การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

วิธีการอย่างง่ายในการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัดสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์

A Simple Measurement Technique of Compressed Natural Gas Consumption for Engine Testing

ยศพงษ์ ลออนวล* [1,2] รักษิต ฐิติพัฒนพงศ์[3] กิตติ เอี่ยมเปรมจิต[2] เกียรติธนา จ๊ะราจา[2] สมชาย จันทร์ชาวนา[1]
[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140
โทร 02-470-9273 โทรสาร 02-470-9111 * อีเมล์ yossapong.lao@kmutt.ac.th
[2]วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300
[3]หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ปทุมธานี, 12120

บทคัดย่อ

แนวโน้มของราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นกลายเป็นปัญหาที่สำคัญในภาคขนส่งซึ่งก๊าซธรรมชาติอัดได้รับการส่งเสริมให้เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับยานพนะ ในปัจจุบันนักวิจัยให้ความสนใจในการทำงานวิจัยด้านการเผาไหม้ภายในโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น หนึ่งในตัวแปรสำคัญในการศึกษาคืออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยทั่วไปการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในรูปของก๊าซจะต้องการเครื่องมือที่มีราคาสูง สำหรับการศึกษานี้ได้เสนอการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติอัดอย่างง่ายและมีต้นทุนต่ำ มีความถูกต้องแม่นยำสูง ด้วยวิธีการของคานสมดุลเพื่อใช้ถ่วงน้ำหนักถังก๊าซซึ่งสามารถใช้เครื่องมือวัดที่มีความสามารถรองรับน้ำหนักเท่ากับปริมาณก๊าซธรรมชาติอัดที่หายไป โดยผลการทดลองวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัด แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีความแม่นยำในระดับที่สูง

Abstract

The tendency of high oil price becomes a major issue in transportation sector in which compressed Natural Gas (CNG) is promoted to use as the alternative energy source for vehicles. Currently, many researchers are interested to work in the field of internal combustion engine using natural gas. One of necessary parameters is the fuel consumption. Generally, gaseous fuel can be measured using mass flow meter which is expensive one. In this paper, an inexpensive technique is proposed. The weight balance technique is employed to eliminate the mass of gas cylinder while the scale can be measure only mass of loss gaseous fuel. Finally, the results analyzed statistically and show that method is very accurate.

1. บทนำ

ในปัจจุบันที่ราคาน้ำมันมีราคาสูงขึ้นและส่งผลกระทบต่อต้นทุนในภาคขนส่ง ก๊าซธรรมชาติอัดได้รับการส่งเสริมให้เป็นพลังงานทางเลือกในภาคขนส่งโดยมีเป้าหมายที่จะทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นน้ำมันแก๊โซลีนและดีเซล[1] ทั้งนี้ก่อให้เกิดความต้องการการทดสอบและวิจัยพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในเครื่องยนต์เป็นอย่างมากเนื่องจากคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติอัดเองที่แตกต่างจากเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันโดยสิ้นเชิง การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ได้รับการปรับแต่ง โดยทั่วไปแล้วอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์กรณีของเชื้อเพลิงเหลวสามารถวัดได้โดยปริมาตรที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์ซึ่งมีต้นทุนไม่สูงมากนัก แต่สำหรับเชื้อเพลิงชนิดก๊าซแล้วไม่สามารถทำการวัดอัตราสิ้นเปลืองจากปริมาตรได้เนื่องจากก๊าซอยู่ภายใต้ความดันและอุณหภูมิก็ส่งผลต่อการประเมินอัตราการถ่ายเทมวล ในทางปฏิบัติมีการใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซตามที่แสดงในรูปที่ 1 มาใช้ในการวัดโดยจะอาศัยหลักการวัดความเร็วของก๊าซ ความหนาแน่นและอุณหภูมิของก๊าซซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่มีราคาสูงมาก [2]

ดังนั้นการทดสอบในห้องปฏิบัติการบางครั้งใช้การชั่งมวลที่หายไปจากภาชนะบรรจุ ในกรณีของเชื้อเพลิงเหลวที่สามารถชั่งได้ในความดันบรรยากาศนั้นสามารถทำได้โดยตรง แต่ในกรณีของก๊าซธรรมชาติอัดที่ต้องอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ที่ความดันสูงซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักของเชื้อเพลิงประมาณ 7 เท่า ตามที่แสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากเครื่องชั่งส่วนใหญ่ที่สำหรับชั่งน้ำหนักขนาดใหญ่จะมีความละเอียดในการชั่งค่อนข้างหยาบ ส่วนการชั่งของที่มีน้ำหนักเบาเครื่องชั่งจะมีความละเอียดที่มากกว่า ดังนั้นถ้าสามารถชั่งปริมาณมวลเชื้อเพลิงที่หายไป

จริงจะมีความละเอียดมากกว่าการชั่งมวลเชื้อเพลิงที่หายไปพร้อมภาชนะบรรจุที่มีน้ำหนักของถัง

งานวิจัยจึงได้เสนอการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติอัดอย่างง่ายและมีต้นทุนต่ำ มีความถูกต้องแม่นยำสูง ด้วยวิธีการของคานสมดุล เพื่อใช้ถ่วงน้ำหนักถังก๊าซซึ่งสามารถใช้เครื่องมือวัดที่มีความสามารถรองรับน้ำหนัก เท่ากับปริมาณก๊าซธรรมชาติอัดที่หายไป จากการทดสอบ โดยผลการทดลองจะวัดจะแสดงถึงหลักการของเทคนิคดังกล่าว รวมถึงการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัด

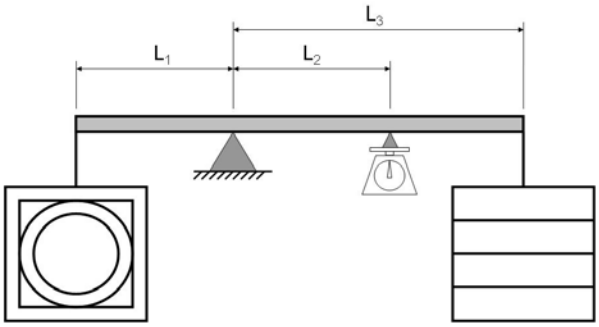
รูปที่ 1 ตัวอย่างเครื่องวัดการไหลของก๊าซ [2]

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการชั่งมวลที่หายไปของมวลเชื้อเพลิงอย่างเดียวหรือเชื้อเพลิงพร้อมภาชนะบรรจุ

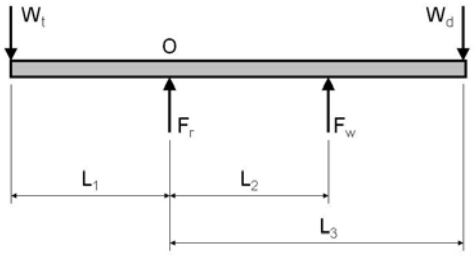
การชั่งมวลที่หายไปของ	เชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงพร้อมภาชนะบรรจุ
น้ำหนักสุทธิ (กก.)	11	81 (70+11)
ย่านอุปกรณ์วัด (กก.)	0 - 11	0 - 90
เครื่องชั่งควรสามารถรับน้ำหนักได้ 150% (กก.)	16.5	135.0

2. หลักการวัดน้ำหนัก

รูปที่ 2 แสดงกลไกสำหรับวัดน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติ ประกอบด้วย คานรองรับ ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ (ด้านซ้ายของคาน) น้ำหนักถ่วงถังก๊าซ (ด้านขวาของคาน) และตาชั่งละเอียด เมื่อเริ่มการวัดน้ำหนัก จะทำการเพิ่มน้ำหนักถ่วงจนคานสมดุล รูปที่ 3 แสดง Free-Body Diagram ของคานรองรับ โดยที่ W_t คือ น้ำหนักถังก๊าซ W_d คือ น้ำหนักถ่วงถังก๊าซ F_r คือ แรงปฏิกิริยาที่จุดหมุน F_w คือ แรงปฏิกิริยาของตาชั่ง ระยะ L_1 จะมีขนาดเท่ากับ L_2



รูปที่ 2 หลักการวัดมวลก๊าซธรรมชาติ



รูปที่ 3 Free-Body Diagram

เมื่อก๊าซธรรมชาติภายในถังถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง จะทำให้น้ำหนักถังก๊าซลดลง คานรองรับจะเอียงไปทางด้านขวา แรงปฏิกิริยาของตาชั่งจะเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้คานรองรับอยู่ในตำแหน่งสมดุล เมื่อกำหนดให้

W_{t1} คือ น้ำหนักถังก๊าซเริ่มต้น

F_{w1} คือ แรงปฏิกิริยาของตาชั่งเริ่มต้น

W_{t2} คือ น้ำหนักถังก๊าซเมื่อก๊าซธรรมชาติถูกนำไปใช้

F_{w2} คือ แรงปฏิกิริยาของตาชั่งเมื่อก๊าซธรรมชาติถูกนำไปใช้

สมดุลโมเมนต์ที่จุด O ขณะเริ่มชั่งน้ำหนัก จะได้

$$W_{t1} L_1 + F_{w1} L_2 - W_d L_3 = 0 \quad (1)$$

สมดุลโมเมนต์ที่จุด O เมื่อก๊าซธรรมชาติถูกนำไปใช้ จะได้

$$W_{t2} L_1 + F_{w2} L_2 - W_d L_3 = 0 \quad (2)$$

เมื่อ $L_1 = L_2$ นำสมการ (1) – (2) จะได้

$$W_{t1} - W_{t2} = F_{w2} - F_{w1} \quad (3)$$

จากสมการ (3) น้ำหนักของก๊าซธรรมชาติที่ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ($W_{t1} - W_{t2}$) จะมีค่าเท่ากับ น้ำหนักที่ตาชั่งวัดได้ ($F_{w2} - F_{w1}$) จากสมการนี้จะเห็นว่า น้ำหนักที่วัดได้จากตาชั่งจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติที่ถูกนำไปใช้

3. วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบด้วยชุดถังก๊าซธรรมชาติอัดที่บรรจุเป็นชุดคู่ 2 ถังโดยสามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติอัดได้ 20 กก. รวมประมาณ 180 กก. ตามที่แสดงในรูปที่ 3 และใช้โหลดเซลขนาด 5 กก. ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของมวลก๊าซในถังผ่านอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล ตามที่แสดงในรูปที่ 4 และ 6 ซึ่งมีรายละเอียดตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของอุปกรณ์วัดที่ใช้

อุปกรณ์	รุ่น	ย่าน
Loadcell	Transcell BAB-5M	5 kg.
Signal Converter	Primus TM009	4-20 mA
Data Logger	Wisco AL210	0-10V, 16-bit

รูปที่ 4 ถังก๊าซธรรมชาติอัด

รูปที่ 5 โหลดเซลที่ใช้ตรวจจับน้ำหนัก

รูปที่ 6 อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล

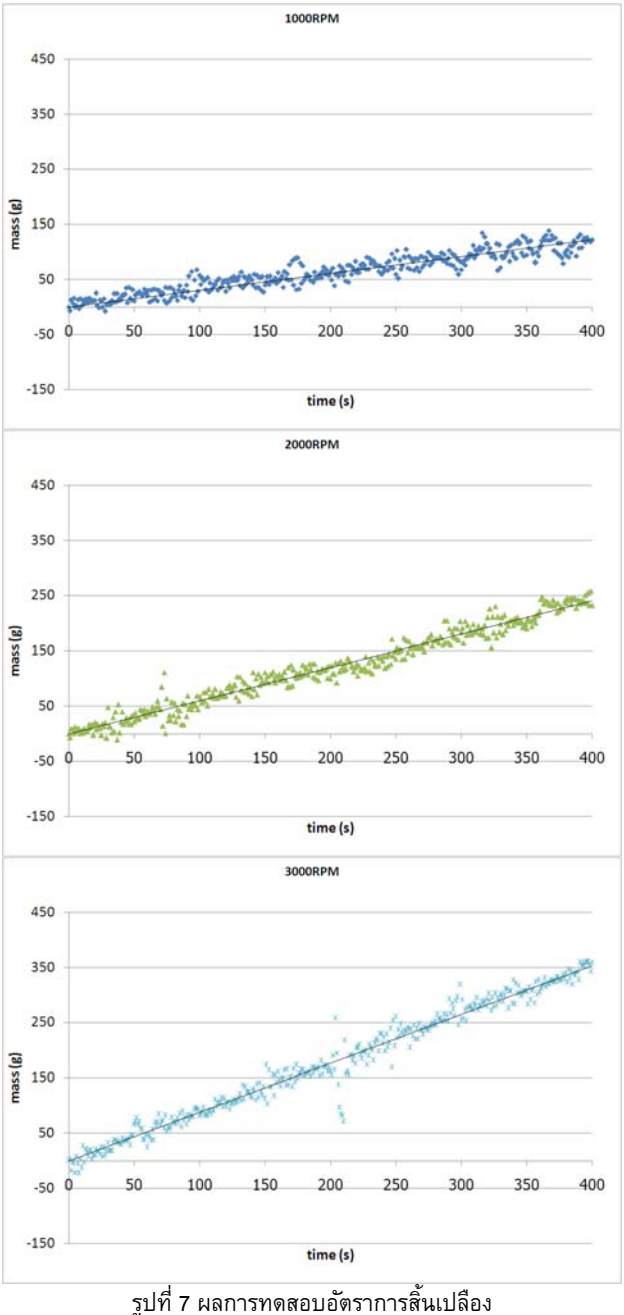
4.ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในการศึกษานี้เป็นการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่การเปิดลิ้นเร่งสูงที่สุดในแต่ละอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ จากรูปที่ 7 เป็นการทดสอบการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัดในกลุ่มแรกที่แสดงถึงการถ่ายเทมวลของก๊าซออกจากถังแรงดันสูงโดยที่รอบการทำงานที่สูงขึ้นก็มีแนวโน้มของอัตราสิ้นเปลืองที่สูงขึ้นทั้งนี้จะเห็นได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแนวโน้ม แต่เมื่อใช้วิธีการทางสถิติในการประมาณอัตราการถ่ายเทมวลด้วยการถดถอยเชิงเส้น โดยที่ค่าความชันของสมการเส้นตรงที่ได้จะเท่ากับอัตราการถ่ายเทมวลในหน่วยของกรัมต่อวินาที โดยแสดงในตารางที่ 3 และจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Correlation Coefficient: R^2) [3] กลุ่มข้อมูลเหล่านี้ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของอัตราการถ่ายเทมวล

RPM	Slope (g/s)	R^2
1000	0.284	0.90
1500	0.488	0.93
2000	0.627	0.98
2500	0.762	0.98
3000	0.893	0.98
3500	1.034	0.99

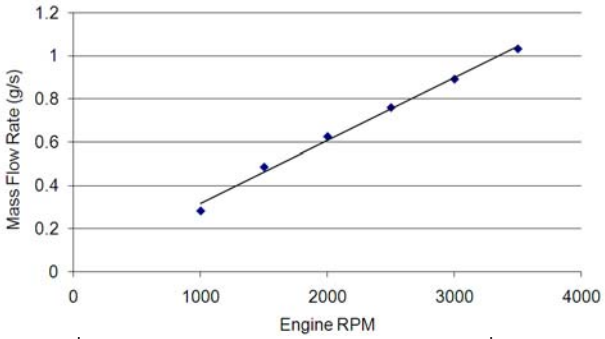
ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นคาดว่าเกิดจากความถี่ธรรมชาติของระบบและการรบกวนจากสภาพแวดล้อม เช่น ลม หรือ แรงสั่งสะเทือน อย่างไรก็ตามการใช้ระบบจัดเก็บข้อมูล (Data acquisition) ที่มีความเร็วพอก็สามารถจัดเก็บค่าในปริมาณที่มากพอที่จะใช้เฉลี่ยและลดความผิดพลาดจากความแปรปรวนได้อีกทาง จากรูปที่ 8 แสดงถึงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัดในการทดสอบเครื่องยนต์จะเห็นได้ว่าทุกอัตราเร็วรอบที่สูงขึ้นก็มีอัตราสิ้นเปลืองที่สูงขึ้นสอดคล้องกับการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์โดยทั่วไป [4] จากผลการทดสอบข้างต้นชี้ให้เห็นว่าวิธีการวัดนี้สามารถนำมาใช้วัดได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 7 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลือง

5. สรุป

การทดสอบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยพัฒนาเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติในการศึกษานี้ได้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้การวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัดอย่างง่าย โดยการใช้หลักการของคานสมดุลเพื่อกำจัดน้ำหนักถังแรงดันสูงออกไป และทำให้สามารถใช้เครื่องมือวัดที่มีย่านใกล้เคียงกับปริมาณเชื้อเพลิงได้ ส่งผลต่อความแม่นยำของข้อมูลและลดเวลาการเก็บข้อมูลลงได้เป็นอย่างมาก



รูปที่ 8 อัตราการถ่ายเทมวลต่ออัตราเร็วรอบของเครื่องยนต์

เอกสารอ้างอิง

1. พานิช พงศ์พิโรดม, แนวทางและแผนการอนุรักษ์พลังงานและการพัฒนาพลังงานทดแทน, บรรยายรับเชิญในการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมใบหยกสกาย กรุงเทพฯ, 23 – 25 พฤษภาคม 2550
2. Micro Motion, 1992. Instruction Manual, Remote Flow Transmitter, Colorado.
3. Holman, J.P., 1994. Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill, New York.
4. กิตติ เอี่ยมเปรมจิต, เกียรติธนา จ๊ะราจา, สมชาย จันทร์ชาวนา สำเริง จักรใจ และ ยศพงษ์ ลออนวล, ผลกระทบของส่วนประกอบก๊าซธรรมชาติที่แปรผันจากแหล่งทางตะวันออกและแหล่งทางเหนือที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของเครื่องยนต์ ในการประชุมวิชาการเครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต