

ระบบควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์แบบกระแสไหลวนต้นทุนต่ำ

Low cost Eddy current Dynamometer Control for Engine Test Bench

นเร็นต ชัยธานี¹ ประทาน ศรีชัย² พงษ์ศักดิ์ คำมูล² และ จินดา เจริญพรพาณิชย์²

¹สาขาวิศวกรรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10250

*E-mail: naren@tni.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์แบบกระแสไหลวน (Eddy current dynamometer) ขนาด 60 แรงม้า เพื่อใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์ขนาดเล็กของห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียานยนต์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทดแทนระบบควบคุมเดิมที่ชำรุดไป เนื่องจากอายุการใช้งานที่นาน จึงมีแนวคิดในการสร้างชุดควบคุมดังกล่าวขึ้นมาใหม่เพื่อใช้งานแทนชุดควบคุมเก่าโดยที่ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงย่อมเยากว่าและสามารถใช้งานได้เหมือนเดิม และยังเพิ่มฟังก์ชันในการใช้บันทึกผลการทดสอบที่เป็นเวลาปัจจุบัน (real time) ในการออกแบบระบบควบคุมได้คำนึงถึงการใช้งานในการทดสอบเครื่องยนต์ในสองรูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 การทดสอบเครื่องยนต์แบบทดสอบความเร็วรอบให้คงที่ (Constant speed) และรูปแบบที่ 2 ได้แก่ การควบคุมเครื่องยนต์ที่ภาระงานคงที่ (Constant load) โดยทั้งสองรูปแบบนี้ได้มีการออกแบบตัวควบคุมเพื่อให้ได้มาซึ่งสมรรถนะต่างๆของเครื่องยนต์ เช่น แรงบิด (Torque) กำลังม้า (Power) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption) และแสดงค่าอุณหภูมิต่างๆ ในการทดสอบได้แก่ อุณหภูมิห้องทดสอบ (Room temperature) อุณหภูมิไอเสีย (Exhaust temperature) และอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง (Oil temperature) ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการควบคุมแบบพีไอดี (PID) โดยได้พัฒนาและออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมผ่านโปรแกรม LabVIEW ร่วมกับการ์ด Multi-function รุ่น NI-6221 ผลของการออกแบบระบบควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์พบว่าสามารถใช้ทดสอบหาสมรรถนะและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้เหมือนเดิม

คำหลัก: ระบบควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์; เครื่องทดสอบเครื่องยนต์แบบกระแสไหลวน; ระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID)

Abstract

This research presents on design of testing engine control system for 60 PS eddy current dynamometer which used in automotive technology laboratory, KMITL. There are 2 functions in this system. First, testing engine that control constant speed and second, testing engine that control constant load. In the both control system, torque, fuel consumption, exhaust temperature, oil temperature and room temperature are controlled. In this research, PID controller technique is presented and developed by using LabVIEW programming. A multi-function card, PCI-NI6221, is used for received data and sends

command between computers to dynamometer. As result, on eddy current dynamometer control was tested the engine performance and fuel consumption as the original control system.

Keywords: Engine control system; Eddy current dynamometer; PID control system

1. บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการค้นคว้าวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนในยานยนต์นั้นได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งงานวิจัยในสาขานี้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้การวัดกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานทดแทนนั้น โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงม้าโดยทั่วไปมีชื่อว่า ไดนาโมมิเตอร์ซึ่งมีอยู่ประเภทด้วยกัน เช่น แบบที่ใช้ของไหลในการเบรก (Fluid dynamometer) แบบที่ใช้ผ้าเบรกในการเบรก และแบบที่ใช้กระแสไหลวน (Eddy current dynamometer) [1] เป็นต้น ซึ่งแบบกระแสไหลวนนั้นมีข้อดีในด้านความถูกต้องแม่นยำของค่าที่วัดได้กว่าแบบใช้ของไหลเบรก [2] และง่ายต่อการควบคุม

เครื่องทดสอบแบบกระแสไหลวนที่ห้องทดสอบเครื่องยนต์ โรงปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ได้ประสบปัญหาไม่สามารถการควบคุมภาระงานและแรงบิดของที่จ่ายให้กับไดนาโมมิเตอร์ในการทดสอบเครื่องยนต์ได้ และการซื้อชุดควบคุมใหม่มาใหม่นั้นมีราคาที่สูง [3] และต้องคำนึงถึงการซ่อมและบำรุงรักษาต้องอาศัยช่างจากต่างประเทศทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าบริการในการซ่อมหลังการขายที่สูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะสร้างชุดควบคุมใหม่เพื่อใช้ในการทดสอบวิจัยด้านพลังงานที่ใช้กับเครื่องยนต์และเป็นสื่อการสอนในวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ให้กับนักศึกษา

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการสร้างชุดควบคุมการทดสอบเครื่องยนต์ให้กับเครื่องยนต์แบบกระแสไหลวนโดยใช้โปรแกรม LabView ร่วมกับการ์ด Multifunction รุ่น NI-6221 ในการเขียนโปรแกรมและสร้างระบบควบคุมการทดสอบโดยใช้ทฤษฎีควบคุมแบบ PID เข้ามาช่วยและยังเพิ่มฟังก์ชันในการเก็บข้อมูลที่สำคัญในการทดสอบเครื่องยนต์ โดยที่ชุดควบคุมการ

ทดลองนี้สามารถใช้ทดแทนชุดควบคุมเก่าที่ชำรุดเนื่องจากอายุการใช้งานได้ดี

2. ทฤษฎี

2.1 การควบคุมแบบ พีไอดี (PID)

การควบคุมแบบพีไอดี เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับตัวหนึ่งที่ใช้กันมาอย่างยาวนานและมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยระบบควบคุมนี้จะหาความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้ (Actual data) กับค่าที่ถูกกำหนดไว้ (Set point) โดยค่าความแตกต่างของสองค่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นค่าความผิดพลาดเพื่อใช้ในการคำนวณ จากนั้นระบบจะพยายามลดความผิดพลาดนี้ให้หมดไป ระบบควบคุมแบบพีไอดีประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P) ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (I) และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (D) ซึ่งในการปรับค่าน้ำหนัก (gain) เหล่านี้มีการนำเสนอไว้หลายวิธี และในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับค่าน้ำหนักแบบ Ziegler–Nichols มาใช้ ซึ่งมีวิธีการปรับค่าน้ำหนักดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางควบคุมแบบ PID [4]

รูปแบบการควบคุม	K_p	K_i	K_d
P	$0.05 K_u$	-	-
Pi	$0.45 K_u$	$1.2 K_u/P_u$	-
PID	$0.06 K_u$	$2 K_p/P_u$	$2K_pP_u/8$

K_p คือ ค่าน้ำหนักตัวควบคุมแบบสัดส่วน

K_i คือ ค่าน้ำหนักตัวควบคุมแบบปริพันธ์

K_d คือ ค่าน้ำหนักตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

K_u คือ ค่าน้ำหนักตัวควบคุมแบบสัดส่วนเสมือน

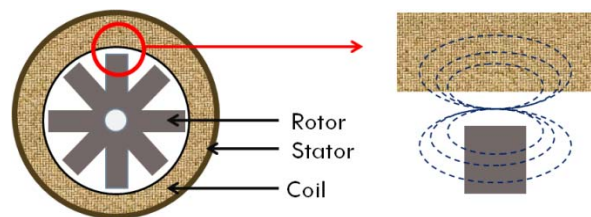
P_u คือ คาบเวลาของการแกว่ง

ขั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ จากนั้นเพิ่มค่า K_u จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (oscillate) ต่อมานำค่า K_u และค่าช่วงการแกว่ง P_u มา

หาค่าตัวแปรที่เหลือดังตารางที่ 1 ตรงช่องของ PID จากนั้นก็ทำการปรับแต่งเพื่อความเหมาะสมอีกที

2.2 หลักการของเครื่องทดสอบเครื่องยนต์แบบกระแสไหลวน

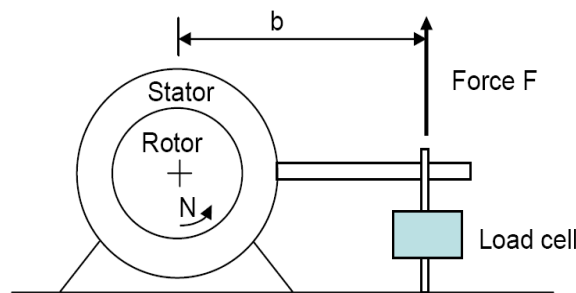
เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสลับให้กับตัวนำเช่น ลวดทองแดงจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กปฐมภูมิ (Primary magnetic field) ขึ้นรอบๆ ตัวนำ สนามแม่เหล็กนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นสูงสุด และหายไปเมื่อกระแสลดลงเป็นศูนย์ ถ้าเอาวัตถุตัวนำ อีกอันหนึ่งเข้ามาอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลงนี้ สนามแม่เหล็กปฐมภูมิจะสร้างกระแสไหลวนขึ้นบนวัตถุตัวนำไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลวน ปริมาณมากอยู่ในวัตถุตัวนำในเวลานาน จะทำให้วัตถุตัวนำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าของ กระแสไหลวนจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ในขณะที่เกิดกระแสไหลวนขึ้นตัวกระแสไหลวนเองก็ จะสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กปฐมภูมิด้วยตามกฎ ของเลนซ์ เรียกว่า สนามแม่เหล็กทุติยภูมิ (Secondary magnetic field) โดยปกติกระแสไหลวน เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นเนื่องจากทำให้สูญเสีย พลังงานไฟฟ้า AC เพื่อทำให้กระแสไหลวนหมดไป โลหะจะถูกตัดเป็นช่องเล็ก ๆ เพื่อไม่ให้เกิดกระแส ไหลวนขนาดใหญ่ บางครั้งกระแสไหลวนเป็นสิ่งที่ดี เพราะกระแสไหลวนช่วยเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็น พลังงานในรูปแบบอื่น ด้วยเหตุผลนี้ระบบเบรกได้รับการ สร้างขึ้นมาด้วยการใช้ประโยชน์จากกระแสไหลวน การเพิ่มสนามแม่เหล็กในขดลวด(Coil) รอบแผ่นจาน โลหะ (Rotor) ที่กำลังหมุนจะทำให้เกิดกระแสไหลวน บนแผ่นจานโลหะ กระแสไหลวนจะสร้าง สนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้วัตถุที่กำลังหมุนหมุนช้าลง อย่างรวดเร็วตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก ด้วย เหตุนี้หลักการของกระแสไหลวนจึงได้ถูกนำมาใช้กับ เครื่องทดสอบเครื่องยนต์ เพื่อใช้เป็นตัวต้านทานการ หมุนของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 1 และในรูปที่ 4 เป็น เครื่องทดสอบเครื่องยนต์ของจริง



รูปที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องยนต์แบบกระแสไหลวน

2.3 กำลังงานเบรก (brake power, P_b)

เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาช้อเหียงหรือที่ล้อช่วย แรงของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้ นั้นเอง การวัดกำลังเบรกใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยวัดออกมาในรูปของแรงบิด (Torque) และรอบการ หมุนของเครื่องยนต์ (RPM) รูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบเครื่องยนต์

การวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ [4]

$$T = F \times b \quad (1)$$

และกำลังงานเบรก

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60 \times 1000} \quad (2)$$

2.4 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

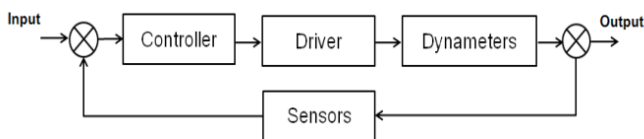
(Break specific fuel consumption, BSFC)

เป็นค่าอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วย กำลังที่ให้ออกมาและเป็นการวัดประสิทธิภาพของ เครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตกำลังงาน ออกมา

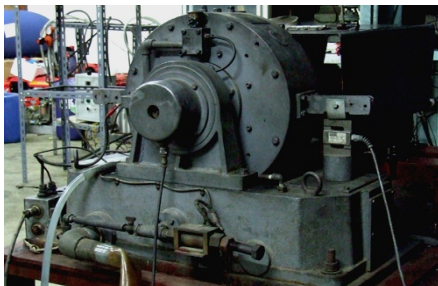
$$BSFC = \frac{m_f}{P_b} \quad (3)$$

2.5 การควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์

ในรูปที่ 3 เป็นระบบควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งประกอบไปด้วย ชุดของ Controller ทำหน้าที่รับค่าอินพุตต่างๆจากเซ็นเซอร์ แล้วทำการประมวลผลแล้วส่งการไปที่ตัว Driver ซึ่งตัว Driver มีหน้าที่เป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟให้กับตัว Dynamometer อีกทีหนึ่ง ในการทดสอบเครื่องยนต์จะทำการทดสอบกันในสองรูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 การทดสอบเครื่องยนต์แบบทดสอบความเร็วรอบให้คงที่ (Constant speed) และรูปแบบที่ 2 ได้แก่การควบคุมเครื่องยนต์ที่ภาระงานคงที่ (Constant load) ในรูปแบบที่ 1 ตัว Controller จะรับค่าความเร็วรอบจากเซ็นเซอร์ แล้วควบคุมการจ่ายไฟให้กับตัว Dynamometer ส่วนในรูปแบบที่ 2 Controller จะรับค่าแรงจากโหลดเซลล์ แล้วมาคำนวณเป็นแรงบิด จากนั้นก็ทำการควบคุมการจ่ายไฟให้กับตัว Dynamometer



รูปที่ 3 ไดอะแกรมระบบควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์

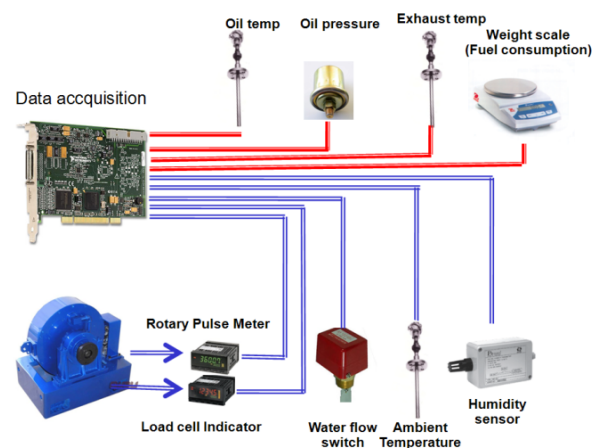


รูปที่ 4 Eddy current dynamometer

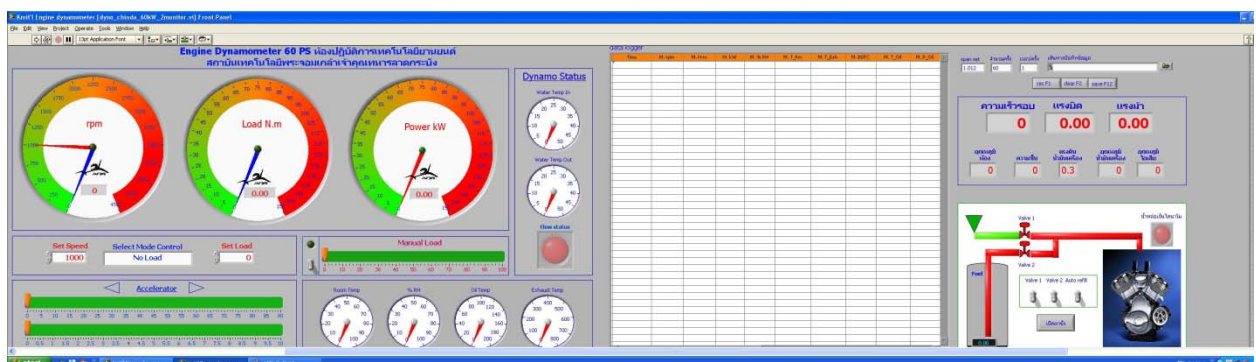
นอกจากการออกแบบควบคุมการทดสอบเครื่องยนต์แล้วยังมีการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลในการทดสอบตามผังอุปกรณ์ทดสอบในรูปที่ 5 โดยแบ่งดังนี้

3.1 Controller และ Data acquisitions

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ในการควบคุมผ่านโปรแกรม LabVIEW ร่วมกับการ์ด Multi-function รุ่น NI-6221 โดยรับสัญญาณนาฬิกาคอนพุต (Analog Input) ต่างๆจากเซ็นเซอร์เพื่อเข้ามาประมวลผล และบันทึกค่าโดยประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เซ็นเซอร์วัดแรง (โหลดเซลล์) เพื่อนำมาคำนวณหาแรงบิด เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเครื่องยนต์ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิห้องทดสอบ และเซ็นเซอร์วัดความชื้นของอากาศ ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ต่างๆเหล่านี้ ได้ถูกนำมาประมวลผลเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับไดนาโมมิเตอร์ผ่านทางอนาลอกเอาต์พุต (Analog output) ของการ์ดควบคุม โดยใช้การควบคุมแบบพีไอดีมาช่วยในการประมวลผลและจะถูกบันทึกค่าไว้เพื่อข้อมูลนำมาวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์อีกครั้ง



รูปที่ 5 ผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 6 หน้าต่างโปรแกรมทดสอบเครื่องยนต์

3.2 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เป็นผลลัพธ์จำเป็นอย่างยิ่งในการทดสอบเครื่องยนต์โดยเงื่อนไขในการเก็บข้อมูลของน้ำมันคือหาผลต่างของน้ำหนักก่อนวัดและหลังวัดในเวลา 1 นาทีเพื่อนำไปคำนวณตามสมการที่ (5) โดยชุดนี้เชื้อเพลิงด้วย ได้นำเอาตาชั่งดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.01 กรัมในรูปที่ 5 พักัดในการวัด ที่ 2.5 กิโลกรัม และส่งสัญญาณเอาต์พุตเชิงเส้น 0-10 โวลต์ ไปประมวลผลตามโปรแกรมที่เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3 ตัวขยายสัญญาณโหลดเซลล์และตัวแปลงสัญญาณรอบ

ตัวขยายสัญญาณของโหลดเซลล์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากโหลดเซลล์ที่มีสัญญาณขนาดเล็กเป็นมิลลิโวลต์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0-10 โวลต์ เพื่อให้การ์ด Multi-function สามารถอ่านค่าได้ ส่วนตัวแปลงสัญญาณรอบก็ทำหน้าที่คล้ายๆกับตัวขยายสัญญาณโหลดเซลล์ คือแปลงสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่วัดได้ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0-10 โวลต์ เพื่อให้การ์ด Multi-function สามารถอ่านค่าได้ตามรูปที่ 5

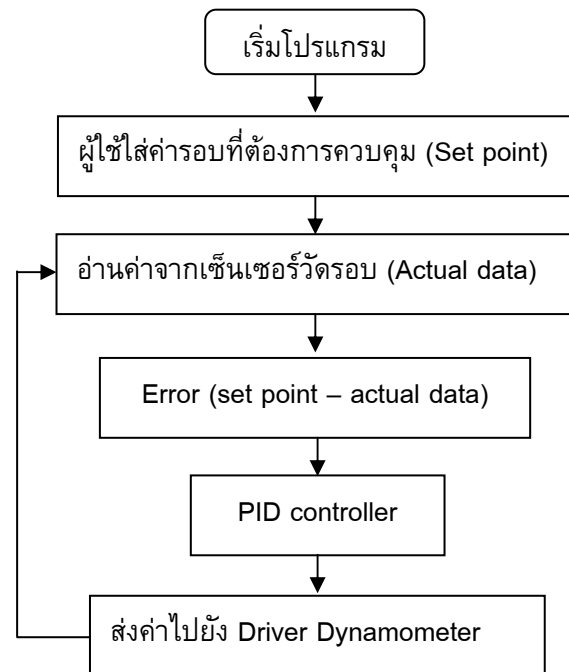
3.4 ชุดเซ็นเซอร์ ต่าง ๆ

ประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิ ดังต่อไปนี้ อุณหภูมิไอเสียเครื่องยนต์ (Exhaust temp) ในการวัดอุณหภูมิของไอเสียของเครื่องยนต์โดยเลือกเป็นเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K รวมไปถึงเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิของน้ำมันเครื่อง (Oil Temp.) เทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิของห้องขณะทดสอบ (Ambient temperature) เซ็นเซอร์วัดความชื้นของห้องทดสอบ (Ambient relative humidity) รวมไปถึงเซ็นเซอร์ตรวจจับสถานะการไหลของน้ำหล่อเย็นไดนาโมมิเตอร์ (Flow switch) สุดท้ายคือเซ็นเซอร์วัดความดันของน้ำมันเครื่อง (Oil Pressure sensor)

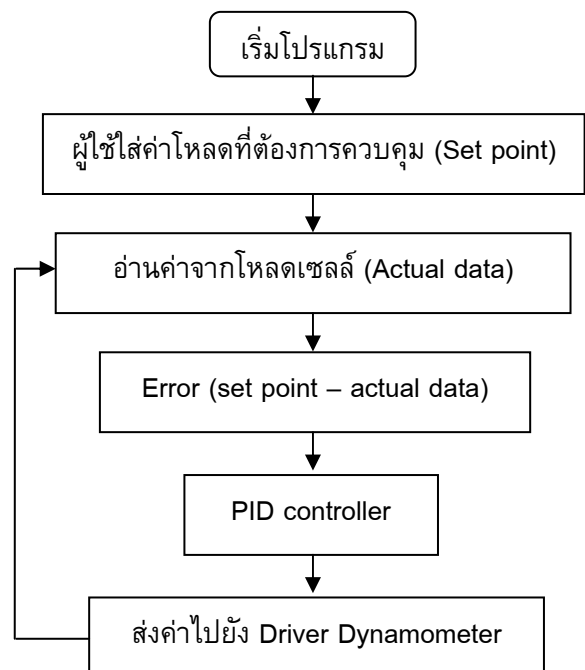
รูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดง Flow chart ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทดสอบสามารถอธิบายได้

ดังนี้ สำหรับฟังก์ชันรอบคงที่ (Constant speed) ซึ่งฟังก์ชันนี้เหมาะสำหรับการหาสมรรถนะของ

3.5 Flow chart การเขียนโปรแกรม



รูปที่ 7 ฟังก์ชันรอบคงที่ (Constant speed)



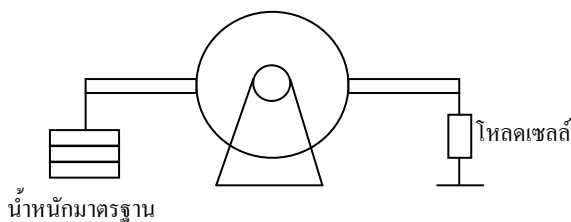
รูปที่ 8 ฟังก์ชันโหลดคงที่ (Constant load)

เครื่องยนต์ในรอบที่เราสนใจ เริ่มจากผู้ใส่ค่ารอบเครื่องยนต์ตามที่ต้องการและชุดควบคุมจะค่อยๆเพิ่มโหลดให้กับเครื่องยนต์โดยจนถึงรอบเครื่องยนต์ที่

กำหนด ซึ่งอาศัยการป้อนสัญญาณย้อนกลับของ เซ็นเซอร์วัดรอบเครื่องยนต์ในการปรับโหลด และ สำหรับฟังก์ชันโหลดคงที่ (Constant load) โดย ฟังก์ชันนี้ใช้ในการหาสมรรถนะของเครื่องยนต์แรงบิด ที่เราสนใจ ซึ่งอาศัยหลักการป้อนกลับของโหลดเซลล์ ที่ใช้ในการวัดแรงบิด

4.ผลการทดลอง

4.1 ปรับเทียบกับน้ำหนักมาตรฐาน



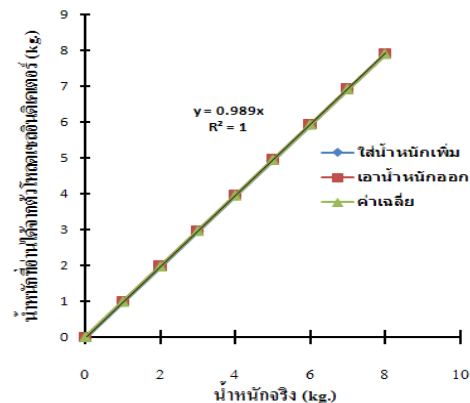
รูปที่ 9 Static Calibrations

เป็นการสอบเทียบอย่างง่ายและได้ผลดีอีกวิธีหนึ่ง โดยการใส่น้ำหนักมาตรฐานเข้าไปยังฝั่งตรงข้ามของ โหลดเซลล์ที่ละก้อนแล้วอ่านค่าจากโหลดเซลล์เพื่อ ตรวจสอบความถูกต้องของโหลดเซลล์ว่าอ่านค่าได้ ตรงกับค่าที่อ่านได้หรือไม่ โดยวิธีการทดลองได้ใส่น้ำหนักมาตรฐานค่าต่างเข้าไปที่ละอันแล้วอ่านค่าที่ได้ จากโหลดเซลล์ จากนั้นได้นำเอามวลมาตรฐานออกที ละอันแล้วอ่านค่าจากโหลดเซลล์อีกครั้งเพื่อตรวจสอบ การเกิด Hysteresis ของไดนาโมมิเตอร์ จากรูปที่ 9 แสดงถึงค่าที่ได้จากการทดสอบแบบ Static Calibrations ซึ่งจากผลการใส่น้ำหนักมาตรฐาน จะได้ กราฟเส้นใส่น้ำหนักเพิ่มและเมื่อใส่น้ำหนักมาตรฐาน ออกจะได้กราฟ เอาน้ำหนักออกจากนั้นนำค่าทั้งหมด เป็นค่าเฉลี่ย ในการทำเส้นค่าเฉลี่ยจากการ เปรียบเทียบดูในแต่ละช่วงน้ำหนักพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างจะไม่มีค่าเกิน 1.66 เปอร์เซ็นต์และได้ ค่ากราฟเชิงเส้นในการปรับแก้ในโปรแกรมเท่ากับ 0.98 ของน้ำหนักจริงดังรูปที่ 10

4.2 ปรับเทียบกับไดนาโมมิเตอร์อีกเครื่อง

หลังจากที่ได้ทำการปรับเทียบกับน้ำหนักมาตรฐาน แล้ว ยังได้มีการปรับเทียบกับไดนาโมมิเตอร์ตัวอื่นรุ่น เดียวกันกับที่มีอยู่ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลยันมาร์

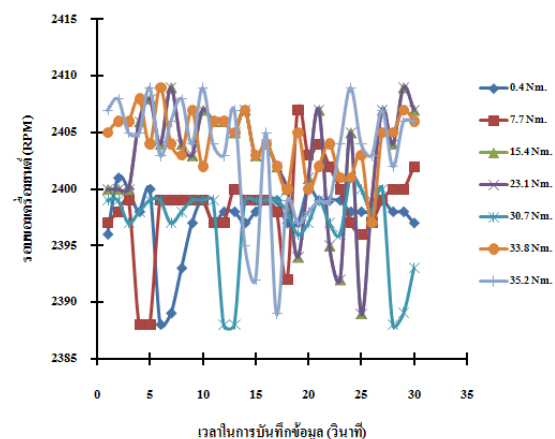
ขนาด 12 แรงม้า [6] เพื่อทำการวัดค่าที่ได้เทียบกัน โดยทำการเลือกวัดค่าแรงบิด



รูปที่ 10 ผลการสอบเทียบกับน้ำหนักมาตรฐาน

4.2.1 ปรับเทียบกับไดนาโมมิเตอร์อีกเครื่องโดยใช้ ฟังก์ชันโหลดคงที่

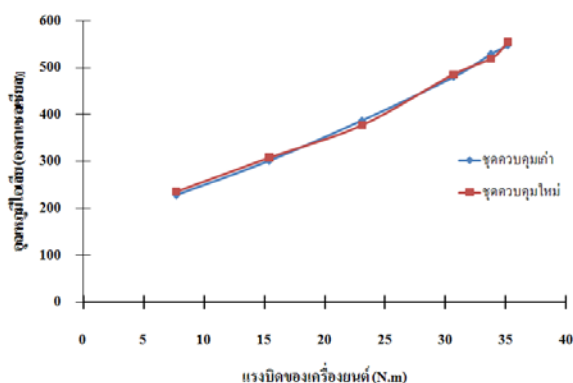
ที่รอบของเครื่องยนต์ 2400 รอบต่อนาที และ แรงบิด 0.4 Nm, 7.7 N.m, 38.7N.m, 15.4 N.m, 23.1 N.m, 30.7 N.m, 33.8 N.m และ 35.2 N.m เพื่อ ตรวจสอบระบบควบคุมการทดสอบเครื่องยนต์ และ อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงผลปรากฏดังนี้



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงรอบของเครื่องยนต์

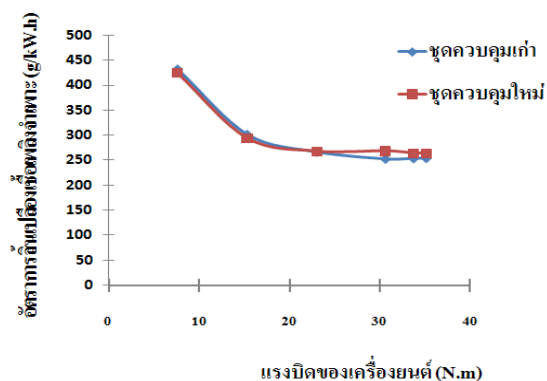
จากรูปที่ 11 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของรอบ เครื่องยนต์ที่ภาระงานคงที่เปรียบเทียบกับที่แรงบิด 7 ค่า โดยที่รอบของเครื่องยนต์มีค่าต่ำสุดที่ อยู่ในช่วง 2388 ถึง 2408 รอบต่อนาที โดยเทียบการจาก เปรียบเทียบจากเซตพอยต์ (Set point) ที่ 2400 รอบ ต่อนาทีและใช้เครื่องมือตรวจสอบร่วมคือ Tachometer (แบบแสงรุ่น DT-2234A ความผิดพลาดในการวัดที่ 1 รอบต่อนาที) พบว่าร้อยละความแตกต่างของ

เครื่องยนต์มากที่สุดไม่เกิน 0.95 จากนั้นได้ทำการวัดค่าอุณหภูมิของท่อไอเสียซึ่งค่านี้มีความไวกับโหลดที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์ซึ่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตรบริเวณปากพอร์ทไอเสียเพื่อต้องการทราบอุณหภูมิของไอเสียที่แท้จริงปราศจากการนำความร้อนและการพาความร้อน โดยทำการวัดที่แรงบิดเดียวกันดังรูปที่ 12 พบว่าค่าผลต่างของอุณหภูมิไอเสียของการใช้ระบบควบคุมเก่าและใหม่มีค่ามากที่สุดที่ไม่เกินร้อยละ 3.25



รูปที่ 12 อุณหภูมิของไอเสียที่รอบของเครื่องยนต์ 2400 รอบต่อนาที

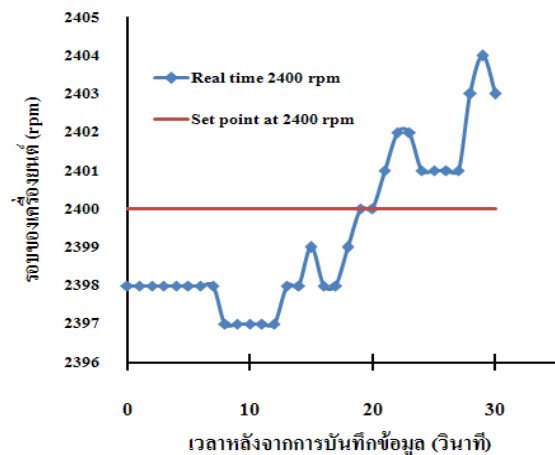
ส่วนของค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างชุดควบคุมทั้งคู่ พบว่าในช่วงแรกมีค่าความต่างที่ไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์และเมื่อเพิ่มแรงบิดขึ้นมาจนถึง 28 N.m มีร้อยละความต่างที่ไม่เกิน 2.2 ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ 2400 รอบต่อนาทีและแรงบิดต่างกัน

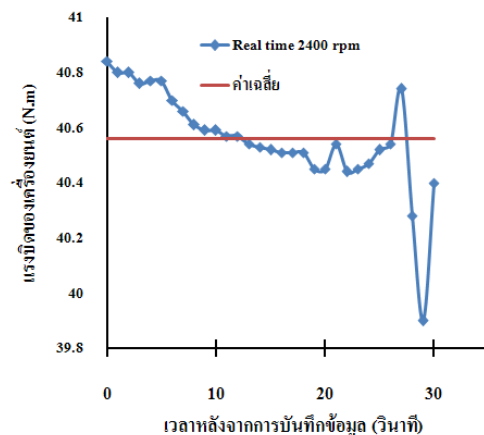
4.2.2 เปรียบเทียบกับไดนามิเตอร์อีกเครื่องโดยใช้ฟังก์ชันรอบคงที่

รูปที่ 14 แสดงถึงรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ฟังก์ชันแบบรอบเครื่องยนต์คงที่ ในเวลาการทดสอบ 30 วินาที โดยที่การเปลี่ยนแปลงของรอบต่ำสุดอยู่ที่รอบเครื่องยนต์ 2397 รอบต่อนาที และสูงสุดอยู่ที่ 2404 รอบต่อนาที โดยที่เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแล้วไม่เกินร้อยละ 0.125



รูปที่ 14 รอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ฟังก์ชันรอบคงที่ 2400 rpm

รูปที่ 14 แสดงถึงรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ฟังก์ชันแบบรอบเครื่องยนต์คงที่ ที่เวลาการทดสอบ 30 วินาที โดยที่การค่าเฉลี่ยของแรงบิดต่ำสุดอยู่ที่ 39.9 N.m และแรงบิดสูงสุดที่ 40.84 N.m เมื่อเทียบเป็นความผิดพลาดแล้วไม่เกินร้อยละ 1.62



รูปที่ 15 แรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้ฟังก์ชันรอบคงที่ 2400 rpm

4.3 การเทียบราคากับชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์ยี่ห้ออื่นในต่างประเทศ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบราคากับชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์ยี่ห้ออื่น

ชุดควบคุม [5]	
ซอร์ฟแวร์	61,845
ฮาร์ดแวร์	77,345
เซ็นเซอร์ต่างๆ	86,490
รวมเงิน	225,680
KMITL Low cost Eddy current Dynamometer Control	
อุปกรณ์	ราคา (บาท)
การ์ดควบคุม	30,668
โหลดเซลล์ 50 kg	8,560
เซ็นเซอร์วัดรอบ	1,350
ชุดไดร์ไดนาโมมิเตอร์	3,000
ชุดขยายสัญญาณโหลดเซลล์ และวัดรอบ	21,592
อุปกรณ์กล่องคอนโทรล	5,500
สายไฟและคอนเนคเตอร์	3,500
รวมเงิน	74,170

จากการเปรียบเทียบราคาในตารางที่ 2 พบว่าราคาต้นทุนการผลิตชุดคอนโทรลมีค่าต่ำกว่า [5] อยู่ที่ 67 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ยังไม่รวมราคาในการติดตั้งและค่าบริการและค่าซ่อมบำรุงหลังจากหมดระยะประกันซึ่งชุดควบคุมที่สร้างขึ้นมาเองสามารถซ่อมด้วยบุคลากรและอะไหล่ในประเทศ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างชุดควบคุมการทดสอบเครื่องยนต์นั้น สามารถใช้งานในฟังก์ชันในการทดสอบได้ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยเมื่อเทียบจากการสอบเทียบกับตัวควบคุมแบบเก่าและได้มีการเพิ่มฟังก์ชันในการเก็บข้อมูลที่จำเป็นในการ

ทดสอบเครื่องยนต์และราคาถูกกว่าการนำเข้าชุดควบคุมการทดสอบเครื่องยนต์จากต่างประเทศ

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยวิจัยต้องขอขอบคุณไปยังบริษัทยันมาร์ เอส.พี. ประเทศไทยจำกัด ที่ให้การสนับสนุนเครื่องยนต์ใหม่ในการทดสอบครั้งนี้

7. คำย่อ

T แรงบิด (N.m)

F แรง (N)

P_b กำลังงาน (Kw)

b ระยะทาง (m)

N ความเร็วรอบ (rev/min)

m_f อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (g/hr)

BSFC การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (g/Kw.hr)

8. เอกสารอ้างอิง

[1] A.J.Martyr and M.A Plint, Engine Engine Testing, 3rd ed. Elsevier press, Butterworth, ISBN-13:978-0-7506-8439-2, 2007.

[2] Richard D. and Atkins, An Introduction to Engine Testing and Development first edition, ISBN 978-0-7680-2099-1, 2007

[3] en.wikipedia.org/wiki/PID_controller access on 15 June 2011.

[4] John B. Heywood, Fundamentals of Internal combustion engine, McGraw-hill

[5] <http://www.land-and-sea.com/toc.htm> access on 22 September 2011.

[6] www.yanmar.co.th access on 15 June 2011.