

## การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว เพื่อควบคุมเครื่องไดนาโมมิเตอร์ต้นทุนต่ำ สำหรับ เครื่องยนต์ขนาดเล็ก

### Development of Embedded System for Low Cost Small Engine Dynamometer

อัษฎาวุธ ศักรินทร์กุล และ ตะวัน สุจริตกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

ติดต่อ: โทรศัพท์: 089-191-4786

E-mail: asdawut@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว เพื่อควบคุมไดนาโมมิเตอร์ และสร้างไดนาโมมิเตอร์ขนาดเล็กที่มีต้นทุนต่ำ ที่สามารถผลิตได้ง่าย ซึ่งเหมาะที่จะใช้เป็นเครื่องทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานทดแทน ซึ่งต้องทดสอบเครื่องยนต์เป็นระยะเวลายาวนานกว่าการทดสอบเครื่องยนต์โดยทั่วไป ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก กำลังไม่เกิน 5.5 แรงม้า โดยนำมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก มาทำเป็น Self Excited Induction Generator โดยแปลงกระแสที่ได้เป็นกระแสตรง เข้าวงจรควบคุมกระแสโดยวิธีการ Pulse Width Modulation (PWM) ผ่านวงจร Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT) เพื่อปรับแรงเบรกของชุดไดนาโมมิเตอร์ โดยใช้ขดลวดความร้อนที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด มาทำเป็น ballast load ของไดนาโมมิเตอร์ การควบคุมรอบของเครื่องยนต์ทดสอบ จะใช้การควบคุมแบบ PI เครื่องไดนาโมมิเตอร์พร้อมระบบสมองกลฝังตัวที่สร้างขึ้น สามารถ วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ได้ 0-3,600 rpm วัดแรงบิด 0-27 Nm วัดอุณหภูมิไอเสีย 0-480°C วัดอุณหภูมิห้อง 0-120°C วัดความชื้นสัมพัทธ์ 0-100% โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยใช้ protocol สื่อสารแบบ Modbus RTU โดยได้พัฒนาซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Labview เพื่อการแสดงผลบันทึกข้อมูลและการตั้งรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ชุดไดนาโมมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นทดสอบกับเครื่องยนต์เอนกประสงค์ Honda รุ่น GX160 พบว่าเวลาตอบสนองของระบบควบคุมแบบ PI จากรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm เป็น 3,000 rpm มีระยะเวลา settling time โดยเฉลี่ยประมาณ 2 วินาที สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ วัดแรงม้า สูงสุดได้ 4.4 แรงม้า ที่ 3,600 rpm และแรงบิดสูงสุด 10.11 Nm ที่ 2,800 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย 0.31 kg/แรงม้าชั่วโมง มีประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 20.8% ชุดไดนาโมมิเตอร์พร้อมระบบสมองกลฝังตัวที่สร้างขึ้น มีต้นทุนทั้งหมดเท่ากับ 74,600 บาท โดยมีราคาถูกกว่าการใช้ไดนาโมมิเตอร์แบบซิงโครนัส 30% และมีราคาเพียง 13% ของราคาชุดไดนาโมมิเตอร์แบบ AC Motor ที่ควบคุมโดย inverter จากต่างประเทศ

**คำสำคัญ:** ไดนาโมมิเตอร์, ระบบสมองกลฝังตัว, ต้นทุนต่ำ, เครื่องยนต์ขนาดเล็ก, Self Excited Induction Generator

**Abstract**

This research intended to develop low cost small engine dynamometer with embedded system controller that could handling engine with rated max power up to 5.5 HP. Induction motor were adapted to self excited induction generator to generate electricity that would be rectified to DC and using Pulse Width Modulation (PWM) to control Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) for adjust the ballast heater power to control dynamometer brake force. The embedded system using PI Control to control the dynamometer. This dynamometer could be applying in the range of engine speed from 0-3600 rpm ,torque from 0-27 Nm ,exhaust temperature from 0-480 ,room temperature 0-120 °C and relative humidity from 0-100%. Computer interfacing with embedded system will use modbus protocol to control the communication. Labview was applied for computer software interfacing for displaying, recording and controlling working speed of the engine. This research relied on Honda Engine model GX160 in testing the dynamometer system. To validate capability of the PI Controller. The settling time testing were performed. The settling time were about 2 second when adjust the set point from 2,000 rpm to 3,000 rpm. The dynamometer test result show max power of the engine was 4.4 HP @ 3,600 rpm , max torque of 10.11 Nm @ 2,800 rpm , average fuel consumption was 1.5 kg/hp.hour with 4.18% average Brake Thermal Efficiency. The total cost of the dynamometer system were 74,600 baht. Significantly lower than synchronous dynamometer for 30% and just only 15% cost of import AC Inverter Dynamometer in comparison.

**Keywords:** dynamometer,embedded system,low cost,small engine,Self Excited Induction Generator

**1. บทนำ**

ปัจจุบันระบบสมองกลฝังตัว มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างได้แก่แผงควบคุมเครื่องซักผ้า โทรทัศน์ เครื่องไมโครเวฟ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่พบทั่วไปในชีวิตประจำวัน โดยการนำระบบสมองกลฝังตัว มาประยุกต์ใช้ เพื่อควบคุมไดนาโมมิเตอร์ จะช่วยลดต้นทุนทางด้านอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาแพง และสามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของไดนาโมมิเตอร์ได้อีกด้วย ทำให้มีส่วนช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าไดนาโมมิเตอร์และชุดควบคุมจากต่างประเทศ ได้อีกทางหนึ่ง

**2. หลักการและทฤษฎี**

**2.1 เครื่องยนต์ขนาดเล็ก**

เครื่องยนต์ขนาดเล็ก จะมีความหมายโดยทั่วไป คือเป็นเครื่องยนต์ที่สามารถเริ่มเดินเครื่องได้โดยใช้แรงคนในการเริ่มหมุนเพื่อเดินเครื่องเครื่องยนต์

สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่นำมาใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์เอนกประสงค์ยี่ห้อฮอนด้า แบบสี่จังหวะ ขนาด 5.5 แรงม้า

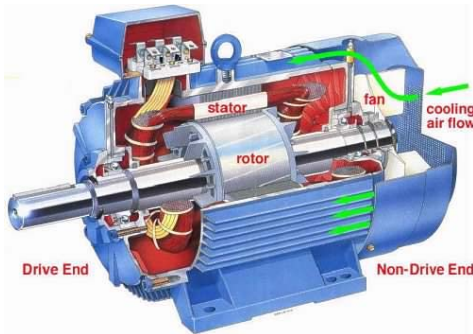


รูปที่ 1 เครื่องยนต์ Honda รุ่น GX160 ขนาด 5.5 แรงม้า

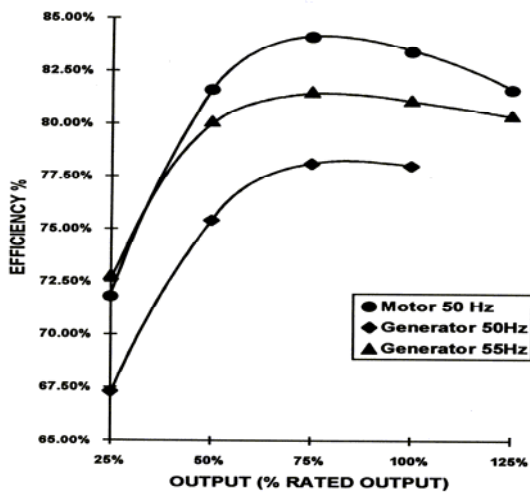
**2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำ**

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยสามารถนำมอเตอร์มาทำเป็นไดนาโมมิเตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยการต่อตัวเก็บประจุ เข้ากับตัวมอเตอร์ โดยจะเรียกไดนาโมมิเตอร์

แบบนี้ว่า Self Excited Induction Generator ซึ่งมี  
ราคาถูกกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสมาก



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ [10]



รูปที่ 3 แสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อใช้งาน  
ที่ความถี่ต่างๆ [5]

### 2.3 การวัดกำลังของเครื่องยนต์

การวัดกำลังของเครื่องยนต์ สามารถทำได้โดย  
การวัดแรงบิดของเครื่องยนต์จากไดนาโมมิเตอร์และ  
ทำการวัดความเร็วรอบ แล้วคำนวณกำลังของ  
เครื่องยนต์ได้จากสมการ

$$P = T \times \omega \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังเครื่องยนต์ (Watt)

T คือ แรงบิดของเครื่องยนต์ (Nm)

$\omega$  คือความเร็วเชิงมุมของเครื่องยนต์ (rad/s)

### 2.4 การวัดแรงบิดโดยอาศัยโพลเดเซลล์

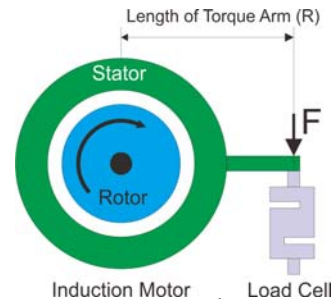
แรงบิดสามารถวัดได้โดยใช้โพลเดเซลล์เชื่อมต่อกับ  
แกนวัด โดยแรงบิดจะได้จากสมการ

$$T = F \times R \quad (2)$$

T คือ แรงบิดของเครื่องยนต์ (Nm)

F คือ แรงที่กระทำบนโพลเดเซลล์ (N)

R คือ ระยะของแขนวัด (m)



รูปที่ 4 แสดงการแรงกระทำที่โพลเดเซลล์เนื่องจาก  
แรงบิด

### 2.5 การวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

การวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ สามารถทำ  
ได้โดยการวัดกำลังเพลลาและวัดอัตราการสิ้นเปลือง  
เชื้อเพลิง โดยสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}} \quad (3)$$

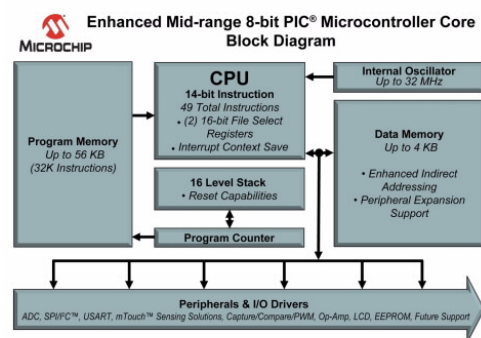
$\eta$  คือประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

$\dot{W}$  คือ กำลังงานเพลลาของเครื่องยนต์ (Watt)

$\dot{Q}$  คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงในหน่วยของพลังงาน (J/s)

### 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

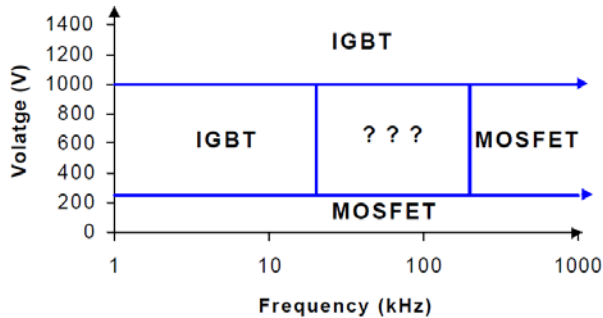
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F887 เป็น  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่ง ที่นิยมใช้ควบคุมระบบ  
สมองกลฝังตัว [11]



รูปที่ 5 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของ PIC  
Microcontroller แบบ 8 bit [11]

## 2.7 อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การควบคุมกำลังไฟฟ้าของเครื่อง dynamometer จะใช้วิธีการ Switching On-Off วงจรถักำลังต่ำจะใช้ Transistor สำหรับงานแรงดันไฟฟ้าสูงและกำลังสูง จะใช้อุปกรณ์พวก Mosfet หรือ IGBT โดยจะเลือกใช้ อุปกรณ์ตัวใด จะเลือกใช้ตามช่วงการใช้งาน ดังรูป



รูปที่ 6 แสดงช่วงการใช้งานของ IGBT และ MOSFET

## 2.8 ระบบควบคุมแบบ PID (PID Controller)

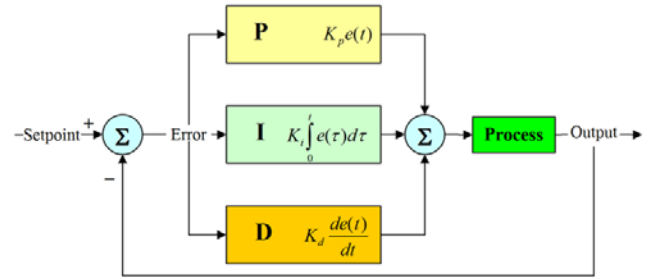
เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับแบบหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้ในระบบควบคุมอุตสาหกรรม ระบบควบคุมแบบ PID จะคำนวณค่าผิดพลาด ระหว่างค่าที่วัดได้ (Process Value:PV) กับค่าที่ตั้ง (Set Point:SP) ระบบควบคุมจะพยายามลดความผิดพลาดโดยการปรับค่าของกระบวนการ วิธีการคำนวณของระบบควบคุมแบบ PID จะแบ่งพารามิเตอร์เป็น 3 กลุ่มคือ proportion , integral และ derivative เรียกว่า P , I และ D และค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องของแต่ละอันคือ  $K_p$  ,  $K_i$  และ  $K_d$  ตามลำดับ ค่า Manipulated Variable (MV) สำหรับการส่งค่าไปควบคุมในระบบ PI Controller หาได้จาก [9]

$$\text{Error} = \text{SV} - \text{PV} \quad (4)$$

$$P = K_p \times \text{Error} \quad (5)$$

$$I = K_i \times (\text{Error} + \text{accumulated error}) \quad (6)$$

$$\text{MV} = P + I \quad (7)$$



รูปที่ 7 แผนผังการทำงานของระบบ PID Controller

## 3.วิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.1 สร้างเครื่องไดนาโมมิเตอร์

3.1.1 จัดหาเครื่องยนต์สำหรับทดสอบ โดยเลือก เครื่องยนต์ ยี่ห้อ HONDA รุ่น GX160

3.1.2 การเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับนำมาเป็นไดนาโมมิเตอร์ โดยเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบบ 3 เฟส ขนาด 10 แรงม้า แบบ 2 pole มาประกอบเป็นชุดไดนาโมมิเตอร์



รูปที่ 8 แสดงมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขนาด 10 แรงม้าที่ใช้ในการสร้าง induction generator

3.1.3 สร้างแท่นเครื่องไดนาโมมิเตอร์ โดยที่ต้องการให้มีราคาต่ำสุด จึงได้ทำการสร้างแท่นยึดเครื่องยนต์แบบยึดตาย และทำการสร้างแคร้ สำหรับให้มอเตอร์หมุนได้อย่างอิสระ เพื่อทำการวัดแรงบิด



รูปที่ 9 แสดงแท่นเปลของมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์หมุนได้อิสระ



3.1.4 ติดตั้งเครื่องมีวัตต์แรงบิด โดยได้เลือกใช้ load cell ขนาด 20 kg แบบ Single Point



รูปที่ 10 ของโหลดเซลล์ที่ใช้วัดแรงบิด



รูปที่ 11 แสดงการยึดโหลดเซลล์กับแกนของแควร์มอเตอร์

3.1.5 ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วรอบเข้ากับเครื่องยนต์ โดยได้เลือก หัววัดแบบ proximity sensor สำหรับนับรอบการหมุนจากฟันเฟืองโซ่ของมอเตอร์ไซค์ ขนาด 16 ฟัน ซึ่งติดที่ตำแหน่งแกนเพลลาของมอเตอร์



รูปที่ 12 แสดงการยึด proximity sensor และเฟืองโซ่ของรถจักรยานยนต์เพื่อใช้วัดความเร็วรอบ

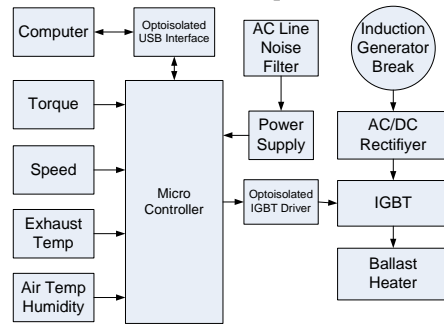


รูปที่ 13 แสดงชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ประกอบเสร็จแล้ว

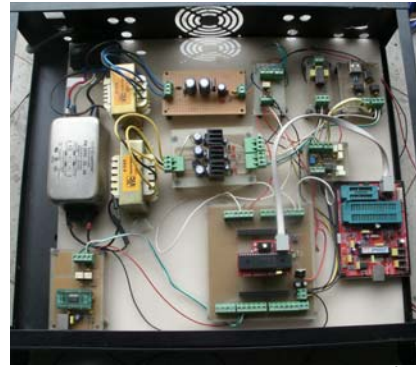
3.2 การสร้างระบบสมองกลฝังตัว

ระบบสมองกลฝังตัวประกอบด้วยวงจร

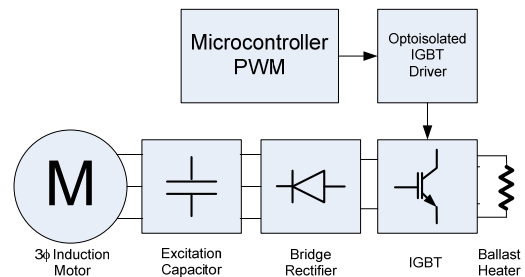
อิเล็กทรอนิกส์หลายๆ ส่วน ดังรูป



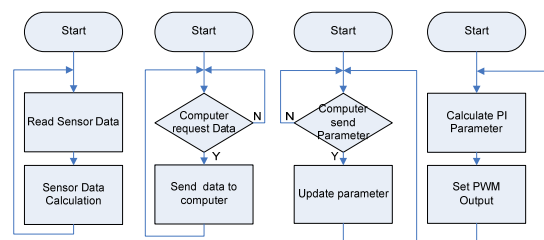
รูปที่ 14 แสดงผังของระบบควบคุมแบบสมองกลฝังตัว



รูปที่ 15 แสดงแผงวงจรของสมองกลฝังตัว

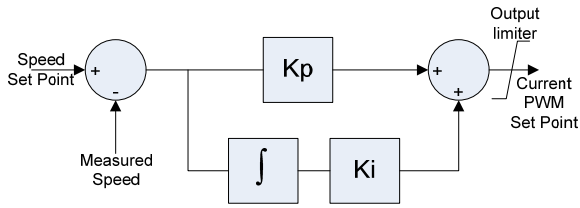


รูปที่ 16 แสดงการควบคุมการทำงานของ Self Excited induction generator



รูปที่ 17 ผังการทำงานของระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งทำงานแบบ multitasking

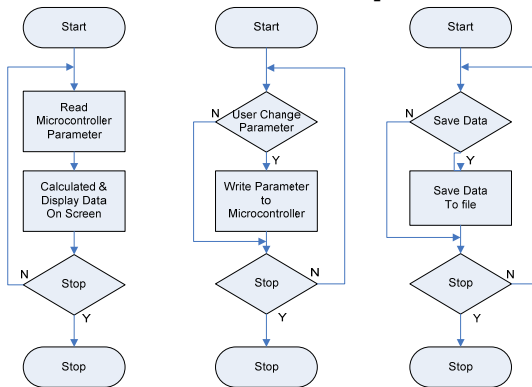
สำหรับการควบคุมรอบเครื่องยนต์แบบ PI จะมีส่วนที่เพิ่มเติมจาก PI ปกติคือ เพิ่มส่วนของ Output Limiter เพื่อไม่ให้กำลังไฟฟ้ามักเกิน



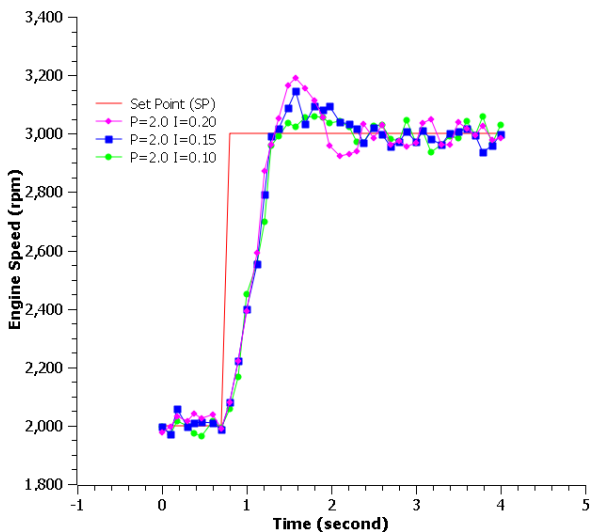
รูปที่ 18 แสดง ผังการทำงานของ PI Controller

### 3.3 โปรแกรมสื่อสารกับระบบสมองกลฝังตัว

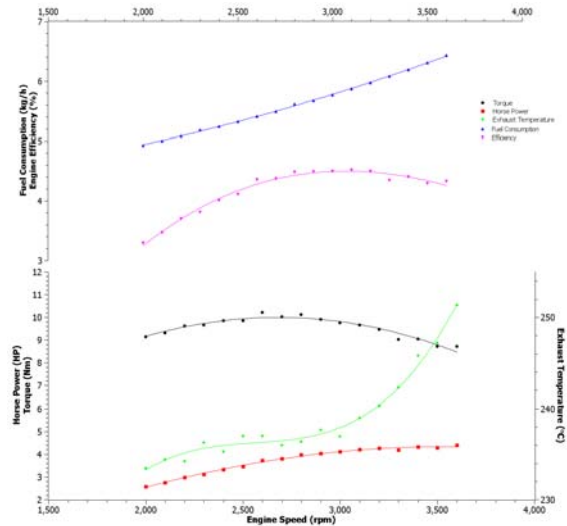
ใช้การเขียนแบบ Visual Programming โดยใช้ซอฟต์แวร์ Labview version 8.5 ของบริษัท national instruments โดยมีผังการทำงานดังรูป



รูปที่ 19 แสดงผังการทำงานของซอฟต์แวร์ควบคุม ซึ่งทำงานแบบ multitasking



รูปที่ 20 แสดงผลการตอบสนองของระบบควบคุม PI เมื่อค่า  $K_p = 2.0$  และแปรผันค่า  $K_i$



รูปที่ 21 แสดงแรงม้า แรงบิด อุณหภูมิไอเสีย อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ GX160

### 4.ราคาต้นทุนของไดนาโมมิเตอร์

สำหรับการพิจารณาความคุ้มค่าของเครื่องไดนาโมมิเตอร์ต้นแบบ ได้พิจารณาเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามาเปรียบเทียบ โดยพิจารณา เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า Honda EP6500CXS ที่มีกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 5,500 VA มาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่นำมาประกอบเป็นไดนาโมในโครงการวิจัยนี้ ซึ่งมีขนาด 10 แรงม้า หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 70% หรือ ประมาณ 5,200 VA ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงต้นทุนไดนาโมมิเตอร์เทียบกับแบบใช้มอเตอร์ซินโครนัส

	Dynamometer Cost (Baht)		
	Commercial	Low Cost	Saving (%)
	Honda	Induction	
	Generator	Generator	
Gen Set	47,720	15,000	68.6
Full Set	107,320	74,600	30.5

พิจารณาเปรียบเทียบกับไดนาโมมิเตอร์ที่ผลิตขายในแบบ Commercial ขนาดไดนาโม 10 แรงม้า ของบริษัท Land & Sea ประเทศสหรัฐอเมริกาจะได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงต้นทุนไดนาโมมิเตอร์เทียบกับแบบ

Commercial

	Dynamometer Cost (Baht)		Saving (%)
	Commercial AC Generator	Low Cost Induction Generator	
Full Set	585,000	74,600	87.2

ตารางที่ 3 เทียบคุณสมบัติเบื้องต้นของไดนาโมมิเตอร์

Specification	Dynamometer	
	Low Cost Induction Generator	Commercial AC Generator
	Max Power	10 HP
Max Engine Speed	3600	3600
Load Control	Yes	Yes
Resistive Ballast	Yes	Yes
Speed Sensor	Proximity	Magnetic
Data Acquisition	Low Speed	High Speed
Computer Software	Yes	Yes
Self Starter	No	Yes

## 5. สรุปผลการวิจัย

เมื่อนำชุดไดนาโมมิเตอร์มาทดสอบกับเครื่องยนต์เอนกประสงค์ Honda รุ่น GX160 พบว่ามีความแปรปรวนของการวัดแรงบิดค่อนข้างมาก อาจจะเป็นเนื่องจากเครื่องยนต์เป็นแบบสูบเดี่ยว ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนสูง แต่เมื่อนำค่าที่วัดได้จากการทดลอง 5 ครั้ง มาเฉลี่ย พบว่ากราฟที่ได้มีความราบเรียบค่อนข้างดี โดยวัดแรงม้า สูงสุดได้ 4.4 แรงม้า ที่ 3,600 rpm และแรงบิดสูงสุด 10.11 Nm ที่ 2,800 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย 1.5 kg/แรงม้าชั่วโมง มีประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 4.18% ชุดไดนาโมมิเตอร์พร้อมระบบสมองกลฝังตัวที่สร้างขึ้น มีต้นทุนทั้งหมดเท่ากับ 74,600 บาท โดยมีราคาถูกกว่าการใช้ไดนาโมมิเตอร์แบบซิงโครนัส 30% และมีราคาเพียง 13% ของราคาชุดไดนาโมมิเตอร์แบบ AC Generator จากต่างประเทศ

## 6. เอกสารอ้างอิง

### 6.1 หนังสือ

[1] เจษฎา ทัศนาศรัญญ์. 2546. *เครื่องยนต์สันดาป*

ภายใน. เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.

[2] นกอดล เวชวิฐาน. 2535. *เครื่องยนต์หัวฉีด EFI*, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

[3] ประณต กุลประสูติ.2533. *เครื่องยนต์เล็ก*, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[4] TRAN TIEN LANG. 1991. *Computerized Instrumentation*. John Wiley & Sons.

[5] Nigel Smith. 1994. *MOTOR AS GENERATORS FOR MICRO-HYDRO POWER*. Intermediate Technology Publications.

### 6.2 เว็บไซต์

[6] รัชชิต ฐิติพัฒน์พงศ์ , สารพล ฐิติพัฒน์พงศ์ และ สุวัฒน์ กุลธนปรีดา. 2551. *การออกแบบไดนาโมมิเตอร์ชนิดอุทกสถิตยสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก: การศึกษาด้วยการจำลองในคอมพิวเตอร์*. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://wiki.nectec.or.th/nectecpedia/images/8/84/ET18.pdf> (7 กรกฎาคม 2542).

[7] รัชชิต ฐิติพัฒน์พงศ์. *ไดนาโมมิเตอร์ต้นทุนต่ำสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก*. 2551. หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

[http://wiki.nectec.or.th/nectecpedia/images/a/a3/Low-Cost\\_Dyno.pdf](http://wiki.nectec.or.th/nectecpedia/images/a/a3/Low-Cost_Dyno.pdf) (7 กรกฎาคม 2542).

[8] Nathan Lee Moulton. 2007. *PERFORMANCE MEASUREMENT AND SIMULATION OF A SMALL INTERNAL COMBUSTION ENGINE*. M.S. Thesis, University of Maryland (College Park). [Online]. Available

<http://www.lib.umd.edu/drum/bitstream/1903/6905/1/umi-umd-4401.pdf> (13 August 2008)

[9] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (13 August 2008)

[10] [www.mech.uwa.edu.au/DANotes/motors/steady/steady.html](http://www.mech.uwa.edu.au/DANotes/motors/steady/steady.html) (13 August 2008)

[11] [www.microchip.com](http://www.microchip.com) (13 August 2008)