



ระบบตรวจวัดเครื่องยนต์กังหันก๊าซ
GAS TURBINE ENGINE: MONITORING SYSTEM



นายกาญจน์ ทรัพย์ประภา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 45981
วัน, เดือน, ปี... 27 ก.พ. 2546

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

ระบบตรวจวัดเครื่องยนต์กังหันก๊าซ

GAS TURBINE ENGINE: MONITORING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจวัดเครื่องยนต์กังหันก๊าซ

GAS TURBINE ENGINE: MONITORING SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นาย กัญจน์ ทรัพย์ะประภา รหัสประจำตัว 41014563



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจวัดเครื่องยนต์กัณฑ์กัณฑ์

นายกัญจน์ ทรัพย์ประภา 41014563

ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายในก้าวหน้าไปมาก การพัฒนาให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพต่างๆที่สูงขึ้น อาทิ ประสิทธิภาพทางความร้อน กำลังงานที่ได้ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ขนาดของเครื่องยนต์ที่เล็กลง เป็นต้น เครื่องยนต์กัณฑ์กัณฑ์ก็เป็นหนึ่งในเครื่องยนต์สันดาปภายในที่กำลังได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางในสถาบันการศึกษาต่างๆของประเทศไทย ซึ่งการพัฒนาต้องการการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่เป็นคุณสมบัติของเครื่องยนต์

โครงการนี้นำเสนอระบบตรวจวัดเครื่องยนต์กัณฑ์กัณฑ์ โดยประยุกต์ระบบ Data acquisition ซึ่งประกอบด้วยตัวรับสัญญาณเพื่อวัดค่าคุณสมบัติของเครื่องยนต์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผล และแสดงผล เพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจในการควบคุมหรือแก้ไขระบบต่อไป

การพัฒนาโครงการจะเริ่มจากการเลือกอุปกรณ์วัด การออกแบบวงจรขยายสัญญาณให้ได้ในย่านที่ต้องการ การเขียนโปรแกรม การปรับตั้งและสอบเทียบระบบ และการทดลองโดยการวัดเปรียบเทียบกับการใช้อุปกรณ์การวัดแบบเดิม ซึ่งผลการทดลองพบว่าโครงการให้ผลการวัดที่แม่นยำ รวดเร็ว และต่อเนื่องมากกว่า ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ช่วยในการศึกษาเครื่องยนต์ชนิดนี้ได้ต่อไป

Gas Turbine Engine: Monitoring System

Mr. Gunn Sapyaprapa

41014563

Assist. Prof. Dr. Jaruwat Chareonsuk Advisor

ABSTRACT

The internal combustion engine has been continuously developed, in order to improve its performances, i.e., increasing thermal efficiency, maximizing the output power, minimizing fuel consumption and reducing size and weight. Gas Turbine Engine is one of the I.C.Engines which is now developed widely in the educational and R&D institute of Thailand. An analysis on engine performances is an essential part of this development.

This project presents the Gas Turbine Engine: Monitoring System. Applying data acquisition units with transducers for measuring engine's properties, processing data, and displaying the results. These will help user to control and/or rectify the operating condition of the engine.

The project concerns selection of transducers, design of the amplifying circuits, computer programming, adjusting, calibrating, and examining by comparing with manual measurement. The project gives the accurate and continuous results with higher speed than manual measurement. These can be applied for further study on engine performances.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการ ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผศ.ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผู้ให้คำแนะนำและเป็นพี่ที่ปรึกษางานออกแบบตลอดจนการแก้ไขปัญหาด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการพัฒนาโครงการร่วมกันระหว่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

กราบขอบขอบคุณคุณมณฑา เทียมเมือง เจ้าหน้าที่เทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ผู้ช่วยเหลือและสนับสนุนการร่างและติดตั้งเครื่องมือ

ขอขอบคุณ พี่ชาญ พี่อ้อด พี่ต้อม ปี 3 ส่วนปริญญาตรีต่อเนื่อง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ผู้สร้างเครื่องยนต์ทดสอบ และช่วยเหลือในการติดตั้งและทดลองโครงการ

ขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำหรับคำแนะนำ ในส่วนที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลไม่ชำนาญพอ ทำให้สามารถแก้ปัญหาเล็กๆน้อยๆได้หลายเรื่อง

ขอบคุณเพื่อนๆ ผู้ร่วมภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข ให้กำลังใจและช่วยเหลือ ดูแลกันและกันตลอดมา

และบุคคลที่สำคัญที่สุด ที่ต้องขอกราบเท้าขอบพระคุณ ได้แก่บิดามารดาของผู้เขียน ที่ให้กำเนิด เลี้ยงดู อบรมสั่งสอน อุปการะให้ผู้เขียนศึกษาเล่าเรียน จนมีโอกาสสร้างสรรคโครงการ และปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้

กัญจน์ ทรัพย์ประภา

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ภาพรวมของโครงการ	2
บทที่ 2 เครื่องยนต์กังหันก๊าซ	3
2.1 การทำงานของเครื่องยนต์	3
2.2 การวัดและคำนวณคุณสมบัติของของไหลที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องยนต์	3
2.2.1 การวัดอุณหภูมิของของไหล	3
2.2.2 การวัดความดันการไหลของของไหล	4
2.2.3 การคำนวณความเร็วการไหล	5
2.2.4 การคำนวณความหนาแน่นของอากาศหลังการอัดโดยประมาณ	5
2.2.5 การคำนวณอัตราการไหลโดยมวลของของไหล	6
2.2.6 การคำนวณอัตราการไหลโดยมวลของเชื้อเพลิง	7
2.2.7 การคำนวณความหนาแน่นของก๊าซผสมที่เผาไหม้แล้ว	7
2.2.8 การวัดและคำนวณแรงขับเคลื่อน	9
2.3 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องยนต์	9
2.3.1 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการอัด	9
2.3.2 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัว	10
บทที่ 3 ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์	11
3.1 อุปกรณ์วัดอิเล็กทรอนิกส์	11
3.1.1 หลักการของเทอร์โมคัปเปิล	11
3.1.2 การเลือกย่านของเทอร์โมคัปเปิล	11
3.2 วงจรควบคุม	12
3.3 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า	15
3.4 วงจรขยายแรงดัน	16

บทที่ 4	โปรแกรม Engine Monitor	20
4.1	ส่วนประกอบของโปรแกรม	20
4.1.1	โมดูลการประกาศตัวแปร	20
4.1.2	โมดูลควบคุมฐานข้อมูล	20
4.1.3	โมดูลควบคุมการสื่อสาร	20
4.1.4	โมดูลควบคุมข้อมูล	21
4.1.5	โมดูลการคำนวณ	21
4.1.6	โมดูลควบคุมการแสดงผล	22
4.1.7	โมดูลควบคุมป้อนกลับ	22
4.2	การใช้งานโปรแกรม Engine Monitor	23
บทที่ 5	การสอบเทียบและปรับแต่งระบบ	25
5.1	การทดสอบอัตราส่วนแรงดันต่ออุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล	25
5.2	การสอบเทียบระบบ	29
บทที่ 6	การทดลอง	32
6.1	วัตถุประสงค์การทดลอง	32
6.2	อุปกรณ์การทดลอง	32
6.3	วิธีทดลอง	32
6.4	ผลการทดลอง	33
6.5	วิเคราะห์ผลการทดลอง	35
บทที่ 7	บทวิจารณ์และสรุป	36
7.1	วิจารณ์ผลการทดลอง	36
7.2	การพัฒนาโครงการ	36
7.3	สรุปโครงการ	37

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตาราง 5.1 ผลการทดสอบการวัดแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ	26
ตาราง 5.2 การคำนวณค่าคงที่ของการประมาณการถดถอยด้วยกำลังสองน้อยที่สุด	28
ตาราง 5.3 ตารางบันทึกข้อมูลการสอบเทียบช่องสัญญาณทั้งสาม	29
ตาราง 6.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบ	34



สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องยนต์กึ่งหนักก๊าซ	3
รูปที่ 2.2 Pitot Static Tube	5
รูปที่ 2.3 กระบวนการอัดโดยเครื่องอัด	6
รูปที่ 2.4 การวัดอัตราการใช้ไหลด้วยออร์พิซ	7
รูปที่ 2.5 แผนภูมิกระบวนการอัด	9
รูปที่ 2.6 แผนภูมิกระบวนการขยายตัว	10
รูปที่ 3.1 เทอร์โมคัปเปิล	12
รูปที่ 3.2 วงจรควบคุม	13
รูปที่ 3.3 ผังวงจรควบคุม ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	13
รูปที่ 3.4 ผังวงจรควบคุม ส่วนควบคุมการสื่อสารอนุกรม	14
รูปที่ 3.5 ผังวงจรควบคุม ส่วน Input/Output	14
รูปที่ 3.6 วงจรจ่ายพลังงาน	15
รูปที่ 3.7 ผังวงจรจ่ายพลังงาน	16
รูปที่ 3.8 วงจรขยายแรงดัน	17
รูปที่ 3.9 ผังวงจรขยายแรงดัน	17
รูปที่ 3.10 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	18
รูปที่ 3.11 ผังวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	19
รูปที่ 4.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม	23
รูปที่ 4.2 หน้าจอการแก้ไขข้อมูล	24
รูปที่ 4.3 หน้าจอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของไหล	24
รูปที่ 5.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ	25
รูปที่ 5.2 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล	27
รูปที่ 5.3 แผนภูมิการกระจายของข้อมูลการสอบเทียบ ช่องสัญญาณที่ 1	30
รูปที่ 5.4 แผนภูมิการกระจายของข้อมูลการสอบเทียบ ช่องสัญญาณที่ 2	30
รูปที่ 5.5 แผนภูมิการกระจายของข้อมูลการสอบเทียบ ช่องสัญญาณที่ 3	31
รูปที่ 6.1 จุดต่อสายที่แผงควบคุม	32
รูปที่ 6.2 การต่อสายเข้าโครงการ	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางกลโดยใช้เครื่องมือวัดแบบอนาลอกหรือการวัดด้วยคนนั้น มีความน่าเชื่อถือต่ำกว่าการใช้เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ เพราะการวัดด้วยคนอาจเกิดค่าผิดพลาดในการวัด โดยเฉพาะจากผู้วัดเอง ทำให้ข้อมูลที่ได้คลาดเคลื่อนไป เป็นผลต่อเนื้องให้ผลที่คำนวณได้ผิดพลาดไปด้วย

การวัดค่าโดยใช้การดูและบันทึกผลนั้น ไม่สามารถวัดค่าอย่างต่อเนื่องได้ ดังนั้นในระบบที่มีการป้อนกลับ (Feedback control system) ซึ่งต้องการข้อมูลอย่างต่อเนื่องเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดนั้น ไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นการใช้งาน Data acquisition จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับปัญหานี้ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดค่าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Transducers) เพื่อวัดค่าคุณสมบัติที่ต้องการ นำสัญญาณที่ได้จากการวัดค่า ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก แปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัล โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลข้อมูลได้ จากนั้นจึงบันทึกข้อมูล แสดงผล หรือสร้างสัญญาณป้อนกลับ (Feedback-controlled signal) เพื่อนำกลับมาควบคุมระบบต่อไป

ในเครื่องยนต์กังหันก๊าซ การทำงานที่สมบูรณ์นั้น ประกอบด้วยปัจจัยที่สัมพันธ์กันหลายปัจจัย เช่น การเผาไหม้ที่สมบูรณ์เกิดขึ้นโดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณอากาศและก๊าซเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศที่เหมาะสมในห้องเผาไหม้ มีผลมาจากความดันและอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องอัด (Compressor) ซึ่งเกี่ยวข้องกับอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ ดังนั้นเริ่มต้นการจุดระเบิดจึงต้องตรวจสอบสถานะในห้องเผาไหม้ให้ได้ตามที่กำหนด จึงจะสามารถเริ่มจุดระเบิดได้ และเมื่อเครื่องยนต์สามารถจุดระเบิดได้แล้ว การรักษาการทำงานของเครื่องยนต์ต่อเนื่อง ต้องรักษาการผสมของอากาศและเชื้อเพลิงให้คงที่ด้วย

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว การจุดระเบิดในเวลาที่ถูกต้อง และการรักษาการทำงานของเครื่องยนต์ ผู้ใช้จำเป็นต้องได้ข้อมูลต่อเนื่องตามเวลาจริง (Real-time continuous data) ในทุกๆปัจจัยของการจุดระเบิดและเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่วัดได้ด้วยมือ นั้น อาจต้องใช้เวลาในการคำนวณเพื่อเปลี่ยนข้อมูลดิบเป็นข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์ได้ ซึ่งทำให้ไม่สามารถตัดสินใจได้ทันเวลา และการอ่านค่าด้วยคนนั้น จะเกิดความผิดพลาดจากผู้วัดขึ้น เนื่องจากผู้วัดแต่ละคนอ่านค่าไม่ตรงกัน รวมทั้งการคำนวณบางอย่างที่มีขั้นตอนซับซ้อน ผู้วัดอาจคำนวณผิดพลาดด้วยเช่นกัน เมื่อข้อมูลเข้ามีความผิดพลาดแล้ว แม้กระบวนการประมวลผลจะมีความละเอียดหรือเที่ยงตรงเพียงใด ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาก็จะมีความแม่นยำลดลง

โครงการนี้ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวในการวัด ประมวลผล เก็บข้อมูล และแสดงผลข้อมูล โดยอาศัยชุดเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้ใช้สามารถศึกษาทดลองเกี่ยวกับเครื่องยนต์กังหันก๊าซได้สะดวก สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้น และนำไปสู่การพัฒนาเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวต่อไป เนื่องจากระบบเครื่องมือวัดของโครงการทั้งตัวฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ถูกแยกออกเป็นส่วนๆ โดยทำหน้าที่เป็นอิสระต่อกัน ทำให้สามารถนำไปพัฒนาหรือดัดแปลงเข้ากับโครงการอื่นๆได้โดยสะดวก

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางวิศวกรรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว การใช้ศาสตร์เฉพาะทางด้านใดด้านหนึ่งย่อมมีข้อจำกัดของศาสตร์นั้น ซึ่งศาสตร์อื่นอาจช่วยแก้ไขข้อจำกัดนั้นๆได้ ด้วยเหตุนี้ โครงการนี้จึงนำวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์มาช่วยแก้ไขข้อจำกัดต่างๆของวิศวกรรมเครื่องกล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อประยุกต์ความรู้ทางวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ประกอบการทำโครงการ

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแม่นยำในการวัดผลด้วยการใช้มือและเครื่องมือวัดแบบอนาลอก กับการใช้อุปกรณ์วัดแบบอิเล็กทรอนิกส์

1.2.3 เพื่อสร้างระบบเครื่องมือวัด แสดงผล ให้กับเครื่องยนต์กั้นกันก๊าซรุ่นทดสอบ และเพื่อให้โครงการที่สร้างขึ้นนี้ เป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์ชนิดนี้ต่อไป

1.3 ภาพรวมของโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วยชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่วัดค่าคุณสมบัติทางกลที่ต้องการ โดยผ่านอุปกรณ์วัดอิเล็กทรอนิกส์ (Transducer) สำหรับคุณสมบัติแต่ละประเภท อาทิ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ใช้วัดอุณหภูมิ เพรสเชอร์ทรานสดิวซ์เซอร์ (Pressure transducer) ใช้วัดความดัน เป็นต้น

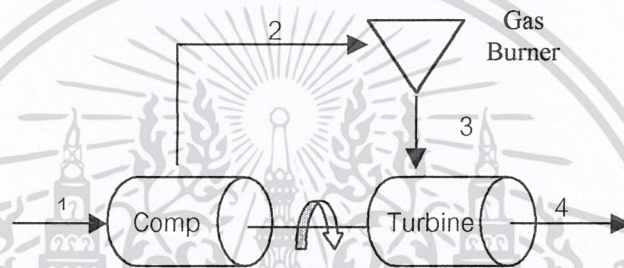
ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์วัดนั้นจะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปของสัญญาณอนาลอก ซึ่งอุปกรณ์วัดในโครงการนี้เป็นเทอร์โมคัปเปิล 3 ช่องสัญญาณ ได้แก่ ช่องที่ 1 วัดอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านการอัดโดยเครื่องอัดแล้ว ช่องที่ 2 วัดอุณหภูมิของก๊าซผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ผ่านการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ และช่องที่ 3 วัดอุณหภูมิของก๊าซผสมที่ขยายตัวผ่านกังหันแล้ว สัญญาณแต่ละช่องจะผ่านการขยายค่าแรงดันด้วยวงจรขยายสัญญาณ (Signal Amplifier) และจะถูกเลือกทีละช่องผ่านวงจรถูกเลือกช่องสัญญาณ (Channel Selector) ซึ่งกำหนดช่องสัญญาณที่ต้องการด้วยวงจรถบคุม (Controller) จากนั้นสัญญาณจะถูกแปลงด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) ให้เป็นข้อมูลดิจิตอล และส่งออกไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถเรียกใช้ในการวิเคราะห์ภายหลังได้ พร้อมกับประมวลผลข้อมูลต่างๆที่ได้ตามทฤษฎีความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และการวิเคราะห์เครื่องยนต์กั้นกันก๊าซ และข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้วจะถูกแสดงออกทางจอภาพ

บทที่ 2

เครื่องยนต์กังหันก๊าซ

2.1 การทำงานของเครื่องยนต์

การทำงานของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ เริ่มจากการดูดอากาศเข้าที่จุด 1 ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ และถูกอัดผ่านเครื่องอัดทำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นที่จุด 2 และผ่านเข้าไปในห้องเผาไหม้ ซึ่งมีหัวฉีดก๊าซเชื้อเพลิงออกมาผสมกับอากาศ และจุดระเบิดให้เกิดการเผาไหม้ ทำให้เกิดงานที่ได้จากการขยายตัวของก๊าซผสม ทำให้มีแรงไปหมุนกังหันซึ่งมีเพลลาต้ออยู่กับเครื่องอัด จากนั้นก๊าซไอเสียที่ยังมีความดัน อุณหภูมิและพลังงานจลน์เหลือก็จะไหลออกไปสู่บรรยากาศที่จุด 4 ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ

จะเห็นได้ว่าการวัดข้อมูลต่างๆของเครื่องยนต์ในการทดลองจริงนั้น หากทำการวัดด้วยมือและเครื่องมือวัดแบบเดิม ข้อมูลอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ รวมทั้งการเริ่มต้นจุดระเบิดที่ต้องควบคุมความดันและการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ ซึ่งต้องทำการทดลองซ้ำๆเพื่อวัดหาค่าต่างๆที่เหมาะสม ทำให้เสียเวลาในการทดลอง การนำโครงการนี้มาช่วยวัดข้อมูลต่างๆ ช่วยให้วัดข้อมูลได้สะดวกและแม่นยำขึ้น

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นโดยนักศึกษาชั้นปีที่ 3 ส่วนปริญญาตรี ต่อเนื่อง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยดัดแปลงมาจากเทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbocharger) ของเครื่องยนต์รถบรรทุก แล้วมาติดตั้งห้องเผาไหม้โดยใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG Gas) เป็นเชื้อเพลิง

2.2 การวัดและการคำนวณคุณสมบัติของของไหลที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องยนต์

2.2.1 การวัดอุณหภูมิของของไหล (Fluid Temperature) เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นของการประเมินและวิเคราะห์เครื่องยนต์โดยอาศัยทฤษฎีของวัฏจักรเบรตัน (Brayton's cycle) โดยจะวัดอุณหภูมิในรูปของอุณหภูมิตกนิ่ง (Stagnation Temperature) ซึ่งนิยามจาก

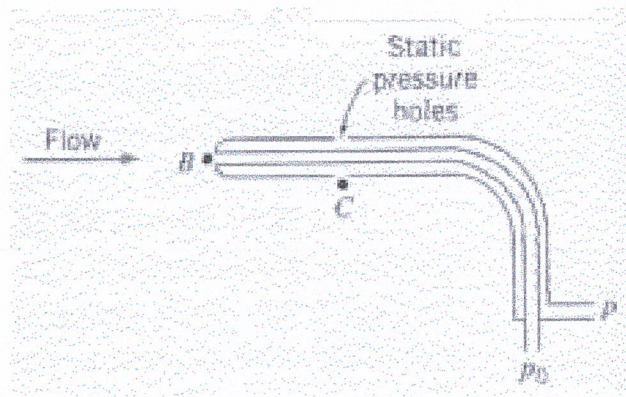
$$T_0 = T + \frac{v^2}{2C_p} \quad (2.1)$$

โดย	T_0	คืออุณหภูมิสถิตแบบนิ่ง (Kelvin)
	T	คืออุณหภูมิสถิตที่วัดได้จากการวัด (Kelvin)
	V	คือความเร็วการไหลของของไหล ในที่นี้คืออากาศ (m/s)
	C_p	คือค่าความจุความร้อนของของไหลที่ความดันคงที่ (อากาศ = 1.405 kJ/kg.K)

ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิประกอบด้วย หลังการอัด (02) หลังการเผาไหม้ (03) และหลังการขยายตัว (04) ดังรูปที่ 2.1 ส่วนตำแหน่งก่อนเข้าห้องอัด (01) ให้ใช้อุณหภูมิอากาศบรรยากาศ (Ambient Air Temperature) ในขณะที่ทำการทดลองนั้นได้ และให้สมมติฐานให้คงที่ตลอดการทดลอง

2.2.2 การวัดความดันของการไหลของของไหล (Fluid Flow-Pressure) เนื่องจากการวิเคราะห์โดยหลักการของวัฏจักรเบรตันนั้นตั้งอยู่บนเงื่อนไขว่ากระบวนการอัดตัวและการขยายตัวเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic Process) หรือกระบวนการแอดิเอแบติกแบบย้อนกลับได้ (Reversible Adiabatic Process) ซึ่งกระบวนการเกิดขึ้นเอนโทรปีคงที่ ทำให้สามารถคำนวณค่าของอุณหภูมิและความดันหลังการอัดหรือการขยายตัวได้โดยไม่ต้องทำการวัด แต่ในความเป็นจริงไม่เป็นไปตามนั้น กระบวนการจริงจะเกิดขึ้นโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันหลังกระบวนการ ซึ่งกำหนดโดยค่าประสิทธิภาพทางไอเซนโทรปิก (Isentropic Efficiency) ดังนั้นเราจึงต้องทำการวัดความดันการไหลแบบสถิตแบบนิ่ง (Stagnation Pressure) ประกอบกับอุณหภูมิสถิตแบบนิ่งในทุกๆจุดข้างต้น

ความดันสถิตแบบนิ่งในจุด 01 หรือทางเข้าเครื่องยนต์ สามารถแทนได้ด้วยความดันบรรยากาศ (Ambient Pressure) ได้เช่นเดียวกับกรณีของอุณหภูมิ สำหรับตำแหน่งหลังการอัด (02) วัดได้โดยการใช้ Pitot Static Tube ดังรูป



รูปที่ 2.2 Pitot Static Tube

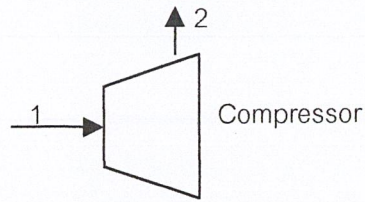
2.2.3 การคำนวณความเร็วการไหล (Flow velocity) จากหัวข้อ 2.2.2 Pitot Static Tube จะสามารถวัดค่าความดันสถิต (Static Pressure) และสแตกเนชัน (Stagnation Pressure) ได้พร้อมกัน เมื่อหาค่าความแตกต่างของความดัน (Pressure different) ระหว่างความดันสถิตกับความดันสแตกเนชัน จะได้ความดันไดนามิก (Dynamic Pressure) ซึ่งอยู่ในรูปของความเร็วในการไหล ดังสมการ

$$P_0 = P + \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.2)$$

โดย P_0 คือความดันสแตกเนชัน (Kelvin)
 P คือความดันสถิตที่ได้จากการวัด (Kelvin)
 v คือความเร็วการไหลของอากาศที่ทางเข้า (m/s)
 ρ คือค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

ซึ่งพจน์ $\frac{\rho v^2}{2}$ คือความดันไดนามิก ดังนั้นเมื่อหาค่าความแตกต่างของ P_0 และ P ได้ ก็จะสามารถหาความเร็วในการไหลได้

2.2.4 การคำนวณความหนาแน่นของอากาศหลังการอัดโดยประมาณ (Compressed air approximated velocity) เนื่องจากอากาศไหลผ่านกระบวนการอัดในเครื่องอัดตั้งรูป ทำให้ค่าความหนาแน่นเปลี่ยนไป เมื่อสมมติโดยประมาณให้อากาศที่สภาวะนี้เป็นก๊าซอุดมคติคำนวณได้จากสมการของก๊าซอุดมคติ



รูปที่ 2.3 กระบวนการอัดโดยเครื่องอัด

$$\frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2} \quad (2.3)$$

โดย ตัวห้อย 1 หมายถึงตำแหน่งทางเข้าเครื่องอัด

ตัวห้อย 2 หมายถึงตำแหน่งหลังการอัด

2.2.5 การคำนวณอัตราการไหลโดยมวลของของไหล (Fluid mass flow rate) หาได้จากสมการ

$$\dot{m} = \rho \bar{u} A \quad (2.4)$$

โดย \dot{m} คืออัตราการไหลโดยมวล (kg/s)

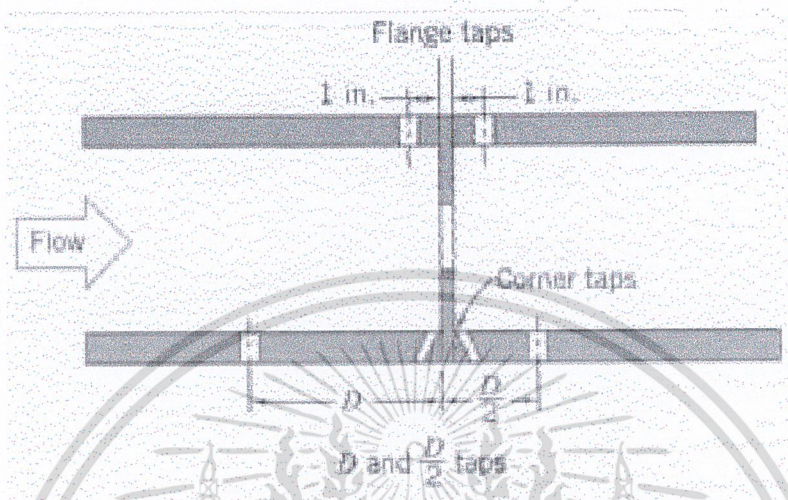
ρ คือความหนาแน่นของของไหล (kg/m³)

\bar{u} คือความเร็วการไหลของของไหลโดยเฉลี่ยทั้งหน้าตัด (m/s)

A คือพื้นที่หน้าตัดของการไหล (m²)

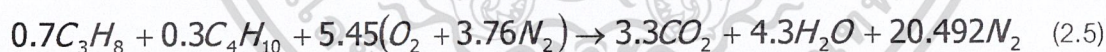
ดังนั้นเมื่อวัดความเร็วการไหลของอากาศหลังการอัดจากหัวข้อ 2.2.3 ได้ ก็จะสามารถคำนวณค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศ (Air mass flow rate: \dot{m}_a) ได้จากสมการนี้

2.2.6 การคำนวณอัตราการไหลโดยมวลของเชื้อเพลิง (Fuel mass flow rate) วัดและคำนวณได้ โดยการใช้ออริฟิซ (Orifice) ดังรูป

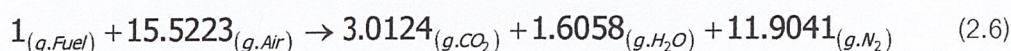
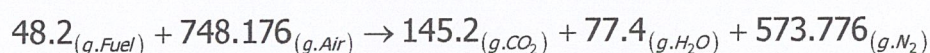


รูปที่ 2.4 การวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิซ

2.2.7 การคำนวณความหนาแน่นของก๊าซผสมที่เผาไหม้แล้ว (Mixed-gas Density) โดยสมมติให้ก๊าซเชื้อเพลิง LPG เป็นก๊าซผสมระหว่างโพรเพน (Propane: C_3H_8) และบิวเทน (Butane: C_4H_{10}) ในอัตราส่วน 70:30 โดยโมล ได้สมการการเผาไหม้ที่อากาศพอดี (Stoichiometric combustion) ในรูปของโมลเป็น



หรือในรูปของมวล (กรัม) เป็น



จะเห็นว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิง 1 kg/s ต้องการอากาศแบบพอดี 15.52 kg/s

ดังนั้นการทดลองที่เผาไหม้เชื้อเพลิง \dot{m}_f kg/s จึงต้องการอากาศพอดี $15.52\dot{m}_f$ kg/s

ซึ่งจะมีอากาศเหลือ $\dot{m}_a - 15.52\dot{m}_f$ kg/s

ดังนั้นจากสมการ 2.6 การเผาไหม้แบบส่วนผสมบาง (Lean mixture) จะได้

$$1_{(kg.Fuel)} + 15.5223_{(kg.usedAir)} + (\dot{m}_a - 15.52\dot{m}_f)_{(kg.remainAir)}$$

$$\rightarrow 3.0124_{(kg.CO_2)} + 1.6058_{(kg.H_2O)} + 11.9041_{(kg.N_2)} + (\dot{m}_a - 15.52\dot{m}_f)_{(kg.remainAir)}$$

ซึ่งในส่วนของผลิตภัณฑ์ของสมการ คำนวณกลับให้เป็นสมการในหน่วยกิโลโมล จะได้

$$0.068464 CO_2 + 0.089211 H_2O + 0.425146 N_2 + \left(\frac{\dot{m}_a - 15.52\dot{m}_f}{137.28} \right) (Air) \quad (2.7)$$

ซึ่งคำนวณน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ของก๊าซผสมจาก

$$MW_{mix} = X_{CO_2} MW_{CO_2} + X_{H_2O} MW_{H_2O} + X_{N_2} MW_{N_2} + X_{Air} MW_{Air} \quad (2.8)$$

โดย MW_{mix} คือมวลโมเลกุลของก๊าซผสม (kg/kmol)

X_i คือสัดส่วนโดยโมล (Mole fraction) ขององค์ประกอบ i

MW_i คือมวลโมเลกุลขององค์ประกอบ i

ซึ่งสัดส่วนโดยโมลขององค์ประกอบหาได้จาก

$$X_i = \frac{N_i}{\sum N} \quad (2.9)$$

โดย N_i คือจำนวนโมลขององค์ประกอบ

$\sum N$ คือผลรวมของจำนวนโมลทั้งหมด

เมื่อได้น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซผสม นำไปคำนวณหาความหนาแน่นได้จาก

$$P = \rho \frac{\bar{R}}{M_w} T \quad (2.10)$$

โดย P, T คือความดันและอุณหภูมิสถิตของก๊าซผสมในห้องเผาไหม้

ρ คือความหนาแน่นของก๊าซผสม

\bar{R} คือค่าคงที่ของก๊าซ (Universal gas indicator = 8.314 kJ/kmol.K)

และเมื่อก๊าซไอเสียผ่านการขยายตัวที่กักกัน ใช้สมการ 2.3 เพื่อหาความหนาแน่นที่ทางออกได้

ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการอัด หาได้จากสมการ

$$T_{02} - T_{01} = \frac{T_{01}}{\eta_c} \left[\left(\frac{p_{02}}{p_{01}} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right] \quad (2.12)$$

เมื่อ η_c = ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการอัด

γ = ค่าคงที่ของอากาศ = 1.4

2.3.2 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัว (Isentropic Efficiency of Expansion)



รูปที่ 2.6 แผนภูมิกระบวนการขยายตัว

เช่นเดียวกับการอัด การขยายตัวจากจุด 03 ไปยังจุด 04 โดยเอนโทรปีเปลี่ยนแปลงจะได้ออกมาต่ำกว่าการขยายไปยังจุด 04' ซึ่งประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัวหาได้จาก

$$T_{03} - T_{04} = \eta_t T_{03} \left[1 - \left(\frac{p_{03}}{p_{04}} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] \quad (2.13)$$

เมื่อ η_t = ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัว

γ = ค่าคงที่ของก๊าซผสม ซึ่งแตกต่างกันสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์

3.1 อุปกรณ์วัดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Transducers)

อุปกรณ์วัดอิเล็กทรอนิกส์ ในที่นี้เรียกสั้นๆว่าอุปกรณ์วัด หรือเรียกทับศัพท์กันว่าทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หมายถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงรูปแบบของสัญญาณ จากรูปแบบหนึ่งของสัญญาณเข้า (Input) ไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งในสัญญาณออก (Output) ซึ่งโครงงานนี้มีรูปแบบของสัญญาณเข้าเป็นคุณสมบัติทางกลศาสตร์ และรูปแบบของสัญญาณออกเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอุปกรณ์วัดที่ใช้คือเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K-Type

3.1.1 หลักการของเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิล เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ทำงานด้วยทฤษฎี Seebeck Effect ซึ่งถูกค้นพบในปี ค.ศ.1821 โดยการนำลวดโลหะสองชนิดเชื่อมติดกัน เมื่อให้ความร้อนที่รอยเชื่อมนี้ พบว่าที่ปลายทั้งสองข้างของลวดโลหะทั้งสองเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ต่อมาได้มีการสรุปว่าสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของรอยเชื่อมได้จากการวัดค่าความต่างศักย์นี้ ซึ่งโดยปรกติค่าความต่างศักย์จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของรอยเชื่อม

3.1.2 การเลือกย่านของเทอร์โมคัปเปิล

ย่านของอุปกรณ์วัด (Transducer's range) หมายถึงขอบเขตของข้อมูลที่อุปกรณ์วัดสามารถวัดได้อย่างเที่ยงตรง อุปกรณ์วัดที่มีย่านการวัดที่กว้าง จะมีราคาสูงขึ้นไปด้วย สำหรับโครงงานนี้อุปกรณ์การวัดทั้งหมดคือเทอร์โมคัปเปิล ดังนั้นการเลือกย่านของอุปกรณ์วัดจึงประเมินได้จากอุณหภูมิสูงสุดของตำแหน่งที่ต้องการวัด ดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นอุณหภูมิบรรยากาศ จะตั้งสมมติฐานว่ามีอุณหภูมิคงที่ตลอดช่วงเวลาทำการทดลอง ดังนั้นจึงใช้การอ่านอุณหภูมิจากเทอร์มิสเตอร์ทั่วไปโดยไม่ต้องใช้เทอร์โมคัปเปิล

ตำแหน่งที่ 2 เป็นอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านการอัดแล้ว จากข้อมูลการคำนวณของกลุ่มผู้สร้างเครื่องยนต์ ด้วยการประมาณจากการอัดไอเซนโทรปิก (Isentropic Compression) โดยคำนวณด้วยอุณหภูมิบรรยากาศ 27 องศาเซลเซียส (300 Kelvin) และอัตราส่วนการอัด 3 ให้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ผ่านการอัดแล้วประมาณ 40 องศาเซลเซียส (313 Kelvin) จึงสามารถนำเทอร์โมคัปเปิลชนิด J Type ที่มีย่านอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0 – 50 องศาเซลเซียสมาใช้งาน แต่เนื่องจากอุณหภูมิในตำแหน่งที่ 3 และ 4 มีอุณหภูมิสูงมาก ซึ่งต้องวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K Type ซึ่งข้อมูลคุณสมบัติการแปลงสัญญาณไฟฟ้าแตกต่างกัน ไม่สามารถใช้งานวงจรขยายสัญญาณและวงจรแปลงข้อมูลร่วมกันได้ ดังนั้นในตำแหน่งที่ 2 นี้ จึงจำเป็นต้องเลือกเทอร์โมคัปเปิลชนิด K Type ที่มีย่านอุณหภูมิ 0 – 400 องศาเซลเซียสมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 3 เป็นอุณหภูมิของก๊าซผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่ผ่านการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ มีอุณหภูมิสูงที่สุดในเครื่องยนต์ อุณหภูมินี้คำนวณได้ประมาณ 1000 องศาเซลเซียส จึงเลือกเทอร์โมคัปเปิลชนิด K Type ย่านอุณหภูมิ 0 – 1200 องศาเซลเซียสมาใช้งาน

ตำแหน่งที่ 4 เป็นอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ขยายตัวผ่านกังหันแล้ว ทำให้อุณหภูมิลดลงจากห้องเผาไหม้ คำนวณได้จากการขยายตัวแบบไอเซนโทรปิก (Isentropic Expansion) ได้ค่าประมาณ 850 องศาเซลเซียส จึงเลือกเทอร์โมคัปเปิลชนิด K Type ย่านอุณหภูมิ 0 – 1200 องศาเซลเซียสมาใช้งาน



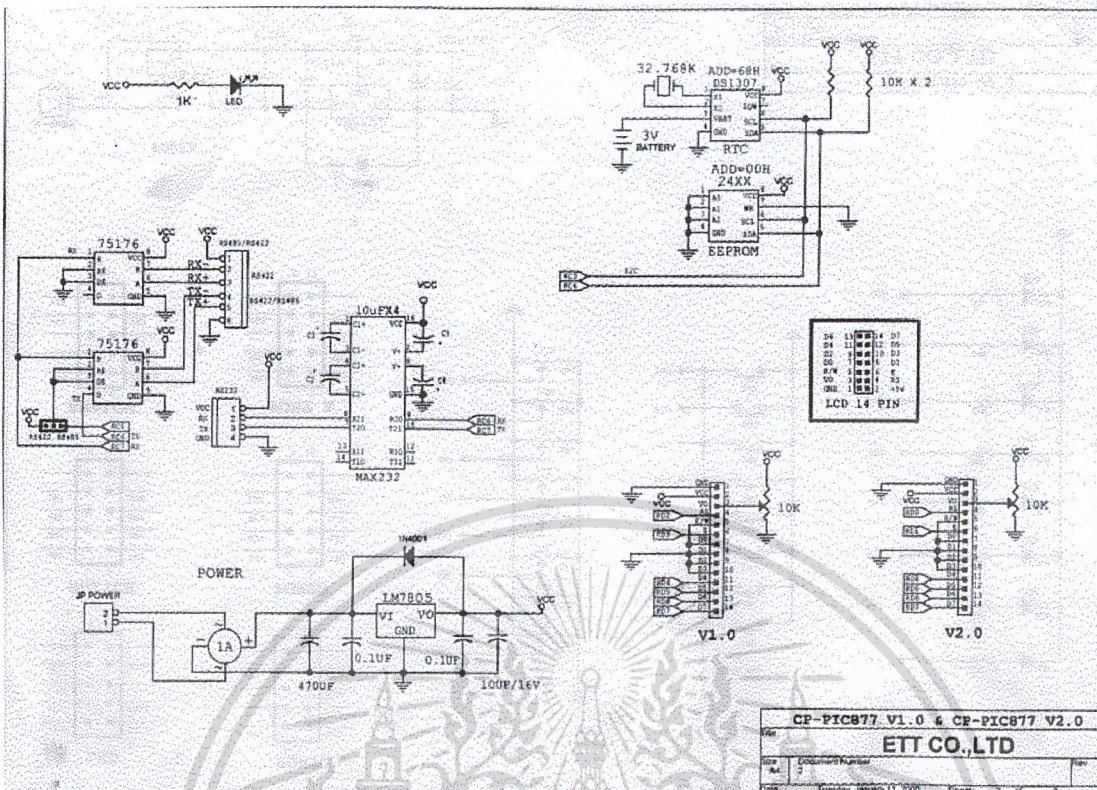
รูปที่ 3.1 เทอร์โมคัปเปิล

3.2 วงจรควบคุม (Controller)

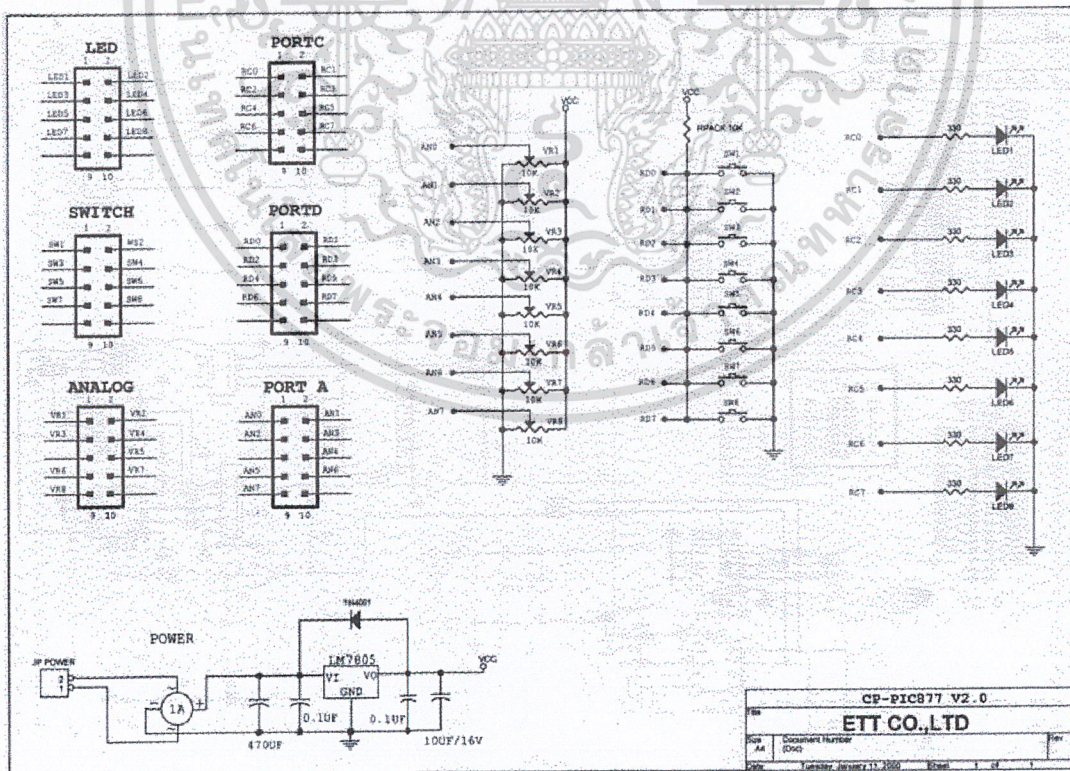
วงจรควบคุมในโครงการทำหน้าที่หลัก ดังนี้

- จัดลำดับและเลือกขั้วสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิลที่จะรับข้อมูลเข้า
- ควบคุมวงจรรขยายสัญญาณและวงจรแปลงสัญญาณให้ทำงานในจังหวะที่ตรงกัน
- ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อส่งข้อมูลเข้า

วงจรควบคุมของโครงการนี้ ใช้แผ่นวงจรสำเร็จรูปของบริษัท ETT รุ่น ET-PIC16F877 ซึ่งเป็นแผ่นวงจรที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล PIC-16F877 สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก (Basic Language Programming) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับภาษามนุษย์มาก ผู้เขียนโปรแกรมไม่จำเป็นต้องมีความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากนักก็สามารถเขียนได้ แผ่นวงจรสำเร็จรูปนี้มีอุปกรณ์เสริมที่จำเป็น เช่น ระบบติดต่อกับคอมพิวเตอร์แบบอนุกรม (Serial Communication) ตามมาตรฐาน RS-232 ซึ่งเป็นมาตรฐานหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการสื่อสารของคอมพิวเตอร์ และวงจรทดสอบอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output) ทำให้ประหยัดเวลาในการออกแบบวงจรได้มาก



รูปที่ 3.4 ผังวงจรควบคุม ส่วนควบคุมการสื่อสารอนุกรม

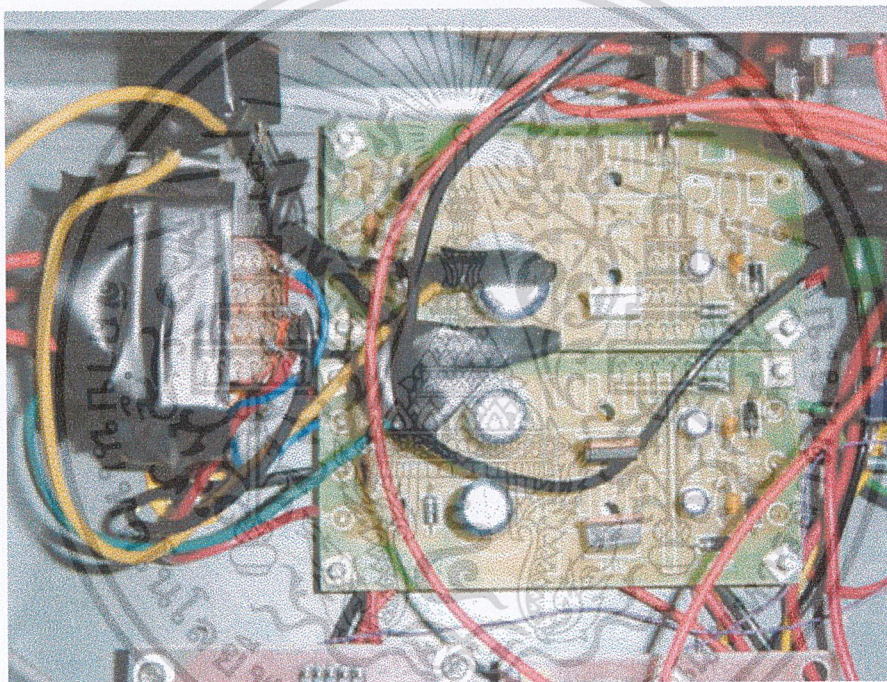


รูปที่ 3.5 ผังวงจรควบคุม ส่วน Input/Output

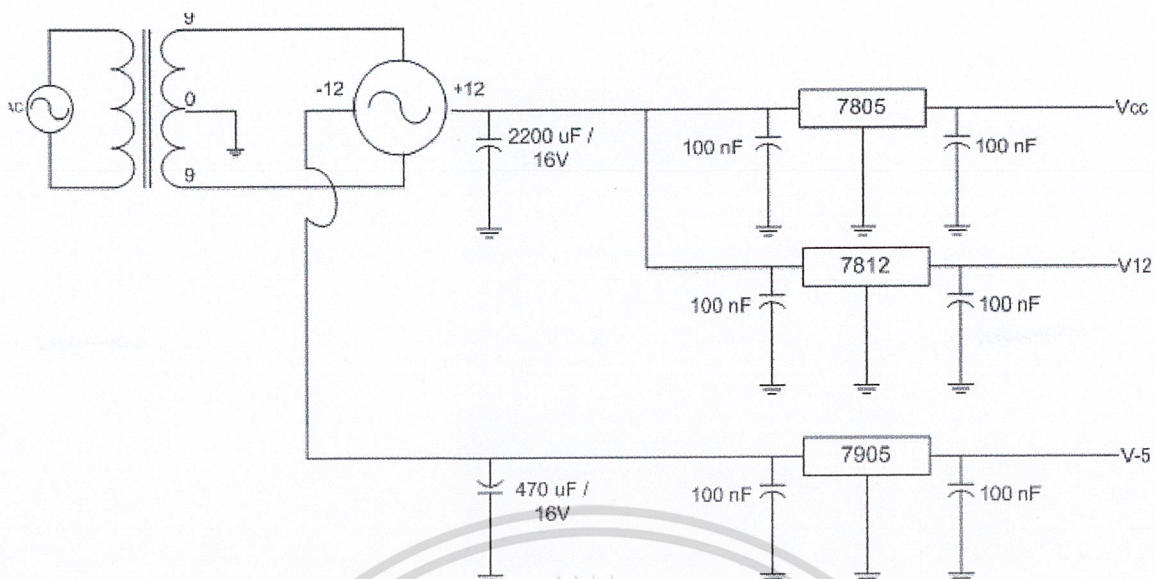
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power Supply)

เพื่อให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดทำงานได้อย่างราบรื่น แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะความคงที่ของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความเที่ยงตรงของจังหวะในการทำงาน และความแม่นยำ (Accuracy) ของวงจรแปลงสัญญาณ โครงการนี้จึงต้องสร้างวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power Supply) โดยใช้ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าที่คงที่ค่าต่างๆ คือ $\pm 5V$ สำหรับวงจรขยายสัญญาณ, $+5V$ สำหรับวงจรควบคุม, และ $+12V$ สำหรับวงจรแปลงสัญญาณ และใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขนาดต่างๆ สำหรับกรองสัญญาณรบกวนออกจากแรงดันทั้งหมด เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เรียบที่สุด



รูปที่ 3.6 วงจรจ่ายพลังงาน



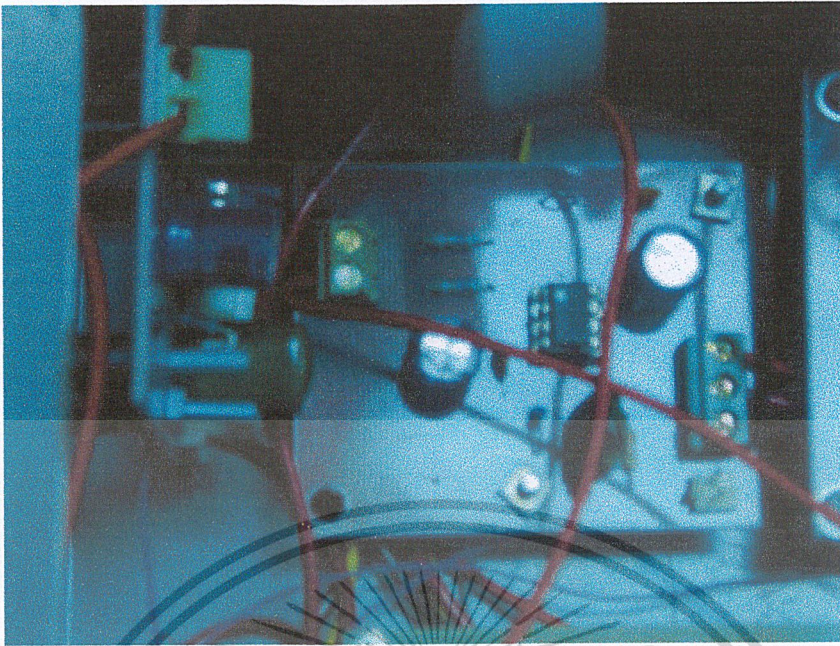
รูปที่ 3.7 แผงวงจรจ่ายพลังงาน

3.4 วงจรขยายแรงดัน (Voltage Amplifier)

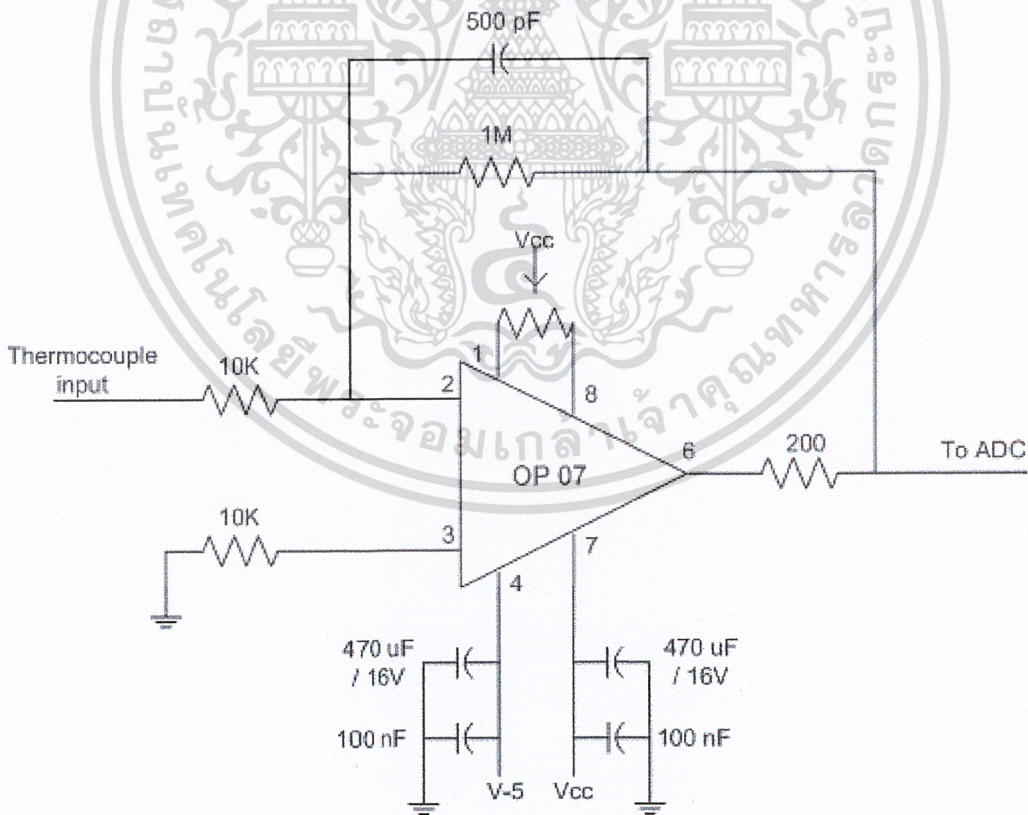
เนื่องจากสัญญาณที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุของโลหะสองชนิดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้มีค่าต่ำมากในระดับมิลลิโวลต์ (Millivolt: mV) เช่น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เทอร์โมคัปเปิลให้ค่าแรงดันออกมาเพียง 0.1 มิลลิโวลต์เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถนำไปแปลงโดยวงจรแปลงสัญญาณได้ ต้องผ่านการขยายสัญญาณให้มีแรงดันที่สูงขึ้นก่อน จึงจะส่งไปแปลงที่วงจรแปลงสัญญาณได้

วงจขยายสัญญาณจะใช้ไอซีที่เรียกว่าออปแอมป์ (OP-AMP: Operational Amplifier) ร่วมกับตัวต้านทาน (Resistor) เพื่อกำหนดอัตราขยาย (Gain) ตามที่ต้องการ และตัวเก็บประจุ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนของแรงดันที่ผ่านออปแอมป์

อัตราขยายสัญญาณ ถูกกำหนดโดยค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถรับได้ของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งมีค่า +5V ดังนั้น อัตราขยายคำนวณได้จากแรงดันของเทอร์โมคัปเปิล โดยที่ตำแหน่งที่ 2 จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ต่ำ ไม่เกิน 5 มิลลิโวลต์ ดังนั้นจึงกำหนดอัตราขยายที่ 1000 เท่า ส่วนที่ตำแหน่ง 3 ภายในห้องเผาไหม้ อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งให้แรงดันออกมา 50 มิลลิโวลต์ ดังนั้นอัตราขยายจึงเป็น 100 เท่า และตำแหน่งที่ 4 หลังการขยายตัว อุณหภูมิอยู่ในช่วงเดียวกับตำแหน่งที่ 3 จึงใช้อัตราขยายเดียวกันได้ นำอัตราขยายเหล่านี้ไปคำนวณค่าของตัวต้านทานต่อไป



รูปที่ 3.8 วงจรขยายแรงดัน



รูปที่ 3.9 ผังวงจขยายแรงดัน

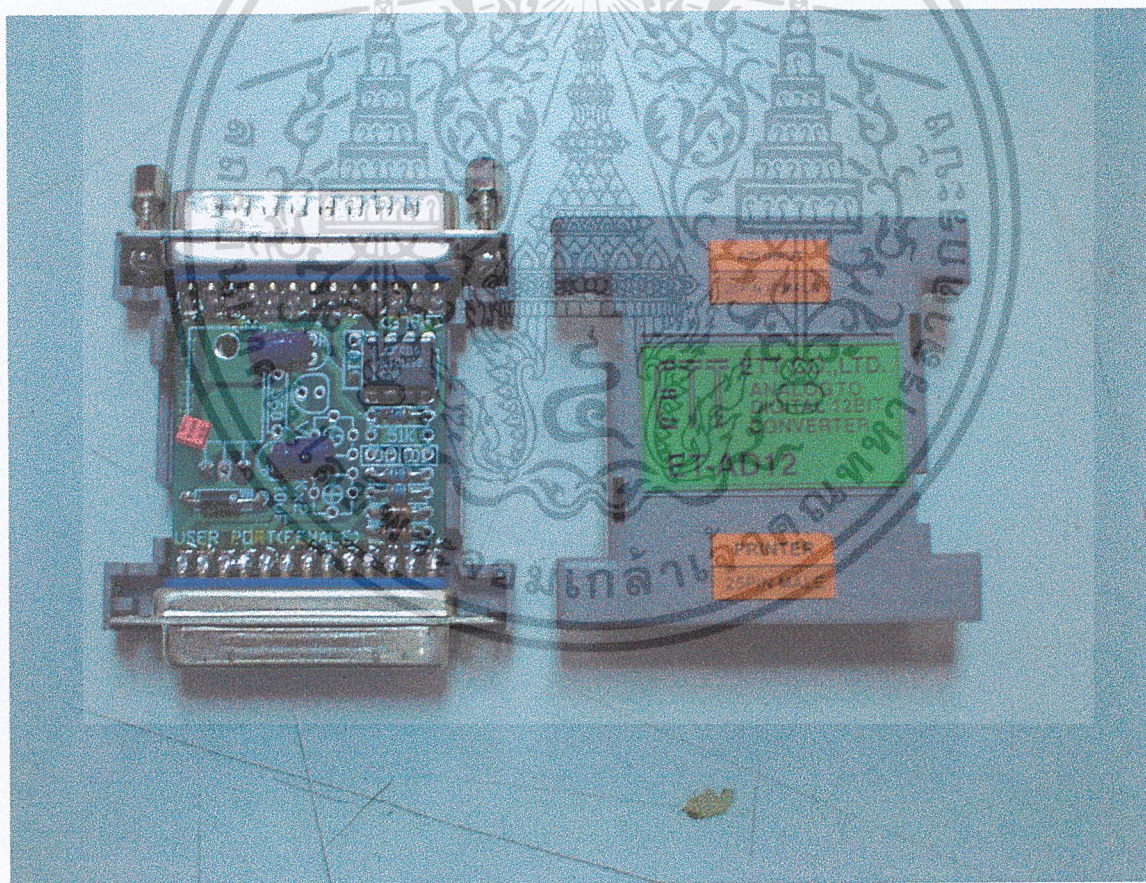
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

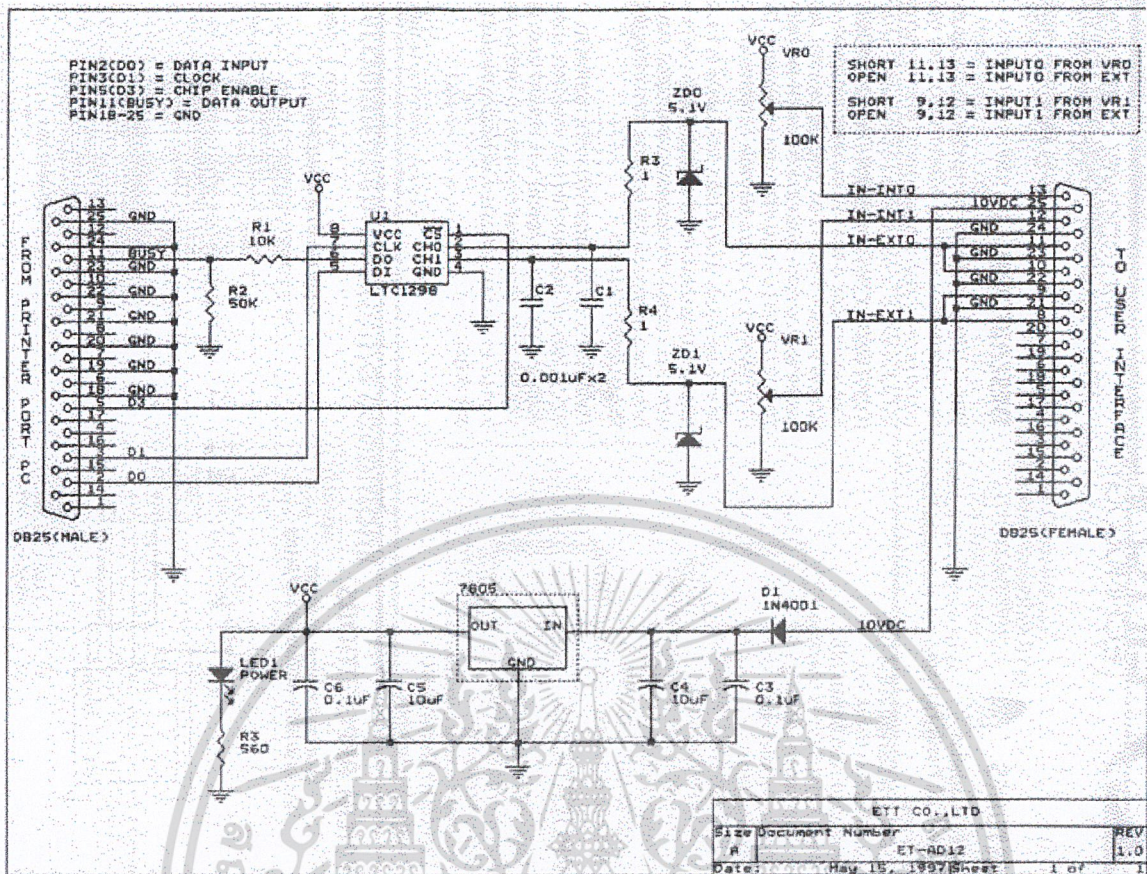
วงจรแปลงสัญญาณมีหลักการแปลงสัญญาณโดยการเปรียบเทียบ (Compare) แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input Voltage) กับแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) ในรูปของสัญญาณอนาลอก และจะให้ระดับสัญญาณขาออก (Output level) ซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) ออกมา

วงจรแปลงสัญญาณนี้ต้องมีความเที่ยงตรงและความแม่นยำในการทำงานสูง การสร้างจำเป็นต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์เฉพาะด้าน ดังนั้นโครงการนี้จึงเลือกวงจรแปลงสัญญาณสำเร็จรูปของบริษัท ETT รุ่น ET-AD12 ซึ่งใช้ไอซี ADC LTC-1298 ขนาด 12 บิต จำนวนบิตแสดงถึงความละเอียด (Resolution) ของการเปรียบเทียบสัญญาณ ซึ่งสามารถแบ่งระดับแรงดันได้ถึง $2^{12} = 4096$ ระดับ ดังนั้นเมื่อให้แรงดันอ้างอิงที่ 0 และ 5 โวลต์กับไอซี ADC นี้ จะได้ว่า 1 ระดับของสัญญาณขาออก เทียบเป็น 1.22 มิลลิโวลต์ของแรงดันขาเข้า ซึ่งละเอียดเพียงพอที่จะใช้กับเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดของโครงการนี้ได้

การใช้งานวงจรแปลงสัญญาณ จะต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) เสียก่อน เพื่อเป็นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ต้องการวัดกับสัญญาณดิจิทัล ซึ่งการสอบเทียบแสดงไว้ในบทที่ 5



รูปที่ 3.10 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล



รูป 3.11 แผงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โปรแกรม Engine Monitor

4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของโครงการนี้เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0: Data Project โดยใช้ฐานข้อมูล Microsoft Access ทำงานบน Microsoft Windows 98SE รูปแบบโปรแกรมเป็นแบบการทำงานด้วยเหตุการณ์ (Event Driven) แบ่งการทำงานเป็นโมดูล (Module) และซับรูทีน (Sub-routine) ต่างๆดังนี้

4.1.1 โมดูลการประกาศตัวแปร (Variables Declaration Module) เป็นโมดูลที่ใช้เก็บค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบทั้งหมด เพื่อให้โมดูลย่อยสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ได้ตรงกัน เช่น อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ความดัน อัตราการไหล ซึ่งครบถ้วนเพียงพอที่จะนำไปพัฒนาโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ได้ แต่ในโครงการนี้จะใช้เพียงอุณหภูมิเท่านั้น

4.1.2 โมดูลควบคุมฐานข้อมูล (Database Control Module) ทำหน้าที่ติดต่อกับฐานข้อมูลของระบบ เพื่อเรียกใช้ บันทึก และเปลี่ยนแปลงข้อมูลต่างๆของฐานข้อมูล และทำหน้าที่แปลงให้อยู่ในรูปของไฟล์เอกสารอื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ประกอบด้วยซับรูทีนดังนี้

- Sub openConn: Open database connection เป็นซับรูทีนที่ใช้เปิดการติดต่อกับฐานข้อมูล (Database connection) และใช้ภาษา SQL (Structural Query Language) ซึ่งเป็นภาษาสากลที่ใช้กันทั่วไปในงานฐานข้อมูล ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงชนิดของฐานข้อมูลเป็นชนิดอื่นได้ เช่น mySQL, ORACLE โดยไม่ต้องเขียนซับรูทีนอื่นๆใหม่
- Sub RecordData: Recording data to database เป็นซับรูทีนที่ใช้บันทึกข้อมูลสถานะปัจจุบันของตัวแปรต่างๆในโมดูลประกาศค่าตัวแปร ลงในฐานข้อมูลที่เปิดการติดต่อไว้ด้วยซับรูทีน openConn และมีหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องและเป็นไปได้ของข้อมูลที่ส่งมา เช่น อุณหภูมิ ต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด เป็นต้น

4.1.3 โมดูลควบคุมการสื่อสาร (Communication Control Module) ควบคุมการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับวงจรควบคุมและวงจรแปลงสัญญาณ มีซับโมดูลที่เกี่ยวข้องดังนี้

- Sub commInitial: Initializing communication ทำหน้าที่เปิดการติดต่อระหว่างโปรแกรมและวงจรควบคุม ด้วยการสื่อสารแบบอนุกรม 9600,8,n,1 (ความเร็ว 9600 bps: bit per sec, ความยาวข้อมูล 8 bit, ไม่มีบิตตรวจสอบ, Start bit 1)

- Function GetADCDData: Get data from ADC เป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ติดต่อกับวงจรแปลงสัญญาณที่ต่ออยู่กับพอร์ตขนาน และอ่านข้อมูลดิจิตอลที่แปลงได้มาทั้ง 12 บิต โดยส่งสัญญาณนาฬิกา (Clock signal) ไปเพื่อกำหนดจังหวะการอ่านข้อมูล เมื่ออ่านข้อมูลครบแล้ว จะส่งค่าที่อ่านได้ คืนให้กับซับรูทีนที่เรียกมา

4.1.4 โมดูลควบคุมข้อมูล (Data Control Module) ประกอบด้วย

- Sub RetrieveData: ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาจาก Timer ซึ่งจะถูกเรียกใช้งานทุกๆ 100 ms เพื่อเริ่มต้นการอ่านข้อมูล (GetADCDData) แปลงข้อมูล (ConvertData) รีเฟรชข้อมูล (RefreshData) และบันทึกข้อมูล (RecordData) ซึ่งการเรียกซับรูทีนอื่นๆข้างต้น จะประกอบด้วยช่องสัญญาณ (Channel) และชนิดข้อมูลของช่องสัญญาณนั้น
- Sub ConvertData: ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลจากรูปแบบดิจิตอลที่รับมาจากฟังก์ชัน GetADCDData โดยผ่านสมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดิจิตอลและอุณหภูมิที่ได้จากการสอบเทียบ (บิตที่ 5) ของแต่ละช่องสัญญาณ ให้เป็นข้อมูลอุณหภูมิและเปลี่ยนค่าตัวแปรหลักที่เก็บในโมดูลการประกาศตัวแปร ดังนั้นหากต้องการเพิ่มจำนวนของช่องสัญญาณ หรือเพิ่มตัวตรวจวัดชนิดอื่นๆ ก็แก้ไขสมการที่ซับรูทีนนี้ และเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณที่ซับรูทีน RetrieveData

4.1.5 โมดูลการคำนวณ (Calculation Module) ทำหน้าที่เก็บซับรูทีนที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณและวิเคราะห์เครื่องยนต์ ซึ่งในโครงการนี้ไม่ได้ใช้งาน แต่สามารถเรียกใช้งานได้ ดังนี้

- Function GetEnthalpy เป็นฟังก์ชันการหาค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ของของไหลทำงาน (Working Fluid) สำหรับอากาศจะอ่านค่าอุณหภูมิและความดันจากโมดูลการประกาศตัวแปร และทำการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) จากตารางคุณสมบัติอากาศของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล สำหรับก๊าซไอเสียจะใช้สมการประมาณได้ เมื่อคำนวณได้แล้ว จะบันทึกค่าลงในตัวแปรเอนทัลปีที่โมดูลการประกาศตัวแปร
- Function GetEntropy มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับฟังก์ชัน GetEnthalpy แต่ฟังก์ชันนี้เป็นการหาค่าเอนโทรปี (Entropy)

และสามารถเขียนซับรูทีนเพื่อคำนวณหาค่าอื่นๆเพิ่มเติมได้อีก โดยซับรูทีนที่เขียนขึ้นใหม่จะต้องมีรูปแบบที่ตรงกัน คืออ่านข้อมูลจากโมดูลการประกาศตัวแปร คำนวณ และบันทึกค่ากลับในโมดูลเดิม เพื่อให้สถานะของระบบตรงกัน และใช้งานร่วมกันได้ทั้งโปรแกรม

- ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก (Isentropic Efficiency) ของการอัด (Compression) และการขยายตัว (Expansion)

- อัตราการไหลโดยมวลของอากาศและเชื้อเพลิง (Mass Flow Rate of Air and Fuel)
- งานที่ใช้ในการอัด (Compression Work)
- งานที่ได้จากการขยายตัว (Expansion Work)
- ประสิทธิภาพทางกลของเพลา (Mechanical Efficiency of Shaft)
- ความเร็วการไหลและแรงขับเคลื่อนของก๊าซไอเสีย (Exhaust gas Velocity and Thrust)

4.1.6 โมดูลควบคุมการแสดงผล (Display Control Module) เป็นโมดูลสุดท้ายที่จะรับข้อมูลทั้งหมดแสดงผลออกทางจอภาพ ในรูปของข้อความ, ตัวเลข, และกราฟ ของข้อมูลต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ควบคุมเครื่องยนต์รับทราบคุณสมบัติต่างๆที่ต้องการได้อย่างชัดเจน

- Sub RefreshData ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าข้อมูลที่แสดงผลอยู่ในขณะนั้น โดยรับสัญญาณนาฬิกาจาก Timer ซึ่งจะเปลี่ยนค่าทุกๆ 1 วินาที โดยจะอ่านค่าสถานะต่างๆของระบบ และแสดงผลใหม่ (Refresh)

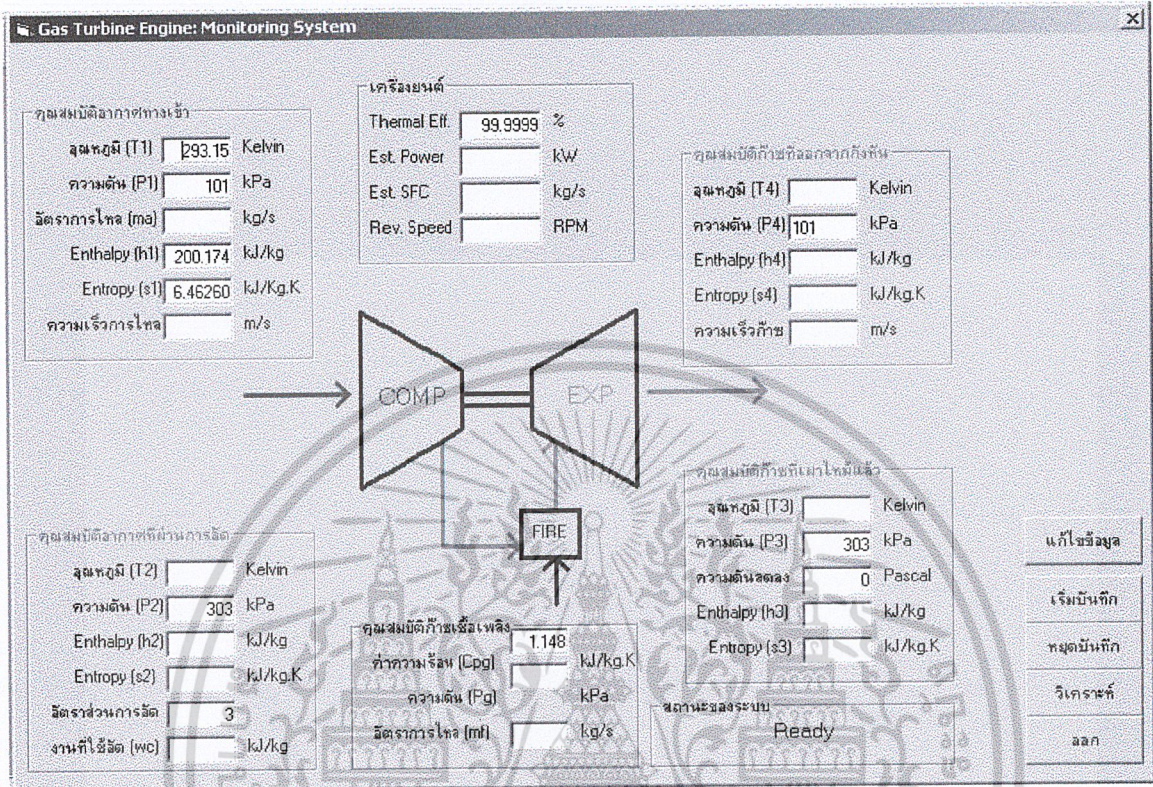
ในส่วนของโมดูลนี้ หากต้องการวาดกราฟ สามารถเขียนเพิ่มเติมได้ โดยใช้รูปแบบเดียวกันกับซับรูทีน RefreshData คือรับสัญญาณนาฬิกา อ่านข้อมูลสถานะ และวาดกราฟ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

4.1.7 โมดูลควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control Module) เป็นโมดูลที่ยังไม่ได้เขียนขึ้น แต่ออกแบบไว้ให้สามารถส่งสัญญาณป้อนกลับวงจรควบคุม เพื่อควบคุมเครื่องยนต์ เช่นวาล์วเชื้อเพลิง เป็นต้น โดยการควบคุมตัวแปรตามหนึ่งๆ อาจมีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแปรก็ได้ ดังนั้นการเขียนโมดูลนี้จึงต้องมีความรู้ของการออกแบบและการควบคุมระบบด้วย

โมดูลต่างๆข้างต้นนั้นจะแบ่งแยกหน้าที่ต่างๆออกจากกัน โดยใช้การส่งผ่านข้อมูลเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงข้อมูลจะเกิดขึ้นที่โมดูลการประกาศตัวแปร ที่เป็นที่เก็บตัวแปรสถานะทั้งหมดของระบบ ทำให้โมดูลและซับรูทีนต่างๆเป็นอิสระต่อกันทั้งหมด เพื่อให้การเขียนโปรแกรม การตรวจสอบ และการแก้ไขปรับปรุงทำได้สะดวกที่สุด โดยใช้รูปแบบการส่งผ่านข้อมูลเดียวกัน ส่งผลให้การเพิ่มเติมการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์วัด การพัฒนางจรต่างๆ เช่นวงจรวัด วงจรแปลงสัญญาณ หรือวงจรควบคุมป้อนกลับ รวมถึงการนำไปประยุกต์กับโครงงานอื่นๆ สามารถทำได้อีกมาก

4.2 การใช้งานโปรแกรม Engine Monitor

เมื่อเรียกโปรแกรมขึ้นมา จะปรากฏหน้าจอดังรูป



รูปที่ 4.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม

เมื่อต้องการแก้ไขข้อมูล เช่นอุณหภูมิและความดันของบรรยากาศ ให้กดปุ่ม “แก้ไขข้อมูล” จะปรากฏหน้าจอ ดังรูป 4.2 แล้วจึงแก้ไขข้อมูลที่ต้องการและกดปุ่ม “ปิด” โปรแกรมจะบันทึกข้อมูล และเปลี่ยนหน้าจอของโปรแกรมหลักให้

อุณหภูมิบรรยากาศ	20	<input type="radio"/> Kelvin	<input checked="" type="radio"/> Celcius
ความดันบรรยากาศ	101	<input checked="" type="radio"/> kPa	<input type="radio"/> Bars
ความแตกต่างความดันที่ห้องเผาไหม้	0	<input type="radio"/> Pascal	<input checked="" type="radio"/> mm.Aq
อัตราการไหลของอากาศ	1	kg/s	
อัตราการไหลของเชื้อเพลิง	1	kg/s	
ความเร็วรอบ	1	RPM	
ความดันไดนามิกของอากาศทางเข้า	1	mm.Aq.	

รูปที่ 4.2 หน้าจอการแก้ไขข้อมูล

ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล โปรแกรมจะคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เอนทาลปี เอนโทรปี และงานที่เข้าออกระบบ ซึ่งค่าที่ได้ จะแสดงในหน้าคุณสมบัติต่างๆ ดังตัวอย่างรูป 4.3

อุณหภูมิ (T2)	371.15	Kelvin
ความดัน (P2)	125	kPa
Enthalpy (h2)	373.006	kJ/kg
Entropy (s2)	6.8689	kJ/kg.K
อัตราส่วนการอัด	1.25	
งานที่ใช้อัด (wc)	68.34	kJ/kg

รูปที่ 4.3 หน้าจอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของไหล

เมื่อสิ้นสุดการบันทึก สามารถนำตารางผลการทดสอบ ที่อยู่ในรูปของตารางฐานข้อมูลของ Microsoft Access ไปใช้งานได้ต่อไป

ภาพตัวอย่างโปรแกรมนี้ เป็นภาพที่เก็บมาจากหน้าจอของโปรแกรมจริง ที่มีโมดูลการคำนวณประกอบด้วยแล้ว แต่การทดลองจริงนั้น จะใช้เพียงแค่ค่าอุณหภูมิที่วัดได้เท่านั้น เนื่องจากจะเห็นได้ว่า ค่าความดันและอัตราการไหลต่างๆ จะต้องถูกพิมพ์เข้าไปโดยผู้ทดลอง ดังนั้นข้อมูลจะไม่มีค่าต่อเนื่องเหมือนการวัดอุณหภูมิ ทำให้การวิเคราะห์เครื่องยนต์ในขั้นนี้ไม่สามารถประเมินได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การสอบเทียบและปรับแต่งระบบ

5.1 การทดสอบอัตราส่วนแรงดันต่ออุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล

อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (Voltage-Temperature ratio) ของเทอร์โมคัปเปิล หาได้จากการให้ความร้อนแก่เทอร์โมคัปเปิลในค่าต่างๆ โดยแบ่งย่านอุณหภูมิออกเป็น 3 ช่วงคือ

- ช่วง 30 – 100 องศาเซลเซียส สำหรับเทอร์โมคัปเปิลช่องที่ 1 ใช้วัดอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านการอัดอุณหภูมิช่วงนี้ใช้การต้ม้ำและจุ่มเทอร์โมคัปเปิลลงไปวัด
- ช่วง 800 – 1000 องศาเซลเซียส สำหรับเทอร์โมคัปเปิลช่องที่ 2 และ 3 ใช้วัดอุณหภูมิของก๊าซในห้องเผาไหม้และที่ผ่านกังหันแล้ว อุณหภูมิช่วงนี้ใช้วัดกับเปลวไฟของเตาแก๊ส

การวัดทำได้โดยอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (Digital Voltmeter) และอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Indicator) ได้ผลดังตาราง 3.1



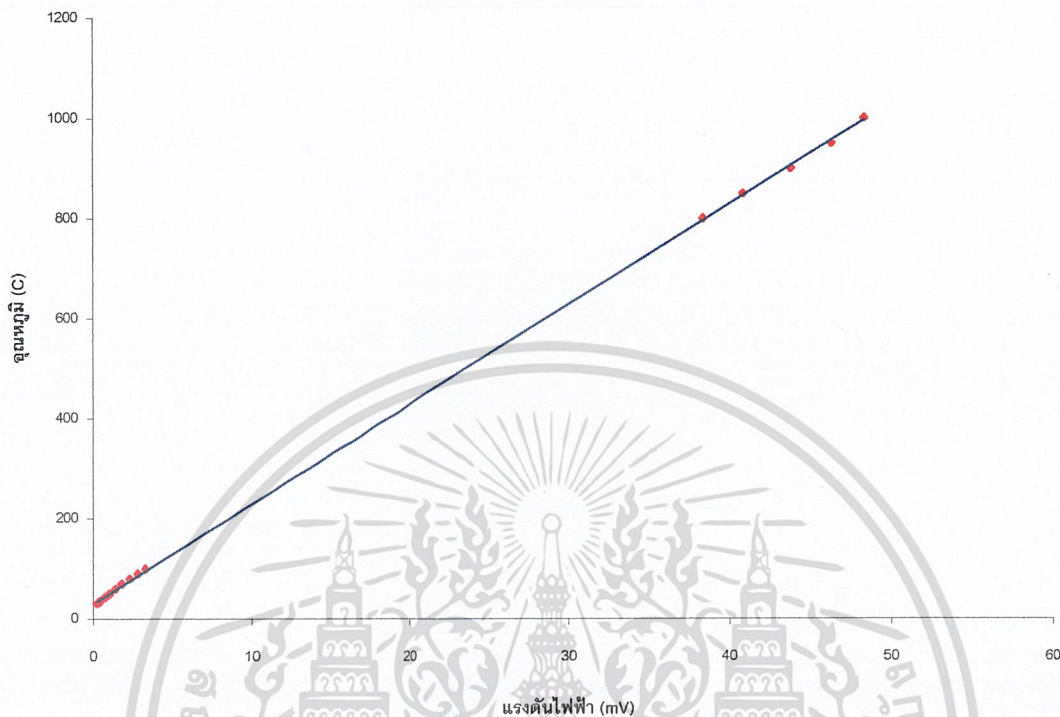
รูปที่ 5.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ

สสารที่วัดอุณหภูมิ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	อุณหภูมิ (°C)
อากาศอุณหภูมิห้อง	0.2	31
น้ำ	0.3	32
	0.3	33
	0.3	34
	0.4	35
	0.7	43
	0.8	45
	0.9	47
	1.0	50
	1.4	60
	1.8	70
	2.3	80
	2.8	90
	3.3	100
เปลวไฟ	38.3	800
	40.8	850
	43.8	900
	46.3	950
	48.3	1000

ตาราง 5.1 ผลการทดสอบการวัดแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และได้แผนภูมิความสัมพันธ์ดังรูป 5.2



รูปที่ 5.2 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล

เนื่องจากลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นเส้นตรง ใช้การประมาณการถดถอยด้วยกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Regression) ซึ่งลักษณะของสมการคือ

$$y = a_0 + a_1x \tag{5.1}$$

โดย $a_0 = \bar{y} - a_1\bar{x}$ (5.2)

และ $a_1 = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$ (5.3)

จากตาราง 5.1 แทนค่า x เป็นอุณหภูมิ และ y เป็นแรงดันไฟฟ้า หาค่าต่างๆได้ตามตาราง 5.2

n	x	y	Xy	x ²
1	31	0.2	6.2	961
2	32	0.3	9.6	1024
3	33	0.3	9.9	1089
4	34	0.3	10.2	1156
5	35	0.4	14.0	1225
6	43	0.7	30.1	1849
7	45	0.8	36.0	2025
8	47	0.9	42.3	2209
9	50	1.0	50.0	2500
10	60	1.4	84.0	3600
11	70	1.8	126.0	4900
12	80	2.3	184.0	6400
13	90	2.8	252.0	8100
14	100	3.3	330.0	10000
15	800	38.3	30640.0	640000
16	850	40.8	34680.0	722500
17	900	43.8	39420.0	810000
18	950	46.3	43985.0	902500
19	1000	48.3	48300.0	1000000
SUM	5250	234.0	198209.3	4122038

ตาราง 5.2 การคำนวณค่าคงที่ของการประมาณการถดถอยด้วยกำลังสองน้อยที่สุด

จากการหาค่าคงที่ต่างๆ ได้สมการความสัมพันธ์ ซึ่งใช้กำหนดอัตราขยายของวงจรรขยายสัญญาณ

$$V = -1.49818 + 0.049993T \quad (5.4)$$

เมื่อ V = แรงดันไฟฟ้าที่ได้ (มิลลิโวลต์)

T = อุณหภูมิที่อ่านได้ (องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

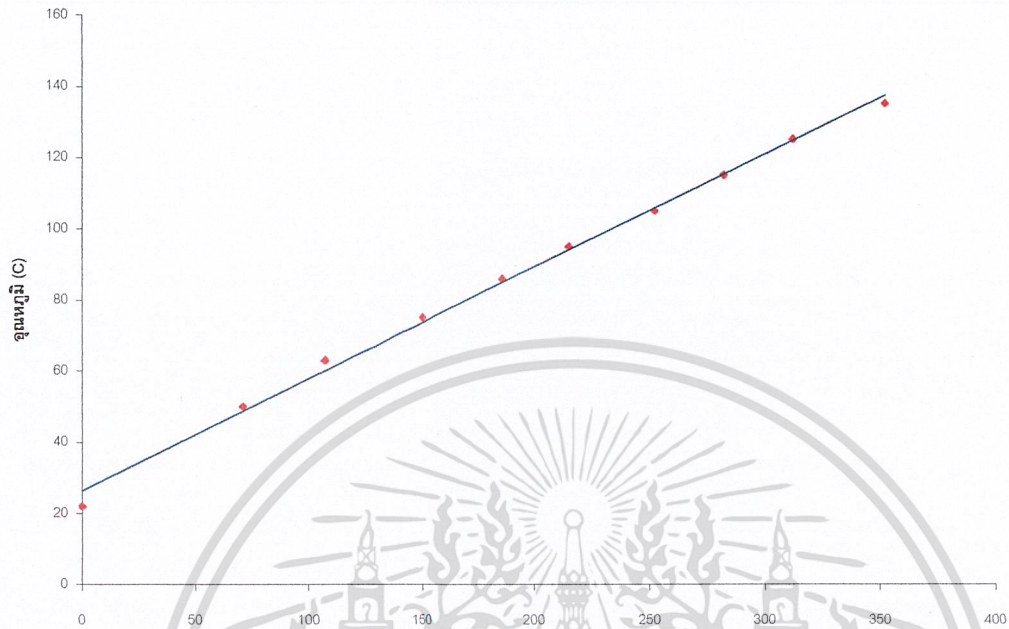
5.2 การสอบเทียบระบบ

เพื่อให้ระบบการวัดทำงานได้ถูกต้องและเที่ยงตรง จึงต้องมีการสอบเทียบระบบ (System Calibration) โดยการต่อวงจรจ่ายแรงดันปรับค่าได้ (Variable Voltage Source) เพื่อจำลองการสร้างแรงดันแทนเทอร์โมคัปเปิล โดยต่อขนานกับวงจรวัดและเครื่องวัดอุณหภูมิ จากนั้นค่อยๆปรับวงจรจ่ายแรงดันทีละน้อย บันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเป็นค่าอ้างอิง และบันทึกค่าดิจิตอลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยสอบเทียบทั้ง 3 ช่องสัญญาณ เนื่องจากแม้ว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนวงจรทั้ง 3 ช่องจะใช้ค่าเดียวกัน แต่ก็อาจมีความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันบ้างเนื่องมาจากผู้ผลิต ดังนั้นเพื่อให้ได้วงจรวัดที่ละเอียด แม่นยำ จึงควรสอบเทียบแยกกันทั้งหมด โดยจะสอบเทียบช่องสัญญาณละ 10 ชุดข้อมูล ซึ่งได้ผลดังตาราง 5.3

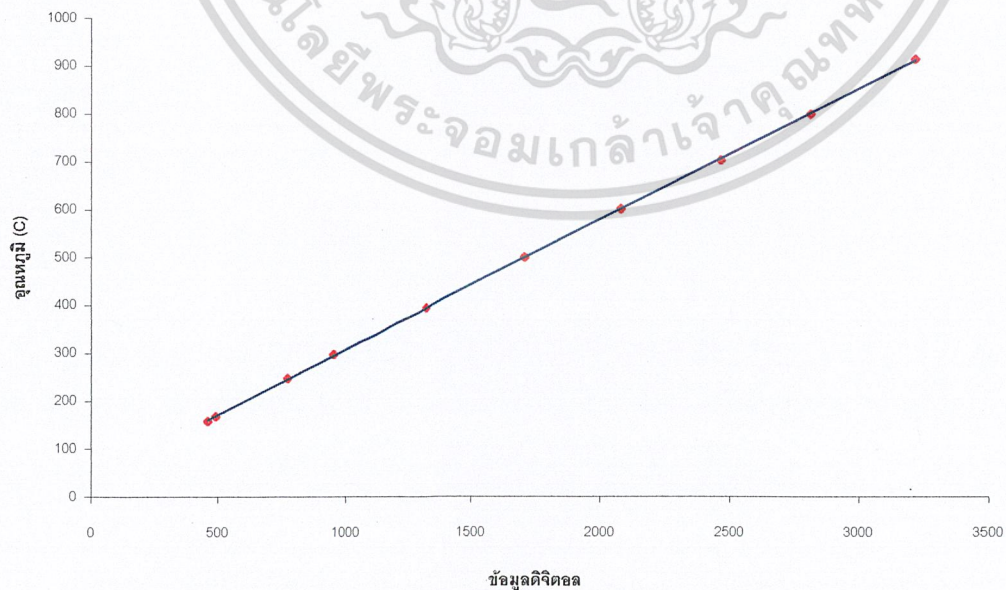
Channel 1		Channel 2		Channel 3	
Decimal Lv.	Temp (°C)	Digital Lv.	Temp (°C)	Digital Lv.	Temp(°C)
0	22	460	158	484	160
71	50	491	168	517	170
107	63	773	248	813	250
150	75	951	298	1000	301
186	86	1319	395	1388	399
215	95	1709	500	1798	505
252	105	2081	601	2189	607
282	115	2465	703	2593	710
312	125	2813	799	2959	807
352	135	3217	914	3384	923

ตารางที่ 5.3 ตารางบันทึกข้อมูลการสอบเทียบช่องสัญญาณทั้งสาม

ซึ่งเมื่อนำค่าที่วัดได้มาวาดแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดิจิทัลที่แปลงมากับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ จะได้แผนภูมิของทั้งสามช่องสัญญาณดังนี้

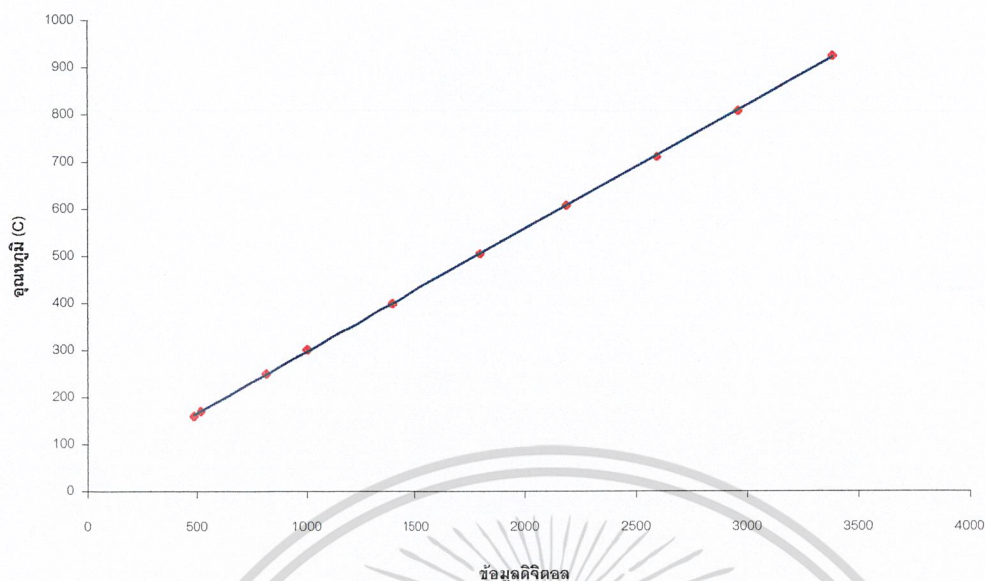


รูปที่ 5.3 แผนภูมิการกระจายของข้อมูลการสอบเทียบ ช่องสัญญาณที่ 1



รูปที่ 5.4 แผนภูมิการกระจายของข้อมูลการสอบเทียบ ช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แผนภูมิการกระจายของข้อมูลการสอบเทียบ ช่องสัญญาณที่ 3

ซึ่งลักษณะการกระจายของข้อมูลทั้ง 3 ช่องสัญญาณเป็นเส้นตรง ใช้การประมาณการถดถอยด้วยกำลังสองน้อยที่สุด เช่นเดียวกับหัวข้อ 5.1 โดยสมการ 5.1 ถึง 5.3

จากตาราง 5.2 แทนค่า x เป็นค่าข้อมูลดิจิทัลในเลขฐานสิบ และ y เป็นอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และการหาค่าคงที่ต่างๆ ได้สมการความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ช่องสัญญาณเป็น

$$\text{ช่องสัญญาณที่ 1} \quad T = 273.15 + 26.37769536 + 0.315113153 * D \quad (5.4)$$

$$\text{ช่องสัญญาณที่ 2} \quad T = 273.15 + 35.54794506 + 0.272038857 * D \quad (5.5)$$

$$\text{ช่องสัญญาณที่ 3} \quad T = 273.15 + 36.00268237 + 0.26113712 * D \quad (5.6)$$

เมื่อ T คืออุณหภูมิที่วัดได้ (Kelvin)

D คือค่าข้อมูลดิจิทัลขนาด 12 บิตในฐานสิบ

ซึ่งจะนำสมการทั้งสามนี้ ไปใช้ในขั้นตอน ConvertData ของโปรแกรมต่อไป

บทที่ 6

การทดลอง

6.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

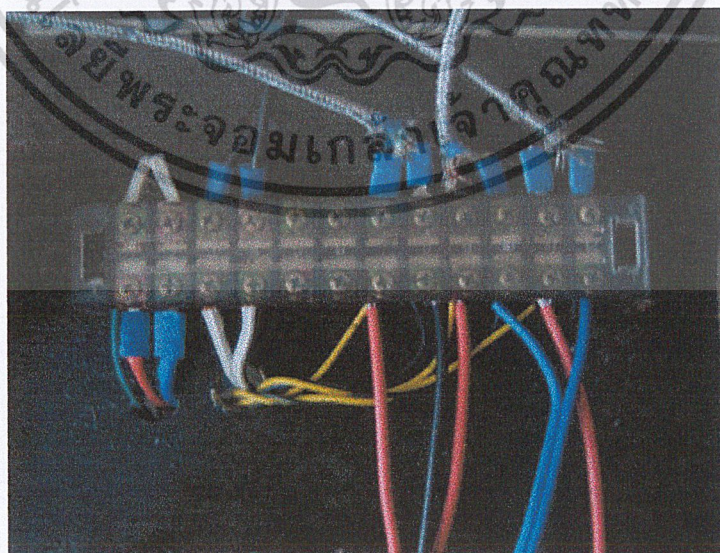
- 6.1.1 เพื่อวัดอุณหภูมิเครื่องยนต์ในตำแหน่งที่กำหนดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น
- 6.1.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้จากระบบ กับการวัดด้วยการอ่านจากเครื่องวัดอุณหภูมิ

6.2 อุปกรณ์การทดลอง

- 6.2.1 ชุดเครื่องยนต์กั๊กันก๊าซ
- 6.2.2 โครงงานเครื่องมือตรวจวัดเครื่องยนต์กั๊กันก๊าซ พร้อมคอมพิวเตอร์
- 6.2.3 เทอร์โมคัปเปิล ย่าน 0-400 องศาเซลเซียส จำนวน 1 ชุด และ 0-1200 องศาเซลเซียส 2 ชุด
- 6.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล 1 ชุด
- 6.2.5 สวิตช์เลือกช่องการวัด 1 ชุด

6.3 วิธีทดลอง

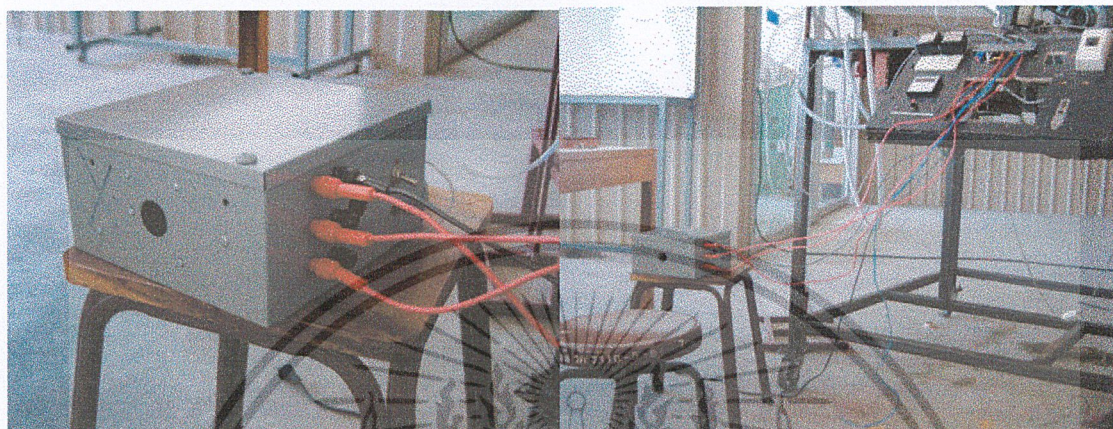
- 6.3.1 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ย่าน 400 องศาเซลเซียส ที่ตำแหน่งหลังการอัด (ตำแหน่ง 02)
- 6.3.2 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ย่าน 1200 องศาเซลเซียส ที่ตำแหน่งหลังการเผาไหม้ (ตำแหน่ง 03) และหลังการขยายตัว (ตำแหน่ง 04)
- 6.3.3 ต่อดสายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลทั้งสาม มาที่จุดต่อสายที่แผงควบคุมดังรูป



รูปที่ 6.1 จุดต่อสายที่แผงควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6.3.4 ต่อสายสัญญาณทั้ง 3 เข้าสวิทช์เลือกช่องการวัด
- 6.3.5 ต่อสายสัญญาณที่เลือกแล้วจากสวิทช์มาเข้าเครื่องอ่านอุณหภูมิ
- 6.3.6 ต่อสายสัญญาณขนานจากจุดต่อสาย มายังกล่องโครงงาน



รูปที่ 6.2 การต่อสายเข้าโครงงาน

- 6.3.7 ติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมรันโปรแกรม
- 6.3.8 เปิดโปรแกรม miniMon เพื่อทดสอบความแม่นยำของโครงงาน หากมีความคลาดเคลื่อนให้ปรับแต่งโดยการใส่ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้องใหม่
- 6.3.9 เปิดโปรแกรม Engine Monitor เพื่อเตรียมวัดอุณหภูมิ
- 6.3.10 ติดเครื่องยนต์ โดยระหว่างการจ่ายไฟให้หัวเทียนจุดระเบิด ห้ามเปิดสวิทช์ของวงจรโครงงาน เพราะจะเกิดแรงดันสูงรบกวนในวงจร ทำให้วงจรเสียหายได้
- 6.3.11 เมื่อเครื่องยนต์เข้าสู่รอบเดินเบา เปิดวงจรโครงงาน และเริ่มต้นโปรแกรมวัดและบันทึก
- 6.3.12 บันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาที

6.4 ผลการทดลอง

การทดลองมีปัญหาเกิดขึ้น เมื่อช่องสัญญาณที่ 3 ที่ใช้วัดอุณหภูมิหลังการขยายตัวเสียหายไม่สามารถใช้วัดได้ ดังนั้นการทดลองจึงทำได้เพียงการวัดที่หลังการอัดและหลังการเผาไหม้เท่านั้น

ผลการวัดที่ได้ จะเป็นตารางอุณหภูมิที่วัดได้ด้วยโครงงานในช่วงเวลาทุกๆ 100 ms ดังนั้นในช่วงการทดสอบ 10 นาที จึงได้ข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด 6000 ชุด และจะมีข้อมูลที่อ่านจากเครื่องวัดอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาที (20 ชุด) ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบความตรงกันของข้อมูลได้ดังตาราง 6.1

อุณหภูมิห้องจัด (T ₀₂) (Kelvin)		คลาดเคลื่อน %	อุณหภูมิห้องเผาไหม้ (T ₀₃) (Kelvin)		คลาดเคลื่อน %
โครงการงาน	เครื่องวัด		โครงการงาน	เครื่องวัด	
334.15	335	0.25	871.58	872	0.05
330.37	332	0.49	878.34	878	0.04
326.84	327	0.05	867.95	869	0.12
319.99	323	0.93	868.15	869	0.10
321.02	321	0.01	875.69	875	0.08
319.01	318	0.32	885.77	886	0.03
316.03	316	0.01	903.89	904	0.01
314.59	314	0.19	931.11	932	0.10
312.99	313	0.00	958.79	960	0.13
369.98	370	0.01	980.16	982	0.19
369.11	369	0.03	999.98	1000	0.00
361.32	362	0.19	986.01	985	0.10
357.45	358	0.15	967.19	967	0.02
352.87	353	0.04	949.34	949	0.04
347.11	347	0.03	928.48	929	0.06
344.59	344	0.17	858.77	859	0.03
341.01	340	0.30	823.65	823	0.08
336.77	337	0.07	805.01	804	0.13
334.58	335	0.13	810.03	810	0.00
332.91	333	0.03	777.77	778	0.03
331.23	332	0.23	851.03	851	0.00

ตาราง 6.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 6.1 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดด้วยโครงงานและการอ่านค่าจากเครื่องวัดอุณหภูมิมีน้อยมาก ไม่ถึงร้อยละ 1 ดังนั้นความแม่นยำ (Accuracy) ของโครงงานนี้มีสูงน่าพอใจ แต่ความเสถียร (Stability) ของโครงงานยังไม่น่าพอใจ เนื่องจากความเสียหายที่ช่องสัญญาณที่ 3 ซึ่งการปรับปรุงจะกล่าวถึงต่อไป

อุณหภูมิที่วัดได้ด้วยโครงงานนั้นมาจากการสอบเทียบที่มีความละเอียดสูง และค่าคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปิดที่เป็นเชิงเส้น (Linearly characteristic) ทำให้การประมาณการถดถอยกำลังสองสามารถใช้ได้อย่างเที่ยงตรง แต่สำหรับการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์การวัดอื่นๆ จำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติดังกล่าวก่อนทุกครั้ง เพราะอุปกรณ์วัดบางชนิด เช่น เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ที่เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ เช่นเดียวกันแต่มีราคาสูงกว่าและความแม่นยำน้อยกว่า เนื่องจากค่าอัตราส่วนอุณหภูมิและค่าแรงดันไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นการสร้างสมการความสัมพันธ์ด้วยวิธีการเชิงเส้นจึงใช้ไม่ได้ผล อาจจะต้องใช้สมการอันดับสองหรืออันดับสามต่อไป



บทที่ 7

บทวิจารณ์และสรุป

7.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนำระบบการวัดของโครงการนี้มาใช้ในการวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการวัด ทำให้การศึกษาเครื่องยนต์ทำได้สะดวกขึ้น ดังนั้น หากปัจจัยอื่นๆของเครื่องยนต์ เช่น ความดัน อัตราการไหล และความเร็วยรอบเครื่องยนต์ สามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดอิเล็กทรอนิกส์ โดยจะวัดค่าได้อย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล จะสามารถสร้างระบบวิเคราะห์ (Analyzer) ให้กับเครื่องยนต์ได้ ซึ่งสามารถคำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพทั้งหมดของระบบเครื่องยนต์ อันจะเป็นทางไปสู่การพัฒนาเครื่องยนต์กักกันก๊าซต่อไป

7.2 การพัฒนาโครงการ

โครงการนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างและพัฒนากระบวนการวัดคุณสมบัติต่างๆของเครื่องยนต์กักกันก๊าซ ซึ่งกำลังจะถูกพัฒนาต่อเนื่อง โดยปีต่อไปจะสร้างเครื่องยนต์ที่มีการทำงาน 2 ชั้น (Two stages Engine) โดยการเพิ่มเครื่องอัดและกักกันอีกหนึ่งชุด ซึ่งจะให้กำลังงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นตำแหน่งต่างๆที่ต้องวัดข้อมูลจึงเพิ่มขึ้นด้วย และการสร้างระบบความปลอดภัย (Safety System) เช่นการหยุดเครื่องยนต์ฉุกเฉินเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกำหนด หรือเกิดการสันตะเหือนอย่างแรง การนำโครงการนี้มาประยุกต์ทำได้ดังนี้

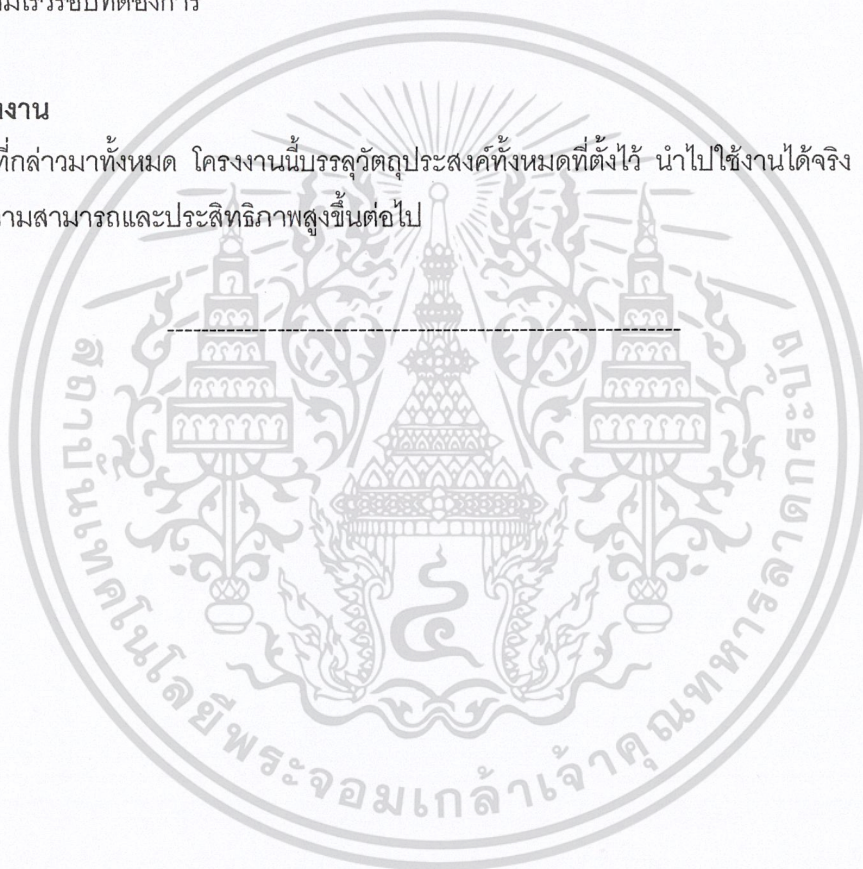
- เพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ โดยลอกแบบจากผังวงจรเดิม แล้วเปลี่ยนค่าอัตรขยายให้เหมาะสม
- การติดตั้งอุปกรณ์วัดประเภทอื่นนอกเหนือจากเทอร์โมคัปเปิล สามารถทำได้ ถ้าอุปกรณ์นั้นให้สัญญาณออกในรูปของแรงดันไฟฟ้า สามารถใช้วงจรขยายแบบเดิมได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงวงจรอื่น เพียงแต่ปรับอัตรขยายเท่านั้น แต่หากอุปกรณ์ให้สัญญาณออกในรูปของกระแสไฟฟ้า จำเป็นต้องต่อวงจรเพิ่มเติม เพื่อเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ก่อนจะส่งเข้าวงจรขยายสัญญาณต่อไป
- สอบเทียบช่องสัญญาณที่สร้างเพิ่ม โดยอ้างอิงกับอุปกรณ์วัดที่น่าเชื่อถือ เช่นเครื่องวัดที่มีใบรับรองการสอบเทียบ (Calibration Certificate) จากโรงงานผู้ผลิต
- ปรับโปรแกรม Engine Monitor ให้สามารถเรียกอ่านช่องสัญญาณได้เพิ่มขึ้น และเปลี่ยนหน้าจอแสดงรูปเครื่องยนต์ให้มีการทำงาน 2 ชั้น
- หากมีอุปกรณ์วัดที่สามารถวัดปัจจัยต่างๆซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้แล้ว สามารถเพิ่มเติมโปรแกรมโดยเพิ่มโมดูลการคำนวณ และโมดูลการแสดงผลเป็นกราฟ ทำให้การวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในระดับสูงทำได้ง่ายขึ้น
- สามารถเพิ่มระบบความปลอดภัยโดยการติดตั้งโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) สำหรับปิดการไหลของเชื้อเพลิง โดยเพิ่มเงื่อนไขอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้ในตำแหน่งที่สำคัญของเครื่องยนต์ หากอุณหภูมิ

ที่ตำแหน่งนี้สูงเกินกำหนด ให้โปรแกรมสั่งงานให้วงจรควบคุม ปิดวาล์วเชื้อเพลิงทันที เพื่อป้องกันการเสียหายของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบ หรือการระเบิดของเครื่องยนต์

- การเพิ่มระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือน ทำได้โดยการติดตั้งสปริง 2 ตัวคู่กัน ในตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดการสั่นสะเทือน เช่น กังหัน หรือห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรง สปริงทั้งคู่จะสัมผัสกัน เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น ทำให้สามารถนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้นี้ไปควบคุมการปิดเชื้อเพลิงได้
- การควบคุมให้เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบที่ต้องการ ทำได้โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ และวาล์วควบคุมการไหลเชื้อเพลิงแบบปรับค่าได้ เช่น เซอร์โววาล์ว (Servo Valve) หรือพรอพอชันนอลวาล์ว (Proportional Valve) จากนั้นเขียนโปรแกรมให้ตรวจสอบความเร็วรอบ และปรับอัตราการไหลเชื้อเพลิงจนได้ความเร็วรอบที่ต้องการ

7.3 สรุปโครงการ

จากที่กล่าวมาทั้งหมด โครงการนี้บรรลุวัตถุประสงค์ทั้งหมดที่ตั้งไว้ นำไปใช้งานได้จริง และสามารถพัฒนาให้มีความสามารถและประสิทธิภาพสูงขึ้นไป



บรรณานุกรม

- [1] จตุพล พบแก้ว จตุพล อึ้งรังษี และจักรพันธ์ ภาณุพันธุ์ชัยกุล: "เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์", ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมเครื่องกล สจล., 2543.
- [2] ผศ.รัชชัย นาคพิพัฒน์: "เอกสารประกอบการเรียนวิชา Gas Turbine", ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., ปีการศึกษา 2544.
- [3] H.Cohen, G.F.C. Rogers, H.I.H.Saravanamuttoo: "GAS TURBINE THEORY", Longman Scientific & Technical. 3rd edition, 1987.
- [4] Yunus A. Cengel, Michael A.Boles: "Thermodynamics, An Engineering Approach", McGrawHill, 3rd International Edition.
- [5] Steven C.Chapra, Raymond P.Canale, "Numerical Methods for Engineers", McGrawHill, 4th International Edition, 2002.
- [6] Robert W. Fox, Alan T. McDonald. "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley & Sons, 5th Edition, 1998.
- [7] บริษัท อีทีที จำกัด, www.etteam.com

