



## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการเผาไหม้ของหัวเผาแก๊สแอลพีจีใช้แล้วด้วยระบบควบคุม

แบบปรับค่า PID ด้วย FUZZY LOGIC

โดย นายณรงค์ชัย นุ่มนวล

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตยวัณษ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมรัฐ เกิดสุวรรณ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินชัย ชินวรรตน์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพรรณ ธงชัย)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

การพัฒนาระบบควบคุมการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว  
ด้วยระบบควบคุมแบบปรับค่า PID ด้วย Fuzzy Logic

นายณรงค์ชัย นุ่มนวล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ปีการศึกษา 2549  
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายณรงค์ชัย นุ่มนวล  
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การพัฒนาระบบควบคุมการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว  
ด้วยระบบควบคุมแบบปรับค่า PID ด้วย FUZZY LOGIC  
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร.สมรรัฐ เกิดสุวรรณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินชัย ชินวรรตน์  
ปีการศึกษา : 2549

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ด้วยระบบควบคุม พีไอดี ฟัซซี่ ลอจิกคอนโทรล ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมเพื่อสั่งให้ สเตปมอเตอร์หมุนเปิดวาล์วของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วตามการคำนวณของทฤษฎี พีไอดี ฟัซซี่ ลอจิกคอนโทรล โดยสเตปมอเตอร์สามารถหมุนได้ 0.36 องศาต่อสเตป จากการทดลองการเปิดวาล์วของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่น เพื่อใช้งานหัวเผานั้นพบว่าเมื่อเปิดวาล์วหัวเผาต่ำสุดที่ 90 องศา จะทำให้เกิดอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดโดยมีค่า 0.88 ลิตรต่อชั่วโมงและเมื่อเปิดวาล์วน้ำมันของหัวเผาสูงสุดที่ 180 องศา จะทำให้เกิดอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดโดยมีค่า 4 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดควันจากการสันดาปมีสีดำ ซึ่งมีอัตราส่วนการสูญเสีย น้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดต่ออัตราการสูญเสียต่ำสุดเป็น 4.45 (4:0.88) โดยหัวเผาที่ใช้ในการพัฒนาโดยใช้หลักการของคาร์บูเรเตอร์ เพื่อฉีดน้ำมันให้เป็นละออง ซึ่งมีหลักการเหมือนกับหัวฉีดน้ำมันแบบท่อนูที่ใช้ในหัวเผาอุตสาหกรรมทั่วไป จากการทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมแบบ พีไอดี กับ พีไอดี ฟัซซี่ ลอจิก คอนโทรล พบว่าการควบคุมแบบ พีไอดี ฟัซซี่ ลอจิกคอนโทรล สามารถเข้าสู่ อุณหภูมิที่ต้องการได้เร็วกว่าการควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งถ้านำไปใช้กับหัวเผาดังกล่าวนั้นมีความเป็นไปได้สูงที่จะพัฒนาต่อไปเป็นสินค้าอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคตและเป็นการช่วยแก้ปัญหา มลพิษที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วซึ่งเป็นขยะอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเติบโตของเศรษฐกิจของประเทศ

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 51 หน้า)

คำสำคัญ : พีไอดี ฟัซซี่ ลอจิก, น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว, หัวเผาน้ำมัน, การควบคุมอัตโนมัติ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Narongchai Numnual  
Thesis Title : Development of PID FUZZY LOGIC Controller for The Lubricant Oil-burner  
Major Field : Mechanical Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok  
Thesis Advisors : Associate Professor Dr.Somrat Kerdsuwan  
Assistant Professor Dr.Sinchai Chinvorarat  
Academic Year : 2006

### Abstract

The developed burner's controller by using the Fuzzy PID logic controlling has been improved for approach to be the industrial burner's controller. The used lubricant oil was used oil as fuel of the burner for the experiment. The microprocessor is user controls the step-motor to open the oil valve by 0.36 degree per step. The experimental results show that the burner runs with complete combustion at the minimum oil consumption rate is 0.88 liters/hour when the valve's opening angle is 90 degree while the maximum oil consumption rate is 4 liters/hour when the valve's opening angle is 180 degree. Thus the ratio between maximum and minimum oil consumption rate is 4.45 (4:0.88). The comparison of the PID and the Fuzzy PID logic controlling results show that the burner which uses the Fuzzy PID logic controlling can achieve the set-point temperature faster than the burner which uses the PID logic controlling. Benefit of this research can be used to develop the used lubricant oil burner to recover the energy from the waste oil.

(Total 51 pages)

Keywords : PID Fuzzy Logic Control,Lubricant Oil,burner,Atometric Control

---

Advisor

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ทั้ง 2 ท่าน คือ รศ.ศาสตราจารย์ ดร. สมรัฐ เกิดสุวรรณ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินชัย ชินวรรตน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และ คำแนะนำอันมีค่ายิ่งสำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ และต้องขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับบุพการีทั้งสองท่านที่ทำให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณ นางสาวนันท์ธิดา วิสุทธิภักดี ซึ่งสนับสนุนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย เสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ร่วมรุ่น โดยเฉพาะนายชรินทร์ สุทธิเนตร ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้

ณรงค์ชัย นุ่มนวล

## สารบัญ

|                                                                                                                                      | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                                                                                      | ข    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                                                                                   | ค    |
| กิตติกรรมประกาศ                                                                                                                      | ง    |
| สารบัญตาราง                                                                                                                          | ช    |
| สารบัญภาพ                                                                                                                            | ฅ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                                                                                         | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                                                                                                   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                                                                                                     | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                                                                                                                | 2    |
| 1.4 วิธีการวิจัย                                                                                                                     | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ของการวิจัย                                                                                                              | 3    |
| บทที่ 2 ทฤษฎี                                                                                                                        | 4    |
| 2.1 การใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว                                                                                                      | 4    |
| 2.2 คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว                                                                                                | 6    |
| 2.3 ทฤษฎีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง                                                                                                     | 7    |
| 2.4 ระบบการเผาไหม้อุตสาหกรรม                                                                                                         | 9    |
| 2.5 หัวฉีดของไหลคู่(Twin-fluid Atomizers)                                                                                            | 9    |
| 2.6 วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์(Ziegler-Nichols)สำหรับใช้ปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุม PID (Ziegler-Nichols Truning of PID Regulators) | 12   |
| 2.7 การควบคุมแบบ PID ด้วย Fuzzy Gain Schedler)                                                                                       | 15   |
| 2.8 ขั้นตอนการออกแบบ Software                                                                                                        | 22   |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย                                                                                                       | 24   |
| 3.1 สถานะในการทดสอบและDiagram ของการทดสอบ                                                                                            | 24   |
| 3.2 ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในการควบคุม                                                                                                | 26   |
| 3.4 หัวเผา                                                                                                                           | 28   |
| 3.2 ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในการควบคุม                                                                                                | 26   |
| 3.5 อุปกรณ์ขับเคลื่อนมอเตอร์                                                                                                         | 29   |
| 3.6 สเตปมอเตอร์                                                                                                                      | 29   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.7 Solid State Relay                                                                                            | 29   |
| 3.8 Solenoid Valve                                                                                               | 30   |
| 3.9 เชื้อเพลิง                                                                                                   | 31   |
| 3.10 วิธีทดสอบหาอัตราการสูญเสียเชื้อเพลิง                                                                        | 31   |
| 3.11 การทดสอบหาค่าการเทียบวัดอุณหภูมิ                                                                            | 31   |
| 3.12 การทดสอบเพื่อหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ                                                             | 32   |
| 3.13 การทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ การควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic                                        | 32   |
| 3.14 การทดสอบเพื่อหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ โดยการเปิดวาล์วตามองศาที่กำหนด                              | 33   |
| 3.15 การทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ การควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic โดยการเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิตามต้องการ  | 33   |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง                                                                                               | 34   |
| 4.1 ผลการทดลองหาอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิง                                                                  | 34   |
| 4.2 การทดสอบหาค่าการเทียบวัดอุณหภูมิ                                                                             | 34   |
| 4.3 การทดสอบเพื่อหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ                                                              | 35   |
| 4.4 การเปรียบเทียบการตอบสนองของการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic กับ PID                                              | 36   |
| 4.5 การวัดค่าก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว                                               | 37   |
| 4.6 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ โดยการเปิดวาล์วตามองศาที่กำหนด                             | 39   |
| 4.7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ การควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic โดยการเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิตามต้องการ | 40   |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ                                                                                      | 41   |
| 5.1 บทสรุป                                                                                                       | 41   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                                                                                   | 42   |
| บรรณานุกรม                                                                                                       | 43   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                 | หน้า |
|---------------------------------|------|
| ภาคผนวก ก แผนภาพการเขียนโปรแกรม | 44   |
| ประวัติผู้วิจัย                 | 51   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                              | หน้า |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2-1      | ปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นใหม่และเกิดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว                   | 5    |
| 2-2      | ปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและการจัดเก็บได้จากการสำรวจ<br>ปี พ.ศ. 2540 | 5    |
| 2-3      | เกณฑ์ของซีเกลอร์-นิโคลส์(Ziegler-Nichols Rules)                              | 15   |
| 2-4      | ค่าพารามิเตอร์ $K_p'$ ของ Fuzzy Logic                                        | 19   |
| 2-5      | ค่าพารามิเตอร์ $K_d'$ ของ Fuzzy Logic                                        | 19   |
| 2-6      | ค่าพารามิเตอร์ $a$ ของ Fuzzy Logic                                           | 20   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                             | หน้า |
|--------|-------------------------------------------------------------|------|
| 2-1    | ขอบเขตของเปลวไฟล้อมขอบหยดเดี่ยว                             | 8    |
| 2-2    | หลักการและหัวฉีดของไหลคู่                                   | 10   |
| 2-3    | ภาพแบบท่อทางออกของน้ำมันและไอน้ำ                            | 11   |
| 2-4    | หัวฉีดแบบอากาศช่วย                                          | 11   |
| 2-5    | เส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ                               | 13   |
| 2-6    | การควบคุมเชิงสัดส่วน                                        | 14   |
| 2-7    | ภาพแสดงการลดลงด้วยอัตราส่วนหนึ่งในสี่                       | 14   |
| 2-8    | แสดงระบบของการควบคุมแบบ PID ด้วย Fuzzy Gain Scheduler       | 15   |
| 2-9    | ค่าของ Input ของ Fuzzy Set                                  | 16   |
| 2-10   | คุณลักษณะของ Membership                                     | 17   |
| 2-11   | จะแสดงตัวอย่างของ Time Response ที่ต้องการ                  | 17   |
| 2-12   | ค่าของ Fuzzy Number                                         | 18   |
| 2-13   | การคำนวณค่า Output                                          | 21   |
| 2-14   | วัฏจักรสุดท้าย                                              | 22   |
| 2-15   | กำหนดช่วงของ Input                                          | 23   |
| 3-1    | การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง                                 | 25   |
| 3-2    | บอร์ดไมคอนโทรเลอร์รุ่น ET-BASE ARM 7024(AUDc7024)           | 26   |
| 3-3    | อุปกรณ์ที่ใช้ขยายสัญญาณของเทอร์โมคอปเปิล                    | 27   |
| 3-4    | วงจรอุปกรณ์ที่ใช้ขยายสัญญาณของเทอร์โมคอปเปิล                | 27   |
| 3-5    | ภาพตัดของหัวเผา                                             | 28   |
| 3-6    | หัวเผา                                                      | 28   |
| 3-7    | อุปกรณ์ควบคุมสเตปมอเตอร์                                    | 29   |
| 3-8    | สเตปมอเตอร์                                                 | 29   |
| 3-9    | Solid State Relay                                           | 30   |
| 3-10   | Solenoid Valve                                              | 30   |
| 4-1    | กราฟแสดงอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิง(ลิตร/ชม.)           | 34   |
| 4-2    | กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับค่าคอนโทรเลอร์ที่วัดได้ | 35   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                      | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4-3    | เส้นโค้งปฏิกิริยาของระบบ                                                             | 35   |
| 4-4    | การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการซีเกลอร์นิโคลส์(Ziegler-Nichols) หาค่าพารามิเตอร์ PID | 36   |
| 4-5    | การเปรียบเทียบระหว่างการควบคุม PID กับ PID Fuzzy Logic                               | 37   |
| 4-6    | ค่า NOx ที่วัดจากการเผาไหม้หัวเผา น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว                              | 38   |
| 4-7    | ค่า CO ที่วัดจากการเผาไหม้หัวเผา น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว                               | 38   |
| 4-8    | เส้นโค้งปฏิกิริยาของระบบเมื่อมีการเปิดวาล์วที่แตกต่างกัน                             | 39   |
| 4-9    | เส้นโค้งปฏิกิริยาขณะดับหัวเผาไฟ                                                      | 39   |
| 4-10   | กราฟการเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ PID Fuzzy Logic                               | 40   |
| ก-1    | แผนภาพการเขียนโปรแกรมรวม                                                             | 45   |
| ก-2    | แผนภาพการเขียนโปรแกรม Open_loop                                                      | 46   |
| ก-3    | แผนภาพการเขียนโปรแกรม Set_Temp                                                       | 47   |
| ก-4    | แผนภาพการเขียนโปรแกรม PID                                                            | 48   |
| ก-5    | แผนภาพการเขียนโปรแกรม Fuzzy_PID                                                      | 49   |
| ก-6    | แผนภาพการเขียนโปรแกรม Manual                                                         | 50   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจในระดับสูงต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลามากหลายปีได้ส่งผลทำให้เกิดการขยายตัวเฉพาะทางด้านภาคการเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจขนส่ง โดยมีการก่อสร้างเส้นทางคมนาคมทั้ง ทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ทำให้ธุรกิจการขนส่งขยายตัวอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับการขยายตัวของ ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม ที่เพิ่มขึ้นจากการพัฒนาในแนวทางดังกล่าวนี้ทำให้ความต้องการของปริมาณเชื้อเพลิง และพลังงานในภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจขนส่ง เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการทางด้านน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทุกปี

ผลโดยตรงจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตลอดจนส่งผลให้เกิดวิกฤตการณ์ของน้ำมัน ทำให้รัฐบาลต้องตรึงราคาน้ำมัน โดยใช้งบประมาณมากมาย เพื่อให้เศรษฐกิจในประเทศขยายตัวต่อไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้สูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศมากมาย ดังนั้นรัฐบาลจึงมีนโยบายประหยัดพลังงาน และการใช้น้ำมันให้คุ้มค่า ในปี พ.ศ. 2543 และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจำนวนหลายล้านลิตรต่อปี เพื่อประหยัดและยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติประเภทน้ำมันอย่างคุ้มค่าจึงมีแนวความคิดโดยการนำเอาระบบควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic Control ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้เพื่อที่จะควบคุมการสันดาปของหัวเผา น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำรวดเร็วทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยลงทั้งยังทำให้การสันดาปของน้ำมันเชื้อเพลิงสมบูรณ์ และยังลดมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมควบคุมมลพิษ ยังเป็นการสนองนโยบายประหยัดพลังงานของรัฐบาลและการใช้น้ำมันให้คุ้มค่าอีกทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะอุตสาหกรรมอีกด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างระบบควบคุมการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2.2 เพื่อเป็นการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2.3 เพื่อตอบสนองนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลและลดค่าใช้จ่ายในการจัดหา น้ำมันเชื้อเพลิงมาใช้ใน ภาคการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ที่กำลังขยายตัว

1.2.4 รู้จักการใช้ระบบควบคุมใหม่ๆ ที่ประสิทธิภาพสูงมาใช้ในการควบคุมโดยเฉพาะการ ควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic Control

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สามารถควบคุมให้ได้อุณหภูมิที่กำหนดอย่างรวดเร็วและแม่นยำสูง

1.3.2 สามารถควบคุมมลพิษที่เกิดจากการสันดาปได้ปริมาณตามมาตรฐานทางด้านวิศวกรรม ของกรมควบคุมมลพิษ ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

1.3.3 สามารถประหยัดเชื้อเพลิงในการสันดาปให้ได้มากที่สุดเท่าที่ทำได้

1.3.4 สามารถประยุกต์ทฤษฎีควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic Control มาใช้ในการควบคุม

### 1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี ข้อมูล และพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อ การสันดาปเชื้อเพลิงที่ใช้ในการ วิจัย

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic Control เพื่อประยุกต์ใช้ในการควบคุม การเผาไหม้ของหัวเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

1.4.3 ติดตั้งเข้ากับเตาอุตสาหกรรมจำลอง และทดสอบการทำงานของระบบ PID Fuzzy Logic Control จริง

1.4.4 ปรับปรุงและทดสอบให้เป็นไปตามความต้องการ

1.4.5 เก็บข้อมูลและเปรียบเทียบผลการทดลอง

1.4.6 วิเคราะห์ผลและสรุปพร้อมเขียนรายงาน

### 1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 ประหยัดพลังงาน และน้ำมันเชื้อเพลิง

1.5.2 ลดมลพิษที่มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันและอนาคต

1.5.3 ลดระยะเวลาในการเผาไหม้และค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง

1.5.4 รู้จักการนำวิธีใหม่ๆ มาทำการควบคุมการสันดาปและเกิดประโยชน์ต่อ ภาคอุตสาหกรรมต่าง

1.5.5 ได้นำความรู้ความสามารถที่ได้ศึกษามาใช้ในการทำงานจริง

1.5.6 เป็นการสนองนโยบายรัฐบาลปัจจุบันสามารถนำไปใช้เป็นประสบการณ์ที่มีประโยชน์ต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

เนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาเรื่องการเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก ๆ ดังนี้ การใช้น้ำมันหล่อลื่น, คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ปฏิบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง, หัวฉีดของไหลคู่ (Twin-fluid Atomizers), วิธีการของซิกเกอร์-นิกโคลส์ (Ziegler-Nichols) และการควบคุมแบบ PID ด้วย Fuzzy Gain Scheduler

#### 2.1 การใช้น้ำมันหล่อลื่น

ในปี 2540 มีสถิติน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตและนำเข้ามาเพื่อจำหน่าย 530 ล้านลิตร ประเมินการว่ามีการใช้ไปในกลุ่มกิจกรรมที่สำคัญรวมกัน 509 ล้านลิตร เกิดเป็นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 329 ล้านลิตร คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 65% กลุ่มกิจกรรมหลักที่สำคัญมีดังนี้

2.1.1 กลุ่มยานยนต์ การเดินทางและขนส่งด้วยยานพาหนะทางบก ทางเรือ และทางอากาศเป็นแหล่งการใช้น้ำมันหล่อลื่นมากที่สุดประมาณ 61.3% และเป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นบ่อย ๆ จึงเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสูงสุด 67.8% อู่ซ่อมบำรุง, ศูนย์บริการ, สถานีบริการน้ำมัน จึงเป็นแหล่งที่จัดเก็บรวบรวมน้ำมันเครื่องใช้แล้วได้ดี และมีคุณภาพกว่าแหล่งอื่น ๆ การสูญหายไปของน้ำมันหล่อลื่นเกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ติดค้างอยู่กับไส้กรองและร้วซึม

2.1.2 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่โรงงานต่าง ๆ ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากนับตั้งแต่ปี 2531 เป็นต้นมาลักษณะการใช้ที่หลากหลายผู้ประกอบการรู้จักใช้และจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้ดีมีสัดส่วนการใช้ประมาณ 142 ล้านลิตรคิดเป็น 28% เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 22.2%

2.1.3 กลุ่มเกษตรกรรม ใช้ในเครื่องจักรการเกษตรเช่น รถไถ เครื่องสูบน้ำใช้กระจัดกระจายไปในชนบททั่วประเทศ ไม่เป็นกลุ่มจึงยากต่อการเก็บรวบรวมเพราะค่าขนส่งสูง เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 5.9%

2.1.4 กลุ่มประมง พื้นที่การประมงอยู่บริเวณปากอ่าวแม่น้ำ ชายทะเลและอ่าวไทย เป็นกลุ่มเสี่ยงต่อการก่อเกิดมลพิษทางทะเลและชายหาด เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว สูงสุด 3.3%

2.1.5 กลุ่มราชการและรัฐวิสาหกิจได้แก่กลุ่มทหาร 3 เหล่าทัพตำรวจ กรมทางหลวง กรมชลประทาน การบินไทย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การรถไฟ บริษัทขนส่งจำกัด เป็นต้น เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 1.59%

ตารางที่ 2-1 ปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นใหม่และการเกิดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

| กลุ่มกิจกรรม | ใช้น้ำมันหล่อลื่นใหม่<br>ล้านลิตร | สัดส่วน<br>% | น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว<br>ล้านลิตร | สัดส่วน<br>% |
|--------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| ยานยนต์      | 312.18                            | 61.3         | 223.05                            | 71.45        |
| อุตสาหกรรม   | 142.37                            | 28.0         | 73.24                             | 51.44        |
| เกษตรกรรม    | 29.96                             | 5.9          | 16.73                             | 55.84        |
| ประมง        | 16.9                              | 3.3          | 10.89                             | 64.44        |
| รัฐวิสาหกิจ  | 7.8                               | 1.5          | 5.24                              | 67.18        |
| รวม          | 509.2                             | 100          | 329.15                            |              |

ที่มา : เอกสารเผยแพร่ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดย นายพนัส งามกนกวรรณ

ตารางที่ 2-2 ปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและการจัดเก็บได้จากการสำรวจปี พ.ศ. 2540

| กลุ่มกิจกรรม | น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว<br>ล้านลิตร | สัดส่วน<br>% | น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจัดเก็บได้<br>ล้านลิตร | สัดส่วน<br>% |
|--------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------------------|--------------|
| ยานยนต์      | 223.05                            | 67.8         | 171.75                                      | 77.0         |
| อุตสาหกรรม   | 73.24                             | 22.2         | 36.62                                       | 50.0         |
| เกษตรกรรม    | 16.73                             | 5.1          | 3.35                                        | 20.0         |
| ประมง        | 10.89                             | 3.3          | 4.35                                        | 40.0         |
| รัฐวิสาหกิจ  | 5.24                              | 1.59         | 3.41                                        | 65.0         |
| รวม          | 329.15                            | 100          | 219.48                                      |              |

ที่มา : เอกสารเผยแพร่ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดย นายพนัส งามกนกวรรณ

## 2.1 คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

จะเปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งานได้มีการจัดเก็บตัวอย่างจากกลุ่มสถานบริการศูนย์บริการ  
คาร์แทร็ค กลุ่มเรือประมงจากภาคต่างๆ ของประเทศ ยกเว้นกลุ่มอุตสาหกรรมและกลุ่มรัฐวิสาหกิจ  
ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วปรากฏว่าได้ผล  
วิเคราะห์ต่อไปนี้

|                                                                              |        |             |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|
| 2.2.1 คุณสมบัติความข้นไหล $Vis@50^{\circ}C$ ค่าที่ได้                        | 63     | cst         |
| 2.2.2 จุดวาบไฟ (Flash Point)                                                 | 228    | $^{\circ}C$ |
| 2.2.3 ตะกอนที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย (Insoluble) มีตะกอนที่ไม่เล็กน้อย Pentane |        |             |
| Toluene                                                                      | 0.10   |             |
| Pentane                                                                      | 0.12   |             |
| 2.2.4 น้ำ (Water Content)                                                    | 0.35   |             |
| 2.2.5 เถ้า (Ash)                                                             | -      |             |
| 2.2.6 ค่าความร้อน (Heating Value)                                            | 10.596 | Kcal/Kg     |

โลหะต่าง ๆ (Water Metal) หน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm)

|    |       |
|----|-------|
| Al | 16.5  |
| Ca | 1.804 |
| Cu | 24    |
| Fe | 69    |
| Mg | 419.5 |
| P  | 852   |
| Pb | 17.5  |
| Zn | 952   |

การวิเคราะห์

มีคุณสมบัติโดยรวมสามารถเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันเตาได้ A1 ได้ ซึ่งมีคุณสมบัติเฉลี่ย  
ในค่าความร้อน (Heating Value) ประมาณ 10.596 Kcal/Kg ปริมาณกำมะถันไม่เกิน 1% และจุด  
ไหลเท  $Vis@50^{\circ}C$  ประมาณ 63 cst

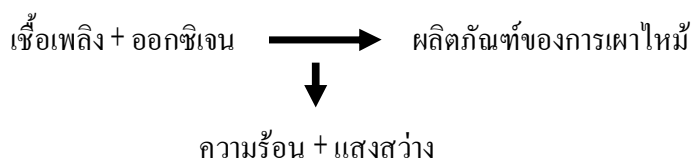
โดยเฉลี่ยน้ำ ( $H_2O$  Content) และโลหะที่เกิดจากการเผาไหม้และสึกหรอในปริมาณน้อยมาก  
พบว่าโลหะและสารที่มาจากสารเติมคุณภาพ (Additives) คงเหลืออยู่ในปริมาณมากเช่น Zn Ca  
Mg และ P

มีคุณสมบัติที่ดีของน้ำหล่อลื่นเหลืออยู่

สรุปผลการวิเคราะห์ : สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนน้ำมันเตาได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในเตาเผา Cement เป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มน้ำ อุตสาหกรรม (Boiler) ใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงหลอมโลหะบางประเภท เป็นต้น แต่จะมีเถ้าตะกอนเล็กน้อยซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าน้ำมันเตา (มาตรฐานสูงสุดให้เท่ากับ 1.0% wt)

## 2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

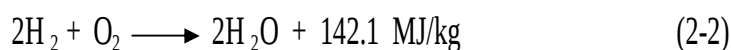
การเผาไหม้หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (Combustible Element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ สารเผาไหม้ประกอบด้วยหลัก 3 ตัวคือ คาร์บอน ไฮโดรเจนและกำมะถัน ปฏิกิริยาจะปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ผลผลิตที่ได้จากการเผาไหม้หรือที่เรียกว่าก๊าซไอเสีย



ประกอบไปด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ไอน้ำ (H<sub>2</sub>O) และไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) จะเป็นการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

สำหรับกำมะถันนั้นขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเทียบกับคาร์บอนและออกซิเจนในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มปัญหาในการกักความร้อนขึ้นส่วนหรืออุปกรณ์รวมทั้งทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ

สำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของคาร์บอนและไฮโดรเจนกับออกซิเจนนั้นเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



พบว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้ดังกล่าวนี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยปลดปล่อยความร้อนออกมาประมาณ 32.8 MJ/kg ของคาร์บอน และ 142.1 MJ/kg ของไฮโดรเจน

### 2.3.1 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวในสภาวะหยดเดี่ยวและมวลรวมของหยด

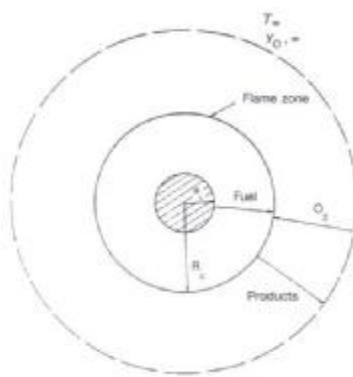
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวกระทำได้สองวิธี คือ ทำให้ระเหยเป็นไอก่อนจุดเปลวไฟหรือทำให้กลายเป็นหยดเล็ก ๆ แล้วพ่นเข้าไปในอากาศร้อนเพื่อให้เกิดการระเหยขณะเผาไหม้ สำหรับ

วิธีแรกที่คุ้นกันคือตะเกียงน้ำมันที่บรรจุน้ำมันในขวดที่มีไส้ตะเกียงจุ่มอยู่น้ำมันถูกดูดซึมผ่านไส้ตะเกียงขึ้นมาที่ปลายซึ่งจะจุดให้เกิดเปลวไฟขึ้นเปลวไฟจะทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่น้ำมันแล้วระเหยกลายเป็นไอน้ำมัน ดังนั้นการเผาไหม้จึงเป็นการเผาไหม้ของไอ น้ำมันที่ใช้ต้องเป็นน้ำมันเบา ระเหยง่าย เช่น น้ำมันก๊าด เป็นต้น สำหรับการใช้ในงานอุตสาหกรรมนิยมวิธีที่สองซึ่งใช้กับน้ำมันหนัก กากกันหอกถัน ซึ่งมีราคาถูก การฉีดพ่นน้ำมันเป็นฝอยละเอียด แล้วเกิดการเผาไหม้ของละอองละเอียดของน้ำมันที่พ่นผ่านหัวฉีดออกมาเป็นกระแสน้ำของละอองน้ำมันที่มีรูปร่างคล้ายกรวย (Spray) เรียกว่า การเผาไหม้ของสเปรย์ (Spray Combustion) ซึ่งเป็นผลรวมของการเผาไหม้ของละอองน้ำมันซึ่งมีกลไกซับซ้อนในการศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจึงนิยมศึกษาการเผาไหม้ในสถานะหยดเดี่ยวแล้วจึงนำไปประยุกต์กับการเผาไหม้ในสถานะมวลรวมของหยดในสเปรย์ภายหลัง (กรูทอง, 2548: 4-9)

### 2.3.2 การเผาไหม้น้ำมันเบาในสถานะหยดเดี่ยว

ลองพิจารณาหยดของเหลว เช่น ที่อยู่ที่ปลายหลอดแก้วเล็กๆ ก่อนที่จะหลุดออกจากปลายหลอดในขณะนั้น ของเหลวมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลม ถ้าหยดของเหลวนั้นเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันเบา เช่น น้ำมันก๊าด หรือ น้ำมันเตาเบา ซึ่งมีการระเหยได้รวดเร็วมาก

เมื่อจุดให้เกิดเป็นเปลวไฟล้อมรอบหยดนั้น จะพบว่าเปลวไฟที่เกิดขึ้นจะเกิดล้อมรอบหยด โดยมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลมเช่นเดียวกับหยด และขั้นตอนการควบคุมอัตราความเร็วของปฏิกิริยา คือ ขั้นตอนการแพร่ของโมเลกุลและอัตราความเร็วของปฏิกิริยา ไม่ขึ้นอยู่กับจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยานั้นคือ ขึ้นอยู่กับโมเลกุลจะแพร่เข้าหากันแล้วเกิดส่วนผสมที่เผาไหม้ได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2-1 ขอบเขตของเปลวไฟล้อมรอบหยดเดี่ยว

ถ้าพิจารณาโมเดลของการเผาไหม้หยดเดี่ยว จะได้ภาพที่ 2-1 ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

2.3.2.1 เชื้อเพลิงเป็นของเหลวบริสุทธิ์มีจุดเดือดแน่นอน

2.3.2.2 การเผาไหม้เป็นรูปทรงกลมที่สมมาตร ล้อมรอบหยดทรงกลม

2.3.2.3 การเผาไหม้เกิดขึ้นระหว่างส่วนผสมเชื้อเพลิงและออกซิเจนที่แพร่เข้าไปในบริเวณเปลวไฟและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.3.2.4 ความร้อนถ่ายโอนจากบริเวณเปลวไฟเข้าสู่หยดโดยการพา เพื่อให้ความร้อนการระเหยแก่น้ำมันให้เป็นไอและไม่คำนึงถึงความร้อนโดยการแผ่รังสีจากเปลวไฟ

## 2.4 ระบบการเผาไหม้ในอุตสาหกรรม

หัวฉีดทำหน้าที่ฉีดพ่นเชื้อเพลิงเหลวให้กลายเป็นหยดเล็ก ๆ หรือละออง โดยอัดเชื้อเพลิงเหลวด้วยความดันสูงผ่านรูขนาดเล็กหรือเพิ่มพื้นที่ฉีดเชื้อเพลิงจนแผ่เป็นแผ่นแล้วแตกออกเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งกระทำได้โดย

2.4.1 ใช้เชื้อเพลิงเหลวที่มีความดันสูงอัดผ่านรูขนาดเล็ก เป็นหลักการของหัวฉีดกระแสน้ำความดันสูง (Pressure Jet Atomizers)

2.4.2 ใช้กระแสของเหลวที่พ่นไปปะทะกับเชื้อเพลิงเหลว เป็นหลักการของหัวฉีดเสริม

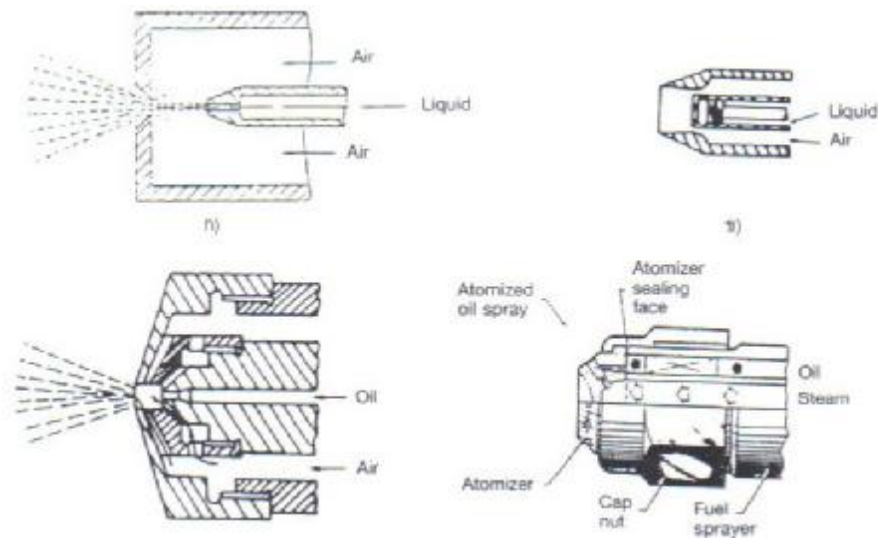
2.4.3 ใช้กระแสของแก๊สที่มีความดันสูงพ่นปะทะกับผิวของเชื้อเพลิงเหลว ทำให้เกิดคลื่นแล้วแผ่ออกเป็นแผ่นเชื้อเพลิงของเหลวแล้วกลายเป็นหยด เป็นหลักการของหัวฉีดไหลคู่

2.4.4 ใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเชื้อเพลิงให้แผ่ออกที่ขอบถ้วย แล้วถูกริดเป็นเส้นแล้วกลายเป็นหยดเป็นหลักการของหัวฉีดแบบถ้วยหมุน (Rotary Cup Atomizers)

2.4.5 ใช้คลื่นเหนือเสียงผ่านเชื้อเพลิงเหลวทำให้แตกตัวออกเป็นหยดเล็ก ๆ เป็นหลักการของ หัวฉีดใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic Atomizers)

## 2.5 หัวฉีดของไหลคู่ (Twin-fluid Atomizers)

ในกลไกการแตกออกเป็นหยด ซึ่งมีอิทธิพลของอากาศพลศาสตร์ร่วมด้วยอย่างมาก หัวฉีดของไหลคู่อาศัยหลักการนี้โดยใช้อากาศ หรือ ของไหลชนิดอื่น เช่น ใช้น้ำที่ความเร็วและความดันสูงพุ่งเข้ากระแทกกับแผ่นของเหลวที่ไหลด้วยความเร็วและความดันไม่สูงนัก ทำให้แผ่นของเหลวแผ่ออกเป็นเยื่อบางแล้วแตกออกเป็นหยดเล็ก ๆ การฉีดพ่นอาจเกิดภายในหรือด้านนอกติดกับหัวฉีด หัวฉีดที่ใช้อากาศความเร็วสูงเรียกว่า หัวฉีดอากาศพ่น (Air-blast Atomizers) ซึ่งมีทั้งชนิดความดันต่ำ และปานกลาง สำหรับความดันสูง (ใช้น้ำแทน) ภาพที่ 2-2 แสดงหลักการและหัวฉีดของไหลคู่



ภาพที่ 2-2 หลักการและหัวฉีดของไหลคู่ ก) แบบพื้นฐาน ข) ชนิดความดันต่ำแบบง่าย  
 ค) ชนิดความดันปานกลางใช้อากาศ ง) และชนิดความดันสูงใช้น้ำแบบอักษร Y

2.5.1 ชนิดความดันต่ำ ใช้อากาศความดันต่ำกว่า 20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ประมาณ 25 % ของอากาศที่ต้องการ มีอัตราส่วนการป้อนเชื้อเพลิงสูงที่สุดต่อต่ำที่สุด 2:1 ถึง 5:1 ความหนืดของเชื้อเพลิงเหลว 15.5 เซนติสโตก

2.5.2 ชนิดความดันปานกลาง ใช้อากาศความดันประมาณ 20-100 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ประมาณ 3-10 % ของอากาศที่ต้องการ มีอัตราส่วนการป้อนเชื้อเพลิงสูงที่สุดต่อต่ำที่สุดถึง 10:1 ความหนืดของเชื้อเพลิงเหลว 15.5 เซนติสโตก ปริมาณอากาศมากกว่าไอน้ำ 1.5 เท่า หรือ 10 % อัตราการป้อนน้ำมันเตา

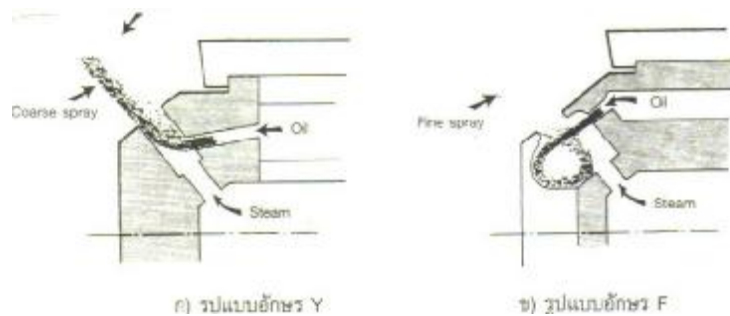
2.5.3 ชนิดความดันสูง ใช้น้ำความดันสูงกว่า 100 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ประมาณ 3-10 % ของอากาศที่ต้องการ มีอัตราส่วนการป้อนเชื้อเพลิงสูงที่สุดต่อต่ำที่สุด 5:1 ถึง 15:1 ความหนืดของเชื้อเพลิงเหลว 30-37 เซนติสโตก

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหัวฉีดอากาศพ่นอาจใช้สมการ

$$D_{32} = 2.25 \times 10^{-6} s_L^{0.25} m^{0.25} m_L^{0.25} (P_L \Delta^{-0.5} r_A^{0.25}) \quad (2-3)$$

ชนิดที่ใช้น้ำความดันสูง มักมีขนาดใหญ่ ใช้น้ำกับหม้อไอน้ำเรือเดินทะเลและโรงไฟฟ้า ทำให้การเกิดสเปรย์มีการกระจายของหยดไม่สม่ำเสมอเกินไป จึงมีการปรับปรุงรูปแบบของการ

ปะทะกันระหว่างกระแสของไอน้ำและเชื้อเพลิงเหลวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่นจากเดิมรูปอักษรวายปรับปรุงให้เป็นอักษรเอฟ ดังแสดงในภาพที่ 2-3

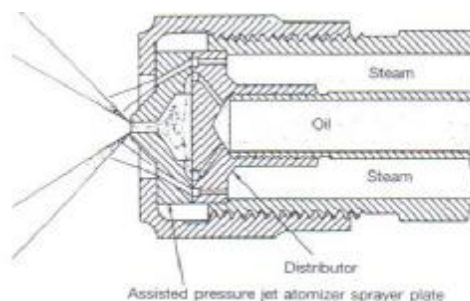


ก) ภาพแบบอักษร Y

ข) ภาพแบบอักษร F

ภาพที่ 2-3 ภาพแบบท่อทางออกของน้ำมันและไอน้ำ ก) อักษร Y และ ข) อักษร F

หัวฉีดอีกแบบหนึ่งคือแบบอากาศช่วย (Air-assisted Atomizer) ซึ่งใช้หลักการของหัวฉีดกระแสน้ำความดันสูงและหัวฉีดอากาศพ่นร่วมกัน โดยใช้เชื้อเพลิงเหลวพ่นผ่านหัวฉีดความดันสูงออกมาเป็นกระแสน้ำเป็นลำ ซึ่งมาปะทะกับอากาศหรือไอน้ำก่อนออกจากหัวฉีดทำให้ได้หยดขนาดเล็ก ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2-4 หัวฉีดชนิดนี้มีประโยชน์มากโดยเฉพาะการใช้งานขนาดใหญ่เช่นกังหัน แก๊สอุตสาหกรรมอาจต้องการการป้อนเชื้อเพลิงสูงถึง 5 ตันต่อชั่วโมงจากหัวฉีดเพียงหัวเดียว ถ้าไม่มีอากาศช่วยอาจให้หยดเชื้อเพลิงเหลวขนาดใหญ่ถึง 1 มิลลิเมตร (กัญจนา, 2544: 160-170)



ภาพที่ 2-4 หัวฉีดแบบอากาศช่วย

## 2.6 วิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์ (Ziegler - Nichols) สำหรับใช้ปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุม PID (Ziegler – Nichols Tuning of PID Regulators)

วิธีการของ ซีเกลอร์ – นิโคลส์ (Ziegler - Nichols) สำหรับปรับค่าอัตราขยายของ PID เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับปรับปรุงหรือพัฒนาตัวควบคุมเพื่อต้องการให้ระบบควบคุมนั้นมีการตอบสนองช่วงชั่วคราว (Transient Response) และการตอบสนองในสถานะอยู่ตัว (Steady State) มีลักษณะตามที่ต้องการ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการออกแบบระบบควบคุมพื้นฐานก็คือการเลือกภาพแบบของตัวควบคุมและคำนวณหาอัตราขยายของตัวควบคุมนั้น โดยอาศัยสมการการเคลื่อนที่ของระบบ การออกแบบนี้ต้องการแบบจำลองที่สมบูรณ์ของระบบพลศาสตร์ที่จะทำการควบคุม ซึ่งแบบจำลองนี้จะอยู่ในรูปแบบของสมการการเคลื่อนที่ (Dynamic Equation) หรือสมการฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ซึ่งจะต้องมีค่าก่อนข้างถูกต้องแม่นยำระบบควบคุมของจึงจะมีลักษณะของการตอบสนองตามที่ได้ตั้งเป้าหมายในการออกแบบไว้

แต่ในความเป็นจริงแล้วการจะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะใช้แทนการทำงานของระบบจริงให้ได้แม่นยำนั้นค่อนข้างจะลำบาก ดังนั้นจึงน่าจะมีวิธีการหรือกระบวนการใด ๆ ที่ช่วยให้สามารถหาเป็นสูตรสำเร็จที่จะใช้เป็นกฎพื้นฐาน (Empirically Based Rules) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมของระบบวิธีการนี้ก็คือวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler - Nichols) ซึ่งใช้มานานกว่า 40 ปีแล้ว ปัจจุบันนี้ก็ยังนิยมใช้อยู่ และก็มีอีกหลายวิธีซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงไปจากวิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์นี้

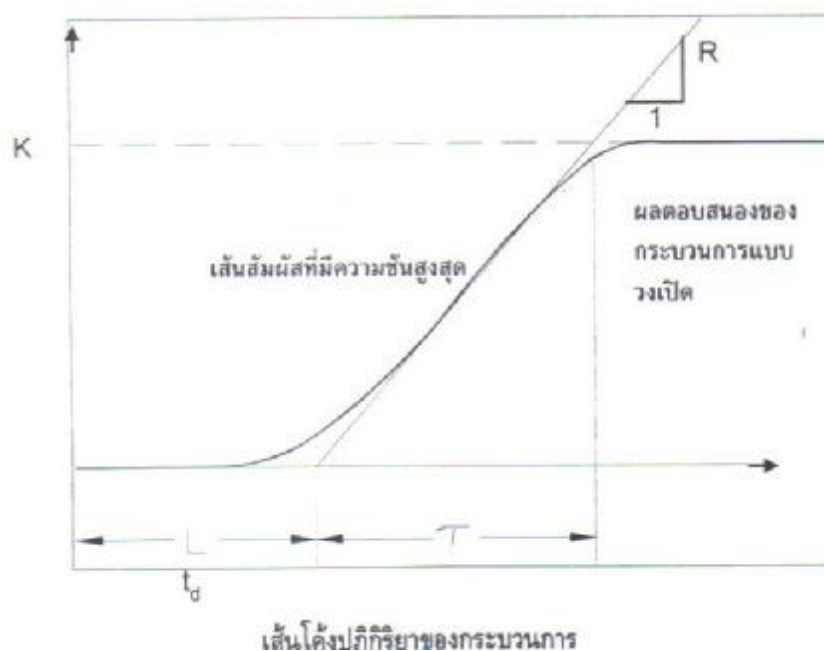
ซีเกลอร์ – นิโคลส์ นี้ได้พัฒนากฎของเขาจากการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบกับกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรม โดยใช้เกณฑ์ IEA กับผลของการตอบสนอง (System Response) ของระบบโดยมีสัญญาณอินพุตเป็น Unit-step Input วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler- Nichols) ที่ใช้ในการปรับค่าอัตราขยายตัวควบคุมนี้สามารถทำให้การตอบสนองเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย มีลักษณะการแกว่งเป็นแบบลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่ (Quarter-Decay) ซึ่งหมายความว่าค่าโอเวอร์ชูต (Overshoot) ที่สองจะน้อยกว่า 25 % ของค่าโอเวอร์ชูตตัวแรก ดังแสดงในภาพที่ 2.6 การปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมโดยวิธีการของซีเกลอร์– นิโคลส์นี้มีด้วยกันสองวิธีคือวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method) และวิธีการวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method)

วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method) หรือเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ (Process Reaction Curve) เป็นวิธีการที่ซีเกลอร์– นิโคลส์ พบว่าจากการพิจารณาการตอบสนองของระบบเมื่อสัญญาณอินพุต (Input Signal) คือฟังก์ชันจะพบว่าเมื่ออ่านและบันทึกค่าการตอบสนองนี้ลงในกระดาษ การตอบสนองนี้จะมีลักษณะคล้าย S ดังแสดงไว้ในภาพข้างล่างนี้

ซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ เส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการที่บันทึกจากการทดลองหรือจากการจำลองการเคลื่อนที่หรือการตอบสนองของระบบ และจะมีภาพแบบของการตอบสนองที่สามารถเขียนประมาณได้ด้วยสมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้คือ

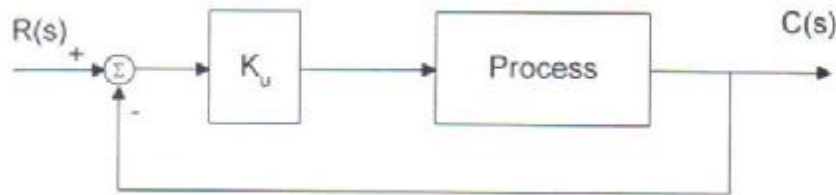
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-t_d s}}{ts + 1} \quad (2-4)$$

ซึ่งก็คือระบบอันดับที่หนึ่ง(First Order System)รวมกับเวลาล่าช้าในการขนถ่าย(Transportation-lag,  $t_d$ )



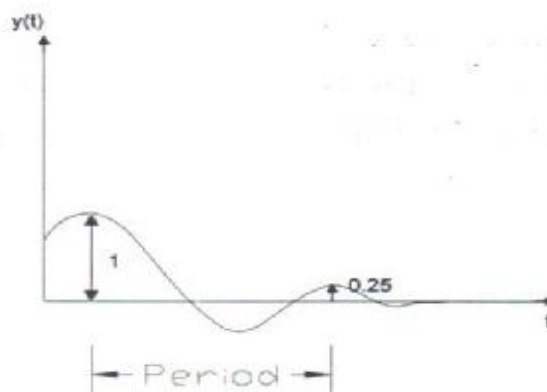
ภาพที่ 2-5 เส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ

จากเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการนี้สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมที่จะนำมาใช้การปรับค่าอัตราขยายของระบบควบคุม P, PI และ PID ได้ค่าพารามิเตอร์ที่วัดหรือคำนวณหาได้จากเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการนี้ก็คือ(จากภาพ) ค่า R และค่า L จากนั้นก็นำไปคำนวณหาพารามิเตอร์ P, PI และ PID ได้จากตารางที่ 2-5



ภาพที่ 2-6 การควบคุมเชิงสัดส่วน

วิธีสองเป็นวิธีการวิจัยการท้ายสุด (Ultimate Cycle Method) ซึ่งวิธีการนี้จะอาศัยหลักการที่ต้องการให้อัตราส่วนลดลงมีค่าประมาณ 25% หรือเรียกว่าลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่ (Quarter-decay) ดังแสดงในภาพที่ 2-6 ซึ่งค่าอัตราส่วนการหน่วง  $x$  ที่สอดคล้องกับค่าลดลงนี้คือ  $x = 0.21$  ค่า  $x$  นี้จะเป็นค่าที่เลือกโดยคำนึงถึงผลของความเร็วในการตอบสนองและเสถียรภาพของระบบด้วย หลักการทั่วไปของการออกแบบด้วยวิธีการนี้คือตอนแรกระบบและตัวควบคุมที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะเป็นแบบสัดส่วน (Proportional Control) เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2-6 เป็นการต่อวงจรควบคุมแบบสัดส่วนนี้เข้ากับระบบจริงแล้วค่อย ๆ เพิ่มค่าอัตราขยาย  $K$  ให้มีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งระบบเริ่มมีการแกว่ง (Oscillate) หรือเริ่มเข้าใกล้จุดที่ระบบเริ่มไม่เสถียรภาพหรือเริ่มไม่มีความสมดุล (Unstable) ให้บันทึกค่าอัตราขยาย  $K$  ตรงตำแหน่งนี้ไว้ และสมมติว่าให้มีค่าเท่ากับ  $K_u$  ในขณะเดียวกันนี้ก็ให้ทำการวัดคาบของการแกว่ง (Period of Oscillation) และสมมติว่าให้มีค่าเท่ากับ  $P_u$  (Ultimate Period) โดยพยายามวัดเมื่อค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ของการแกว่งมีค่าไม่มากนักจากค่า  $K_u$  และ  $P_u$  นี้สามารถนำมาคำนวณปรับค่าอัตราขยายที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแบบ P, PI และ PID โดยใช้ตารางที่ 2-3 เพื่อคำนวณหาอัตราขยายของตัวควบคุม (วินูลย์, 2538: 183-186)



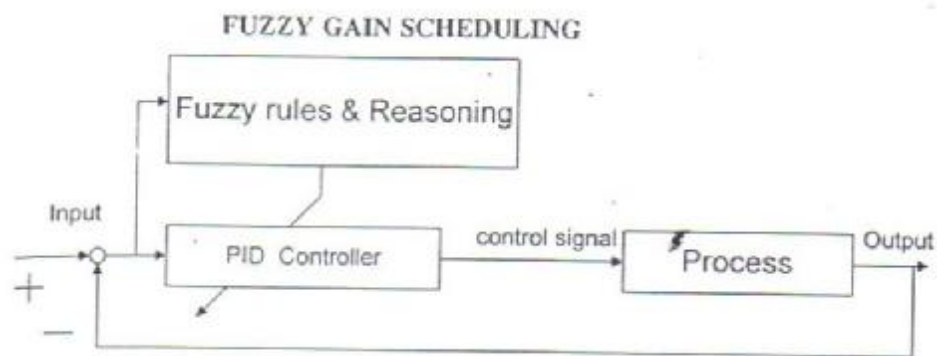
ภาพที่ 2-7 ภาพแสดงการลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่

### ตารางที่ 2-3 เกณฑ์ของซีเกลอร์-นิโคลส์ (The Ziegler-Nichols Rules)

สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม  $G(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_p + \frac{K_p}{T_i s} + K_p T_d s$

| แบบรูปการควบคุม                  | วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ | วิธีการวิจักรท้ายสุด |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| ตัวควบคุมแบบพี (P-Control)       | $K_p = \frac{1}{RL}$         | $K_p = 0.5K_{pu}$    |
| ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Control)    | $K_p = \frac{0.9}{RL}$       | $K_p = 0.45K_{pu}$   |
|                                  | $T_i = 3.3L$                 | $T_i = 0.83P_u$      |
| ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Control) | $K_p = \frac{1.2}{RL}$       | $K_p = 0.6K_{pu}$    |
|                                  | $T_i = 2L$                   | $T_i = 0.5P_u$       |
|                                  | $T_d = 0.5L$                 | $T_d = 0.125P_u$     |

### 2.7 การควบคุมแบบ PID ด้วย FUZZY GAIN SCHEDULER



ภาพที่ 2-8 แสดงระบบของการควบคุมแบบ PID ด้วย Fuzzy Gain Scheduler

โดยจะเป็นการนำ Fuzzy Rules และ Reasoning ไปกำหนดค่า Parameter สำหรับ Controller โดยซึ่ง  $K_p, K_d$  จะถูกกำหนดในย่านของ  $|K_{p \min}, K_{p \max}|$  และ  $|K_{d \min}, K_{d \max}|$  ตามลำดับย่านที่เหมาะสมถูกต้องขึ้นมา โดยการทดลองและจะเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} K_{p \min} &= 0.32K_u, \quad K_{p \max} = 0.6K_u \\ K_{d \min} &= 0.32K_u.T_u, \quad K_{d \max} = 0.15K_u.T_u \end{aligned} \quad (2-6)$$

เพื่อความสะดวกค่า  $K_p$  และ  $K_d$  จะถูกกำหนดให้อยู่ในย่านระหว่าง 0 และ 1 โดยเป็น Linear Transformation ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} K'_p &= (K_p - K_{p \min}) / (K_{p \max} - K_{p \min}) \\ K'_d &= (K_d - K_{d \min}) / (K_{d \max} - K_{d \min}) \end{aligned} \quad (2-7)$$

ในโครงสร้างวิธีของ PID Paraineter จะถูกกำหนดด้วยหลักของ Current Error  $e(k)$  และค่าแตกต่างอันดับแรก  $e(k)$

ค่า Integral Time Constant จะถูกกำหนดในเทอมของ Derivative Time Constant คือ

$$T_I = a.T_d \quad (2-8)$$

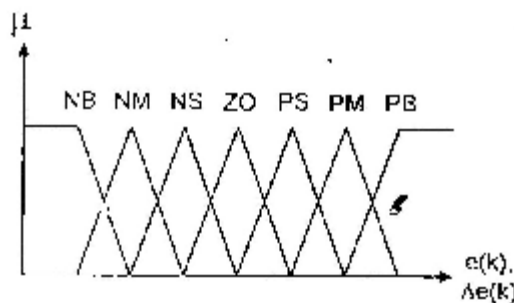
และค่า Integral Gain จะหาได้ดังนี้

$$K_i = K_p / (a.T_d) = K_p^2 / (a.K_d) \quad (2-9)$$

ค่า Parameter  $K'_p$ ,  $K'_d$  และ  $a$  จะถูกกำหนดโดยเซตของ Fuzzy Rules รูปแบบ คือ If  $e(k)$  is  $A_i$  and  $\Delta e(k)$  is  $B_i$ , then  $K'_p$  is  $C_i$ ,  $K'_d$  is  $D_i$  and  $a = a_i$

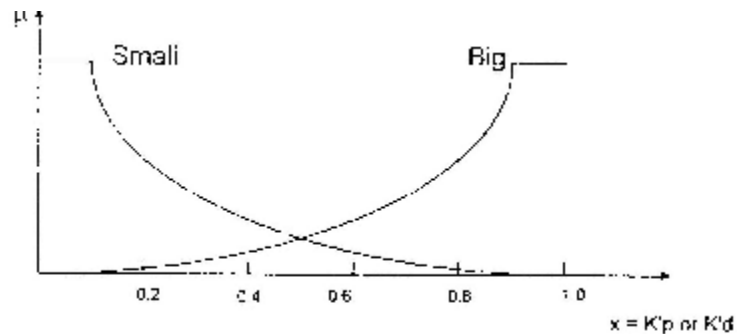
$$i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2-10)$$

โดยที่  $A_i, B_i, C_i, D_i$  คือ Fuzzy Set ตรงกับส่วนของ Sets  $i$  คือ ค่าคงที่ MumberShip Function (MF) ของ Fuzzy Set เหล่านี้สำหรับ  $e(k)$  และ  $\Delta e(k)$  ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ค่าของ Input ของ Fuzzy Set

ในภาพนี้ N แทนค่า negative ,P แทนค่า Positive , ZO ประมาณเท่ากับ O,S แทนค่า Small, M คือ Medium, B คือ Big ดังนั้น NM ใช้แทนสำหรับ Negative-Medium , PB สำหรับ Positive Big เป็นต้นเช่นนี้ ทุกค่า Fuzzy Set  $C_i$  และ  $D_i$  อาจจะไม่ใช่ Big ก็ Small และ คุณลักษณะของ Membership Function แสดงดังภาพที่ 2-10



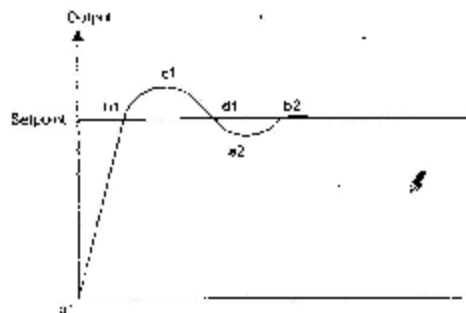
ภาพที่ 2-10 คุณลักษณะของ Membership

ที่ซึ่ง Grade ของ  $m$  Membership Function และค่าตัวแปร  $X = K'_p$  หรือ  $K'_d$  มีความสัมพันธ์กันดังต่อไปนี้

$$m \text{ Small}(x) = -1/4 \ln x \text{ or } x \text{ small}(m) = e^{-4m} \text{ For small}$$

$$m \text{ Big}(x) = -1/4 \ln(1-x) \text{ or } x \text{ big}(m) = 1 - e^{-4m} \text{ For Big} \quad (2-11)$$

Fuzzy Rules ในสมการที่ 2-11 อาจจะหาได้จากความรู้ความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานในที่นี้จึงตั้ง Rule ด้วยการทดลองหลักการของ Step Response ของ Process จากภาพที่ 2-11



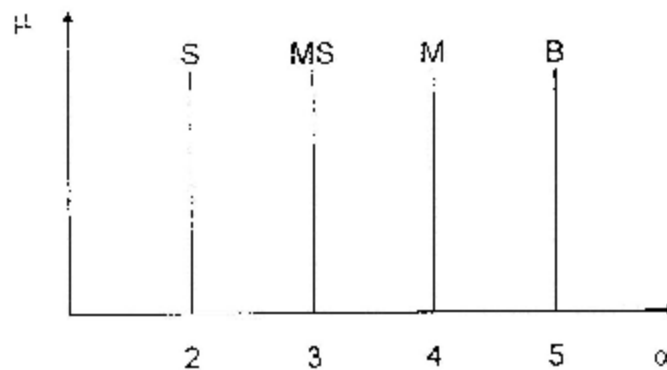
ภาพที่ 2-11 จะแสดงตัวอย่างของ Time Response ที่ต้องการ

ที่จุดเริ่มต้น  $a1$  จำเป็นต้องใช้สัญญาณ Control ที่ Big เพื่อที่จะให้มีช่วง Rise Time ที่รวดเร็ว ในการที่จะผลิตสัญญาณ Control ที่ Big นั้น เครื่องควบคุมแบบ PID ควรมีค่า Proportional Gain

( $K'_p$ ) สามารถที่จะแทนด้วย Fuzzy set ที่ Big และ Derivative gain  $K'_d$  ด้วย Fuzzy Set ที่ Small ค่ากิริยาของ Integral จะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์จากค่า กิริยา Derivative ในสมการที่ 2-4 สำหรับเครื่องควบคุมแบบ PID การนำเอาค่า ที่ Small หรือค่า Integral Time Constant  $T_i$  ที่ Small จะเป็นผลให้กิริยา Integrals มากอย่างไรก็ตามกิริยา Integrals ควรจะมากหรือน้อยนั้นจะถูกกำหนดในโครงสร้างโดยการเปรียบเทียบกับวิธีที่รู้จักกันดีคือ กฎ Tuning rule PID ด้วย Ziegler Nichols

ใน Ziegler - Nichols rule ค่า Integral Time Constant  $T_i$  จะถูกนำค่า 4 ค่า ค่าซึ่งใหญ่เท่ากับ Derivative Time Constant เสมอ นั่นคือ เท่ากับที่ 4 ในโครงสร้างจะนำค่าที่ต่ำกว่า 4 (2) ที่จะกำเนิดค่าที่มากของกิริยา Integral ดังนั้น Rule รอบจุด al อ่านได้ว่า

If  $e(k)$  is PB and  $\Delta e(k)$  is Zo, Then  $K'_p$  is Big ,  $K'_d$  is Small , and  $\alpha = 2$  ข้อสังเกตซึ่ง  $\alpha$  อาจจะพิจารณาด้วย Fuzzy Number ซึ่งมี Membership Function เดียว ดังแสดงในภาพที่ 2-12 สำหรับตัวอย่าง เป็น 2 เมื่อ เป็น Small



ภาพที่ 2-12 ค่าของ fuzzy number

รอบจุด bl ในภาพที่ 2-11 ซึ่งคาดว่าสัญญาณควบคุม (Control Signal) ควรจะน้อยเพื่อจะหลีกเลี่ยง Overshoot ที่มาก นั่นคือเครื่องควบคุมแบบ PID ควรจะมี Proportional Gain ที่ต่ำ Derivative Gain ที่สูงและ Integral Gain ที่ต่ำ ดังเช่น Fuzzy Rule ที่นำมาต่อไปนี้

If  $c(k)$  is Zo and  $\Delta e(k)$  is NB, then  $K'_p$  is small,  $K'_d$  is Big, and  $\alpha = 5$  ดังนั้นเซตของ Rule จะแสดงในตารางที่ 2-5 อาจใช้ที่จะปรับค่า Proportional Gain ( $K'_p$ ) Tuning Rule สำหรับ  $K'_d$  และ ให้ค่าโดยตารางที่ 2-4 และตารางที่ 2-5 ตามลำดับในตารางให้ B แทน Big และ S แทน Small

ตารางที่ 2-4 ค่าพารามิเตอร์  $K'_p$  ของ Fuzzy Logic

| $K'_p$               |                  |
|----------------------|------------------|
| $\Delta e(k)$        |                  |
| NB NM NS ZO PS PM PB |                  |
| e(k)                 | NB B B B B B B B |
|                      | NM S B B B B B S |
|                      | NS S S B B B S S |
|                      | ZO S S S B S S S |
|                      | PS S S B B B S S |
|                      | PM S B B B B B S |
|                      | PB B B B B B B B |

ตารางที่ 2-5 ค่าพารามิเตอร์  $K'_d$  ของ Fuzzy Logic

| $K'_d$               |                  |
|----------------------|------------------|
| $\Delta e(k)$        |                  |
| NB NM NS ZO PS PM PB |                  |
| e(k)                 | NB S S S S S S S |
|                      | NM B B S S S B B |
|                      | NS B B B S B B B |
|                      | ZO B B B B B B B |
|                      | PS B B B S B B B |
|                      | PM B B S S S B B |
|                      | PB S S S S S S S |

เมื่อ B = Big

S = Small

NB = Negative Big

NM = Negative Medium

NS = Negative Small

ZO = Zero

PS = Positive Small

PM = Positive Medium

PB = Positive Big

ตารางที่ 2-6 ค่าพารามิเตอร์  $a$  ของ Fuzzy Logic

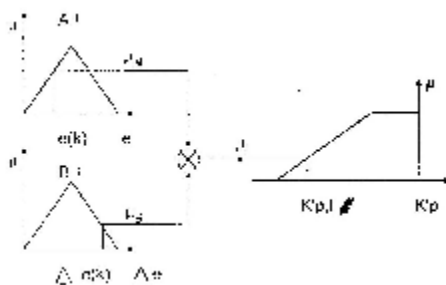
|        |    | $a$           |    |    |    |    |    |    |
|--------|----|---------------|----|----|----|----|----|----|
|        |    | $\Delta e(k)$ |    |    |    |    |    |    |
|        |    | NB            | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| $e(k)$ | NB | 2             | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
|        | NM | 3             | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  |
|        | NS | 4             | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 4  |
|        | ZO | 5             | 4  | 3  | 3  | 3  | 4  | 5  |
|        | PS | 4             | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 4  |
|        | PM | 3             | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  |
|        | PB | 2             | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |

ค่าจริงของ  $i$  th Rules ในสมการที่ 2-6  $m_i$  จะถูกหาค่าโดย product ของค่า MF ในส่วนก่อนของ Rules

$$m_i = mA_i(e(k)) * mB_i(\Delta e(k)) \quad (2-12)$$

โดยที่  $A_i$  คือค่า MF ของ fuzzy set  $A_i$  จะถูกให้ค่าโดย  $e(k)$  และ  $mB_i$  คือค่า MF ของ Fuzzy Set  $B_i$  จะถูกให้ค่าโดย  $\Delta e(k)$

หลักการของ  $m_i$  ค่าของ  $K'_p$  และ  $K'_d$  สำหรับแต่ละ Rule จะถูกกำหนดค่าที่ตรงกับ Membership Function ความสัมพันธ์ของ Process ของ Fuzzy Rule ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 การคำนวณค่า Out Put

โดยใช้ Membership Function ในภาพที่ 2-2 นั้นมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$\sum_i^m m_i = 1 \quad (2-13)$$

แล้วการ Defuzzification เป็นผลดังต่อไปนี้

$$K'_p = \sum_i^m m_i \cdot K'_{pi} \quad (2-14)$$

$$K'_d = \sum_i^m m_i \cdot K'_{di} \quad (2-15)$$

$$a = \sum_i^m m_i \cdot a_i \quad (2-16)$$

ในที่นี้  $K'_{pi}$  คือค่าของ  $K'_p$  ที่ตรงกับ Grade  $m_i$  สำหรับ  $i$  th Rule (ดูจากภาพที่ 2-6)  $K'_{di}$  ก็ถูกหาค่าในวิธีเดียวกัน เมื่อ  $K'_p$ ,  $K'_d$  และ ถูกหาค่าได้เครื่องควบคุมแบบ PID จะหาค่า parameter จากการคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้ นั้นตรงกับสมการที่ 2-13 และสมการที่ 2-15

$$K_p = (K_{p \max} - K_{p \min}) K'_p + K_{p \min} \quad (2-17)$$

$$K_d = (K_{d \max} - K_{d \min}) K'_d + K_{d \min} \quad (2-18)$$

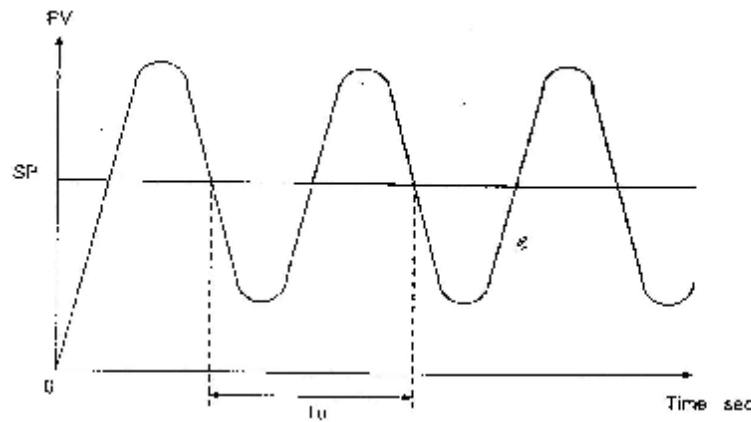
$$K_i = K_p^2 / (a \cdot K_d) \quad (2-19)$$

หลักการของ Simulation ที่ยาวนาน ด้วย Process ต่าง ๆ Rule ของกฎห้วแม่่มือสำหรับการกำหนดย่านของ  $K_p$  และย่านของ  $K_d$  จะถูกให้ค่าดังนี้

$$K_{p \min} = 0.32K_u, \quad K_{p \max} = 0.6K_u$$

$$K_{d \min} = 0.008K_u \cdot T_u, \quad K_{d \max} = 0.15K_u \cdot T_u \quad (2-20)$$

โดยที่  $K_u$  และ  $T_u$  คือ Gain และ Period ของการ Oscillation ที่ Stability ตามลำดับกำหนดภายใต้ P-control ดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-14 วัฏจักรสุดท้าย

## 2.8 ขั้นตอนการออกแบบ Software

โดยการนำเอาทฤษฎี Fuzzy ของ IEEE มาประยุกต์ทำได้นี้

### 2.8.1 Fuzzification of Input

แล้วจะนำเอา Input (PV) ของ Process ที่ได้มาหาค่า Degree of Membership โดยจะแปลง Input (PV) ของ Process เป็น Input ของ Fuzzy Logic System ได้ 2 ค่าคือ

$$2.8.1.1 \text{ Error } e(k) = SP - PV$$

$$2.8.1.2 \text{ Change Error} = \Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$$

SP (Set Point) = ค่าเป้าหมายที่ตั้งหรือกำหนด

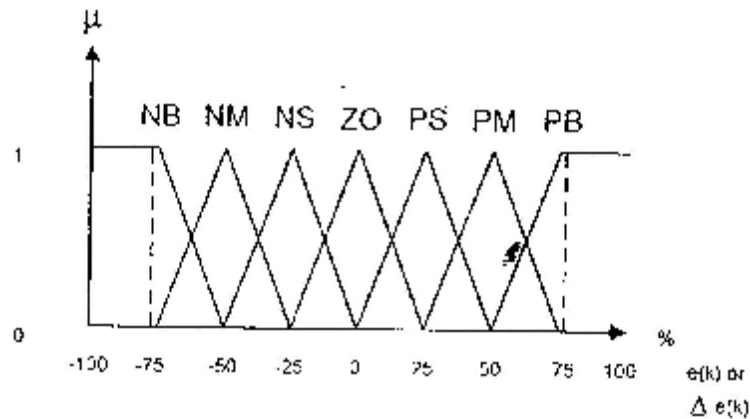
PV (Process Variable) = ค่า Input ที่วัดได้ ณ. เวลาใด ๆ

$e(k)$  = ค่า Error ปัจจุบัน

$\Delta e(k)$  = ค่า Change Error

$e(k-1)$  = ค่า Error ก่อนหน้าปัจจุบัน

โดยจากตัวแปรอินพุตทั้ง 2 ตัวนี้  $\Delta e(k)$  และ  $\Delta e(k-1)$  จะต้องนำมาผ่านขั้นตอนของการ Fuzzification ให้อยู่ในภาพของ Fuzzy Input ได้โดยการเทียบค่าตัวแปรอินพุตกับกราฟความเป็นสมาชิก (Membership Function) ของภาพที่ 2-9 และภาพที่ 2-10 ซึ่งภาพที่ 2-9 จะเป็นกราฟความเป็นสมาชิกของ Error  $e(k)$  และภาพที่ 2-10 จะเป็นกราฟความเป็นสมาชิกของ Change Error  $\Delta e(k)$  ซึ่งแต่ละกราฟจะมีจำนวนเทอมหรือ Label เท่ากับ 7 Label



ภาพที่ 2-15 การกำหนดช่วงของ Input

โดยที่ NB = Negative Big  
 NM = Negative Medium  
 NS = Negative Small  
 ZO = Zero  
 PS = Positive Small  
 PM = Positive Medium  
 PB = Positive Big

### 2.8.2 Rule Evaluation

การคำนวณค่าตามกฎที่ตั้งไว้โดยอาศัยค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ได้จากการเปรียบเทียบ ค่า Fuzzy Input กับกราฟความเป็นสมาชิก เป็นตัวกำหนดความสำคัญของกฎแต่ละกฎ โดยกฎต่าง ๆ นี้จะแสดงได้ดังตารางที่ 2-4, ตารางที่ 2-5, ตารางที่ 2-6 ระหว่างตัวแปร Fuzzy Input ทั้ง 2 ตัวในวงเล็บคือ Error และ Change Error ตาม Fuzzy If/Then Rules

### 2.8.3 Defuzzyfication of Output

เป็นขั้นตอนที่นำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน Rules Evaluation เพื่อหาค่าของ Fuzzy Output ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบตามกฎต่าง ๆ แล้ว จะเห็นได้ว่าถ้ามีการคำนวณตามกฎการควบคุม แล้ว นำเพียงกฎใดกฎหนึ่งมาใช้จะทำให้ผลการควบคุมระบบผิดพลาดได้ จึงนำค่าเอาต์พุตของกฎต่าง ๆ มาหาค่าเอาต์พุตที่จะใช้ในการควบคุมระบบ โดยใช้การคำนวณแบบ Center of Gravity คำนวณผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าจุดศูนย์กลางสำหรับตัวแปรเอาต์พุตซึ่งได้แก่ค่า  $K_p$ ,  $K_d$  และ  $K_i$  (สุพรพิศ, 2539: 12-20)

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัยของการพัฒนาระบบควบคุมการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยระบบควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic Control เพื่อใช้กับหม้อต้มน้ำอุตสาหกรรม

#### 3.1 สภาวะในการทดสอบ และ Diagram ของการทดสอบ

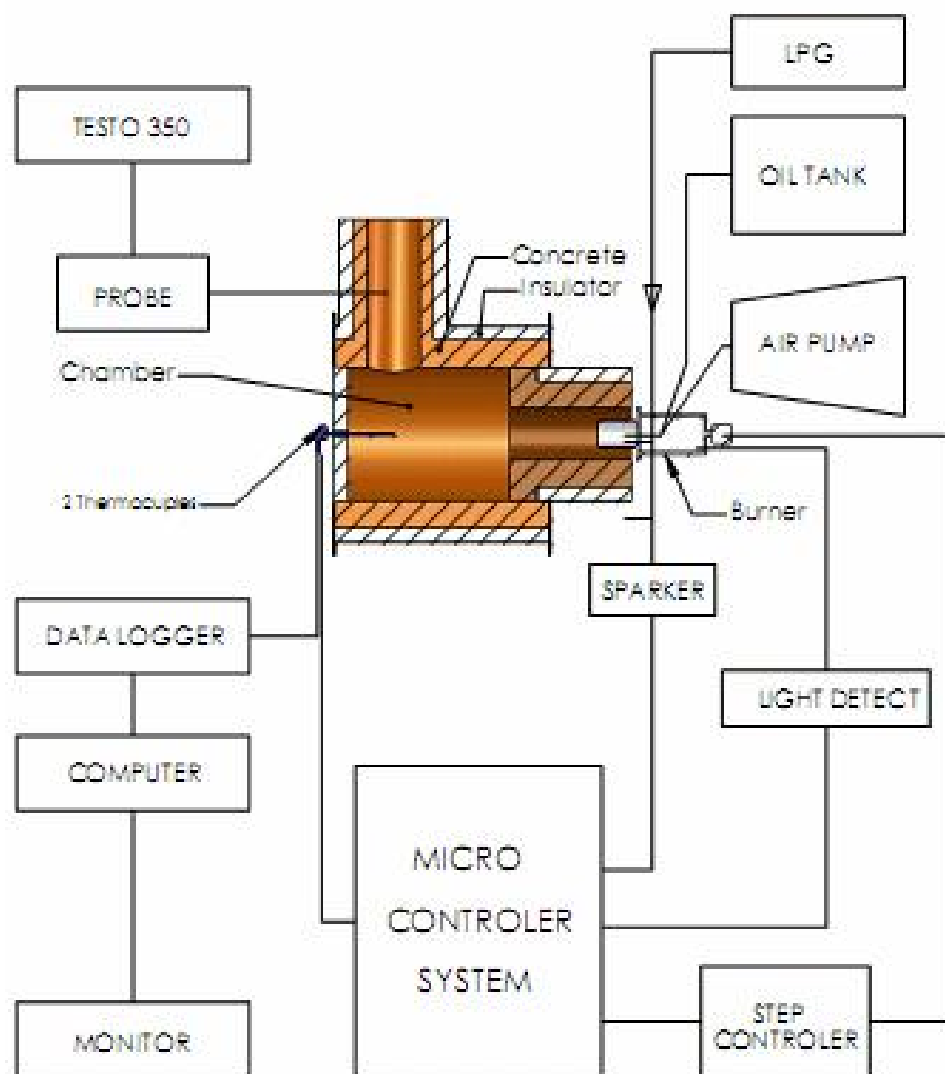
3.1.1 การวิจัยครั้งนี้ จะใช้ความดันลมในการทดลองขนาด 6-8 bar และ อุณหภูมิตามสภาวะแวดล้อมในปัจจุบัน

3.1.2 หัวเผาที่ต้องการจะจุดไฟติดจะต้องเปิดวาล์วหัวเผาที่ 90 องศา และใช้ก๊าซLPGเป็นตัวหล่อไฟ เพื่อให้หัวเผาติดไฟ

3.1.3 การควบคุมหัวเผาจะใช้ระบบควบคุมแบบ PID และ PID Fuzzy Logic ในขณะที่อุณหภูมิเตามีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเตาที่ต้องการควบคุมจะไม่มี การดับหัวเผาแต่จะทำการเปิดวาล์วหัวเผาที่ 90 องศา ซึ่งเป็นค่าที่หัวเผาสามารถติดไฟได้ที่ให้ค่าพลังงานต่ำสุด

3.1.4 การทดสอบจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ตาม Diagram ด้านล่างนี้

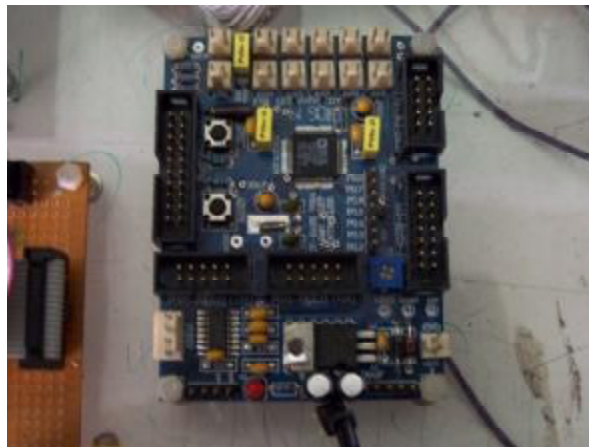
## SCHEMATIC DIAGRAM OF PID FUZZY LOGIC CONTROL



ภาพที่ 3-1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

### 3.2 ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในการควบคุม

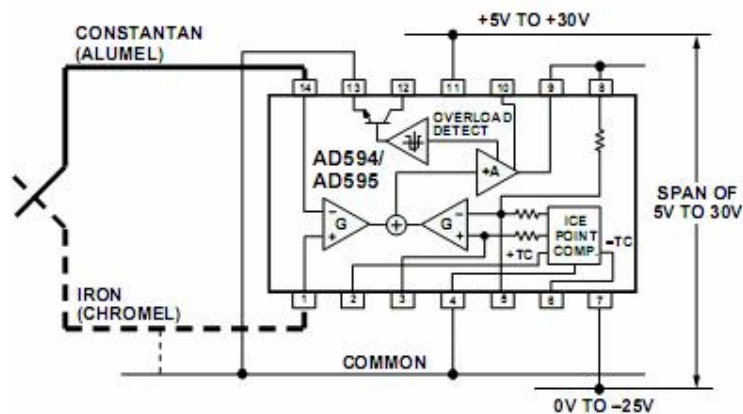
เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล ARM7 ขนาด 64 Pin เบอร์ ADUC7024 ของ Analog Device เป็น MCU รุ่นนี้จะบรรจุอยู่ภายใต้ตัวถังแบบ 64 Pin LQFP โดย MCU ตัวนี้จะมีจุดเด่น คือความสามารถในการเชื่อมต่อกับสัญญาณแบบ Analog ซึ่งมีทั้ง ADC ขนาด 12 บิต จำนวน 10 ช่อง และ DAC ขนาด 12 บิต จำนวน 2 ช่อง นอกจากนี้แล้วสามารถทางด้านของความเร็วในการประมวลผลก็ถือว่าไม่ด้อยกว่าตัวอื่น ๆ ซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยความเร็วสูงสุด 41.78 MHz โดยใช้ XTAL 32.768 KHz ร่วมกับวงจรความถี่แบบ Phase Lock Loop ภายใต้ตัว MCU นอกจากนี้แล้วยังมีความเพียบพร้อมด้วยอุปกรณ์พื้นฐานต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash ขนาด 62 Kbyte และหน่วยความจำใช้งานแบบ RAM ซึ่งมีมากถึง 8 Kbyte ส่วนในด้านของอุปกรณ์ Peripheral นั้นก็นับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีโดยจะมีทั้ง SPI, UART, Watchdog, Time/Counter, PWM โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องขนาดของบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมและใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด +5 VDC ร่วมกับ Regulate 3.3 V On Board



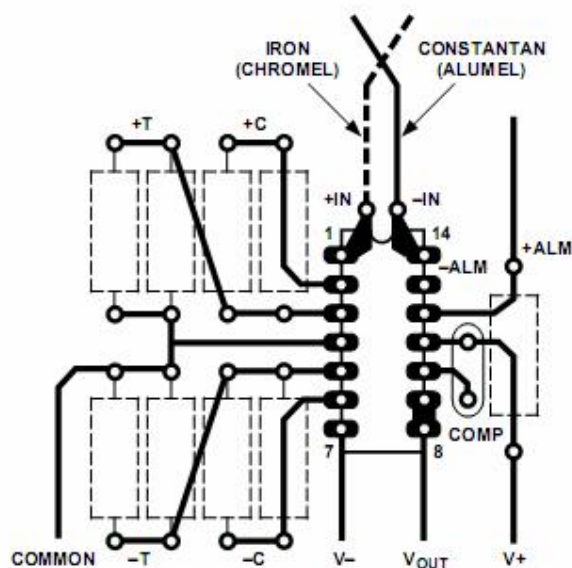
ภาพที่ 3-2 บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น ET-BASE ARM7024(ADUC7024)

### 3.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณจากเทอร์โมคอปเปิล (Monolithic Thermocouple Amplifiers)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณจากเทอร์โมคอปเปิล Type K และส่งสัญญาณให้กลับคอนโทรลเลอร์ไปประมวลผลเพื่อควบคุมการเปิดวาล์วของหัวเผาในการทำวัฏจักรนี้จึงเลือกใช้ไมโครชิพของ Analod Devices Mode AD595AQ สามารถขยายสัญญาณได้ 10 mV/C



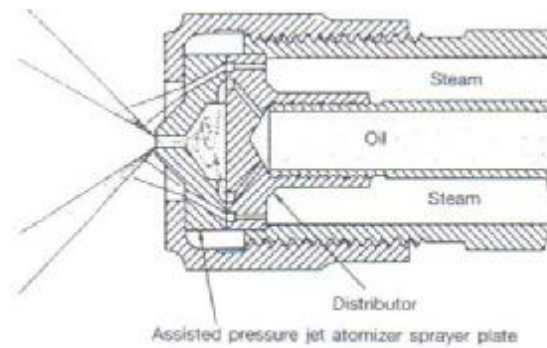
ภาพที่ 3-3 อุปกรณ์ที่ใช้ขยายสัญญาณจากเทอร์โมคอปเปิล



ภาพที่ 3-4 วงจรอุปกรณ์ที่ใช้ขยายสัญญาณจากเทอร์โมคอปเปิล

### 3.4 หัวเผา

เป็นหัวเผาขนาด 4 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งใช้กับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้การเปิดปิดวาล์วเพื่อควบคุมปริมาณน้ำมันให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยมีหลักการทำงานคล้ายกับการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ของรถยนต์ โดยการปรับเปลี่ยนค่าของพื้นที่หน้าตัดของทางเดินอากาศเข้าโดยการหมุนวาล์วของหัวเผาคู่เข้ากับเกลียวทำให้แกนของของวาล์วเคลื่อนที่เข้าออกไปปรับพื้นที่หน้าตัดที่เป็นลักษณะแบบกรวยดังภาพด้านล่าง



ภาพที่ 3-5 ภาพตัดของหัวเผา



ภาพที่ 3-6 หัวเผา

### 3.5 อุปกรณ์ขับเคลื่อนมอเตอร์

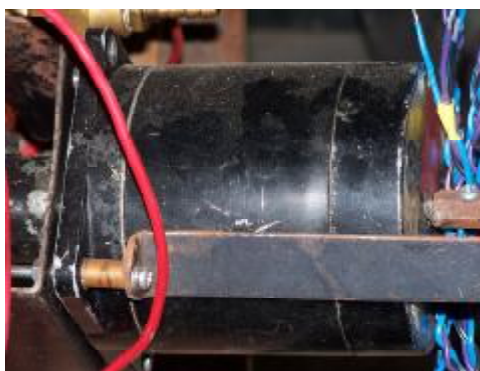
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสเตปมอเตอร์ให้หมุนไปตามองศาที่คอนโทรลเลอร์กำหนด เพื่อควบคุมการเปิดวาล์วของหัวเผาที่ใช้ในการวิจัยโดยเลือกใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนมอเตอร์ของ Super Vexta 5- Phase Driver Mode UDX5107 ใช้ไฟฟ้า 100 V



ภาพที่ 3-7 อุปกรณ์ควบคุมสเตปมอเตอร์

### 3.6 สเตปมอเตอร์

ใช้เป็นต้นกำลังในการหมุนเปิดปิดวาล์วของหัวเผาที่ใช้ในการวิจัยเป็นสเตปมอเตอร์ของ Vexta 5- Phase Model UPH599-A ซึ่งสามารถหมุนได้ 0.36 องศา/สเตป ขนาด 27 W



ภาพที่ 3-8 สเตปมอเตอร์

### 3.7 Solid State Relay

ใช้ในการตัดต่อซิลินอยวาล์วในการปิด-เปิดก๊าซ เพื่อใช้ในการจุดหัวเผา ในการทำวิจัยครั้งนี้ใช้ Solid State Relay ขนาด 3-32 VDC/220 VAC



ภาพที่ 3-9 Solid State Relay

### 3.8 Solenoid Valve

ใช้ในการปิดเปิดแก๊ส เพื่อใช้ในการจุดหัวเผา ในการทำวิจัยครั้งนี้ใช้ Solenoid Valve ของ Parker 220/230/50 Hz 0-10 bar



ภาพที่ 3-10 Solenoid Valve

### 3.9 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงโดยคุณสมบัติโดยรวมสามารถเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันเตา A ได้ซึ่งมีคุณสมบัติเฉลี่ยในค่าความร้อน (Heating Value) ประมาณ 10.596 Kcal/Kg ปริมาณกำมะถันไม่เกิน 1% และจุดไหลเท  $Vis@50^{\circ}C$  ประมาณ 63 cst

### 3.10 วิธีการทดสอบหาอัตราการสูญเสียเชื้อเพลิง

ในการสร้างระบบควบคุมจะต้องรู้คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมเพื่อจะได้ออกแบบการควบคุมให้ได้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม โดยในที่นี้สิ่งที่ต้องการทราบก่อนเบื้องต้นคือการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเปิดวาล์วที่องศาแตกต่างกันโดยมีวิธีการทดลองดังนี้

3.10.1 ติดตั้งหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้ากับเตาทดสอบที่ใช้แทนหม้อต้มน้ำอุตสาหกรรม

3.10.2 ต่อสายน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับหลอดวัดปริมาณน้ำมันและหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเชื้อเพลิง

3.10.3 เปิดวาล์วควบคุมเพื่อให้ น้ำมันเข้าหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

3.10.4 จุกระบบหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้ไฟติด

3.10.5 เปิดวาล์วน้ำมันตามองศาที่กำหนดเพื่อวัดปริมาณน้ำมัน

3.10.6 จัดเวลาและบันทึกผลการทดลอง

3.10.7 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 5-6 จำนวน 5 ครั้ง

3.10.8 นำผลการทดลองที่ได้ไปทำการเฉลี่ยและสร้างกราฟเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างระบบควบคุมของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

### 3.11 การทดสอบหาค่าการเทียบวัดอุณหภูมิ

ในการสร้างระบบควบคุมต้องมีอุปกรณ์เปรียบเทียบข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมของระบบกับค่าที่ต้องการควบคุม โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

3.11.1 ติดตั้งหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้ากับเตาทดสอบที่ใช้แทนหม้อต้มน้ำอุตสาหกรรม

3.11.2 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเข้ากับเตาที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่าเข้ากับคอนโทรลเลอร์

3.11.3 จุกระบบหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้ไฟติด

3.1.4 บันทึกค่าที่วัดได้จากคอนโทรลเลอร์และค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์ที่ใช้เปรียบเทียบ

3.11.5 นำผลการทดลองที่ได้ไปทำการเฉลี่ยและสร้างกราฟเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในกับคอนโทรเลอร์

### 3.12 การทดสอบเพื่อหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ

ในการสร้างระบบควบคุมต้องหาค่าพารามิเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมโดยการทดสอบหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาแล้วนำไปใช้วิธีการของ ซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ PID โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

3.12.1 ติดตั้งหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้ากับเตาทดสอบที่ใช้แทนหม้อต้มน้ำ

อุตสาหกรรม

3.12.2 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเข้ากับเตาที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิเข้าคอนโทรเลอร์

3.12.3 จุกระบบหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้ไฟติด

3.12.4 เปิดวาล์วหัวเผาให้ได้ค่า 180 องศา

3.12.5 บันทึกค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากคอนโทรเลอร์

3.12.6 นำผลการทดลองที่ได้ไปทำการเฉลี่ยและสร้างกราฟเพื่อเป็นข้อมูลในการหาค่าพารามิเตอร์ของ PID โดยใช้วิธีการของ ซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols)

### 3.13 การทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับการควบคุมแบบ PID FUZZY LOGIC

ในการเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ PID Fuzzy Logic โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการใช้วิธีการของ ซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) มาเป็นค่า Gain ในการควบคุมแล้วนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบว่าวิธีใดให้ค่าการควบคุมได้ดีที่สุด โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

3.13.1 ติดตั้งหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้ากับเตาทดสอบที่ใช้แทนหม้อต้มน้ำ

อุตสาหกรรม

3.13.2 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเข้ากับเตาที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิเข้าคอนโทรเลอร์

3.13.3 ตั้งค่าพารามิเตอร์ในกับคอนโทรเลอร์เพื่อควบคุมหัวเผาทั้งสองแบบ

3.13.4 เปิดระบบควบคุมเพื่อใช้ในการทดลอง

3.13.5 บันทึกค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากคอนโทรเลอร์

3.13.6 นำผลการทดลองที่ได้ไปทำการเฉลี่ยและสร้างกราฟ เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบการควบคุมทั้งสองแบบ

### 3.14 การทดสอบเพื่อหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการโดยการเปิดวาล์วตามองศาที่กำหนด

ในการสร้างระบบควบคุมต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการควบคุม โดยการเปิดวาล์วตามองศา ดังนี้ 90,150 และ 180 องศา

#### 3.14.1 ติดตั้งหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้ากับเตาทดสอบที่ใช้แทนหม้อต้มน้ำ

อุตสาหกรรม

#### 3.14.2 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเข้ากับเตาที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิเข้าคอนโทรลเลอร์

#### 3.14.3 จุกระบบหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้ไฟติด

#### 3.14.4 เปิดวาล์วหัวเผาให้ได้ค่า 90,130 และ 180 องศา

#### 3.14.5 บันทึกค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากคอนโทรลเลอร์

3.14.6 นำผลการทดลองที่ได้ไปทำการเฉลี่ยและสร้างกราฟ เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาทดสอบกับการเปิดวาล์วของหัวเผา

#### 3.14.7 บันทึกอุณหภูมิของเตาทดสอบขณะหัวเผาปิด

### 3.15 การทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ การควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic โดยการเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิตามต้องการ

ในการเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ PID Fuzzy Logic โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการใช้วิธีการของ ซิกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler -Nichols) มาเป็นค่า Gain ในการควบคุมแล้วนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบว่าวิธีใดให้ค่าการควบคุมได้ดีที่สุด โดยการเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิตามต้องการมีวิธีการทดลองดังนี้

#### 3.15.1 ติดตั้งหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้ากับเตาทดสอบที่ใช้แทนหม้อต้มน้ำ

อุตสาหกรรม

#### 3.15.2 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเข้ากับเตาที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิเข้าคอนโทรลเลอร์

#### 3.15.3 ตั้งค่าพารามิเตอร์ในกับคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมหัวเผาทั้งสองแบบ

#### 3.15.4 เปิดระบบควบคุมเพื่อใช้ในการทดลอง

#### 3.15.5 บันทึกค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากคอนโทรลเลอร์

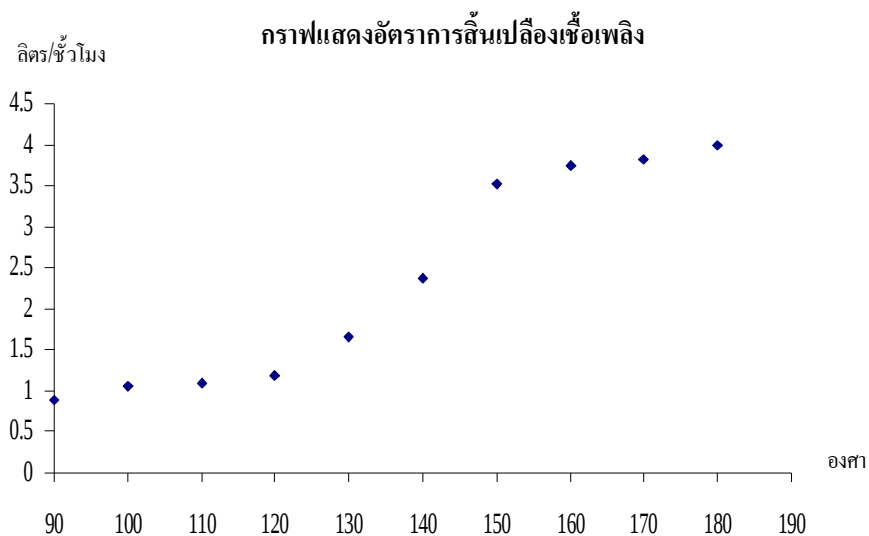
3.15.6 นำผลการทดลองที่ได้ไปทำการเฉลี่ยและสร้างกราฟ เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบการควบคุมทั้งสองแบบ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองหาอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิง

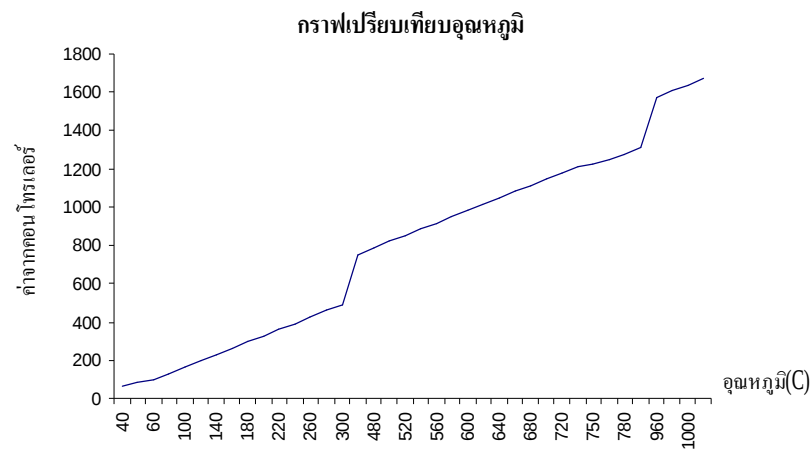
จากหัวข้อที่ 3.9 ในบทที่ 3 จะสามารถทราบว่าต้องเปิดวาล์ว 90 องศาถึงสามารถจุดหัวเผา น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วติดและการเพิ่มปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าหัวเผาสูงสุดที่ทำให้ควันให้การเผา น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไม่จำเป็นต้องเปิดวาล์วน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เกิน 180 องศา จึงนำผลการทดลองมา แสดงเป็นกราฟ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นของการสร้างระบบควบคุมโดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิง(ลิตร/ชม.)

#### 4.2 การทดสอบหาค่าการเทียบวัดอุณหภูมิ

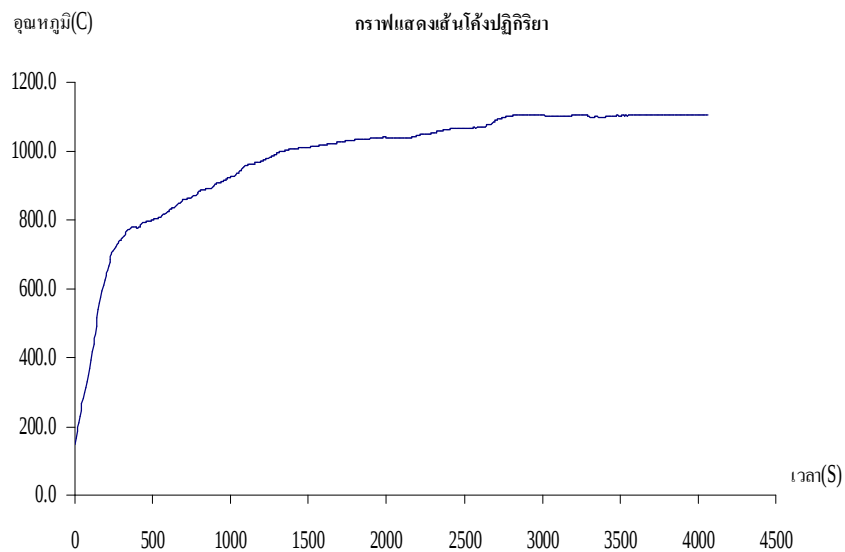
จากหัวข้อที่ 3.10 ในบทที่ 3 จะสามารถทราบค่าของคอนโทรลเลอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตาม อุณหภูมิที่วัดได้จากค่าหัววัดอุณหภูมิ โดยนำผลมาสร้างกราฟเป็นกราฟได้ภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับค่าคอนโทรลเลอร์ที่วัดได้

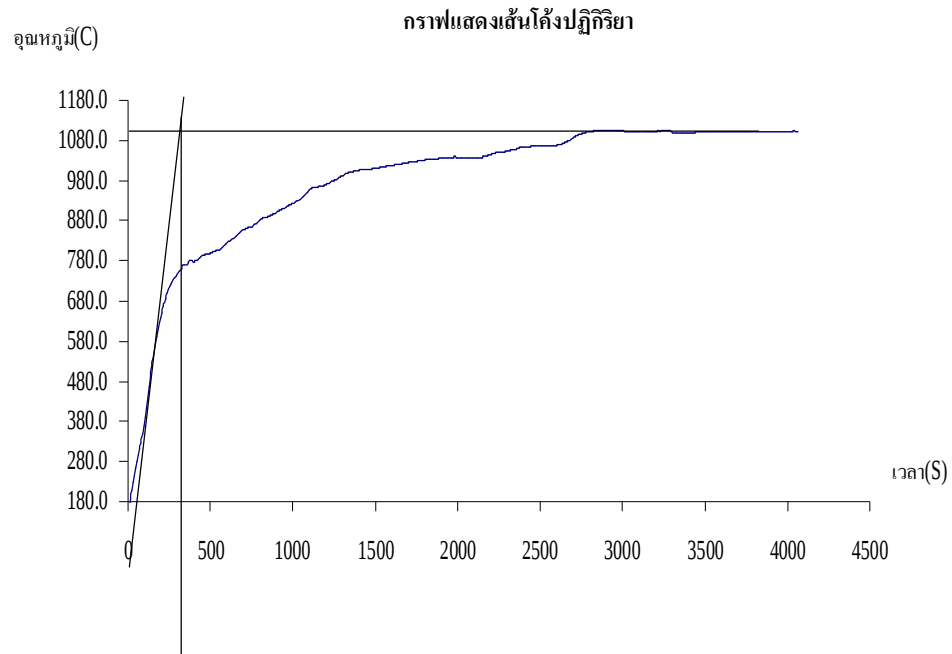
#### 4.3 การทดสอบเพื่อหาค่าเสถียรภาพของระบบ

จากหัวข้อที่ 3.11 ในบทที่ 3 สามารถหาค่าของเส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อนำไปคำนวณหาค่าโดยใช้วิธีการของ ซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler -Nichols) หาคาพารามิเตอร์ PID โดยมีกราฟดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 เส้นโค้งปฏิกิริยาของระบบ

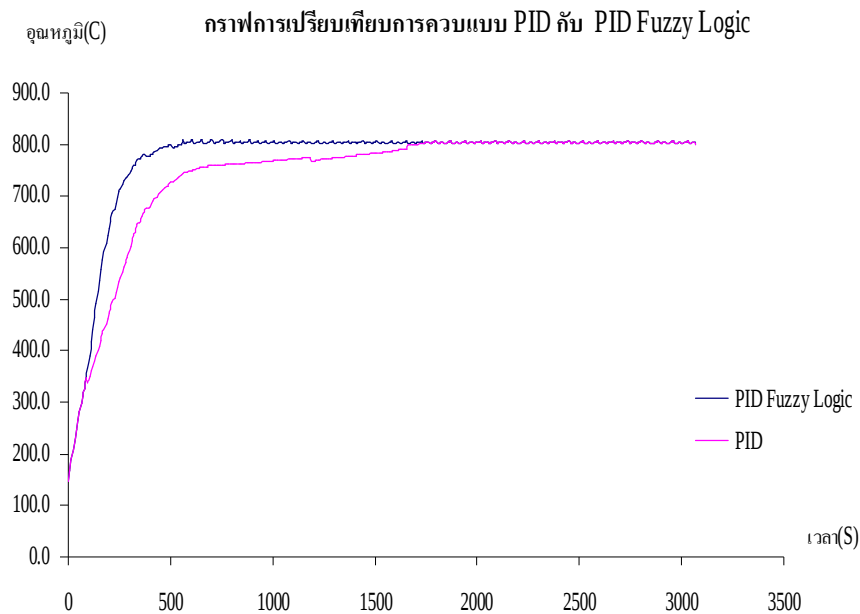
นำผลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำกราฟที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการของ ซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler -Nichols) หาค่าพารามิเตอร์ PID จากภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการของ ซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler -Nichols) หาค่าพารามิเตอร์ PID

#### 4.4 การเปรียบเทียบการตอบสนองของการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic กับ PID

จากหัวข้อที่ 4.5 และหัวข้อที่ 4.6 จะนำมาเปรียบเทียบการควบคุม PID กับ PID Fuzzy Logic โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากวิธีการของ ซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) มาเป็น Gain โดยค่าได้จากตารางที่ 2-4  $K_p = 0.75$  ,  $T_i = 12.8$  และ  $T_d = 3.2$  จะได้กราฟดังภาพที่ 4-6

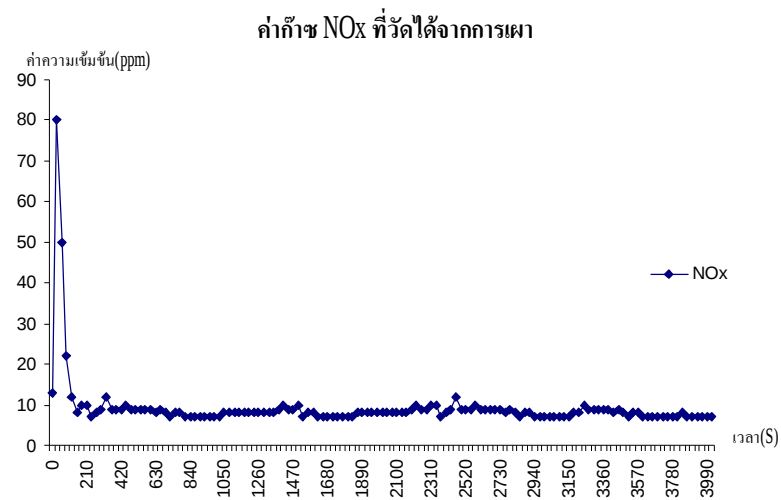


ภาพที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุม PID กับ PID Fuzzy Logic

จากภาพที่ 4-5 จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบ PID เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic ที่ค่าพารามิเตอร์ของ PID ได้จากวิธีการ ซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler -Nichols) ค่าการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic จะเข้าสู่ Set Point เร็วกว่าการควบคุมแบบ PID

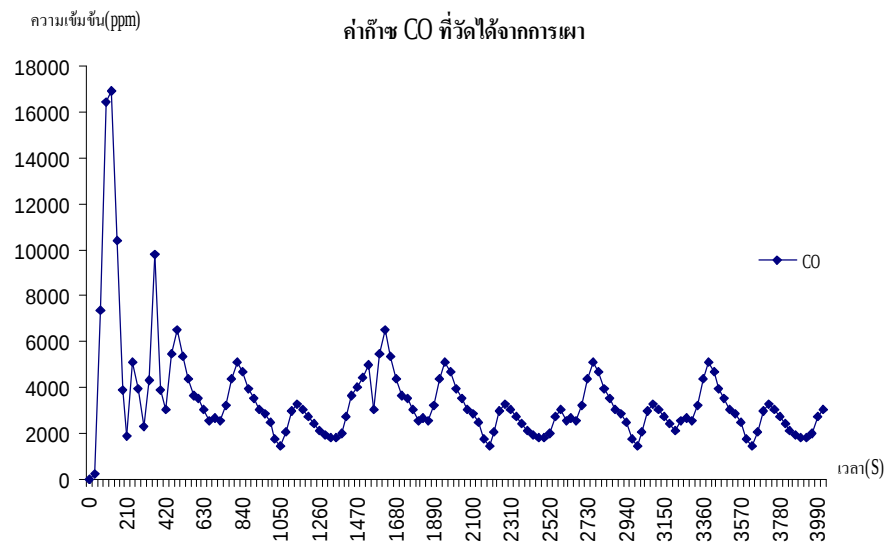
#### 4.5 การวัดค่าก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ในการวัดค่าก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้หัวเผาน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยใช้เครื่องในการวัดจะสนใจค่าของแก๊ส  $\text{NO}_x$ , CO โดยมีค่าดังภาพที่ 4-8 และ 4-9



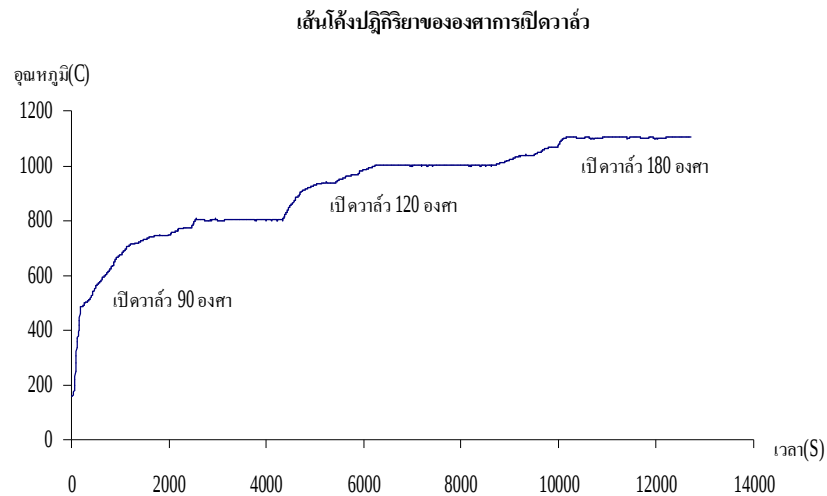
ภาพที่ 4-6 ค่าของ NO<sub>x</sub> ที่วัดจากการเผาไหม้หัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

จากการทดสอบหัวเผาไฟพบว่าค่าเฉลี่ยของก๊าซ NO<sub>x</sub> จากการเผาไหม้อยู่ในช่วงประมาณ 10 ppm และค่าของ CO อยู่ในช่วงประมาณ 400 ppm จากภาพที่ 4-6 และภาพที่ 4-7



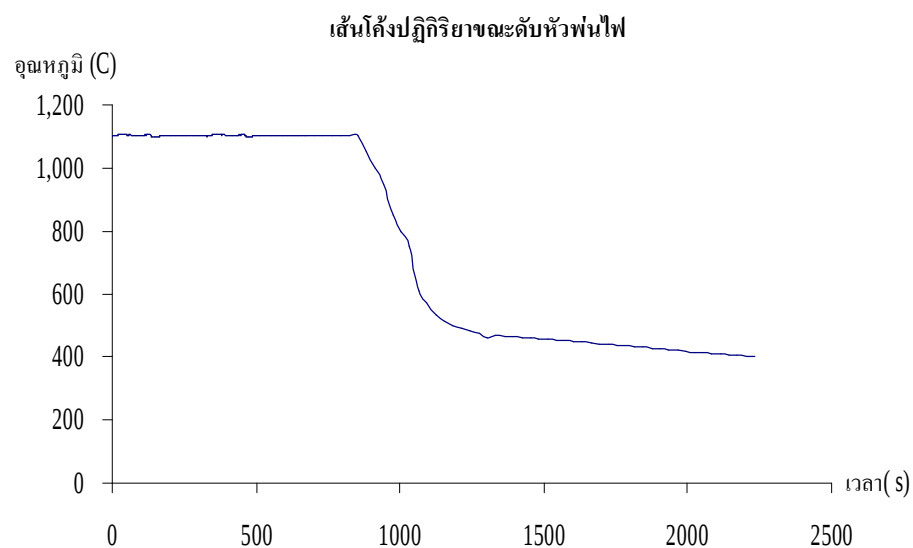
ภาพที่ 4-7 ค่าของ CO ที่วัดจากการเผาไหม้หัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

4.6 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการโดยการเปิดวาล์วตามองศาที่กำหนด จากหัวข้อที่ 3.13 ในบทที่ 3 สามารถทราบค่าของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาทดสอบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองศาการเปิดวาล์วของหัวเผาไฟ



ภาพที่ 4-8 เส้นโค้งปฏิกิริยาของระบบเมื่อมีการเปิดวาล์วที่แตกต่างกัน

จากการเปลี่ยนแปลงตามภาพที่ 4-8 เมื่อหยุดการให้พลังงานความร้อนกับเตาทดสอบจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังภาพที่ 4-9

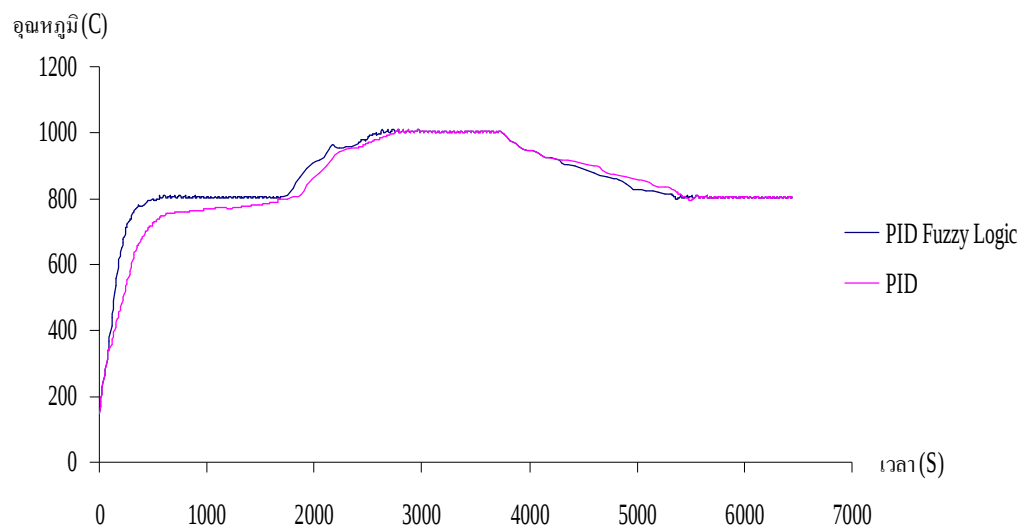


ภาพที่ 4-9 เส้นโค้งปฏิกิริยาขณะดับหัวเผาไฟ

#### 4.7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ การควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic โดยการเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิตามต้องการ

จากหัวข้อที่ 3.14 ในบทที่ 3 จะได้ค่าการเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ PID Fuzzy Logic โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการใช้วิธีการของ ซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) มาเป็นค่า Gain ในการควบคุมเท่ากับ  $K_p = 0.75$  ,  $T_i = 12.8$  และ  $T_d = 3.2$  โดยการทดสอบจะการเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิเป็น 800 1,000 และ 800 C

กราฟการเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID และ PID Fuzzy Logic



ภาพที่ 4-10 กราฟการเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID กับ PID Fuzzy Logic

จากภาพที่ 4-10 จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบ PID เมื่อเปรียบเทียบกับ การการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic ที่ค่าพารามิเตอร์ของ PID ได้จากวิธีการ ซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) ค่าการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic จะเข้าสู่ Set Point เร็วกว่าการควบคุมแบบ PID เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.4

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

จากผลการทดลองของบทที่ 4 ทราบได้ว่าการเปิดวาล์วของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่น เพื่อใช้งานหัวพ่นไฟนั้นสามารถจุดไฟติดได้เมื่อเปิดวาล์วหัวเผาต่ำสุดที่ 90 องศา มีอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดที่ 0.88 ลิตรต่อชั่วโมงและเมื่อเปิดวาล์วน้ำมันของหัวเผาสูงสุดที่ 180 องศา และมีอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 4 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็นอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดต่ออัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดเป็น 4.45 (4:0.88) ในการจุดหัวพ่นไฟจะต้องใช้ก๊าซ LPG เป็นตัวล่อเพื่อให้ไฟติด เพราะหัวพ่นไฟที่ใช้ในการทดสอบไม่สามารถทำให้น้ำมันเป็นละอองฝอยละเอียดมากพอจนสามารถติดไฟได้เอง

จากการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมแบบ PID กับ PID Fuzzy Logic จะใช้ค่าพารามิเตอร์จากวิธีการของ ซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) เป็นค่า Gain ของทั้งสองระบบพบว่า การควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic จะเข้าสู่ Set Point ได้เร็วกว่าการควบคุมแบบ PID เพราะว่าการควบคุมแบบ PID ใช้ค่าพารามิเตอร์ของระบบคงที่ ส่วนการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ตามค่าความผิดพลาดของระบบจึงทำให้ในการเข้าสู่ Set Point ได้รวดเร็วกว่าระบบที่ใช้การควบคุมแบบ PID

จากการทดลองพบปริมาณก๊าซที่เกิดจากการสันดาปของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากหัวพ่นไฟ จะพบค่าเฉลี่ยของก๊าซ  $\text{NO}_x$  จากการเผาไหม้อยู่ในช่วงประมาณ 10 ppm และค่าของ CO อยู่ในช่วงประมาณ 400 ppm ค่าของ CO เกิดขึ้นมีค่ามากเพราะอากาศที่เข้าไปในเตาทดสอบมีค่าน้อย เพราะหัวพ่นไฟที่ใช้ในการทดลองนั้น ไม่สามารถควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าไปในห้องเผาไหม้ให้เพิ่มขึ้นได้ ถ้าสามารถควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าไปในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นได้จะทำให้การเกิดก๊าซ CO ลดลงตามปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบในการจุดหัวพ่นไฟ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปปรับปรุงหัวพ่นไฟให้จุดไฟได้ง่ายขึ้นและได้เสนอการควบคุมแบบ PID Fuzzy Logic กับหัวพ่นไฟ ซึ่งสามารถที่จะพัฒนาและประยุกต์มาใช้ในการงานอุตสาหกรรมในด้านอื่น เช่น

อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมหนักด้านอื่นๆ ฯลฯ และยังสามารถพัฒนามาใช้เป็นสินค้า อุตสาหกรรมได้ในอนาคต ช่วยลดการนำเข้าของหัวพันไฟจากต่างประเทศ และเป็นการช่วย แก้ไขปัญหามลพิษที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วซึ่งเป็นขยะอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม การเติบโตของเศรษฐกิจของประเทศ

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

กรูทอง มวลคำลา และสัททพล ชัยรัตน์. หัวเผ้าน้ำมันเครื่องใช้แล้ว. ปรินิพนนิพนธ์

วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.

กัญจนา บุญยเกียรติ. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

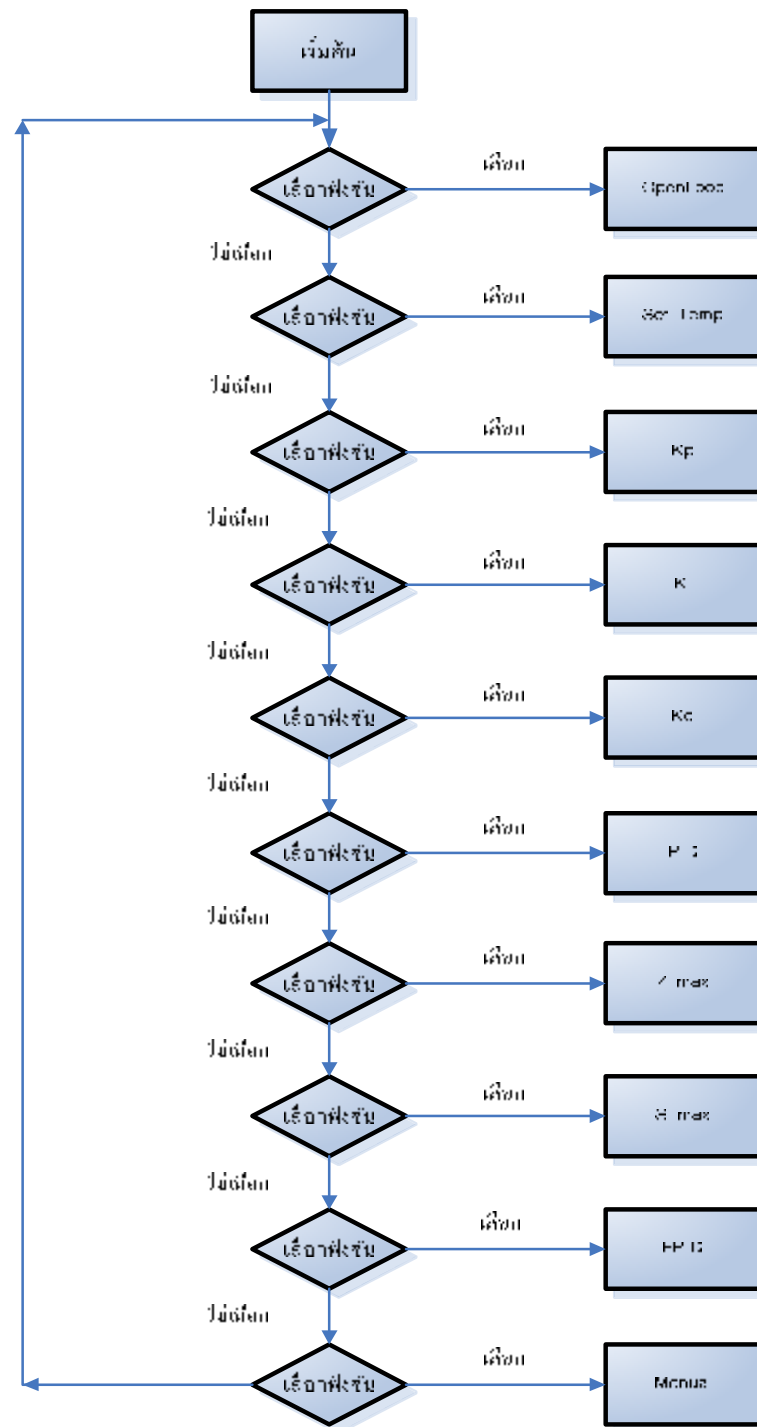
วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. การควบคุมระบบพลศาสตร์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

สุพรพิศ โยธากุล และอภิชาติ ชูใหม่. การออกแบบ PID-Fuzzy สำหรับควบคุมอุณหภูมิโดยใช้

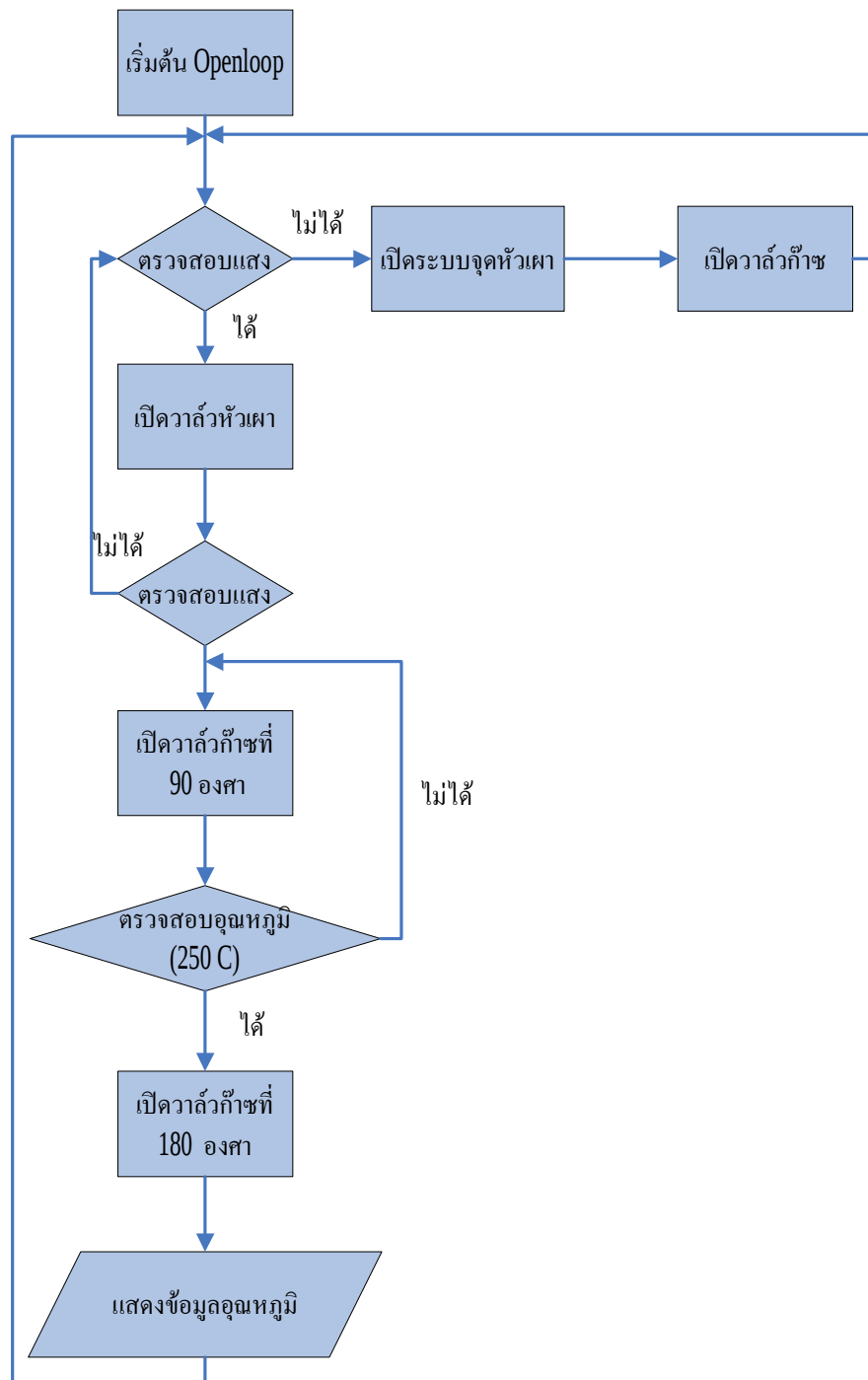
ไมโครคอมพิวเตอร์. ปรินิพนนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการ  
วัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.

ภาคผนวก ก

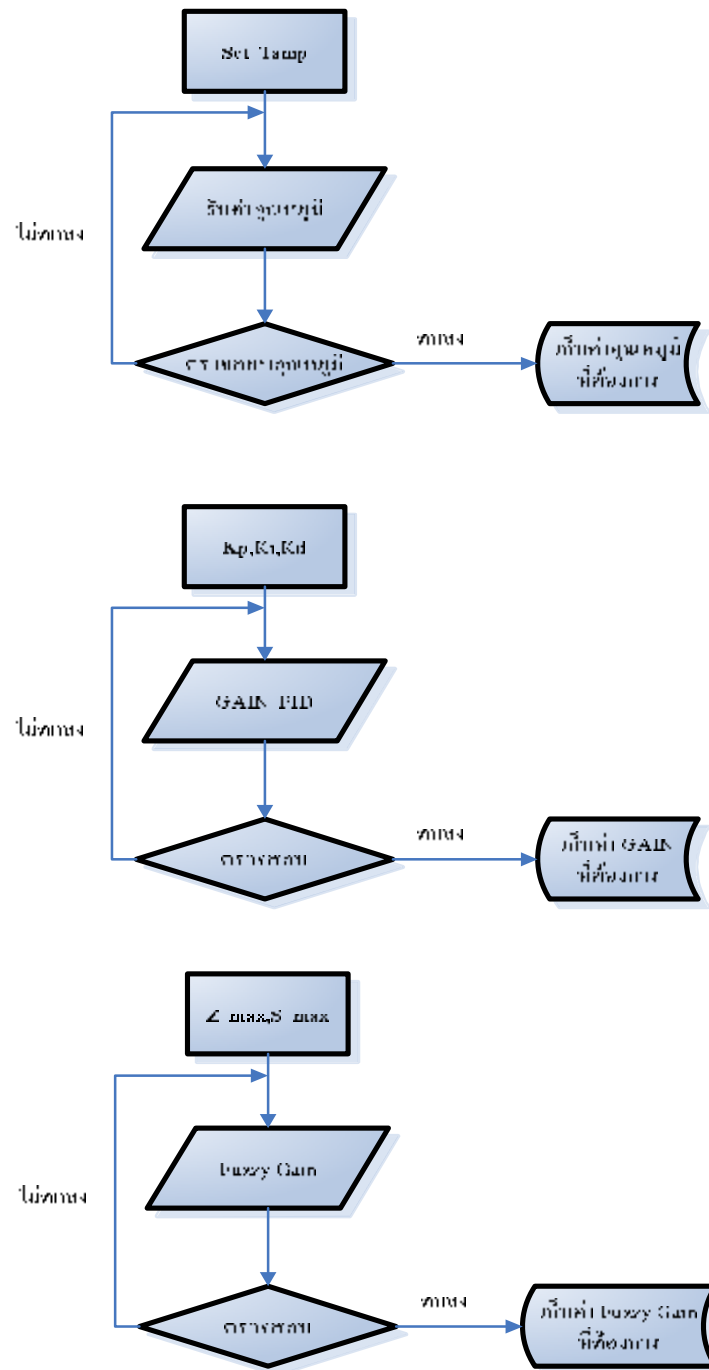
แผนภาพการเขียนโปรแกรม



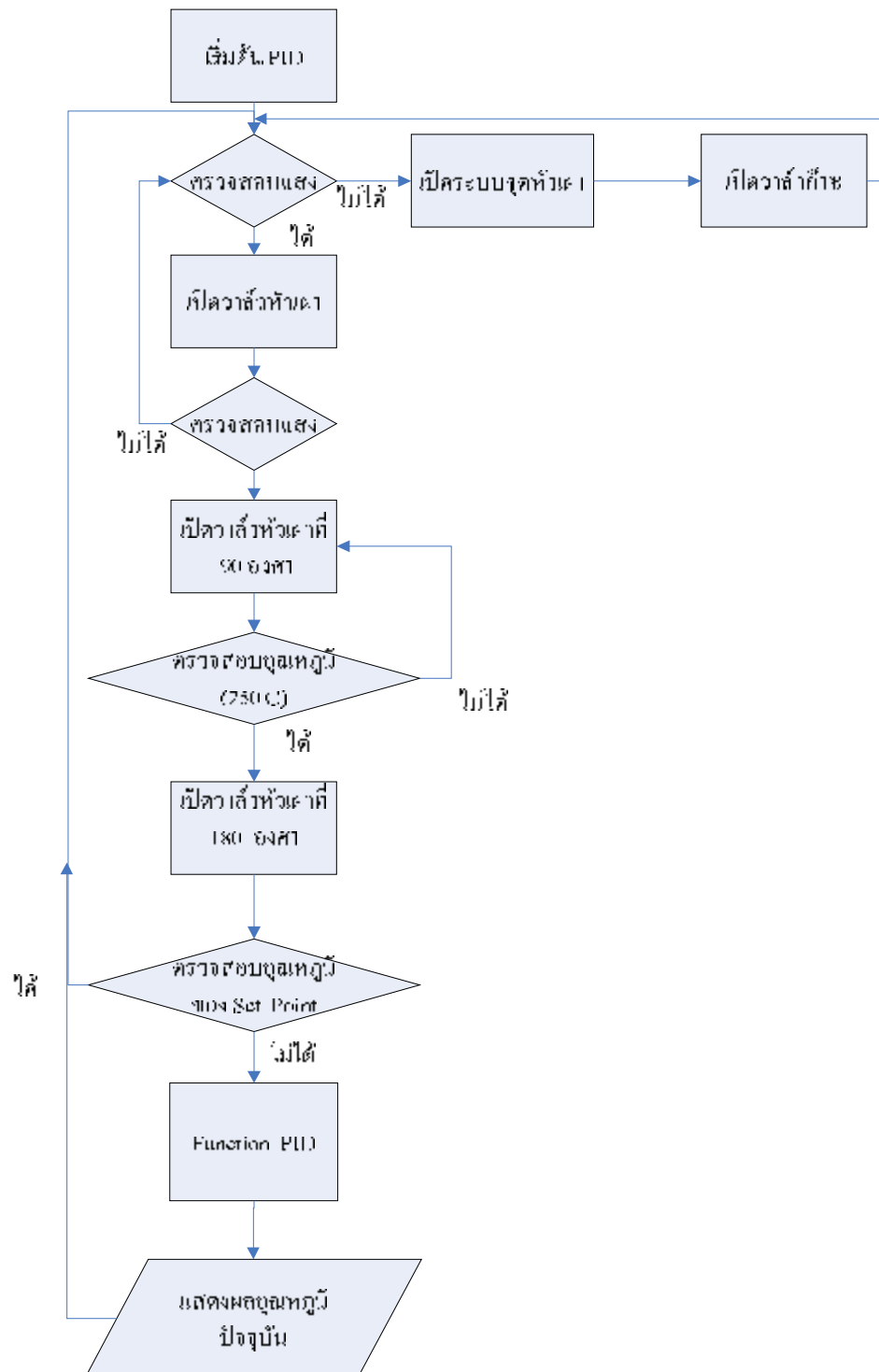
ภาพที่ ก-1 แผนภาพการเขียนโปรแกรมรวม



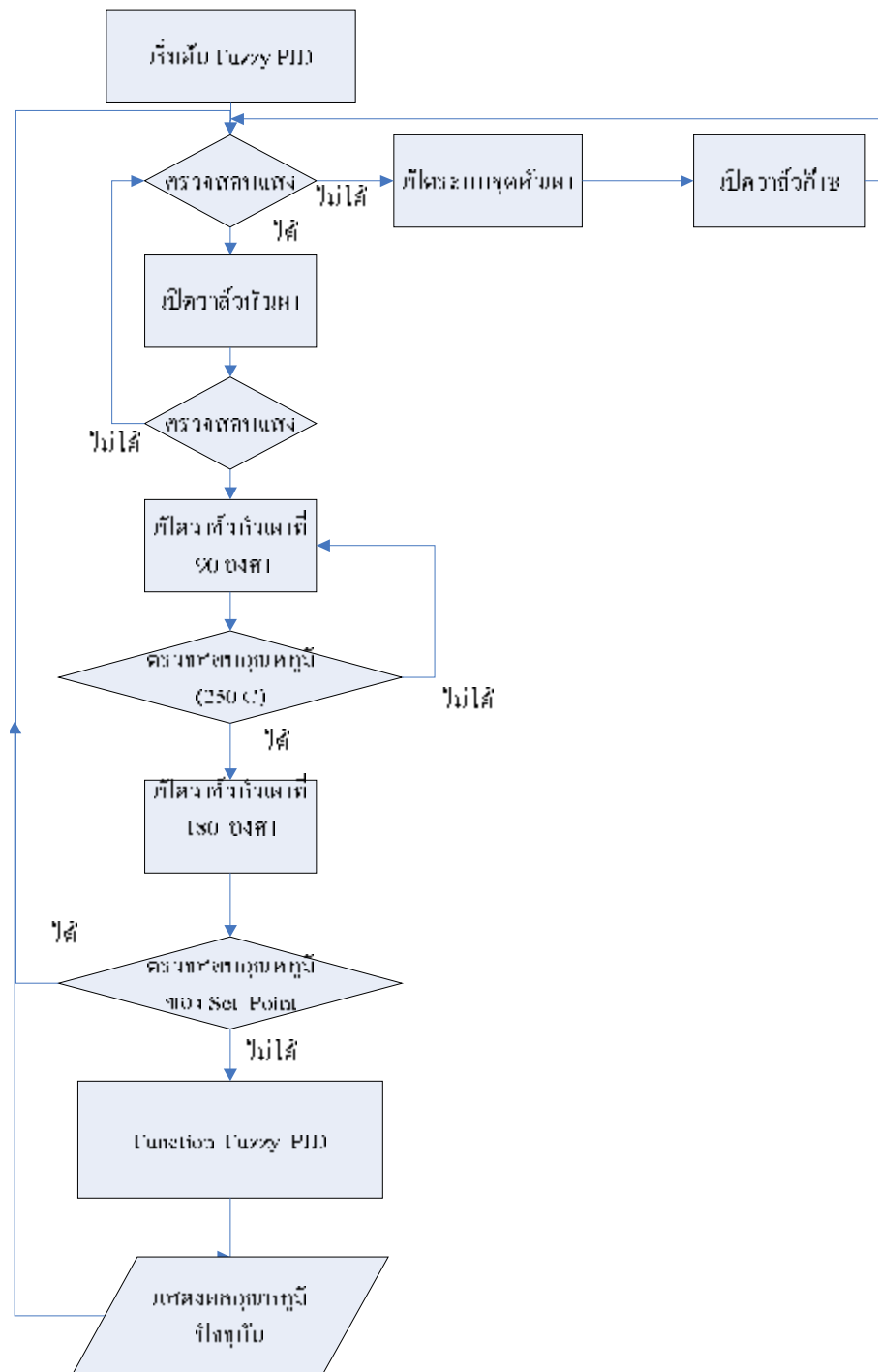
ภาพที่ ก-2 แผนภาพการเขียนโปรแกรม Open\_loop



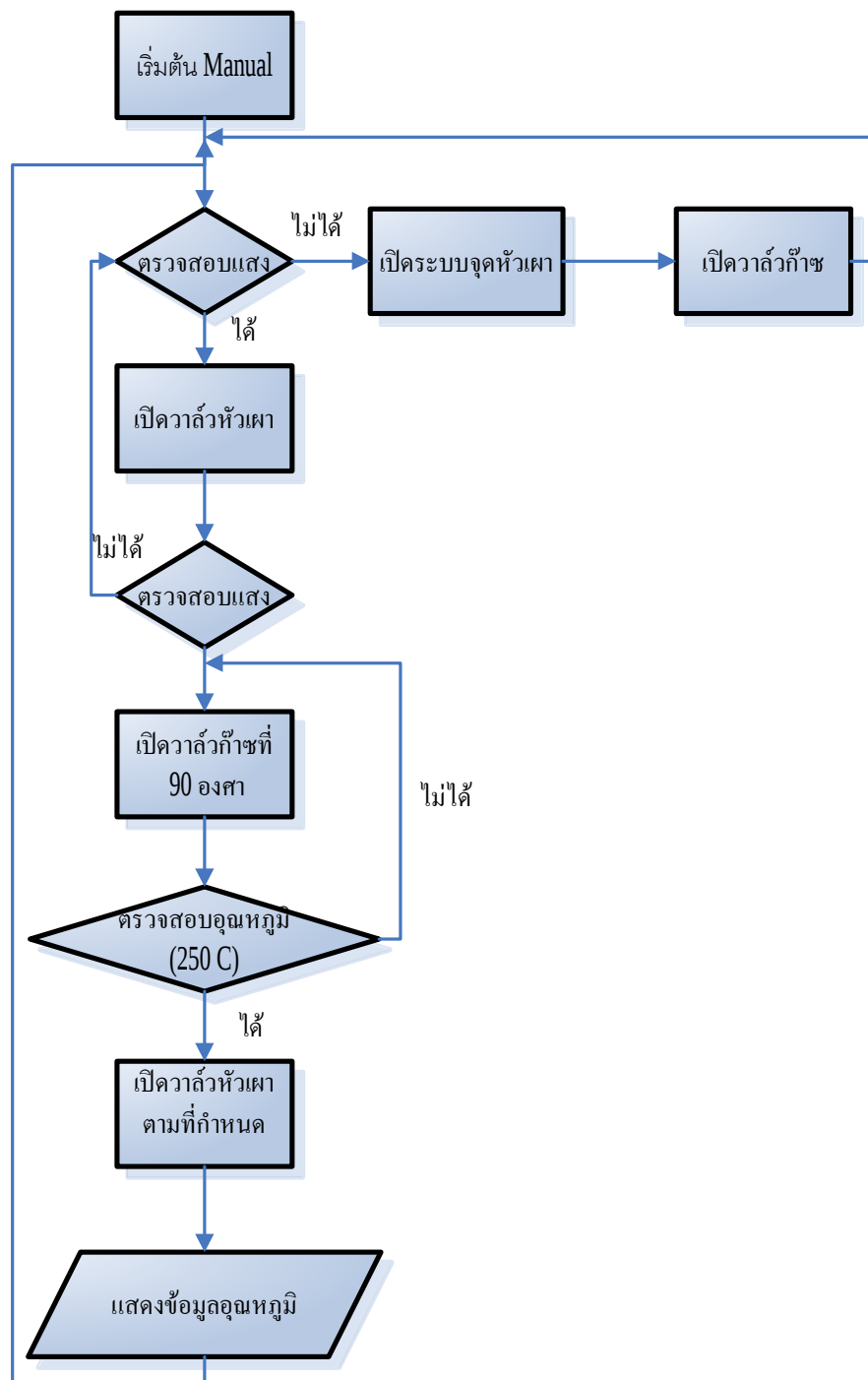
ภาพที่ ก-3 แผนภาพการเขียนโปรแกรม Set\_Temp



ภาพที่ ก-4 แผนภาพการเขียนโปรแกรม PID



ภาพที่ ก-5 แผนภาพการเขียนโปรแกรม Fuzzy\_PID



ภาพที่ ก-6 แผนภาพการเขียนโปรแกรม Manual

### ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายณรงค์ชัย นุ่มนวล  
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การพัฒนาระบบควบคุมการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันหล่อลื่นใช้  
 แล้วด้วยระบบควบคุมแบบปรับค่า PID ด้วย FUZZY LOGIC  
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

### ประวัติ

นายณรงค์ชัย นุ่มนวล เป็นบุตรคนแรก ของนายสุทิน นุ่มนวลและนางชลอ นุ่มนวล เกิดเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2517 เกิดที่ กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จาก โรงเรียนวัดราชาธิวาส จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.) จาก สถาบันเทคโนโลยี ราชมนคล วิทยาเขตเทคนิคนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปัจจุบันทำงานอยู่ สำนักงานวิจัยและ พัฒนาการอาชีวศึกษา ตำแหน่งวิศวกรเครื่องกล 5 โทรศัพท์ 025-109-552-4 ต่อ 251 ที่อยู่ปัจจุบัน 2/3 ถนนรามอินทรา กม. 5-6 แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10230