

## การวิจัยผลของการใช้อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดโรตารีต่อการเผาไหม้ในเตาเผา A RESEARCH OF EFFECT OF A ROTARY FEEDER ON BURNING IN AN INCINERATOR

สมศรี จรุงเรือง ชินเทพ เพ็ญชาติ และ สุกิจ ลิติกอร์ณ  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
กรุงเทพฯ 10330  
โทร (02) 2186610 , โทรสาร (02) 2522889

Somsri Chongrungreong , Chinatop Benyajati and Sukit Litikorn  
Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering , Chulalongkorn University  
Bangkok 10330, Thailand.  
Tel : (02) 2186610 , Fax : (02) 2522889

### บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดโรตารีต่อการเผาไหม้ในเตาเผา มูลฝอยที่ใช้ทำวิจัยเป็นใบไม้แห้ง ทำการป้อนมูลฝอยด้วยอัตรา 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้อุปกรณ์ป้อนชนิดโรตารีกับการป้อนด้วยแรงงานคน ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 41 % เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 %

### Abstract

This research aims at studying the result of using a rotary feeder for the combustion of gabages in an incinerator. The gabages used are dry leaves. The feeding rate is 25 kg / hr at various % excess air for 2 hours. When compare the results of using a rotary feeder with manual feeding, it is found that the thermal efficiency is increased by 41 % when consider the highest thermal efficiency that can be done at 20 % excess air.

### 1. บทนำ

การเผาไหม้มูลฝอยเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นและเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวลและการอนุรักษ์พลังงาน แต่ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนมูลฝอยที่ทำการเผาไหม้ว่าเผาไหม้หมดหรือไม่ ถ้ามูลฝอยที่ใส่เข้าไปในเตาเผาแล้วถูกเผาไหม้หมดก็แสดงว่าประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดี การเผาไหม้ของมูลฝอยจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก 3T นั่นคือ เวลา (time) ความปั่นป่วน (turbulence) และอุณหภูมิ (temperature) มาใช้ในการพิจารณา ดังต่อไปนี้ [1]

1. เวลา (time) ต้องมีเวลาเพียงพอให้มูลฝอยเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ มูลฝอยแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากันในการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับอากาศ

2. ความปั่นป่วน (turbulence) ระหว่างปริมาณอากาศและมูลฝอยที่เหมาะสมจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์เป็นไปตามทฤษฎี แต่ถ้าเชื้อเพลิงกับออกซิเจนผสมเข้ากันได้ ไม่ดีจำเป็นต้องใช้อากาศมากกว่าตามทฤษฎี

3. อุณหภูมิ (temperature) จะต้องใช้อุณหภูมิให้เหมาะสมแก่การเผาไหม้ การรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง กับอุณหภูมิจุดติดไฟ (Ignition temperature) ถ้าอุณหภูมิสูงไม่ถึงจุดติดไฟ มูลฝอยก็จะไม่ลุกไหม้ อุณหภูมิต่ำสุดที่สารจะติดไฟได้ในอากาศก็คือ

400°C สำหรับคาร์บอน 580°C สำหรับไฮโดรเจน และ 610°C สำหรับคาร์บอนมอนอกไซด์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิจุดติดไฟมากๆ จะทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นรวดเร็ว แต่อาจเกิดแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน  $\text{NO}_x$

## 2. ปริมาณความร้อนต่างๆ

2.1 ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ (Q<sub>LHV</sub>) , kW ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เป็นค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย เนื่องจากสถานะของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นไอ [2]

$$Q_{LHV} = \dot{m}LHV \quad (1)$$

$\dot{m}$  = อัตราการป้อนมูลฝอย , kg / s

LHV = ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย , kJ / kg<sub>ref</sub>

$$LHV = HHV - N(\bar{h}_{fg})_{H_2O} \quad (2)$$

HHV = ค่าความร้อนสูงของการเผาไหม้ [3] , kJ / kg<sub>ref</sub>

N = จำนวนโมเลกุลของน้ำในผลผลิต

$(\bar{h}_{fg})_{H_2O}$  = เอนทาลปีของการระเหยน้ำที่ 25°C , kJ / kg

$$HHV = 0.338C + 1.44\left(H - \frac{O}{8}\right) + 0.094S \quad (3)$$

C = องค์ประกอบของคาร์บอนในมูลฝอย , kg<sub>C</sub> / kg<sub>ref</sub>

H = องค์ประกอบของไฮโดรเจนในมูลฝอย , kg<sub>H</sub> / kg<sub>ref</sub>

O = องค์ประกอบของออกซิเจนในมูลฝอย , kg<sub>O</sub> / kg<sub>ref</sub>

S = องค์ประกอบของซัลเฟอร์ในมูลฝอย , kg<sub>S</sub> / kg<sub>ref</sub>

## 2.2 ปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสีย [3]

$$Q_{FlueGas} = m_g \bar{C}_{Pg} (T_g - T_a) \quad (4)$$

$m_g$  = อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สไอเสีย , kg / s

$\bar{C}_{Pg}$  = ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย , kJ / kg K

$T_g$  = อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย , K

$T_a$  = อุณหภูมิอากาศภายนอกของเตาเผา , K

ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย สามารถคำนวณหาได้ ถ้าทราบอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย และส่วนประกอบของแก๊สไอเสียจากสมการ [4]

$$\bar{C}_{Pg} = \left( C_{P_{CO_2}} \frac{\%CO_2}{100} + C_{P_{O_2}} \frac{\%O_2}{100} + C_{P_{CO}} \frac{\%CO}{100} + C_{P_{N_2}} \frac{\%N_2}{100} + C_{P_{H_2O}} \frac{\%H_2O}{100} \right) \quad (5)$$

$C_{Pg}$  = ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊ส g ที่อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย , kJ / kg K

## 3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสียต่อพลังงานความร้อนที่เกิดจากค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของมูลฝอยและของเชื้อเพลิง ในกรณีไม่ได้ใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้สามารถคำนวณได้จากสมการ

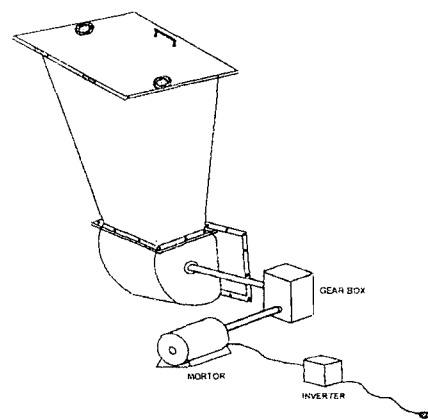
$$\eta_{th} = \frac{Q_{FlueGas}}{Q_{LHV}} \quad (6)$$

$\eta_{th}$  = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาไหม้ , %

$Q_{FlueGas}$  = ปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่อง , kW

$Q_{LHV}$  = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง , kW

## 4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์บ้อนมูลฝอย

### 4.1 ชุดอุปกรณ์บ้อนมูลฝอย

4.1.1 Hooper เป็นอุปกรณ์ที่ติดเข้ากับ rotary มีไว้สำหรับใส่มูลฝอย

4.1.2 Gear Box มีไว้สำหรับทดรอบของมอเตอร์

4.1.3 Motor มีไว้สำหรับขับเคลื่อนอุปกรณ์บ้อน

4.1.4 Inverter เป็นอุปกรณ์ควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ ด้วยความถี่

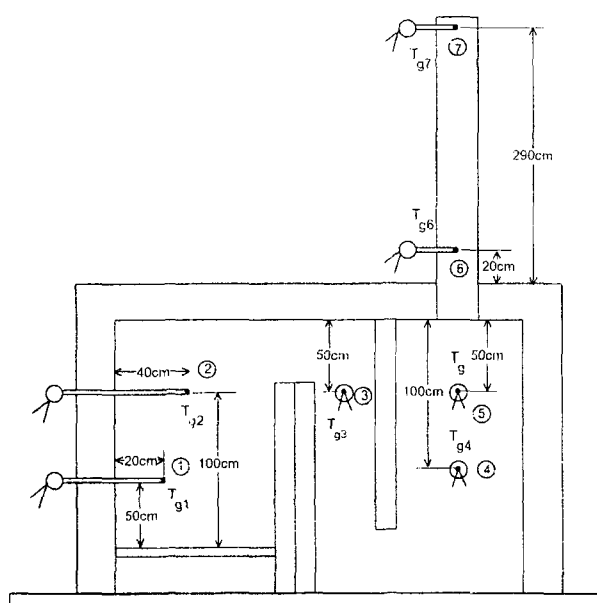
4.2 ชุดป้อนอากาศ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

4.2.1 เครื่องเป่าอากาศขนาด 3 แรงม้า ความดันสถิต 100 mm H<sub>2</sub>O สามารถจ่ายอากาศได้สูงสุด 25 m<sup>3</sup>/min

4.2.2 ท่อส่งอากาศเป็นท่อพีวีซี และท่ออะลูมิเนียมยัดหยุ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1016 เมตร ยาว 3 เมตร และ 1 เมตรตามลำดับ

4.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศหรือแก๊สไอเสีย ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ออร์ฟิซ และ ส่วนที่ 2 มานอมิเตอร์ ใช้สำหรับอ่านค่าความดันที่อยู่ในรูปความแตกต่างของระดับความสูงของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ และแก๊สไอเสีย



รูปที่ 2 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆของเตาเผา

4.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาเผามูลฝอย จะใช้เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งปลายด้านหนึ่งสัมผัสกับบริเวณที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดตัวเลข ทำให้สามารถเลือกอ่านค่าที่ตำแหน่งต่างๆได้ ดังแสดงในรูปที่ 2

4.4.1 การวัดอุณหภูมิแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

4.4.2 การวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่ผ่านปล่องไอเสีย ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

4.4.3 การวัดอุณหภูมิของผนังด้านในของเตาเผามูลฝอยหรือของปล่องไอเสีย ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

4.4.4 การวัดอุณหภูมิผนังด้านนอกของเตาเผามูลฝอยและผนังด้านนอกของฉนวนหุ้มปล่องไอเสีย ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

4.5 อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย (Gas Analysis)

เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง TESTO สามารถแสดงองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย

4.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของมูลฝอยที่จะทำการป้อน และน้ำหนักของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้

4.7 นาฬิกาจับเวลา ใช้สำหรับจับเวลาในการจดบันทึกข้อมูล

## 5. ขั้นตอนการวิจัยและการรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาการทำงานที่เหมาะสมสำหรับป้อนมูลฝอยไปไม้ที่ 25 kg/h โดยรอบการหมุนของอุปกรณ์จะถูกควบคุมโดยการปรับค่าความถี่จากอินเวอร์เตอร์ ผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้ (ใบป้อนซีดีคอง) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการหาการทำงานต่างๆที่อัตราการป้อน 25 kg/h

| ความถี่ | รอบของมอเตอร์ (rpm) | รอบ Feeder (rpm) | มวลที่ใส่ (kg) | เวลาที่ใช้เฉลี่ย (s) | อัตราการป้อน (kg/h) |
|---------|---------------------|------------------|----------------|----------------------|---------------------|
| 35      | 1050                | 52.5             | 5              | 854.3                | 21.0                |
| 36      | 1080                | 54               | 5              | 822.3                | 21.8                |
| 37      | 1110                | 55.5             | 5              | 806.6                | 22.3                |
| 38      | 1140                | 57               | 5              | 771.6                | 23.3                |
| 39      | 1170                | 58.5             | 5              | 744.0                | 24.2                |
| 40      | 1200                | 60               | 5              | 719.3                | 25.0                |
| 41      | 1230                | 61.5             | 5              | 691.0                | 26.0                |
| 42      | 1260                | 63               | 5              | 662.0                | 27.2                |

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการทดสอบเผามูลฝอยที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ โดยมีรายละเอียดของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 และมีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมมูลฝอยที่ต้องการจะทำการเผา (ในการวิจัยครั้งนี้จะเลือกใช้อัตราการป้อน 25 kg/h โดยมูลฝอยที่จะป้อนคือใบไม้)
2. ชั่งน้ำหนักมูลฝอยตามอัตราการป้อน
3. ตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ให้พร้อมที่จะทำการทดสอบ ดังนี้

- 3.1 เทอร์โมคัปเปิ้ลทุกตำแหน่งพร้อม เปิดเครื่องอ่านอุณหภูมิ และเครื่องบันทึกข้อมูล
- 3.2 เปิดเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (gas analyzer)
- 3.3 ตรวจสอบமானอมิเตอร์สำหรับวัดความแตกต่างของระดับน้ำเพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊สไอเสีย อัตราการไหลอากาศเข้าเตา และความดันสถิตในปล่องไอเสีย ให้พร้อมสำหรับอ่านค่า
- 3.4 ตรวจสอบมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ให้พร้อมสำหรับใช้งาน
- 3.5 เปิดพัดลมเป่าอากาศ และปรับเส้นทางดูดของพัดลม เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศตามที่ต้องการ โดยอ่านค่าความแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินตามทฤษฎี 0% , 20% , 40% และ 60%

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดการทดสอบเผามูลฝอยไปไม้ในแต่ละครั้งที่อัตราการป้อน 25 kg/h

| ครั้งที่ | รอบทำงานของไบป้อน (rpm) | ปริมาณอากาศส่วนเกินตามทฤษฎี (%EA) | ปริมาณอากาศ (m <sup>3</sup> /min) |
|----------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1        | 60                      | 0                                 | 2.42                              |
| 2        | 60                      | 20                                | 2.90                              |
| 3        | 60                      | 40                                | 3.39                              |
| 4        | 60                      | 60                                | 3.88                              |

4. นำมูลฝอยที่เตรียมไว้ใส่ลงใน hopper จากนั้นปรับรอบของมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ ตามรอบที่ได้หาไว้แล้ว (ตารางที่ 1)

5. จุดไฟด้วยกระดาดชูปน้ำมันเล็กน้อยที่ช่องติดไฟ พร้อมเปิดพัดลมเป่าอากาศ

6. เริ่มจับเวลาการทดลอง เปิดเครื่องบันทึกข้อมูล จดบันทึกค่า

7. จดบันทึกข้อมูลทุกๆ 10 นาที โดยมีข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 7.1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาเผามูลฝอย และปล่องไอเสีย (ทำโดยตั้งเวลาจดบันทึกที่เครื่องบันทึกข้อมูล)
- 7.2 ค่าความแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์เพื่อวัดอัตราการไหลของ แก๊สไอเสียที่ออกจากปล่อง

7.3 ค่าความแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์เพื่อวัดความดันสถิตในปล่องไอเสีย

8. จดบันทึกเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบ ของแก๊สไอเสียที่อ่านได้จากเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย คือ %O<sub>2</sub> , %CO<sub>2</sub> และ CO (ppm) (จดทุกๆ 10 นาที)

9. หยุดป้อนมูลฝอยเมื่อครบ 2 ชั่วโมง และจดบันทึกข้อมูลต่างๆ ในข้อ 7 และ 8 หลังจากหยุดป้อนมูลฝอยแล้วเป็นเวลาต่อไปอีก 30 นาที

10. ปิดพัดลมเป่าอากาศ เครื่องบันทึกข้อมูล เครื่องวิเคราะห์แก๊ส และอินเวอร์เตอร์ ตามลำดับ

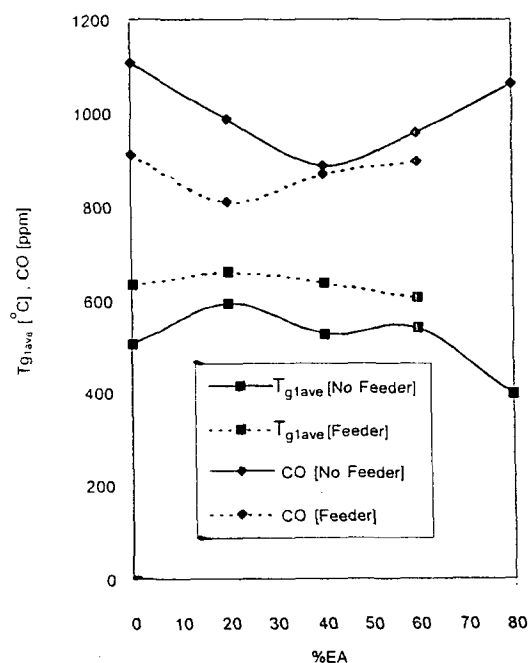
11. ทำความสะอาดเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

12. ทำการโกยขี้เถ้าที่เกิดขึ้นอยู่ในห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง และห้องเผาไหม้ที่สอง เมื่ออุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงจนเกือบเท่ากับบรรยากาศ แล้วชั่งน้ำหนักของขี้เถ้าที่เกิดขึ้น จดบันทึกค่า

## 6. ผลที่ได้จากการวิจัย

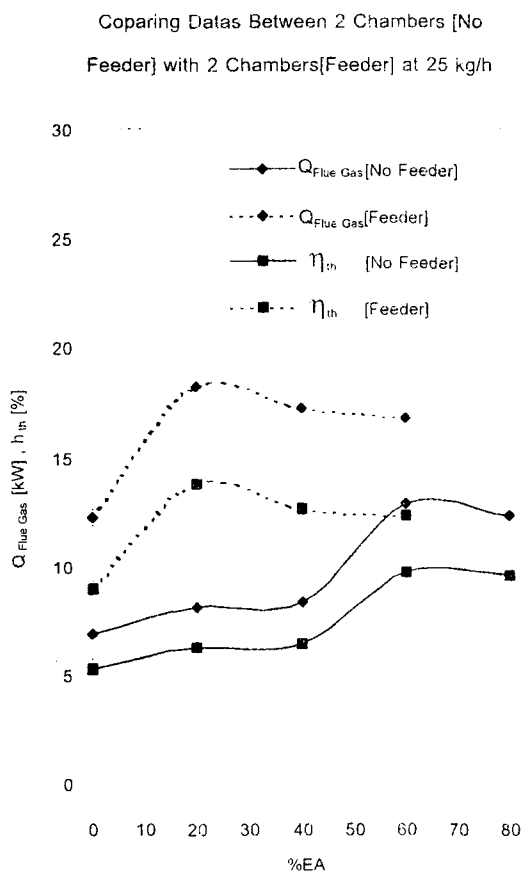
ผลของการวิจัยแสดงอยู่ในรูปของกราฟต่างๆ ซึ่งรวมถึงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการป้อนโดยใช้แรงงานคนกับการป้อนโดยใช้อุปกรณ์ป้อน

Comparing Data Between 2 Chambers (No Feeder) with 2 Chambers (Feeder) at 25 kg/h



รูปที่ 3 กราฟระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง (Tg1ave) , ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กับปริมาณอากาศส่วนเกินทางทฤษฎี (%EA)

จากรูปที่ 3 แสดงผลของอุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาไหม้  $T_{g,ave}$  และปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ พบว่าที่ทุก ๆ ปริมาณอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้เมื่อใช้อุปกรณ์ป้อนมีค่าสูงกว่าเมื่อป้อนด้วยแรงงานคน เมื่อไม่มีอุปกรณ์ป้อนอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้มีค่าสูงสุดเป็น  $590^{\circ}\text{C}$  ถ้าใช้อุปกรณ์ป้อนมีค่าเป็น  $660^{\circ}\text{C}$  ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 % ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้อุปกรณ์ป้อนมีค่าต่ำกว่าเมื่อป้อนด้วยแรงงานคน ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดมีค่า 886 ppm แต่ถ้าใช้อุปกรณ์ป้อนจะมีค่า 810 ppm ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20%



รูปที่ 4 กราฟระหว่างปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสีย ( $Q_{flue\ gas}$ ) , ประสิทธิภาพเชิงความร้อน  $\eta_{th}$  กับปริมาณอากาศส่วนเกินทางทฤษฎี (%EA)

จากรูปที่ 4 แสดงผลของปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสีย  $Q_{Flue\ Gas}$  , ประสิทธิภาพเชิงความร้อน  $\eta_{th}$  ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ พบว่าที่ทุก ๆ ปริมาณอากาศส่วนเกิน ปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสียและประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อใช้อุปกรณ์ป้อนมีค่าสูงกว่าเมื่อป้อนด้วยแรงงานคน ปริมาณความร้อนแก๊สไอเสียสูงสุดมีค่า 12.7 kW ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่า 9.6 % เมื่อไม่ใช้อุปกรณ์ป้อน แต่ถ้าใช้

อุปกรณ์ป้อนจะให้ปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสียสูงถึง 18.15 kW และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงถึง 13.72 %

## 7. สรุปผลการวิจัย

เมื่อนำอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดโรตารีเข้าไปติดตั้งกับเตาเผาเพื่อป้อนมูลฝอยเข้าสู่เตา ผลที่เกิดจากการเผาไหม้เมื่อใช้อุปกรณ์จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 41 % ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงประมาณ 10 % ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 % แสดงว่าอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยช่วยให้มูลฝอยผสมผสานกับอากาศได้ดีกว่าการป้อนด้วยแรงงานคนอย่างเดียว

เตาเผามูลฝอยที่มีอุปกรณ์ป้อนนี้เป็นเตาเผาที่มีราคาถูก ใช้งานได้ดีไม่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เป็นเตาที่ควรจะนำมาใช้งานในชุมชนขนาดเล็ก เพื่อลดค่าใช้จ่ายของรัฐในการกำจัดขยะ

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยรัชดาภิเษกฯ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมศรี จรุงเรือง "การออกแบบเตาเผามูลฝอย", ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2542
- [2] Henry, A. Sorarsan. "Energy Conversation Systems", Canada : John Wiley & Son, Inc., 1985
- [3] Wilfrid Francis and Martin, C. Peters. "Fuels and fuel Technology", Oxford : Pergamon Press, 1980.
- [4] Yunus, A. Cengel and Michael, A. Boles. "Thermodynamics and Engineering Approach", New York : McGraw -Hill, 1989