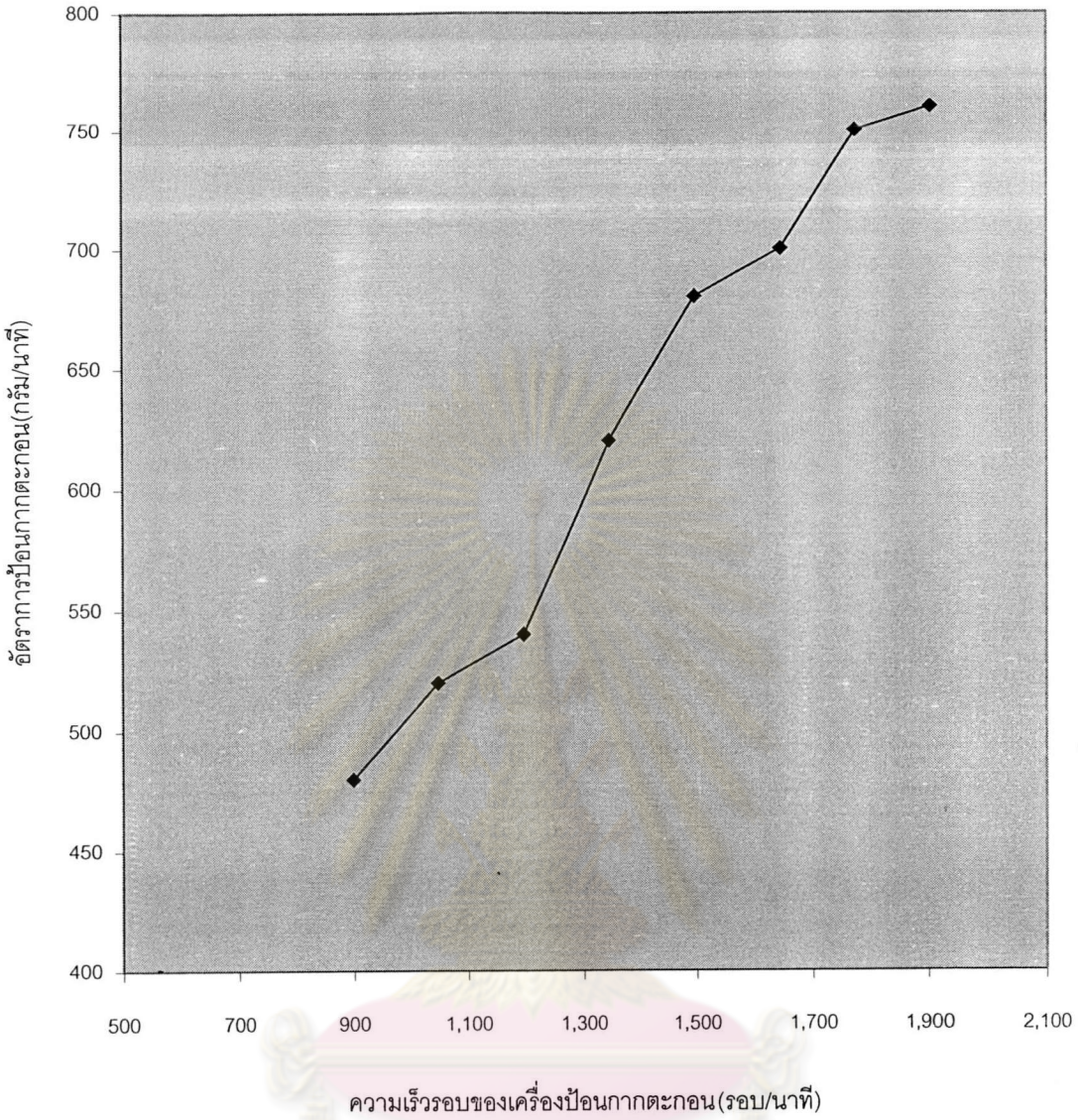
ค่าตัวปรับความเร็ว (Hz)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	อัตราการป้อนกากตะกอน (กรัม/นาที)
30	898.3	480
35	1,047	520
40	1,197	540
45	1,347	620
50	1,498	680
55	1,647	700
60	1,775	750
63.5	1,905	760

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3.2 การปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ

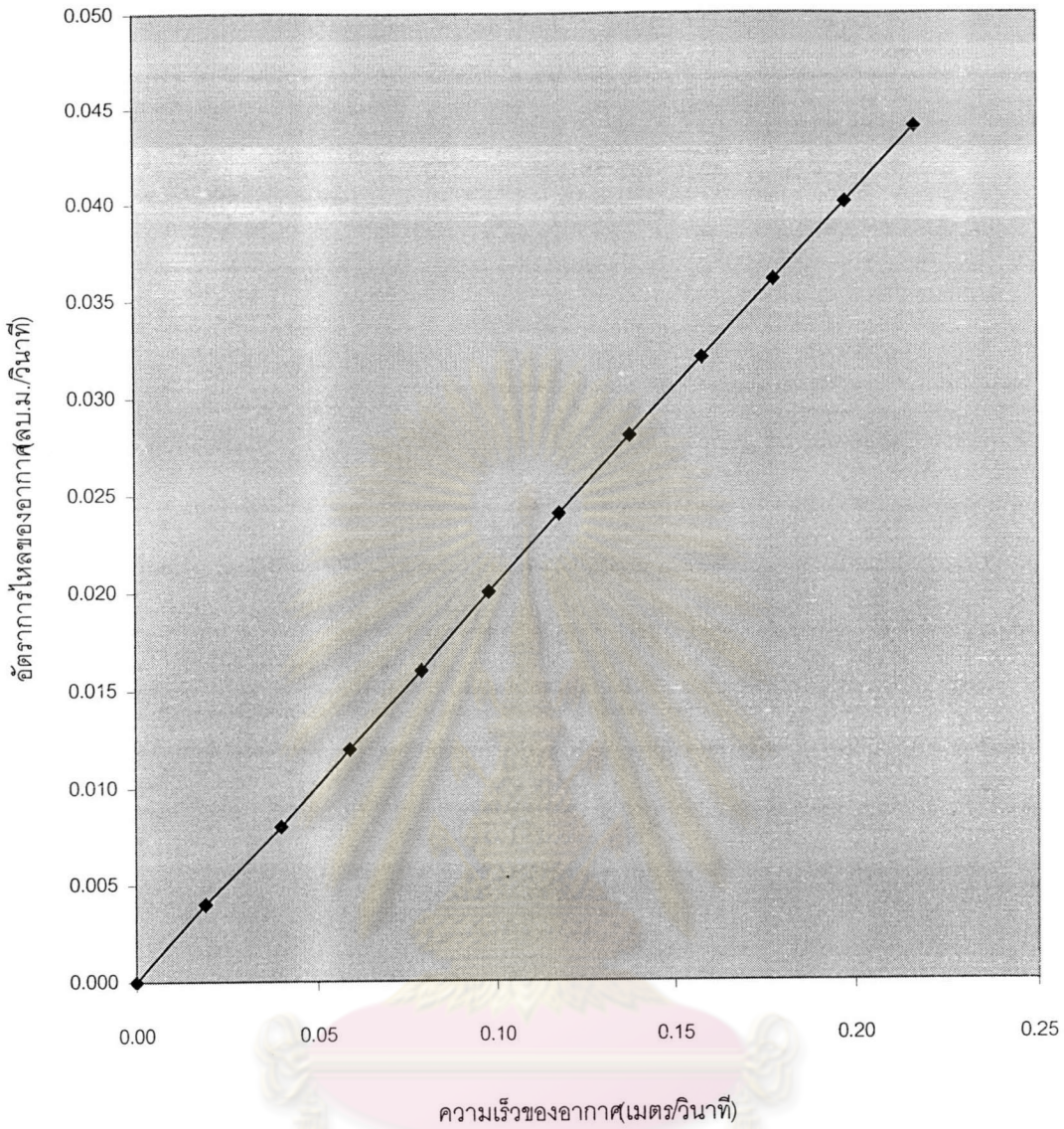
ความเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที)	อัตราการไหลของอากาศผ่านเบด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
0.22	0.044
0.20	0.040
0.18	0.036
0.16	0.032
0.14	0.028
0.12	0.024
0.10	0.020
0.08	0.016
0.06	0.012
0.04	0.008
0.02	0.004
0.00	0.000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนกากตะกอนกับความเร็วรอบของเครื่องป้อนกากตะกอน



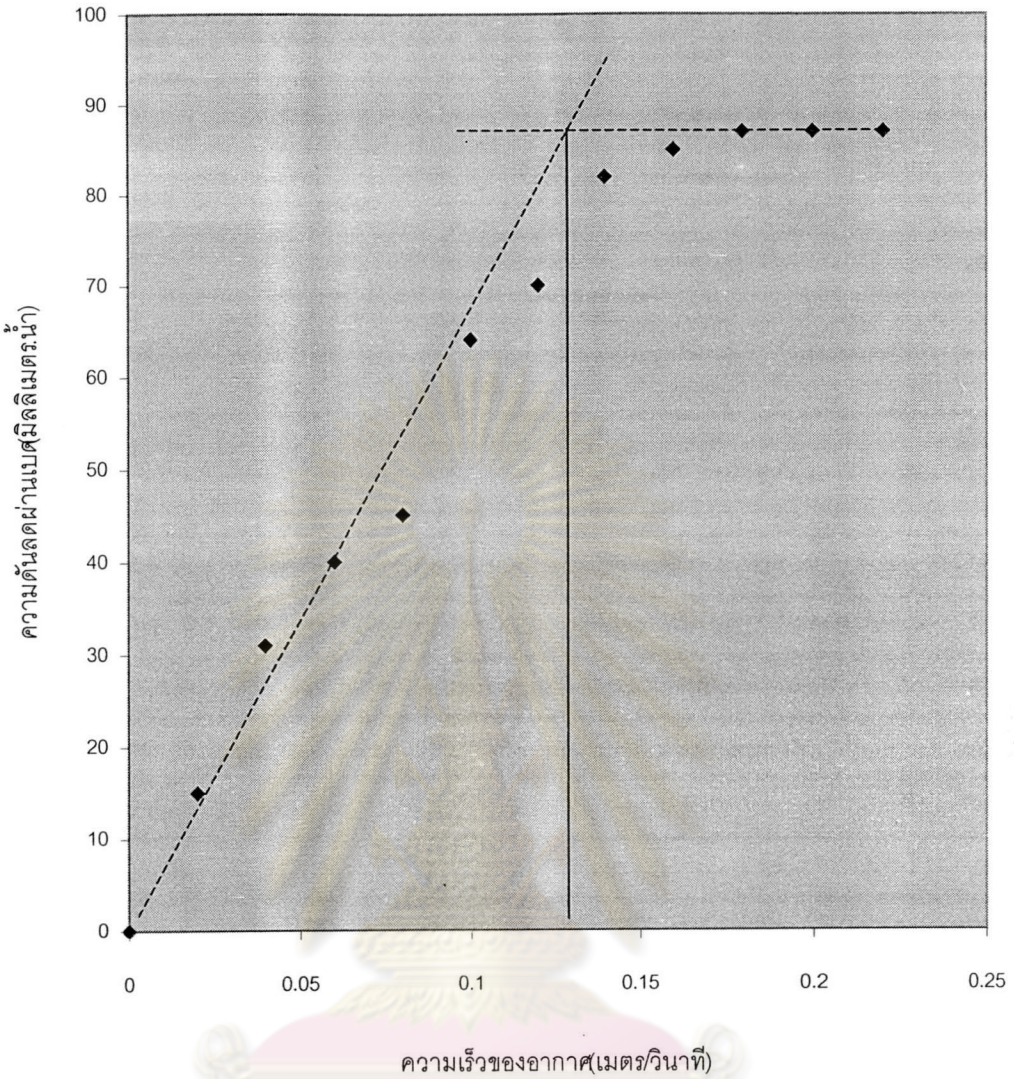
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วของอากาศ

ตารางที่ 5.4.1 ผลการทดลองการหาค่าความเร็วของอากาศกับความดันลดผ่านเบด

ความเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที)	ความดันลดผ่านเบด (มิลลิเมตร.น้ำ)
0.22	87
0.20	87
0.18	87
0.16	85
0.14	82
0.12	70
0.10	64
0.08	45
0.06	40
0.04	31
0.02	15
0.00	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.4.1 กราฟค่าความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดเซชั่น

ตารางที่ 5.7.1 แสดงรายละเอียดผลการทดลองการเผากากตะกอนที่อุณหภูมิเบด 850±10 °C

รายละเอียดของข้อมูล	หน่วย	การทดลองครั้งที่			
		1	2	3	4
อัตราการป้อนกากตะกอน	g/min	666	688	703	713
ความเร็วของอากาศ (U_f)	m/s	0.13	0.15	0.17	0.19
อัตราการไหลของอากาศ	m^3/s	1.60	1.83	2.07	2.31
$U_f : U_{mf}$		1.05	1.20	1.35	1.50
% ปริมาณอากาศส่วนเกิน	%	296.98	338.69	386.16	435.06
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง		2.76:1	3.05:1	3.38:1	3.72:1
อุณหภูมิก๊าซเสียออกจากปล่อง	°C	446	472	475	496
O_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	18.4	19.2	19.6	20.2
CO_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	6.5	6	5.4	5
CO ของก๊าซร้อนที่ทางออก	ppm	1053	1075	1120	1127
N_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	75	74.7	74.9	74.7
ปริมาณเถ้า	g/min	202.5	207.1	213.4	217.3
คุณค่าทางความร้อนของเถ้า	cal/g	825.92	816.72	755.21	737.22
ประสิทธิภาพการเผาไหม้	%	84.93	85.49	86.71	87.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7.2 แสดงรายละเอียดผลการทดลองการเผากากตะกอนที่อุณหภูมิเบด 900±10 °C

รายละเอียดของข้อมูล	หน่วย	การทดลองครั้งที่			
		1	2	3	4
อัตราการป้อนกากตะกอน	g/min	700	717	725	737
ความเร็วของอากาศ (U_f)	m/s	0.13	0.15	0.17	0.19
อัตราการไหลของอากาศ	m^3/s	1.60	1.83	2.07	2.31
$U_f : U_{mf}$		1.05	1.20	1.35	1.50
% ปริมาณอากาศส่วนเกิน	%	278.3	321.43	370.34	417.80
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง		2.63:1	2.93:1	3.27:1	3.60:1
อุณหภูมิก๊าซเสียออกจากปล่อง	°C	520	545	564	582
O_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	17.9	18.5	19	20
CO_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	6.9	6	5.5	5
CO ของก๊าซร้อนที่ทางออก	ppm	1015	1053	1083	1138
N_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	75.1	75.4	75.4	74.9
ปริมาณเถ้า	g/min	203.2	207	195	187.4
คุณค่าทางความร้อนของเถ้า	cal/g	797.47	778.22	742.66	682.83
ประสิทธิภาพการเผาไหม้	%	86	86.65	88.35	90.03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7.3 แสดงรายละเอียดผลการทดลองการเผากากตะกอนที่อุณหภูมิเบด 950±10 °C

รายละเอียดของข้อมูล	หน่วย	การทดลองครั้งที่			
		1	2	3	4
อัตราการป้อนกากตะกอน	g/min	720	740	753.3	760
ความเร็วของอากาศ (U_f)	m/s	0.13	0.15	0.17	0.19
อัตราการไหลของอากาศ	m^3/s	1.60	1.83	2.07	2.31
$U_f : U_{mf}$		1.05	1.20	1.35	1.50
% ปริมาณอากาศส่วนเกิน	%	266.77	308.49	353.08	401.98
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง		2.55:1	2.84:1	3.15:1	3.49:1
อุณหภูมิก๊าซเสียออกจากปล่อง	°C	610	618	634	651
O_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	18	18.7	19.5	20.3
CO_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	7.2	6.4	6	5.4
CO ของก๊าซร้อนที่ทางออก	ppm	1016	1052	113	1145
N_2 ของก๊าซร้อนที่ทางออก	%	74.7	74.8	74.4	74.2
ปริมาณเถ้า	g/min	198	203.4	195.3	210.6
คุณค่าทางความร้อนของเถ้า	cal/g	767.34	732.62	692.03	662.33
ประสิทธิภาพการเผาไหม้	%	87.19	87.97	89.46	89.34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย