

การเผาไหม้ขยะในฟลูอิโดซ์เบด

นายวีระยุทธ ดั่งทะรัฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-004-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๙ ๙๗๗๒๕๙๖

Combustion of municipal solid waste in fluidized bed

Mr. Veerayuth Tangharat


A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemical Technology
Graduate school
Chulalongkorn University

1994

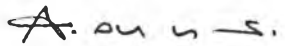
ISBN 974-584-004-1


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเผาไหม้ขยะในฟลูอิโดซ์เบด
โดย นายวีระยุทธ ตั้งหะรัฐ
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

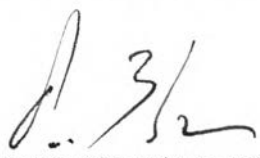

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชราพงษ์ วิฑิตศานต์)

วิทยุทธ ตั้งหะรัฐ : การเผาไหม้ขยะในฟลูอิดไรเซดเบด (COMBUSTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN FLUIDIZED BED) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ, 211 หน้า. ISBN 974-584-004-1

การเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม รวมทั้งการมีประชากรเพิ่มสูงขึ้นของประเทศไทย เป็นสิ่งนำไปสู่การเกิดปริมาณขยะอย่างมากมาย ทำให้ต้องใช้พื้นที่อย่างมากในการรองรับปริมาณขยะดังกล่าว ดังนั้นชุมชนต่าง ๆ จึงพยายามหาวิธีการกำจัดโดยวิธีอื่นเช่น การย่อยสลาย การเผาทิ้ง ซึ่งการเผาทิ้งเป็นกระบวนการที่ง่าย รวดเร็ว เสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่เตาเผาขยะที่ใช้ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพต่ำ งานวิจัยนี้จึงได้เสนอเตาเผาขยะแบบฟลูอิดไรเซดเบดซึ่งมีเม็ดทรายไหลวนอยู่ในเตาเผา โดยการทดลองทั้งหมดมี 3 ตอน ในการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ใช้เตาเผาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 ซม. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ มีตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราการไหลของอากาศ 120.33 ม³/ชม. ถึง 227.62 ม³/ชม., อัตราการป้อนขยะ 3.04 กก./ชม. ถึง 13.06 กก./ชม. และอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 1.07 กก./ชม. ถึง 1.69 กก./ชม. ส่วนในการทดลองตอนที่ 3 ศึกษาค่าใช้จ่ายของก๊าซแอลพีจีเมื่อเตาเผาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 ซม. โดยเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 2.05 กก./ชม. ถึง 2.69 กก./ชม. มีอัตราการป้อนขยะคงที่ที่ 28.00 กก./ชม. และมีอัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 240.03 ม³/ชม.

จากผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ของการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2 พบว่า อัตราการไหลของอากาศมีค่า 187.17 ม³/ชม. และ 211.67 ม³/ชม., อัตราการป้อนขยะมีค่า 9.69 กก./ชม. และ 10.99 กก./ชม. ตามลำดับ ส่วนอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีทั้ง 2 การทดลองมีค่า 1.40 กก./ชม. และในการทดลองตอนที่ 3 ค่าใช้จ่ายของก๊าซแอลพีจีต่ำสุดที่อัตราการไหล 2.38 กก./ชม. เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมจึงทำการเผาไหม้ขยะอย่างต่อเนื่อง พบว่าอัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าสูงถึง 99.93 และค่าใช้จ่ายของการเผาไหม้ขยะประมาณ 0.91 บาทต่อขยะ 1 กก.

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิติกร พล. วิทยุทธ ตั้งหะรัฐ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C525674 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD : MUNICIPAL SOLID WASTE / COMBUSTION / FLUIDIZED BED

VEERAYUTH TANGHARAT : COMBUSTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN
FLUIDIZED BED. THESIS ADVISOR : PROF. SOMSAK DAMRONGLERD,
ph.D. 211 pp. ISBN 974-584-004-1

The rapid growth of economics and population in Thailand is bringing a great amount of solid waste, originating from various industrial factories and households. Big pieces of area are needed for filling all of them. Waste elimination procedures chosen by most of municipalities in Thailand are still classical ; waste decomposition and burning are widely practiced since the cost is not too high and the operation is quit simple and rapid. Nevertheless the use of classical furnace has shown inadequate efficiency. This thesis work introduced a fluidization combustor with sand circulating in the bed. In this study involves three steps. First and second steps were carried out in a 15 cm diameter combustor. The air flow rates from 120.33 m³/hr to 227.62 m³/hr, solid waste feed rates from 3.04 kg/hr to 13.06 kg/hr and LPG flow rates from 1.07 kg/hr to 1.69 kg/hr in order to get optimal operating condition of high efficiency. Third step, combustor has a diameter of 20 cm. LPG were varied from 2.05 kg/hr to 2.69 kg/hr with the solid waste feed rates 28.00 kg/hr and the air flow rates 240.03 m³/hr.

The results showed that the optimum operating conditions, in first and second steps were air flow rates 187.17 m³/hr and 211.67 m³/hr, solid waste feed rates of 9.69 kg/hr and 10.99 kg/hr ,respective, and LPG flow rates at 1.40 kg/hr. In third step, LPG flow rates of 2.38 kg/hr. The continous operation would achieve to highest combustion efficiency of 99.93 percent and the operating cost of LPG was 0.91 bahts per kilogram of municipal solid waste.

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา.....2536.....

ลายมือชื่อนิสิต.....นาง. วิมลพร อังนันทน์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมี เทคนิค ที่ได้ให้คำแนะนำ

ขอขอบพระคุณสำนักวิชาความสะอาด กรุงเทพมหานคร ที่กรุณาให้ข้อมูลและตัวอย่าง ชยะเพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณบริษัท บุญรอด บริวเวอรี่ จำกัด ที่กรุณาให้ ตัวอย่างตะกอนสลัดจ์เพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ศักดิ์ ตันตพานิช และคุณสมมิตร วงศ์ไพบุลย์ ที่กรุณาให้สถานที่ เครื่องมือ และทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่กรุณาช่วยเหลือพร้อมอำนวยความสะดวกในงานวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิค และผู้อยู่เบื้องหลังทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ต

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 มูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
2. วารสารปริทัศน์	3
2.1 ชยะ	3
2.1.1 ประเภทของชยะ	3
2.1.2 องค์ประกอบของชยะ	4
2.1.3 ชยะในประเทศไทย	7
2.2 การเผาไหม้	15
2.2.1 การเผาไหม้	15
2.2.2 ปฏิกิริยาเคมี	17
2.2.3 การติดไฟหรือการลุกไหม้	18
2.2.4 กระบวนการเผาไหม้	19

2.3	ฟลูอิดไฮดรอลิก	27
2.4	ผลงานวิจัยในอดีต	30
3.	เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง	33
3.1	ระบบการเตรียมวัตถุดิบ	33
3.2	ระบบการเผาไหม้	33
3.3	ระบบการวิเคราะห์ก๊าซ	35
4.	วิธีการทดลอง	48
4.1	การปรับปรุงเครื่องมือวิจัย	48
4.2	การหาความเร็วของอากาศโดยเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ของโรตاميเตอร์	52
4.3	การหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไฮดรอลิก	52
4.4	การหาอัตราการบ่อนชะของเครื่องบ่อนชะแบบสกรู	53
4.5	การเตรียมวัตถุดิบในการวิจัย	53
4.6	การเผาขยะอย่างต่อเนื่องในฟลูอิดไฮดรอลิก	54
4.7	สภาวะในการเผาไหม้	55
5.	ผลการทดลอง	59
5.1	ผลการหาค่าคุณสมบัติของขยะ	59
5.2	การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไฮดรอลิก	65
5.3	ผลการทดลองเผาขยะในฟลูอิดไฮดรอลิก	65
6.	วิจารณ์ผลการทดลอง	109
6.1	คุณสมบัติของตะกอนสัลดจ์และขยะจากบ้านเรือน	109
6.2	ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไฮดรอลิกของเบด	109
6.3	ผลการทดลองเผาไหม้ขยะ	110
6.3.1	สภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ตะกอนสัลดจ์หรือขยะในการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2	111
6.3.2	สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองตอนที่ 3	124
6.4	การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเผาขยะ	129
7.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	132
7.1	คุณสมบัติของขยะ	132
7.2	ผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้	132

บทที่	หน้า
7.2.1 อัตราการไหลของอากาศ	132
7.2.2 อัตราการป้อนขยะ	133
7.2.3 อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี	133
7.3 สภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้	133
เอกสารอ้างอิง	135
ภาคผนวก	137
ประวัติผู้เขียน	211

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แหล่งที่มาของขยะจากบ้านเรือน	4
2-2	องค์ประกอบทางเคมีของขยะ แบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ขยะแบบประมาณ และการวิเคราะห์ขยะแบบแยกธาตุ	5
2-3	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะ	6
2-4	องค์ประกอบทางเคมีของขยะ โดยการวิเคราะห์ขยะแบบประมาณ	9
2-5	องค์ประกอบทางเคมีของขยะ โดยการวิเคราะห์ขยะแห้งแบบแยกธาตุ ..	10
4-1	สภาวะการทดลองเผาไหม้ตะกอนสลัดจ์ในการทดลองตอนที่ 1.1	56
4-2	สภาวะการทดลองเผาไหม้ขยะในการทดลองตอนที่ 1.2	57
4-3	สภาวะการทดลองเผาไหม้ขยะในการทดลองตอนที่ 2	58
4-4	สภาวะการทดลองเผาไหม้ขยะในการทดลองตอนที่ 3	58
5-1	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และการวิเคราะห์แบบประมาณของ ตะกอนสลัดจ์	59
5-2	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และการวิเคราะห์แบบประมาณของ ขยะโดยเฉลี่ย	60
5-3	ค่าความร้อนของตะกอนสลัดจ์และขยะ รวมทั้งค่าความร้อนของ ถ้ำ โดยเฉลี่ย	60
5-4	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของตะกอนสลัดจ์ ในการทดลอง ตอนที่ 1.1	61
5-5	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของขยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2	61
5-6	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของขยะ ในการทดลองตอนที่ 2	62
5-7	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของขยะ ในการทดลองตอนที่ 3	62
5-8	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของตะกอนสลัดจ์ ในการทดลอง ตอนที่ 1.2	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5-9	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของชยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2	63
5-10	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของชยะ ในการทดลองตอนที่ 2	64
5-11	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของชยะ ในการทดลองตอนที่ 3	64
5-12	ผลการทดลองเผาตะกอนสลัดจ์ ในการทดลองตอนที่ 1.1	67
5-13	ผลการทดลองเผาชยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2	68
5-14	ผลการทดลองเผาชยะ ในการทดลองตอนที่ 2	69
5-15	ผลการทดลองเผาชยะ ในการทดลองตอนที่ 3	69
6-1	สภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้ในการทดลองตอนที่ 1	126
6-2	สภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้ในการทดลองตอนที่ 2	126
6-3	สภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้ในการทดลองตอนที่ 3	127
6-4	ค่าใช้จ่ายที่ใช้ของก๊าซเองพีจี	130
6-5	ค่าใช้จ่ายของก๊าซแอลพีจีต่อการเผาชยะ 1 กิโลกรัม ที่สภาวะ เหมาะสมของการทดลอง	130

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	ชบวนการทำงานของโรงงานกำจัดขยะ	14
2-2	กระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในเปลวไฟแบบที่มีการผสมกันก่อนเกิด การเผาไหม้	21
2-3	กระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟแบบที่ไม่มีการผสมกันก่อน	22
2-4	องค์ประกอบของขยะ	23
2-5	การเผาไหม้ของของแข็ง	24
2-6	การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้โดยทั่วไปของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็ง	28
2-7	การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งในฟลูอิดไต์ซ์เบด	28
3-1	สัดส่วนของเตาเผาแบบฟลูอิดไต์ซ์เบด ในการทดลองตอนที่ 1	37
3-2	สัดส่วนของเตาเผาแบบฟลูอิดไต์ซ์เบด ในการทดลองตอนที่ 2	38
3-3	สัดส่วนของเตาเผาแบบฟลูอิดไต์ซ์เบด ในการทดลองตอนที่ 3	39
3-4	ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไต์ซ์เบด	40
3-5	ภาพ 3 มิติ ของระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไต์ซ์เบด	41
3-6	เตาเผาแบบฟลูอิดไต์ซ์เบด ในการทดลองตอนที่ 1 และ 2	42
3-7	เตาเผาแบบฟลูอิดไต์ซ์เบด ในการทดลองตอนที่ 3	42
3-8	เครื่องดักฝุ่นแบบไซโคลนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลอง ตอนที่ 1 และ 2	43
3-9	เครื่องดักฝุ่นแบบไซโคลน ในการทดลองตอนที่ 3	43
3-10	เครื่องดักฝุ่นและก๊าซแบบดูดซึม ในการทดลองตอนที่ 1 และ 2	44
3-11	เครื่องดักฝุ่นและก๊าซแบบดูดซึม ในการทดลองตอนที่ 3	44
3-12	เครื่องควบคุมอุณหภูมิและอัตราการป้อนขยะ ในการทดลอง ตอนที่ 1 และ 2	45
3-13	เครื่องเป่าอากาศ	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

3-14	เครื่องวัดความเร็วของอากาศ	46
3-15	เครื่องตัดย่อยขยะ	46
3-16	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน	47
3-17	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ..	47
4-1	กระบวนการทำงานของระบบจุดติดที่หัวเผาโดยอัตโนมัติ	49
4-2	วิธีการขึ้นรูปหัวเผา	51
4-3	หัวเผาเซรามิกส์	51
5-1	การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน ในการทดลอง ตอนที่ 1 และ 2	70
5-2	การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน ในการ ทดลองตอนที่ 3	71
5-3	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ตะกอนสลัดจ์ ในการทดลอง ตอนที่ 1.1 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.07 กก./ชม. และมีอัตราการป้อนตะกอนสลัดจ์คั้งที่ 2.71 กก./ชม. ที่อัตรา การไหลของอากาศต่าง ๆ กัน	72
5-4	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ตะกอนสลัดจ์ ในการทดลอง ตอนที่ 1.1 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.40 กก./ชม. และมีอัตราการป้อนตะกอนสลัดจ์คั้งที่ 3.56 กก./ชม. ที่อัตรา การไหลของอากาศต่าง ๆ กัน	73
5-5	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.07 กก./ชม. และมีอัตราการ ป้อนขยะคั้งที่ 4.17 กก./ชม. ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน ..	74
5-6	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.40 กก./ชม. และมีอัตราการ ป้อนขยะคั้งที่ 6.94 กก./ชม. ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน ..	75
5-7	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.69 กก./ชม. และมีอัตราการ ป้อนขยะคั้งที่ 7.80 กก./ชม. ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน ..	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5-8	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ชยะ ในการทดลองตอนที่ 2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.07 กก./ชม. และมีอัตราการ ป้อนชยะคั้งที่ 5.29 กก./ชม. ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน ..	77
5-9	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ชยะ ในการทดลองตอนที่ 2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.40 กก./ชม. และมีอัตราการ ป้อนชยะคั้งที่ 7.80 กก./ชม. ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน ..	78
5-10	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ชยะ ในการทดลองตอนที่ 2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.69 กก./ชม. และมีอัตราการ ป้อนชยะคั้งที่ 7.80 กก./ชม. ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน ..	79
5-11	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ตะกอนสัลดั้ ในการทดลองตอนที่ 1.1 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.07 กก./ชม. และมีอัตรา การไหลของอากาศคั้งที่ 187.17 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนตะกอนสัลดั้ ต่าง ๆ กัน	80
5-12	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ตะกอนสัลดั้ ในการทดลองตอนที่ 1.1 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.40 กก./ชม. และมีอัตรา การไหลของอากาศคั้งที่ 187.17 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนตะกอนสัลดั้ ต่าง ๆ กัน	81
5-13	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ตะกอนสัลดั้ ในการทดลองตอนที่ 1.1 มีอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.69 กก./ชม. และมีอัตรา การไหลของอากาศคั้งที่ 187.17 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนตะกอนสัลดั้ ต่าง ๆ กัน	82
5-14	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ชยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.07 กก./ชม. และมีอัตราการไหล ของอากาศคั้งที่ 187.17 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนชยะต่าง ๆ	83
5-15	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ชยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.40 กก./ชม. และมีอัตราการไหล ของอากาศคั้งที่ 187.17 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนชยะต่าง ๆ	84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5-16	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.69 กก./ชม. และมีอัตราการไหล ของอากาศคั้งที่ 187.17 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนขยะต่าง ๆ	85
5-17	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.07 กก./ชม. และมีอัตราการไหล ของอากาศคั้งที่ 211.67 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนขยะต่าง ๆ	86
5-18	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.40 กก./ชม. และมีอัตราการไหล ของอากาศคั้งที่ 211.67 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนขยะต่าง ๆ	87
5-19	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 2 มี อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีคั้งที่ 1.69 กก./ชม. และมีอัตราการไหล ของอากาศคั้งที่ 211.67 ม ³ /ชม. ที่อัตราการป้อนขยะต่าง ๆ	88
5-20	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ในการทดลองตอนที่ 3 มี อัตราการไหลของอากาศคั้งที่ 240.03 ม ³ /ชม. และมีอัตราการป้อนขยะ คั้งที่ 28 ก.ก./ชม. ที่อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีต่าง ๆ กัน	89
5-21	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ตะกอนสลัดจ์ ที่สภาวะเหมาะสม ในการทดลองตอนที่ 1.1 โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 187.17 ม ³ /ชม. อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 1.40 กก./ชม. และอัตราการป้อนตะกอน สลัดจ์ 6.73 กก./ชม.	90
5-22	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ที่สภาวะเหมาะสม ในการทดลองตอนที่ 1.2 โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 187.17 ม ³ /ชม. อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 1.40 กก./ชม. และอัตราการป้อนขยะ 9.69 กก./ชม.	91
5-23	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ที่สภาวะเหมาะสม ในการทดลองตอนที่ 2 โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 211.67 ม ³ /ชม. อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 1.40 กก./ชม. และอัตราการป้อนขยะ 10.99 กก./ชม.	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5-24	อุณหภูมิของเบตกับเวลาในการเผาไหม้ขยะ ที่สภาวะเหมาะสม ในการทดลองตอนที่ 3 โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 240.03 ม ³ /ชม. อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 2.38 กก./ชม. และอัตราการป้อนขยะ 28.00 กก./ชม.	93
5-25	อัตราการไหลของอากาศกับน้ำหนักของเถ้าที่ ออกจากคอลัมน์ ในการทดลองตอนที่ 1.1	94
5-26	อัตราการไหลของอากาศกับน้ำหนักของเถ้าที่ ออกจากคอลัมน์ ในการทดลองตอนที่ 1.2	95
5-27	อัตราการไหลของอากาศกับน้ำหนักของเถ้าที่ ออกจากคอลัมน์ ในการทดลองตอนที่ 2	96
5-28	อัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพการเผาไหม้ กับอัตราการป้อน ตะกอนสลัดจ์ ในการทดลองตอนที่ 1.1	97
5-29	อัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพการเผาไหม้ กับอัตราการป้อนขยะ ในการทดลองตอนที่ 1.2	98
5-30	อัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพการเผาไหม้ กับอัตราการป้อนขยะ ในการทดลองตอนที่ 2	99
5-31	อัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพการเผาไหม้ กับอัตราการไหล ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 1.1	100
5-32	อัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพการเผาไหม้ กับอัตราการไหล ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 1.2	101
5-33	อัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพการเผาไหม้ กับอัตราการไหล ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 2	102
5-34	อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ กับอัตราการไหล ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 1.1	103
5-35	อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ กับอัตราการไหล ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 1.2	104
5-36	อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ กับอัตราการไหล ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 2	105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-37	อัตราส่วนร้อยละของอากาศมากเกินไปกับอัตราการใช้ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 1.1	106
5-38	อัตราส่วนร้อยละของอากาศมากเกินไปกับอัตราการใช้ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 1.2	107
5-39	อัตราส่วนร้อยละของอากาศมากเกินไปกับอัตราการใช้ของอากาศ ในการทดลองตอนที่ 2	118

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$C_{p_{mean}}$	=	ความจุความร้อนของสาร, กิโลแคลอรี/กิโลกรัมโมล °ซ
Hm	=	ความชื้นโมลแลล, โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง
i	=	ปริมาณกระแสไฟฟ้า, แอมแปร์
t	=	เวลา, ชั่วโมง
TC1	=	อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเตาเผา, °ซ
TC2	=	อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 5 เซนติเมตร, องศาเซลเซียส
TC3	=	อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 25 เซนติเมตร, องศาเซลเซียส
TC4	=	อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 55 เซนติเมตร, องศาเซลเซียส
TC5	=	อุณหภูมิที่ออกจากเตาเผา, องศาเซลเซียส
Td	=	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, องศาเซลเซียส
Tw	=	อุณหภูมิกระเปาะเปียก, องศาเซลเซียส
U_{mf}	=	ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไธซ์เบต, เมตร/วินาที
v	=	ความต่างศักย์, โวลต์(จูล/วินาที แอมแปร์)