

## การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมปริมาณอากาศสำหรับการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันดีเซลขนาดเล็ก

### Design and Development of Combustion Air Control System for a Small Diesel Burner

ชลัมพล ธารารักษ์<sup>1\*</sup>, อนุชา พรมวังขวา<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

\*ติดต่อ: softballandew@gmail.com, โทรศัพท์: 053 – 944 – 146 ต่อ 411, โทรสาร 053 – 944 – 145

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันดีเซลขนาดเล็กเพื่อให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้สูงขึ้น ลดการใช้เชื้อเพลิง โดยวิธีการควบคุมปริมาณอากาศสำหรับการเผาไหม้ด้วยตัวควบคุมแบบ PID อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นหัวเผาน้ำมันดีเซลยี่ห้อ Weishaupt รุ่น WL-20B ขนาด 50 kW การทำงานของระบบควบคุมอากาศเดิมของหัวเผาเป็นระบบกลไกแบบ ควบคุมด้วยมือ การศึกษานี้จึงได้นำไมโครโปรเซสเซอร์มาควบคุมชุดวาล์วที่บังคับการเปิดอากาศเข้าหัวเผา ขั้นตอนการควบคุมใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผลกับตัวควบคุม PID โดยตรวจวัดข้อมูลของปริมาณเปอร์เซ็นต์ ออกซิเจนในไอเสียจากการเผาไหม้ แล้วส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมการเปิดของวาล์วอากาศเพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ให้เข้าใกล้ 2 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบผลของการเปลี่ยนแปลงค่าพีซวง 0.1 – 2.0 โดยใช้เวลาในการประมวลผลหนึ่งครั้งเท่ากับ 40 วินาที พบว่าค่าพีซีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.7 – 1.0 และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบกลไกเดิม การควบคุมการเผาไหม้ที่เหมาะสมทำให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุดที่ร้อยละของ ออกซิเจนเท่ากับ 2

**คำหลัก:** หัวเผา, ตัวควบคุมแบบ PID, เปอร์เซ็นต์ออกซิเจน

#### Abstract

This research is to design and develop air damping control system in small diesel burner in order to get higher efficiency and less consumption, by controlling intake air in the burner with PID controller. The burner which is tested is Weishaupt WL-20B, 50 kW capacities, which is having manual mechanism air damping control system. The microcontroller is applied to control air damping control system. The controlling methods in the control system are measured the excess oxygen percentage in the flue gas from the oxygen sensor connected with oxygen interface. Then the data from oxygen interface is sent to the microcontroller via RS – 485 protocols in order to control air damper which controls the excess oxygen percentage into 2 percent. The test of change P value in PID control is between 0.1 and 2.0, and each process period is 40 seconds. It was found that the suitable P value is between 0.7 and 1.0. And

## AEC-106

comparing with the mechanism control system, the optimum combustion efficiency occurs at 2% O<sub>2</sub> in exhaust gas.

**Keywords:** Burner, PID Controller, Oxygen Percentage.

### 1. บทนำ

ในภาวะทางเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการใช้พลังงานมากขึ้นในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งเห็นได้จากการใช้น้ำมันดิบในระบบอุตสาหกรรมในปี 2554 ปริมาณ 71,000 พันตัน น้ำมันดิบเทียบเท่า (ktoe) ซึ่งในจำนวนนี้ได้นำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศถึงร้อยละ 60 นอกจากนี้ได้คาดการณ์การใช้พลังงานขั้นต้นในระบบอุตสาหกรรมจะเพิ่มขึ้นเป็น 151,000 ktoe ในอีก 20 ปีข้างหน้า จึงทำให้การนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศจำนวนมากขึ้นและทำให้ประเทศต้องจ่ายเงินจำนวนมากในการซื้อน้ำมันนำเข้า ดังนั้นการลดการใช้พลังงานจึงเป็นนโยบายสำคัญสำหรับระบบอุตสาหกรรมในประเทศไทย ซึ่งหม้อไอน้ำ (Boiler) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนรูปแบบพลังงานจากพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ก่อนนำเอาไอน้ำไปใช้ต่อไป ซึ่งปัจจุบันนี้มีหม้อไอน้ำในระบบอุตสาหกรรมทั่วประเทศประมาณ 8,800 ลูก มีศักยภาพการผลิตไอน้ำ 134,000 ตันต่อชั่วโมง และมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงโดยรวม 9,700 ktoe/ปี คิดเป็นมูลค่าต้นทุน (เชื้อเพลิง) การผลิตไอน้ำ 140,000 ล้านบาท/ปี [1]

หม้อไอน้ำส่วนมากที่ใช้ในการผลิตในระบบอุตสาหกรรมนั้นเป็นหม้อไอน้ำแบบเล็ก (การผลิตน้ำ 2 - 10 ตันไอน้ำ/ชั่วโมง) ที่มีการวัดและการควบคุมด้วยมือ เพราะใช้กันเป็นเวลานาน และมีอายุการใช้งานได้อีกประมาณ 10 ปี ซึ่งการควบคุมด้วยมือนี้จะต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ในการปรับแก้ และเนื่องจากใช้ความรู้สึกของมนุษย์ในการสังเกตและปรับแก้ จึงเกิดความผิดพลาดในการควบคุมได้ง่าย และเกิดการคลาดเคลื่อนเมื่อได้ใช้งานไปนานๆ

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะทำการควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการประหยัดพลังงาน โดยมีหัววัด (Sensor) อุปกรณ์ประมวลผล (Processing unit) และอุปกรณ์ควบคุม

ซึ่งทำให้การแสดงผลและการควบคุมเป็นไปได้โดยทันที และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำให้สูงสุดอยู่เสมอ แต่วิธีการนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายภายในประเทศทั้งที่ในต่างประเทศมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาจนสามารถติดตั้งกับหม้อไอน้ำที่ใช้อยู่ได้อย่างน่าพอใจ นี่จึงเป็นที่มาของการออกแบบ สร้างและติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติในหม้อไอน้ำขนาดเล็ก

จากการสืบค้น พบว่า มีผู้ศึกษาระบบควบคุมเกี่ยวกับการเผาไหม้หลายท่าน ดังต่อไปนี้

Carlton Prewit และคณะ [2] ได้ออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยปรับความเร็วรอบของพัดลม โดยทำการควบคุมอุณหภูมิผิวที่ให้ความร้อนด้วยโปรแกรม LabView ร่วมกับตัวควบคุมแบบ PID และปรับค่าคงที่ของตัวควบคุม PID อัตโนมัติโดยวิธีของ Zeigler - Nichols เพื่อควบคุมอุณหภูมิผิวชิ้นส่วนได้ตามต้องการ รวมทั้งทำการเขียนโปรแกรมสำหรับโต้ตอบกับผู้ใช้ในการควบคุม โดยพัดลมที่ใช้ในการควบคุมใช้แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ขนาด 60 วัตต์ ระบบให้ความร้อนใช้ตัวต้านทาน 270 โอห์ม ขนาด 1.2 วัตต์ ซึ่งให้ความร้อนได้ 160°F ในการควบคุมนี้เริ่มต้นให้อุณหภูมิผิวมีอุณหภูมิ 110°F แล้วทำการเพิ่มไปเรื่อยๆ ทีละ 5 °F ผลการทดลองปรากฏว่า การควบคุมโดยใช้โปรแกรม LabView ร่วมกับตัวควบคุมแบบ PID สามารถควบคุมอุณหภูมิผิวชิ้นส่วนได้โดยปรับความเร็วรอบพัดลมได้ตามต้องการ โดยมีความเร็วในการเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้งไว้ได้อย่างน่าพอใจ

K. Gowri Shankar [3] ได้ทดสอบการควบคุมการทำงานของหม้อไอน้ำด้วยระบบอัตโนมัติ โดยใช้ PLC (Programmable Logic Control) ร่วมกับตัวควบคุมแบบ PID เพื่อลดความผิดพลาดในการควบคุมด้วยมือ, เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ และการประหยัดเชื้อเพลิงรวมทั้งการลดแก๊สเรือนกระจกจากการเผาไหม้ โดยหม้อไอน้ำที่ควบคุมเป็นแบบท่อ

## AEC-106

แบบ Double Drum ในการทดสอบใช้ตัวควบคุม PLC ยี่ห้อ Allen Bradley ที่มีระบบการควบคุมผ่านระบบ SCADA (Supervisory Control and data Acquisition) เพื่อแสดงผลและโต้ตอบกับผู้ใช้ ซึ่งในการควบคุมนี้จะมีการควบคุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำเพื่อนำไปต้มเป็นไอน้ำให้อยู่ในระดับ 50 % เสมอ และยังคงควบคุมอุณหภูมิทุติยภูมิ เพื่อให้ได้คุณภาพของไอน้ำตามที่ต้องการ ผลการทดสอบปรากฏว่าระบบควบคุมอัตโนมัติดังกล่าวสามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ในหม้อไอน้ำได้อย่างเป็นอย่างดี ทั้งการควบคุมที่รวดเร็วและแม่นยำ มีประสิทธิภาพมากขึ้น ประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้น และสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้อีกด้วย

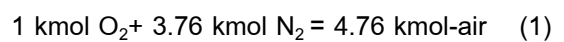
Bohumil Šulc, Cyril Oswald [4] ได้ปรับปรุงระบบควบคุมการเผาไหม้สำหรับหม้อไอน้ำพลังงานชีวมวลขนาดเล็กโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจหลักการควบคุมของหม้อไอน้ำพลังงานชีวมวล ในการควบคุมการเผาไหม้ในที่นี้ได้พิจารณาอยู่สองประเด็นคือการลดการใช้เชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ กับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาในหลักการทางเศรษฐศาสตร์ โดยที่อุปกรณ์ควบคุมนั้นมีราคาไม่แพง ซึ่งในที่นี้ได้ใช้ตัวควบคุมแบบ PID โดยตัวควบคุม PID สำหรับการควบคุมหม้อไอน้ำในที่นี้จะใช้แบบ PI โดยมีรูปแบบการควบคุมอยู่ 2 รูปแบบคือรูปแบบสำหรับการควบคุมด้วยมือ กับรูปแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยที่ทั้งสองรูปแบบนี้สามารถสื่อสารซึ่งกันและกันได้โดยตรง สำหรับโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบได้ใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ในการจำลองพฤติกรรมของการควบคุม ซึ่งใช้ฟังก์ชันโอนถ่าย (Transfer Function) จะประมาณว่าเป็นฟังก์ชันกำลังหนึ่ง (First – Order Transfer Function) โดยประมาณที่ได้จากพฤติกรรมของการเผาไหม้จริงจากการทดลอง ซึ่งตัวแปรที่ได้เปรียบเทียบกับคือ อัตราการใช้ของเชื้อเพลิง, อุณหภูมิของห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำขาออกและได้จำลองการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงเพิ่มเติม จากการทดลองได้พบว่า ค่าที่ได้จากการจำลองที่เทียบกับค่าที่

ได้จากการทดลองจริงมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการจำลองการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงพบว่า การปรับอัตราการใช้เชื้อเพลิงและปริมาณอากาศที่เหมาะสมจะใช้อุณหภูมิที่ออกจากหม้อไอน้ำเป็นค่าควบคุม โดยเมื่ออุณหภูมิน้ำลดลง จะปรับอัตราการใช้เชื้อเพลิงให้สูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น จะปรับอัตราการใช้เชื้อเพลิงให้ต่ำลง

## 2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

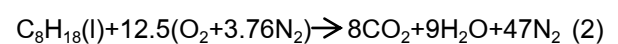
### 2.1 การเผาไหม้ [5]

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เชื้อเพลิงถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศทำให้เชื้อเพลิงปลดปล่อยพลังงานออกมาอย่างมหาศาล สำหรับอากาศแห้ง (Dry air) จะมีองค์ประกอบโดยประมาณคือ ออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน 79 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ส่วนปริมาณอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดการเผาไหม้ โดยพิจารณาดังนี้

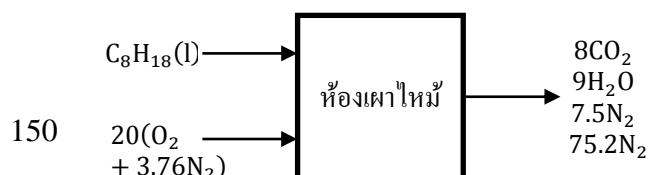


ปริมาณอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดการเผาไหม้ โดยพิจารณาดังนี้

อากาศพอดีเผาไหม้ (Stoichiometric air) บางทีเรียกว่า อากาศเชิงทฤษฎี (Theoretical air) หมายถึงปริมาณอากาศต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือทุกๆ ชาติในเชื้อเพลิงเผาไหม้ทั้งหมด คาร์บอนทั้งหมดเผาไหม้เป็น  $CO_2$ , ไฮโดรเจนทั้งหมดเผาไหม้เป็น  $H_2O$ , กำมะถันทั้งหมดเผาไหม้เป็น  $SO_2$  ทั้งนี้จะไม่มีออกซิเจนเหลือในสารจากการเผาไหม้ เช่น สมการการเผาไหม้ของออกเทนเหลว



การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์นั้นหมายถึงสารองค์ประกอบเผาไหม้ได้ (Combustible component) ทั้งหมดเผาไหม้หมดไม่มีเหลือดังรูปที่ 1



## AEC-106

รูปที่ 1 การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์  
การเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์พบว่าสารจากการเผาไหม้นั้นจะมีเชื้อเพลิงที่ไม่ได้เผาไหม้หลงเหลืออยู่ในองค์ประกอบรูปของ  $C, H_2, OH$  เป็นต้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF ratio) แบ่งออกเป็นอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี ( $AF_{theo}$ ) และอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง ( $AF_{actual}$ ) นิยามของ AF ratio ก็คืออัตราส่วนของมวลของอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ระหว่างการเผาไหม้

$$AF = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{(nM)_{air}}{\sum (n_i M_i)_{fuel}} \quad (3)$$

เปอร์เซ็นต์อากาศเกินพอ (Percentage of excess air) การพิจารณาปริมาณอากาศที่ใช้จริงในส่วนที่มากกว่าปริมาณอากาศพอดีเผาไหม้นั้นเรียกว่า “เปอร์เซ็นต์อากาศเกินพอ” ดังนั้น  
(%อากาศทางทฤษฎี) = 100 + (%อากาศเกินพอ) (4)

### 2.2. ตัวควบคุม PID [6]

ในตัวควบคุมที่ไม่ซับซ้อนมาก สัญญาณความคลาดเคลื่อน ผ่านค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้ ตัวควบคุมลักษณะนี้เรียกว่า ตัวควบคุมสถิตย์ (Static controller) เนื่องจากค่าคงที่ไม่แปรผันตามเวลา เมื่อปรับตั้งค่าให้เหมาะสมแล้วจะใช้ค่านี้ไปตลอดไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกว่าจะมีการปรับตั้งใหม่ แต่เมื่อระบบมีความซับซ้อนขึ้นตัวควบคุมดังกล่าวจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีตัวควบคุมที่จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้นซึ่งจะเรียกว่า ตัวควบคุมแบบพลศาสตร์ (Dynamic controller) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Compensator ซึ่งอยู่ในระบบป้อนกลับ (Feedback) ซึ่งองค์ประกอบ P มาจากคำว่า Proportional สำหรับองค์ประกอบประเภทนี้กฎของการควบคุมคือ

$$u(t) = K_p e(t) \quad (5)$$

หรือใน s-domain จากการแปลงลาปลาซ

$$U(s) = K_p E(s) \quad (6)$$

โดย  $K_p$  คือค่าคงที่เรียกว่าค่าคงที่สัดส่วน (Proportional gain) ซึ่งในฟังก์ชันโอนถ่ายขององค์ประกอบนี้คือ

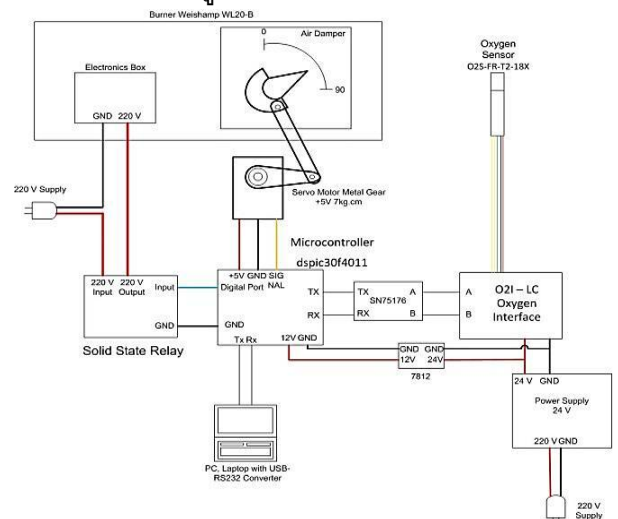
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (7)$$

จะเรียกตัวควบคุมที่มีองค์ประกอบประเภทนี้ตัวเดียวว่า P-Controller ซึ่งก็คือตัวควบคุมที่เป็นค่าคงที่ธรรมดา ในตัวควบคุมแบบนี้สัญญาณความผิดพลาด  $E(s)$  ถูกคูณด้วยค่าคงที่สัดส่วน และผลลัพธ์  $U(s)$  ที่ได้นั้นถูกนำไปป้อนเป็นสัญญาณขับเคลื่อนระบบที่ถูกควบคุมด้วย P-Controller นั้นมักจะมีค่าความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-state error) ต่อสัญญาณขาเข้าแบบขั้นบันได (Step input) หรือสัญญาณรบกวนแบบขั้นบันได (Step disturbance) หลงเหลืออยู่ ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้มักจะลดลงเมื่อค่าคงที่ดังกล่าวมากขึ้น ตัวควบคุมแบบ P-Controller ทำงานได้ดีในระบบกำลังหนึ่ง (First-order) แต่ในระบบที่มีระดับสูงขึ้นไปมักจะไม่มีความเสถียรภาพเมื่อค่าคงที่สัดส่วนมากขึ้น

## 3. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

### 3.1 อุปกรณ์การทดสอบ

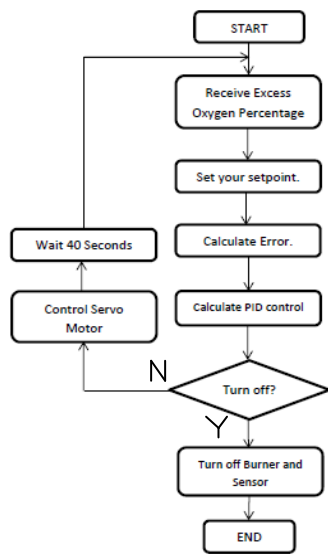
ระบบควบคุมปริมาณอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้ได้ออกแบบได้ดังในรูปที่ 3



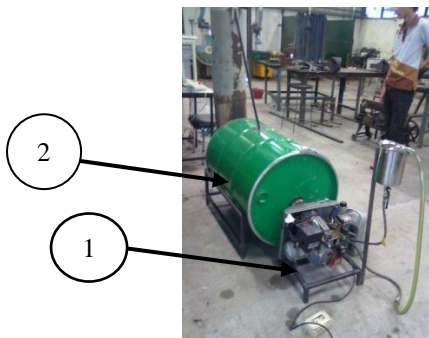
รูปที่ 2 แผนผังของระบบควบคุมปริมาณอากาศในการเผาไหม้

## AEC-106

โดยหลักการทำงานของระบบควบคุมปริมาณอากาศในการเผาไหม้ เริ่มจากวัดออกซิเจนบนหัววัดออกซิเจนซึ่งเชื่อมต่อกับบอร์ดประสานหัววัดออกซิเจน จากนั้นข้อมูลที่ได้ออกมาจะนำไปเข้าสู่ไอซีเพื่อแปลงรูปแบบการส่งข้อมูล จากนั้นข้อมูลจะเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำข้อมูลไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์และโซลิตสเทรีเลียเพื่อควบคุมลิ้นปรับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และเปิดปิดหัวเผาตามลำดับ ซึ่งการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการควบคุมและประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



รูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย 1. หัวเผา 2. ห้องเผาไหม้

โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการเผาไหม้น้ำมันดีเซลมีดังต่อไปนี้

- 1) หัวเผาน้ำมันดีเซล ยี่ห้อ Weishaupt รุ่น WL – 20B ความจุความร้อน 50 กิโลวัตต์
- 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Microchip รุ่น dsPIC30F4011
- 3) หัววัดออกซิเจน ยี่ห้อ SST Sensing รุ่น O2S – FR – T2 – 18X ที่เชื่อมต่อกับ บอร์ดประสานหัววัดออกซิเจนยี่ห้อ SST Sensing รุ่น O2I – LC
- 4) โซลิตสเทรีเลีย
- 5) ไอซี SN57176 สำหรับเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับตัวประสานของหัววัดออกซิเจน
- 6) เซอร์โวมอเตอร์ แรงบิด 7 กิโลกรัม – เซนติเมตร
- 7) เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ยี่ห้อ Testo รุ่น 350

### 3.2 วิธีการทดสอบ

3.2.1 ทดสอบผลกระทบของการควบคุมการเข้าสู่ค่าที่ต้องการควบคุมที่ 2 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินจากการเผาไหม้ที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลด้วยการเปลี่ยนแปลงของค่า P ต่างๆ ในตัวควบคุมแบบ PID (0.1, 0.3, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6 และ 2.0) ในที่นี้ค่า I และ ค่า D เท่ากับ 0 โดยใช้เวลาทำการวัดจากหัววัดออกซิเจนทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลา 800 – 900 วินาที

3.2.2 ทดสอบและวิเคราะห์หาผลิตภัณฑ์ของแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลด้วยวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินต่างๆ (1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0% และ 5.0%) โดยใช้ค่า P ในตัวควบคุม PID เท่ากับ 1.0 โดยจะเริ่มวัดเมื่อเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินอยู่ในสภาวะคงตัว

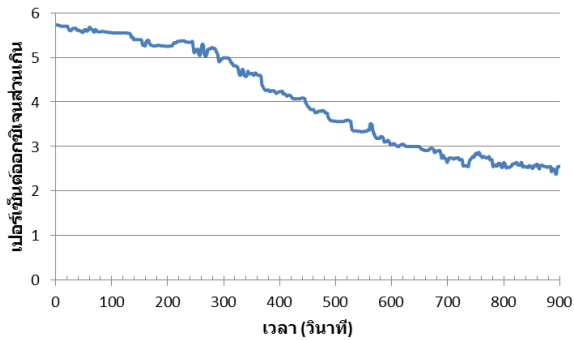
## 4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการตอบสนองของเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินจากการเผาไหม้ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า P ในตัวควบคุม PID



## AEC-106

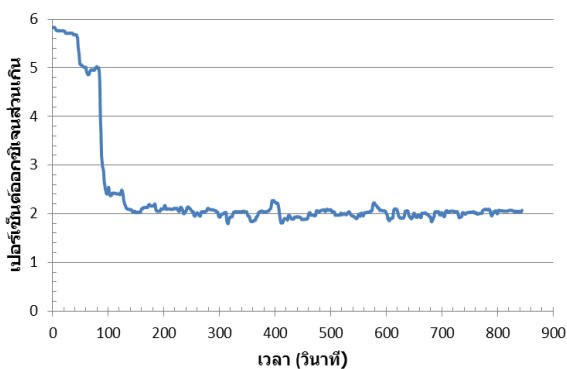
ผลจากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่า P ในตัวควบคุม PID ปรากฏว่า ที่ค่า P เท่ากับ 0.1 นั้นจะระบบควบคุมเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady – State) ได้ช้า และเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ระบบควบคุมไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในค่าที่ต้องการควบคุมได้ ส่วนการตอบสนองการควบคุมได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพการตอบสนองของระบบควบคุม

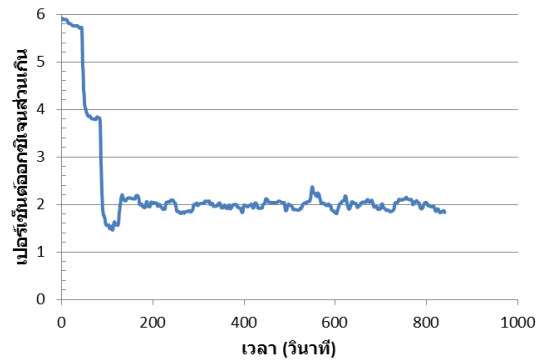
อากาศไอเสีย โดยใช้ค่า P เท่ากับ 0.1

เมื่อเพิ่มค่า P ในตัวควบคุม PID ได้มากขึ้น ปรากฏว่าระบบควบคุมสามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วขึ้น และสามารถควบคุมให้อยู่ในค่าที่ต้องการควบคุมได้ โดยที่ค่า P เท่ากับ 0.7 และ 1.0 มีการตอบสนองการควบคุมได้แสดงไว้ดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 แผนภาพการตอบสนองของระบบควบคุม

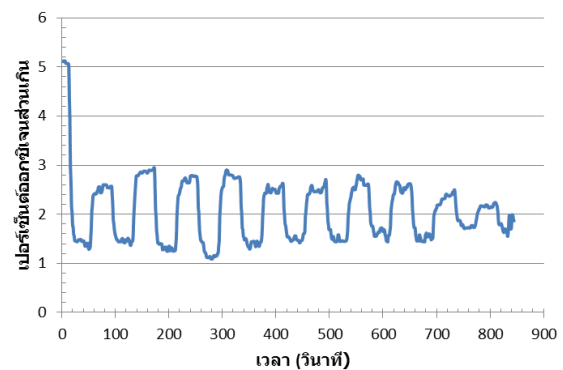
อากาศไอเสีย โดยใช้ค่า P เท่ากับ 0.7



รูปที่ 7 แผนภาพการตอบสนองของระบบควบคุม

อากาศไอเสีย โดยใช้ค่า P เท่ากับ 1.0

เมื่อได้เพิ่มค่า P ในตัวควบคุม PID ให้มากขึ้นอีกพบว่า ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วขึ้นอีก และสามารถเข้าสู่ค่าที่ต้องการได้เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว แต่จะเกิดการแกว่ง (Oscillation) ในช่วงที่อยู่ในสภาวะคงตัว ดังรูปที่ 8 แสดงถึงการแกว่งของการควบคุม เมื่อค่า P เท่ากับ 1.6



รูปที่ 8 แผนภาพการตอบสนองของระบบควบคุม

อากาศไอเสีย โดยใช้ค่า P เท่ากับ 1.6

### 4.2 ผลจากการเปรียบเทียบแก๊สไอเสีย และ อุณหภูมิ

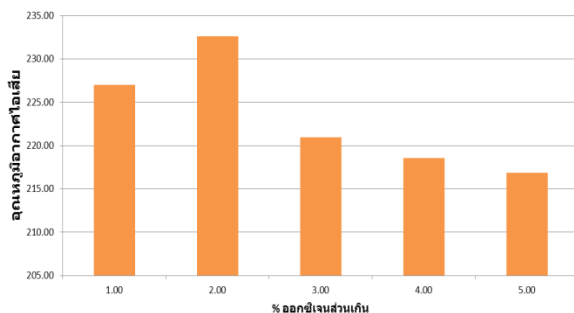
จากการทดสอบหาก๊าซผลิตภัณฑ์ไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ดีเซลที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินต่างๆ (1.0 – 5.0%) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในไอเสียเพิ่มมากขึ้น ส่วนก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

## AEC-106

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดก๊าซผลิตภัณฑ์ไอเสีย

O <sub>2</sub>	CO(ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	NOX(ppm)
1.00	99.78	14.75	72.42
2.00	83.67	14.03	88.67
3.00	77.75	13.27	91.32
4.00	73.97	12.55	84.11
5.00	73.57	11.81	76.42

ส่วนผลการตรวจวัดอุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า ที่ 2 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินมีอุณหภูมิที่ปล่องไอเสียสูงสุด (232°C) และที่ 5 เปอร์เซ็นต์ส่วนเกินมีอุณหภูมิที่ปล่องไอเสียต่ำสุด (216°C) มีความแตกต่างของอุณหภูมิ 7 เปอร์เซ็นต์ (ระบบเดิมเป็นระบบควบคุมกลไก ปรับไว้ที่ 5 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 9 แผนภาพผลการตรวจวัดอุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย

### 5. สรุปการทดสอบ

5.1 ระบบการควบคุม PID ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า P เมื่อมีค่า P ต่ำ (0.1) จะเข้าสู่สภาวะคงตัวช้า และไม่สามารถเข้าสู่ค่าที่ต้องการควบคุมได้ เมื่อปรับค่า P ให้มีค่าเหมาะสม (0.7 – 1.0) ทำให้เข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็ว และสามารถเข้าสู่ค่าที่ต้องการควบคุมได้ แต่เมื่อเพิ่มค่า P มากขึ้นเรื่อยๆ (1.6) จะทำให้เกิดการแกว่งรอบค่าที่ต้องการควบคุม

5.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในไอเสียเพิ่มมากขึ้น ส่วนก๊าซไนโตรเจน

ออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า ที่ 2 เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกินมีอุณหภูมิที่ปล่องไอเสียสูงสุด (232°C) และที่ 5 เปอร์เซ็นต์ส่วนเกินมีอุณหภูมิที่ปล่องไอเสียต่ำสุด (216°C) มีความแตกต่างของอุณหภูมิ 7 เปอร์เซ็นต์

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (2554), สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน.
- [2] Carlton Prewit and Rafic Bachnak (2004). Implementing PID Temperature Control Using LabVIEW, Proceedings of the 2004 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference, Texas Tech University.
- [3] K. Gowri Shankar, (2008).Control of Boiler Operation using PLC – SCADA, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists Vol II, 19-21 March, 2008, Hong Kong.
- [4] Bohumil Šulc, Cyril Oswald, (2010). Enhanced PID Controllers in Combustion Control, Development, Energy, Environment, Economics, ISBN: 978-960-474-253-0.
- [5] มนตรี พิรุณเกษตร (2540), คู่มืออุณหพลศาสตร์ II, บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่นจำกัด, กรุงเทพมหานคร.
- [6] วีระพงษ์ ว่องรัตนไพศาล (2550), การวิเคราะห์เชิงระบบและควบคุม, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.