

การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ป้องกันภัยสำหรับเตาเผา

นายสุกิจ ลิตติกรณ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-938-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# STUDY AND DESIGN OF A FEEDER FOR AN INCINERATOR

Mr. Sukit Litikorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 1999

ISBN 974-332-938-2

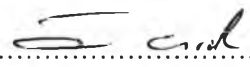
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยสำหรับเตาเผา  
โดย                              นายสุกิจ ลิตติกรณ์  
ภาควิชา                         วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จรุงเรือง

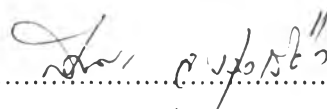
---

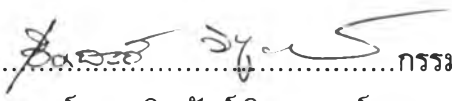
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

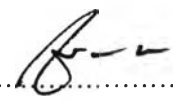
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จรุงเรือง)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. เชตพันธ์ วิฑูรากรณ์)


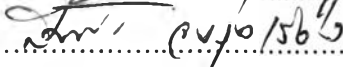
  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ)

สุกิจ ลิติกอร์ณ : การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยสำหรับเตาเผา  
( STUDY AND DESIGN OF A FEEDER FOR AN INCINERATOR)  
อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สมศรี จรุงเรือง, 175 หน้า ISBN 974-332-938-2

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยสำหรับเตาเผา โดยติดตั้งเข้ากับประตูป้อนมูลฝอยของเตาเผาชนิดสองห้องเผาไหม้ อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยที่ทำการศึกษาคือแบบ โรตารี โดยสามารถเปลี่ยนใบป้อนได้ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาใบป้อนไว้ 4 แบบ ได้แก่ ใบเติมดัดตรง ใบเติมดัดโค้ง ใบซี่ดัดตรง และใบซี่ดัดโค้ง อุปกรณ์ป้อนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า A.C. 220 โวลต์, 3 เฟส ต่อเข้ากับชุดทดเฟือง รอบการทำงานของอุปกรณ์ป้อนควบคุมโดยความถี่จากอินเวอร์เตอร์

จากผลการทดลองพบว่า

1. กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับตัวอุปกรณ์ป้อนชุดนี้มีค่าเท่ากับ 500 - 593 วัตต์ ในการเผาไหม้ในแต่ละครั้ง(2 ชั่วโมง) เสียค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าประมาณ 3-3.6 บาท
2. จากการเผาไหม้โดยใช้อุปกรณ์ป้อนและใบป้อนทั้ง 4 ชนิด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่ได้จากการเผาไหม้ เมื่อใช้ใบป้อนชนิด ใบเติมดัดตรง ใบเติมดัดโค้ง ใบซี่ดัดตรง และใบซี่ดัดโค้ง มีค่าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 11.45, 12.71, 12.76 และ 13.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา เมื่อทำการป้อนด้วยอุปกรณ์ป้อนมีค่าเพิ่มขึ้นจากการป้อนด้วยแรงงานคนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 18.0 – 41.2 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... รายนามชื่อ นิสิต.....   
สาขาวิชา.....:..... รายนามชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....   
ปีการศึกษา..... 2542..... รายนามชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารวม.....

##3972089421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD : FEEDER

SUKIT LITIKORN : STUDY AND DESIGN OF A FEEDER FOR AN INCINERATOR.


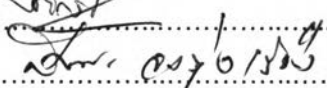
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMSRI CHONGRUNGREONG ,Ph.D.,175 pp.

ISBN 974-332-938-2

This research aims at studying and designing a feeder for an incinerator by installing a feeder at a charging door of 2-chamber incinerator. The feeder used in this research is a rotary vane type and the blades can be changed. Four types of blades named full-straight, full-curve, rib-straight and rib-curve are used in this research. The feeder is powered by an A.C. motor 220 V, 3-phase which is connected to a gearbox. Speed controlling is done by an adjustable frequency inverter.

From the experiment the results are as:

1. The electrical power required for this feeder is 500 - 593 watts. Each combustion period (2 hours) consumed electric cost of 3-3.6 bahts.
2. The thermal efficiency of combustion, when using 4 types of blade: full-straight, full-curve, rib-straight and rib-curve are 11.45,12.71, 12.76 and13.70 % respectively.
3. The thermal efficiency of the combustion when using a feeder is increased by 18.0 - 41.2 % (by calculating in percentage) when compare with using batch feeding.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... รายนมือชื่อนิสิต.....   
สาขาวิชา.....-..... รายนมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....   
ปีการศึกษา.....2542..... รายนมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จรุงเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาหาทุนวิจัยและให้คำแนะนำถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ตลอดจนดูแลและควบคุมการศึกษาค้นคว้าจนสำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ที่กรุณาให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และให้ความอนุเคราะห์ทางด้านอุปกรณ์ต่างๆ ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิฑูรภาพรณ์ และอาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ ที่คอยเป็นห่วงเป็นใย และให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ และน้องๆ นิสิตปริญญาโททุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือที่ดีมาโดยตลอด

ประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตราบูชาแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน เทอญ

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                     | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....  | ซ    |
| สารบัญรูปภาพ.....   | ญ    |
| บทที่   |      |
| 1 บทนำ.....   | 1    |
| ภูมิหลังที่มาของปัญหา.....                                  | 1    |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                  | 3    |
| จุดประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....                             | 7    |
| ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....                                 | 8    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                              | 8    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....  | 8    |
| 2 ทฤษฎี.....  | 10   |
| ทฤษฎีการเผาไหม้.....  | 10   |
| เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ในเตาเผามูลฝอย.....        | 13   |
| อุณหภูมิของการสันดาปและอุณหภูมิเปลวอะเดียเบติก.....         | 14   |
| คุณสมบัติของมูลฝอย.....                                     | 15   |
| การคำนวณการเผาไหม้.....                                     | 17   |
| การวิเคราะห์แก๊สไอเสียทางทฤษฎี.....                         | 19   |
| พลังงานความร้อน สมดุลพลังงานและประสิทธิภาพเชิงความร้อน..... | 22   |
| 3 การออกแบบอุปกรณ์ป้อนและติดตั้ง.....                       | 26   |
| แนวความคิดในการออกแบบใบของอุปกรณ์ป้อน.....                  | 31   |
| ข้อกำหนดในการออกแบบ.....                                    | 38   |
| ชิ้นส่วนของอุปกรณ์.....                                     | 38   |
| มอเตอร์ขับเคลื่อน.....                                      | 38   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| คัปปีง.....   | 41   |
| สลักเกลียวยึดตัวคัปปีงกับเพลลาของมอเตอร์และเพลลาของ Gear Box..... | 40   |
| Gear Box อัตราทด และความถี่ใช้งาน.....                            | 42   |
| สลักเกลียวยึดตัวคัปปีงกับเพลลาของ Gear Box และเพลลาของFeeder..... | 43   |
| ขนาดของเพลลาของFeeder.....  | 45   |
| สลักเกลียวยึดจานกับเพลลา.....                                     | 45   |
| แปรง.....   | 46   |
| 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล.....        | 47   |
| วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....                                   | 47   |
| การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลในตำแหน่งต่างๆของเตาเผามูลฝอย.....       | 54   |
| 5 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....                                    | 58   |
| ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....                                     | 58   |
| 6 ผลการศึกษาวิจัย.....  | 64   |
| สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย.....                 | 64   |
| ผลการวิจัย การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบ.....                     | 64   |
| 7 สรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ.....                          | 92   |
| ผลทางด้านกำลังไฟฟ้า.....  | 92   |
| ผลของการกระจายของมูลฝอย.....                                      | 92   |
| ผลของไบป้อนที่มีต่อการเผาไหม้.....                                | 93   |
| ผลของแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น.....                                   | 93   |
| ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....           | 93   |
| ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป.....                      | 93   |
| รายการอ้างอิง.....  | 94   |
| ภาคผนวก.....  | 96   |



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|  |     |
|--|-----|
| ภาคผนวก ก ตารางบันทึกข้อมูล.....                           | 97  |
| ภาคผนวก ข การคำนวณ.....                                    | 138 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลพื้นฐาน.....                               | 162 |
| ภาคผนวก ง แบบแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ..... | 166 |
| ประวัติผู้เขียน.....                                       | 175 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แสดงวิธีการทำลายขยะของประเทศต่าง ๆ.....  | 2    |
| 1.2 แสดงผลการทดลองเผาไหม้ที่ 25 และ 50 kg/h ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....  | 4    |
| 1.3 แสดงผลการทดลองเผากระดาษที่ 25 และ 50 kg/h ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....  | 5    |
| 1.4 แสดงการเผาไหม้และกระดาษที่ 25 kg/h โดยเปิดหัวเผาที่ห้องเผาไหม้ที่สอง.....  | 5    |
| 1.5 แสดงผลการทดลองเผาไหม้ที่ 25 kg/h ที่ 40%EA เพื่อหาค่า $T_{ave}$<br>(อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างห้องเผาไหม้ที่หนึ่งกับห้องผสมอากาศ), $Kg_{ref}$ , $Q_{ref}$ , $Q_{flue\ gas}$<br>$C_{unburn}$ , $Q_{cond\ total}$ , $Q_{c\ unburn}$ , $\%O_2$ , $\eta_{th}$ เทียบกับเวลา..... | 6    |
| 2.1 แสดงองค์ประกอบของแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจน.<br>โดยปริมาตรและโดยมวล.....  | 12   |
| 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย.....  | 15   |
| 2.3 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลของธาตุเป็น Mole Fraction.....   | 20   |
| 3.1 แสดงรายละเอียดในการเลือกใช้อุปกรณ์ป้อนแบบต่าง ๆ.....   | 26   |
| 3.2 แสดงอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดต่าง ๆ ข้อดีข้อเสียและความเหมาะสม<br>ในการใช้งานของอุปกรณ์ป้อนประเภทต่าง ๆ.....   | 29   |
| 4.1 แสดงค่าความร้อนของมูลฝอย.....  | 47   |
| 4.2 แสดงชนิดและขนาดของเทอร์โมคัปเปิล<br>ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสียร้อนภายในเตาเผาและปล่อง.....  | 54   |
| 5.1 แสดงผลการทดสอบเพื่อหารอบทำงานของอุปกรณ์ป้อน<br>ที่ใช้ในการป้อนมูลฝอย 25 kg/h ของไบโอมูลชนิดต่าง ๆ .....  | 59   |
| 5.2 แสดงรายละเอียดการทดสอบไบโอมูลของอุปกรณ์ป้อนแต่ละชนิด<br>เพื่อศึกษาการกระจายตัวของมูลฝอย.....   | 60   |
| 5.3 แสดงรายละเอียดการทดสอบเผาไหม้ไบโอมูลในแต่ละครั้ง.....  | 62   |
| 6.1 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้.....  | 90   |
| 7.1 แสดงผลสรุปของการกระจายของมูลฝอย.....   | 92   |
| 1ก แสดงข้อมูลการทดสอบเผาไหม้ไบโอมูล<br>ที่อัตราการป้อน 25 Kg/h ปริมาณอากาศส่วนเกิน 0% (ไบเต็มตัดตรง).....  | 98   |
| 2ก แสดงข้อมูลการทดสอบเผาไหม้ไบโอมูล<br>ที่อัตราการป้อน 25 Kg/h ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% (ไบเต็มตัดตรง).....   | 100  |



## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 17ก แสดงข้อมูลการทดสอบเผาผลาญไผ่<br>ที่อัตราการป้อน 25 Kg/h ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60% (ใบที่ตัดโค้ง)..... | 130  |
| 18ก แสดงข้อมูลการทดสอบเผาผลาญไผ่<br>ที่อัตราการป้อน 50 Kg/h ปริมาณอากาศส่วนเกิน 0% .....                | 132  |
| 19ก แสดงข้อมูลการทดสอบเผาผลาญไผ่<br>ที่อัตราการป้อน 50 Kg/h ปริมาณอากาศส่วนเกิน 30% .....               | 134  |
| 20ก แสดงข้อมูลการทดสอบเผาผลาญไผ่<br>ที่อัตราการป้อน 50 Kg/h ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60% .....               | 136  |
| 1ข แสดงองค์ประกอบต่างๆของผลผลิตจาก%By Weight เป็น Mole Fraction.....                                    | 139  |
| 2ข แสดงค่า Relative Mass ของ Wet Flue Gas.....  | 141  |
| 1ค แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างเตาเผาชนิดสองห้องเผาไหม้.....  | 162  |
| 2ค Constant-Pressure Specific Heat of Various Ideal Gases.....  | 162  |

## สารบัญรูปภาพ

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 3.1.1 อุปกรณ์ป้อนแบบ Belt feeder.....  | 27   |
| 3.1.2 อุปกรณ์ป้อนแบบ Reciprocating feeder.....   | 27   |
| 3.1.3 อุปกรณ์ป้อนแบบ Rotary table feeder.....  | 27   |
| 3.1.4 อุปกรณ์ป้อนแบบ Roll feeder.....  | 27   |
| 3.1.5 อุปกรณ์ป้อนแบบ Scapler feeder.....   | 28   |
| 3.1.6 อุปกรณ์ป้อนแบบ Screw feeder.....   | 28   |
| 3.1.7 อุปกรณ์ป้อนแบบ Rotary feeder.....  | 28   |
| 3.2.1 แสดงอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิด Rotary .....   | 30   |
| 3.2.2 แสดงอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิด Screw .....  | 30   |
| 4.1 ลักษณะของใบที่เป็นแบบใบเต็มตัดโค้ง.....  | 47   |
| 4.2 ลักษณะของใบที่เป็นแบบใบซี่ตัดโค้ง.....   | 48   |
| 4.3 ลักษณะของใบที่เป็นแบบใบเต็มตัดตรง.....   | 48   |
| 4.4 ลักษณะของใบที่เป็นแบบใบซี่ตัดตรง.....  | 48   |
| 4.5 มอเตอร์และชุดเฟืองทด.....  | 49   |
| 4.6 ชุดอินเวอร์เตอร์.....  | 49   |
| 4.7 เครื่องบันทึกข้อมูล.....   | 50   |
| 4.8 อุปกรณ์แสดงผลอุณหภูมิและตัวเลือก.....  | 50   |
| 4.9 เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K .....  | 51   |
| 4.10 พัดลมเป่าอากาศ.....   | 51   |
| 4.11 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล แบบออร์ฟิช.....   | 52   |
| 4.12 มานอมิเตอร์ชนิดเอียง.....   | 52   |
| 4.13 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย.....   | 53   |
| 4.14 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....   | 53   |
| 4.15 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสียร้อน<br>ภายในเตาเผามูลฝอยและปล่องไอเสียด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบ Probe..... | 55   |
| 4.16 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผนังภายในและภายนอกของเตาเผามูลฝอย.....   | 56   |
| 4.17 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผนังภายใน<br>และภายนอกของเตาเผามูลฝอยและปล่องไอเสีย.....                           | 57   |
| 6.1 รูปแบบการไหลของมูลฝอยที่ออกจากตัวป้อนโดยใช้ใบป้อนใบเต็มตัดตรง.....   | 65   |
| 6.2 รูปแบบการไหลของมูลฝอยที่ออกจากตัวป้อนโดยใช้ใบป้อนใบเต็มตัดโค้ง.....  | 65   |

## สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 6.3 รูปแบบการไหลของมูลฝอยที่ออกจากตัวป้อนโดยใช้ใบป้อนใบซี่ตัดตรง.....  | 66   |
| 6.4 รูปแบบการไหลของมูลฝอยที่ออกจากตัวป้อนโดยใช้ใบป้อนใบซี่ตัดโค้ง.....   | 66   |
| 6.5 รูปแบบการกระจายของใบไม้เมื่อใช้ใบป้อนแบบใบเติมตัดตรง.....  | 67   |
| 6.6 รูปแบบการกระจายของใบไม้เมื่อใช้ใบป้อนแบบใบเติมตัดโค้ง.....   | 67   |
| 6.7 รูปแบบการกระจายของใบไม้เมื่อใช้ใบป้อนแบบใบซี่ตัดตรง.....   | 67   |
| 6.8 รูปแบบการกระจายของใบไม้เมื่อใช้ใบป้อนแบบใบซี่ตัดโค้ง.....  | 67   |
| 6.9 แสดงการกระจายของมูลฝอยใบไม้ และภาพตัดขวางของกองใบไม้<br>เมื่อใช้ใบป้อนชนิดใบเติมตัดตรง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h .....   | 69   |
| 6.10 แสดงการกระจายของมูลฝอยใบไม้ และภาพตัดขวางของกองใบไม้<br>เมื่อใช้ใบป้อนชนิดใบเติมตัดโค้ง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h .....   | 71   |
| 6.11 แสดงการกระจายของมูลฝอยใบไม้ และภาพตัดขวางของกองใบไม้<br>เมื่อใช้ใบป้อนชนิดใบซี่ตัดตรง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h .....   | 73   |
| 6.12 แสดงการกระจายของมูลฝอยใบไม้ และภาพตัดขวางของกองใบไม้<br>เมื่อใช้ใบป้อนชนิดใบซี่ตัดโค้ง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h .....  | 75   |
| 6.13 แสดงพื้นที่เสมือนเป็นวงกลม ของการกระจายของใบไม้ โดยใช้ใบป้อนชนิด<br>ใบเติมตัดตรง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h.....   | 76   |
| 6.14 แสดงพื้นที่เสมือนเป็นวงกลม ของการกระจายของใบไม้ โดยใช้ใบป้อนชนิด<br>ใบเติมตัดโค้ง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h.....  | 76   |
| 6.15 แสดงพื้นที่เสมือนเป็นวงกลม ของการกระจายของใบไม้ โดยใช้ใบป้อนชนิด<br>ใบซี่ตัดตรง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h.....  | 77   |
| 6.16 แสดงพื้นที่เสมือนเป็นวงกลม ของการกระจายของใบไม้ โดยใช้ใบป้อนชนิด<br>ใบซี่ตัดโค้ง ที่อัตราการป้อน 25 kg/h.....   | 77   |
| 6.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ )<br>ปริมาณความร้อนรวมที่นำผ่านหน้าต่างและปล่องไอเสียของเตาเผา ( $Q_{cond tot}$ )<br>กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของใบป้อนแบบใบเติมตัดตรง.....  | 79   |
| 6.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ )<br>ปริมาณความร้อนรวมที่นำผ่านหน้าต่างและปล่องไอเสียของเตาเผา ( $Q_{cond tot}$ )<br>กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของใบป้อนแบบใบเติมตัดโค้ง..... | 79   |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 6.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) ปริมาณความร้อนรวมที่นำผ่านผนังต่าง ๆ และปล่องไอเสียของเตาเผา ( $Q_{cond tot}$ ) กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบชีดัดตรง.....  | 80   |
| 6.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) ปริมาณความร้อนรวมที่นำผ่านผนังต่าง ๆ และปล่องไอเสียของเตาเผา ( $Q_{cond tot}$ ) กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบชีดัดโค้ง..... | 80   |
| 6.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) ห้องผสมอากาศ และห้องเผาไหม้ที่สอง กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบเตียมดัดตรง.....   | 81   |
| 6.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) ห้องผสมอากาศ และห้องเผาไหม้ที่สอง กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบเตียมดัดโค้ง.....  | 81   |
| 6.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) ห้องผสมอากาศ และห้องเผาไหม้ที่สอง กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบชีดัดตรง.....  | 82   |
| 6.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) ห้องผสมอากาศ และห้องเผาไหม้ที่สอง กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบเตียมดัดโค้ง.....  | 82   |
| 6.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $O_2$ $CO_2$ และCO ที่มีในแก๊สไอเสีย กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบเตียมดัดตรง.....   | 83   |
| 6.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $O_2$ $CO_2$ และCO ที่มีในแก๊สไอเสีย กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบเตียมดัดโค้ง.....  | 83   |
| 6.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $O_2$ $CO_2$ และCO ที่มีในแก๊สไอเสีย กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบชีดัดตรง.....  | 84   |
| 6.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $O_2$ $CO_2$ และCO ที่มีในแก๊สไอเสีย กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบชีดัดโค้ง.....   | 84   |
| 6.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสีย ( $Q_{flue gas}$ ) ปริมาณซีเถ้า อุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) และปริมาณ CO กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบโอดีเซลแบบไบเตียมดัดตรง.....      | 85   |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 6.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสีย ( $Q_{flue\ gas}$ ) ปริมาณซีเถ้า อุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) และปริมาณ CO กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบป้อนแบบไบเต็มตัดโค้ง..... | 85   |
| 6.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสีย ( $Q_{flue\ gas}$ ) ปริมาณซีเถ้า อุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) และปริมาณ CO กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบป้อนแบบไบซีตัดตรง.....    | 86   |
| 6.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสีย ( $Q_{flue\ gas}$ ) ปริมาณซีเถ้า อุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ( $T_{g1ave}$ ) และปริมาณ CO กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบป้อนแบบไบซีตัดโค้ง.....   | 86   |
| 6.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน ( $\eta_{th}$ ) กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบป้อนแบบไบเต็มตัดตรง.....  | 87   |
| 6.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน ( $\eta_{th}$ ) กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบป้อนแบบไบเต็มตัดโค้ง.....   | 87   |
| 6.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน ( $\eta_{th}$ ) กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบป้อนแบบไบซีตัดตรง.....  | 88   |
| 6.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน ( $\eta_{th}$ ) กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (%EA) ของไบป้อนแบบไบซีตัดโค้ง.....   | 88   |
| 6.37 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเตาเผามูลฝอยสองห้องเผาไหม้ที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ป้อนมูลฝอย กับการติดตั้งอุปกรณ์ป้อนมูลฝอย ไบป้อนเป็นแบบซีตัดโค้ง.....   | 91   |
| 1ค แสดงเตาเผาชนิดสองห้องเผาไหม้.....  | 163  |
| 2ค แสดงภาพตัดด้านหน้าและรายละเอียดของภาพในเตาเผาชนิดสองห้องเผาไหม้.....   | 164  |