

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์ OEM เมื่อน้ำมันต่างคุณภาพ

A COMPARATIVE STUDY ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF OEM ENGINE WHEN USING DIFFERENT FUEL QUALITY

คณิต วัฒนวิเชียร

Kanit Wattanavichien

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Mechanical Engineering,

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

ธงชัย สถาพรนานนท์

Thongchai Satapornnanon

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Department of Mechanical Engineering,

Faculty of Engineering

Sripatum University

บทคัดย่อ

คุณภาพของเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะ มลภาวะ และสภาวะการทำงาน (operating parameters) ของเครื่องยนต์ SI การศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบผลของการนำน้ำมันเบนซิน 3 ชนิด ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย คือ น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สาร น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารสูตรทดแทนสารตะกั่ว น้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สาร มาทดสอบกับเครื่องยนต์ OEM ชนิดหัวฉีด (TOYOTA รุ่น 4A-FE) ในห้องปฏิบัติการที่สภาวะคงที่ พบว่าเชื้อเพลิงที่ต่างกันให้สมรรถนะและมลภาวะที่ต่างกัน โดยแรงบิดสูงสุดจะเกิดเมื่อน้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารเป็นเชื้อเพลิง ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุดนั้นเกิดขึ้นในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำถึงปานกลางเมื่อน้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารเป็นเชื้อเพลิง และเกิดขึ้นในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงเมื่อน้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารสูตรทดแทนสารตะกั่วเป็นเชื้อเพลิง จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการใช้เครื่องยนต์ในยานยนต์เมื่อขับตาม ECE-15 Driving mode พบว่ายานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารเป็นเชื้อเพลิงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและให้มลภาวะต่ำสุด ขณะที่ยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สารเป็นเชื้อเพลิงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและให้มลภาวะสูงสุด

ABSTRACT

Fuel quality is an important variable affecting performance, emissions and operating parameters of SI engine. This work is a comparative study on the steady state effects of three different gasoline qualities which are available in Thailand market on OEM fuel injection engine (TOYOTA 4A-FE) in a laboratory. Three different grades of gasoline were RON 98, RON 97 and RON 92. It is found that engine with different gasoline qualities gives the different performance and emissions. Maximum torque occurs when RON 98 fuel is used. Moreover, in low and medium engine speed ranges, the minimum specific fuel consumption occurs when RON 98 is used. At high speed, the minimum specific fuel consumption occurs when RON 97 is used.

Analytical results from a vehicle model, employing ECE-15 driving mode, show that the vehicle using RON 98, RON 97 has minimum fuel consumption and emissions while the vehicle using RON 92 has maximum fuel consumption and emissions.

1. บทนำ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในยานยนต์ทั่วไปมีช่วงการใช้งานกว้างโดยที่แต่ละจุดทำงานจะมีค่า operating parameters ที่แตกต่างกัน การออกแบบเครื่องยนต์และระบบควบคุมชนิดที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดตลอดช่วงการใช้งานนั้น จำเป็นต้องนำผลจากการทดสอบด้วยน้ำมันเบนซินที่มีจำหน่ายในประเทศผู้ผลิตมาใช้เป็นข้อมูลในการควบคุม operating parameters ของเครื่องยนต์ ซึ่งเมื่อนำมาใช้กับน้ำมันคุณภาพที่แตกต่างกัน สมรรถนะและมลภาวะที่จะได้จากเครื่องยนต์ก็จะแตกต่างกันไป

บทความนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบที่เกิดจากการใช้น้ำมันต่างคุณภาพภายในประเทศที่มีต่อ performance และ emissions ของเครื่องยนต์ Original Equipment Manufacturing (OEM) นอกจากนี้ยังขยายผลการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ fuel consumption และ emissions ของ OEM engine ในยานพาหนะจากการจำลองการขับขี่ด้วย vehicle

model เมื่อใช้รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน ECE-15 ของน้ำมันเชื้อเพลิงต่างคุณภาพเพื่อคาดผลของสมรรถนะและมลภาวะที่เกิดขึ้นและเพื่อการพิจารณาเลือกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่า

2. ความรู้เบื้องต้นของน้ำมันเบนซินในประเทศไทย [1]

น้ำมันเบนซินเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันชนิดหนึ่งที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบโดยมีช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 30-200 °C เป็นของผสมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 11 อะตอม แม้จะมีคุณสมบัติเหมาะที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เอส ไอ แต่ความแตกต่างของชนิดและปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในส่วนผสมก็จะทำให้สมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์มีค่าแตกต่างกัน

2.1 ชนิดของน้ำมันเบนซินที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

น้ำมันเบนซินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเบนซินตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2538)
เรื่องกำหนดคุณภาพของน้ำมัน [2]

ข้อกำหนด	น้ำมันเบนซิน ธรรมดา ไร้สารตะกั่ว	น้ำมันเบนซินพิเศษ ไร้สารตะกั่ว		วิธีทดสอบ
		ชนิดที่ 1*	ชนิดที่ 2**	
ค่าออกเทน - Research Octane Number (RON)	min 87.0	min 95.0	min 95.0	ASTM D 2699
- Motor Octane Number (MON)	min 76.0	min 84.0	min 84.0	ASTM D 2700
ธาตุตะกั่ว (กรัม/ลิตร)	max 0.013	max 0.013	max 0.013	ASTM D 3116 หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า
ธาตุกำมะถัน (% โดยน้ำหนัก)	max 0.10	max 0.10	max 0.10	ASTM D 2494
ธาตุฟอสฟอรัส (กรัม/ลิตร)	max 0.0013	max 0.0013	max 0.0013	ASTM D 3231
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (หมายเลข)	max 1	max 1	max 1	ASTM D 130
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นาท)	min 360	min 360	min 360	ASTM D 525
ยางเหนียว (กรัม/100 มิลลิกรัม)	max 0.004	max 0.004	max 0.004	
การกลั่น				ASTM D 381
อุณหภูมิ °C				ASTM D 86
- การระเหยในอัตรา 10% โดยปริมาตร	max 70	max 70	max 70	
- การระเหยในอัตรา 50% โดยปริมาตร	70 - 110	70 - 110	70 - 110	
- การระเหยในอัตรา 90% โดยปริมาตร	max 170	max 170	max 170	
- จุดเดือดสุดท้าย	max 200	max 200	max 200	
กากน้ำมัน (% โดยปริมาตร)	max 2.0	max 2.0	max 2.0	
ความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 °C (kPa)				
- ไม่มีสารออกซิเจนเนตเป็นส่วนผสม	max 62	max 62	max 62	ASTM D 323
- มีสารออกซิเจนเนตเป็นส่วนผสม	max 62	max 62	max 62	ASTM D 4953
เบนซิน (% โดยปริมาตร)	max 3.5	max 3.5	max 3.5	ASTM D 3606
สารอะโรมาติก (% โดยปริมาตร)				ASTM D 4420
- ก่อนวันที่ 1 มกราคม 2543	max 50	max 50	max 50	
- ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2543	max 35	max 35	max 35	
สี	แดง	เขียว	เหลืองอ่อน	
น้ำ (% โดยน้ำหนัก)				
- ไม่มีสารออกซิเจนเนตเป็นส่วนผสม	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ตรวจพินิจด้วยตา
- มีสารออกซิเจนเนตเป็นส่วนผสม	max 0.7	max 0.7	max 0.7	ASTM E 203
สารออกซิเจนเนต (% โดยปริมาตร)	max 11.0	5.5-11.0	5.5-11.0	ASTM D 4815
มีสารเติมแต่ง (PFI-IVDC Additive) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดหัวฉีดและวาล์วไอดี	ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน BMW 318i	ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน BMW 318i	ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน BMW 318i	
มีสารเติมแต่ง (Valve Seat Recession Protection Additive) ซึ่งมีคุณสมบัติในการเคลือบวาล์ว	-	-	มี	

หมายเหตุ * ชนิดที่ 1 หมายถึง น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารตะกั่ว (Unleaded Premium Gasoline)

** ชนิดที่ 2 หมายถึง น้ำมันเบนซินพิเศษ สูตรทดแทนสารตะกั่ว (Unleaded Premium Gasoline with Valve Seat Recession Protection Additive)

2.1.1 น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารตะกั่ว (Unleaded Premium Gasoline) มีค่าออกเทน (Research Octane Number : RON) ตั้งแต่ 95 ขึ้นไป โดยการทดสอบนี้ใช้น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารตะกั่วของ ปตท. ที่มีค่าออกเทน 98 (RON 98)*

2.1.2 น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สาร สูตรทดแทนสารตะกั่ว (Unleaded Premium Gasoline with Valve Seat Recession Protection Additive) มีค่าออกเทนตั้งแต่ 95 ขึ้นไป และมีสารเติมแต่งเพื่อเคลือบวาล์วแทนสารตะกั่ว เหมาะสำหรับเครื่องยนต์เบนซินทุกประเภท โดยเฉพาะเครื่องยนต์ที่มีวาล์วเป็นโลหะชนิดอ่อน โดยในการทดสอบใช้น้ำมันเบนซินพิเศษสูตรทดแทนสารตะกั่วของ ปตท. ที่มีค่าออกเทน 97 (RON 97)

2.1.3 น้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สารตะกั่ว (Unleaded Regular Gasoline) มีค่าออกเทนตั้งแต่ 87 ขึ้นไป โดยในการทดสอบใช้น้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สารตะกั่วของ ปตท. ที่มีค่าออกเทน 92 (RON 92)

2.2 ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำมัน

น้ำมันเบนซินที่จำหน่ายในประเทศไทย จะต้องมีความคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเบนซินตาม ประกาศกระทรวงพาณิชย์ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2538) [2] ดังแสดงในตารางที่ 1

3. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

3.1 ศึกษาหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้เชื้อเพลิงต่างคุณภาพ

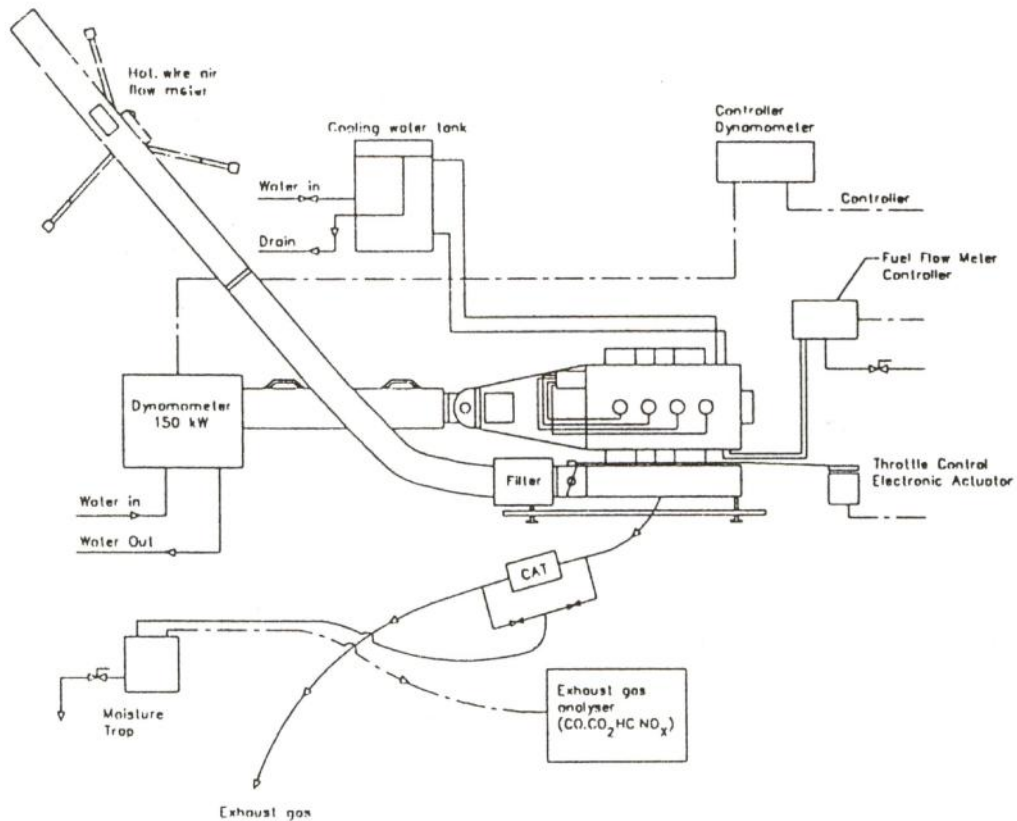
3.2 เปรียบเทียบผลทั้งด้านสมรรถนะ มลภาวะ เมื่อใช้เชื้อเพลิงต่างคุณภาพ

3.3 ประเมินโดยวิธีใช้แบบจำลอง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการนำเครื่องยนต์ในข้อ 3.1 ไปใช้กับรถยนต์ที่ขับบน driving pattern เดียวกัน

4. อุปกรณ์

4.1 เครื่องยนต์ ที่ใช้เป็นชนิด เอส โอ 4 จังหวะ 4 สูบ วางเรียง multipoint fuel injection ระบายความร้อนด้วยน้ำ ยี่ห้อ TOYOTA รุ่น 4A-FE นำมาต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ MEIDEN รุ่น EC-80 ชนิด PTW-DAD (TWD 150) ขนาดกำลังที่รับได้ 150 kW (ดังแสดงในรูปที่ 1) การทำงานของไดนาโมมิเตอร์ควบคุมด้วยแผงควบคุม ยี่ห้อ MEIDEN รุ่น IED 853 ในการวิจัยนี้ใช้โมดที่ควบคุมความเร็วรอบไดนาโมให้คงที่ ล้นปีกผีเสื้อควบคุมด้วยอุปกรณ์ควบคุมปีกผีเสื้อยี่ห้อ MEIDEN รุ่น SMTH-100-EN ซึ่งมีช่วงในการควบคุมองศาการทำงานถึง 130 องศา ความเร็วรอบเครื่องยนต์ทำการวัดด้วย magnetic pickup ค่าองศาการจุดระเบิดทำการวัดด้วย Timing Light อัตราการลื่นเปลี่ยนเชื้อเพลิงวัดด้วยอุปกรณ์วัดการไหลแบบ burette stand รุ่น PP-523 เป็นชนิด gravitational flow สามารถเลือกปริมาณน้ำมัน 10-400 ml อุณหภูมิ dry bulb และ wet bulb ของบรรยากาศทำการบันทึกด้วยอุปกรณ์ ยี่ห้อ CHINO รุ่น R220-10 ซึ่งมี accuracy $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ เพื่อใช้ในการปรับแก้ไขค่าแรงบิดและอัตราการลื่นเปลี่ยนเชื้อเพลิงจำเพาะเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าที่บรรยากาศมาตรฐาน อากาศผ่านเข้าเครื่องยนต์ถูกวัดด้วยอุปกรณ์วัดการไหลของอากาศชนิด hot-wire ยี่ห้อ MEIDEN รุ่น AFM-250 สามารถวัดอัตราการไหลสูงสุดได้ 250 ลิตรต่อวินาที ใช้กับอุปกรณ์ตัวแปลงสัญญาณ ยี่ห้อ MEIDEN รุ่น MTS-0557 type DF-300

* PTT Performa Gold 98



รูปที่ 1 แผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2 ชุดวิเคราะห์ไอเสีย ยี่ห้อ HORIBA รุ่น MEXA-9400H มีอุปกรณ์การวัดไอเสีย CO, CO₂ และ HC ด้วยวิธี Non Dispersive Infrared (NDIR) รุ่น AIA-110 Repeatability $\pm 1\%$ full scale โดยช่วงการทำงาน

CO : 0~5,000 ppm to 10% vol

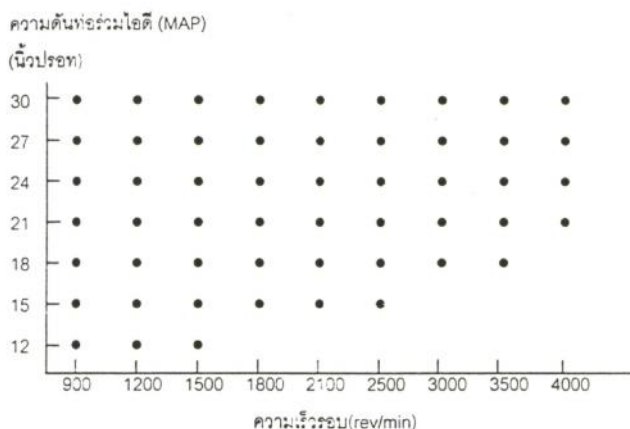
CO₂ : 0~1 to 20% vol

HC : 0~5,000 to 10,000 ppm

5. ขั้นตอนการทดสอบ

งานวิจัยนี้เป็นการหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ 4A-FE ที่ใช้ Engine Electronic Control Unit (ECU) มาตรฐานจากผู้ผลิตเมื่อใช้น้ำมันที่มีคุณภาพแตกต่างกันคือมีค่า RON 98, RON 97 และ RON 92 ตามลำดับ การทดสอบเครื่องยนต์กระทำที่สภาวะคงที่

ณ จุดบนเมตริกะหว่างความดันต่อร่วมไอดี (MAP) และความเร็วยรอบแสดงในรูปที่ 2 โดยเริ่มจากใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารตะกั่วของ ปตท. ซึ่งมีออกเทน 98 เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งหลังจากการอุ่นเครื่องยนต์จนได้อุณหภูมิทำงานแล้ว ได้ทำการบันทึกข้อมูลสมรรถนะคือ แรงบิด ความเร็วยรอบ ปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลือง และค่าตัวแปรในการทำงาน (operating variables) ที่เกี่ยวข้อง อาทิ องศาการจุดระเบิด อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ตลอดจนค่าของมลพิษที่เกิดขึ้น ที่แต่ละจุดทำงานบนเมตริกทดสอบเมื่อครบทุกจุดแล้วจึงเปลี่ยนเชื้อเพลิงทดสอบเป็นน้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารตะกั่วสูตรที่มีสารเคลือบวาล์วของ ปตท. ซึ่งมีออกเทน 97 และน้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สารตะกั่วของ ปตท. ซึ่งมีออกเทน 92 ตามลำดับ การทดสอบได้กระทำซ้ำกัน เช่นนี้ 3 ครั้ง



รูปที่ 2 Test matrix บนแกนของความเร็รรอบกับความดันในท่อร่วมไอดี (MAP) โดยแต่ละจุดจะทำการทดสอบเพื่อวัดค่า Brake Torque, Fuel Consumption, Emissions และ อนุภาคการจู่ระเบิดเมื่อทดสอบด้วยน้ำมันต่างคุณภาพ

6. ผลการทดสอบ

ข้อมูลแรงบิดที่ได้จากผลการทดสอบน้ำมันเบนซินที่จำหน่ายภายในประเทศทั้ง 3 ชนิด ได้ถูกแก้ไขเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับสภาวะบรรยากาศมาตรฐาน ($p_r = 100$ kPa, Air temperature $T_r = 300$ K, Relative humidity $\phi_r = 60\%$) ตามข้อแนะนำของมาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ AS 2798.1-1985 ของสำนักงานมาตรฐานออสเตรเลีย [3] และคำนวณค่าปริมาณไอเสียตามข้อแนะนำในมาตรฐาน SAE J1088 FEB 93 [4]

6.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์ (Engine Performance) [5]

ผลวิเคราะห์แสดงด้วยความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพความร้อนบนแผนภูมิค่าอัตราส่วนแรงบิดที่แก้ไข

(Normalized Torque, $\{T\}$) กับความเร็รรอบเมื่อใช้น้ำมัน RON 98, RON 97 และ RON 92 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) ถึง (ค)

normalized torque $\{T\}$ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงบิดกับแรงบิดสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ($T_{max} = 147$ N.m)

ในค่าแรงบิดสูงสุด (N.m) ที่แต่ละความเร็รรอบของน้ำมันต่างคุณภาพทั้งสามเกรด พบว่าที่ความเร็รรอบต่ำ (900 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทนสูง (RON 98, RON 97) ให้ค่าแรงบิดสูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทนต่ำ (RON 92) และที่ความเร็รรอบปานกลาง (1200-1800 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทนสูง (RON 98, RON 97) ยังคงให้ค่าแรงบิดสูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทนต่ำ (RON 92) และที่ความเร็รรอบสูง (2100-4000 rev/min) น้ำมันทั้งสามชนิดมีแนวโน้มที่จะให้ค่าแรงบิดใกล้เคียงกัน

ส่วนค่าของประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด ที่แต่ละความเร็รรอบของน้ำมันต่างคุณภาพทั้งสามเกรด พบว่าที่ความเร็รรอบต่ำ (900 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทนสูง (RON 98, RON 97) ให้ค่าประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทนต่ำ (RON 92) และที่ความเร็รรอบปานกลาง (1200-1800 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทนสูง (RON 98, RON 97) ยังคงให้ค่าประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทนต่ำ (RON 92) และที่ความเร็รรอบสูง (2100-4000 rev/min) น้ำมันทั้งสามชนิดมีแนวโน้มที่จะให้ค่าประสิทธิภาพความร้อนใกล้เคียงกัน นั่นคือน้ำมันเบนซินพิเศษไร้สารจะให้อัตราการผลิตเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่าน้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สาร

6.2 มลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ [5]

6.2.1 ค่ามลพิษในไอเสียจากการวิจัยได้แสดงค่าของมลพิษในไอเสีย CO , CO_2 , HC ของเครื่องยนต์

OEM (TOYOTA 4A-FE) เมื่อใช้น้ำมันคุณภาพต่าง ๆ ในรูปของแผนภูมิ Engine Emission Maps.

6.2.1.1 มลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทน 98 Engine Emission Maps. (CO, CO₂, HC) ของเครื่องยนต์ OEM (TOYOTA 4A-FE) ที่ใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทน 98 แสดงในรูปที่ 4 (ก) ถึง (ค)

6.2.1.2 มลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 Engine Emission Maps. (CO, CO₂, HC) ของเครื่องยนต์ OEM (TOYOTA 4A-FE) ที่ใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 แสดงในรูปที่ 5 (ก) ถึง (ค)

6.2.1.3 มลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 Engine Emission Maps. (CO, CO₂, HC) ของเครื่องยนต์ OEM (TOYOTA 4A-FE) ที่ใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 แสดงในรูปที่ 6 (ก) ถึง (ค)

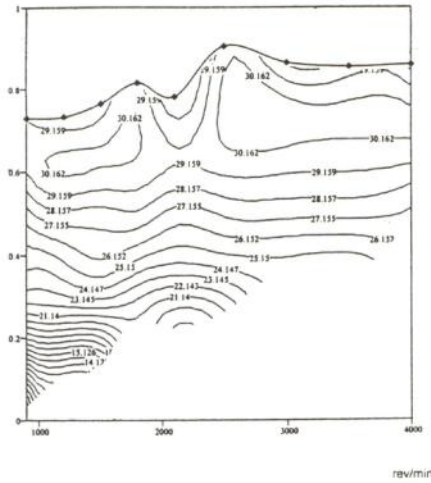
6.2.2 ค่าของมลพิษ CO สูงสุด ที่แต่ละความเร็วรอบของน้ำมันต่างคุณภาพทั้งสามเกรด พบว่าที่ความเร็วรอบต่ำ (900 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 (RON 97) ให้ค่ามลพิษ CO สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 98 และ 92 ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบปานกลาง (1200-1800 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 (RON 92) ให้ค่ามลพิษ CO สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 และ 98 ส่วนที่ความเร็วรอบสูง (2100-4000 rev/min) น้ำมันทั้งสามชนิดมีแนวโน้มที่จะให้ค่ามลพิษ CO ใกล้เคียงกัน

6.2.3 ค่าของมลพิษ CO₂ สูงสุด ที่แต่ละความเร็วรอบของน้ำมันต่างคุณภาพทั้งสามเกรด พบว่าที่ความเร็วรอบต่ำ (900 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 (RON 92) ให้ค่ามลพิษ CO₂ สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 และ 98 ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบปานกลาง (1200-1800 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 (RON 92) ให้ค่ามลพิษ CO₂ สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 และ 98 ส่วนที่ความเร็วรอบสูง (2100-4000 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 98 (RON 98) ให้ค่ามลพิษ CO₂ สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 และ 97

6.2.4 ค่าของมลพิษ HC สูงสุด ที่แต่ละความเร็วรอบของน้ำมันต่างคุณภาพทั้งสามเกรดพบว่าที่ความเร็วรอบต่ำ (900 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 (RON 92) ให้ค่ามลพิษ HC สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 และ 98 ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบปานกลาง (1200-1800 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 (RON 92) ให้ค่ามลพิษ HC สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 97 และ 98 ส่วนที่ความเร็วรอบสูง (2100-4000 rev/min) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92 และ 98 (RON 92, RON 98) ให้ค่ามลพิษ HC สูงกว่าน้ำมันที่มีค่าออกเทน 97

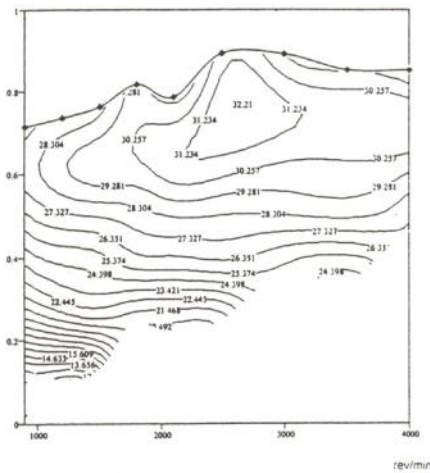
เนื่องจากการวิเคราะห์ค่ามลพิษจากเครื่องยนต์จำเป็นต้องทราบองค์ประกอบและคุณสมบัติเฉพาะในน้ำมันแต่ละชนิด แต่ในการทดสอบนี้ใช้น้ำมันที่มีจำหน่ายในสถานีน้ำมันของ ปตท. ค่ามลพิษของไอเสียที่ได้จึงเป็นเพียงแนวโน้มของมลพิษที่จะเกิดขึ้นเมื่อใช้น้ำมันที่จำหน่ายในสถานีน้ำมันของ ปตท. ในช่วงเวลาการทดสอบเครื่องยนต์นั้น (สิงหาคม-ตุลาคม 2539)

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



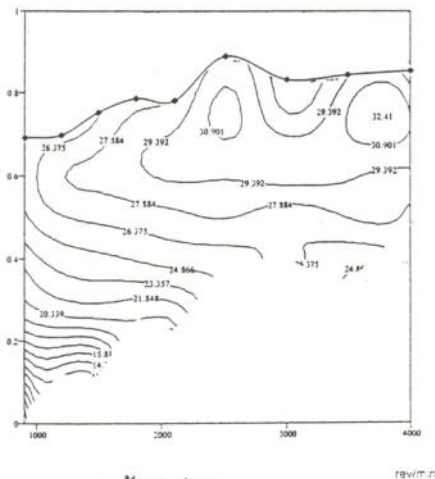
(ก) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 98

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ข) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 97

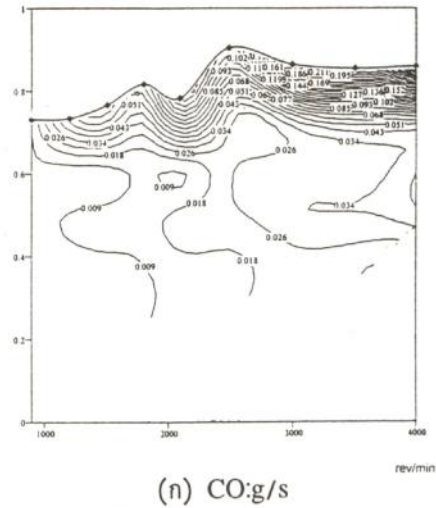
อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ค) น้ำมันที่มีค่าออกเทน 92

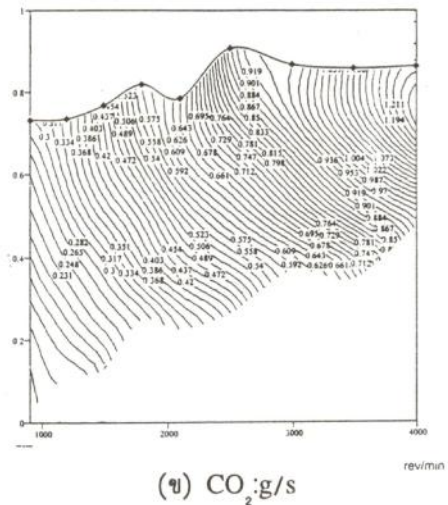
รูปที่ 3 Engine Efficiency Maps. ของเครื่อง-
ยนต์ OEM (TOYOTA 4A-FE) ของ
น้ำมันที่คุณภาพต่าง ๆ ; (η =%)

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



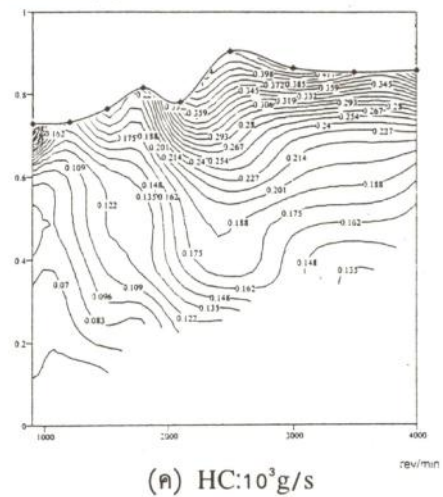
(ก) CO:g/s

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ข) CO₂:g/s

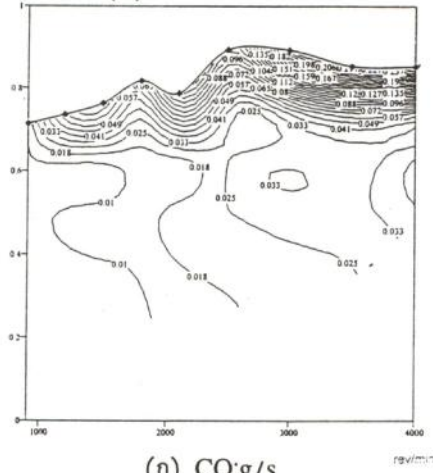
อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ค) HC:10³g/s

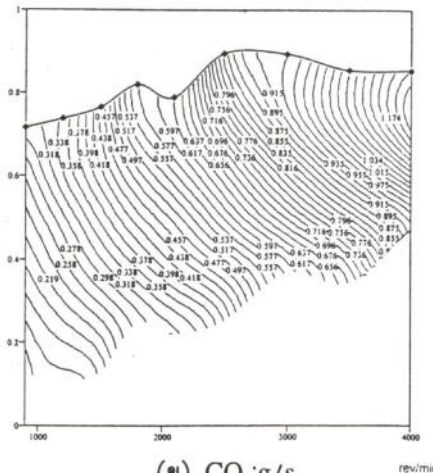
รูปที่ 4 Engine Emission Maps. ของเครื่อง-
ยนต์ OEM (TOYOTA 4A-FE) เมื่อ
ใช้น้ำมันออกเทน 98 โดยแก้ไขแรงบิด
ตามมาตรฐาน AS2789.1-1985 และ
คำนวณค่าไอเสีย โดยมาตรฐาน SAE
J1088 FEB93

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



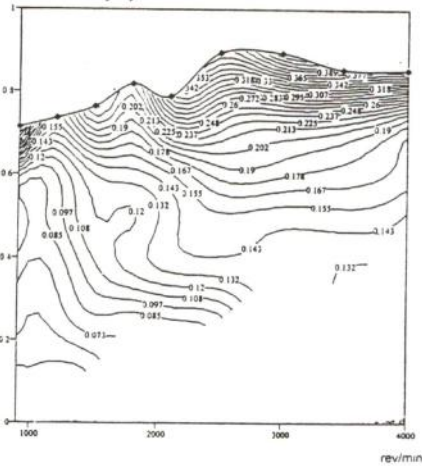
(n) CO:g/s

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ข) CO₂:g/s

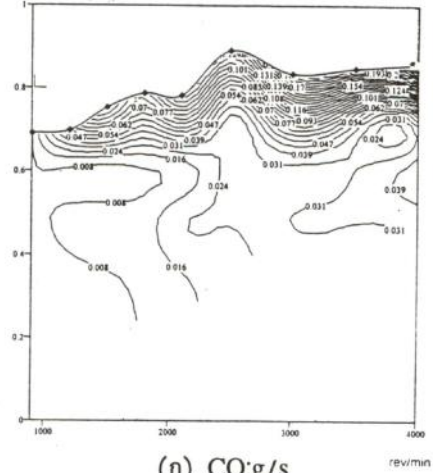
อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ค) HC:10³g/s

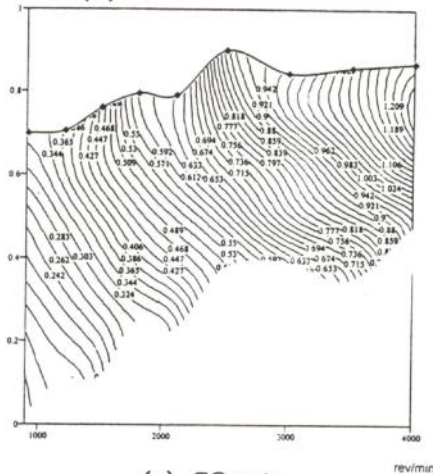
รูปที่ 5 Engine Emission Maps. ของเครื่องยนต์ OEM (TOYOTA 4A-FE) เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 97 โดยแก้ไขแรงบิดตามมาตรฐาน AS2789.1-1985 และคำนวณค่าไอเสีย โดยมาตรฐาน SAE J1088 FEB93

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



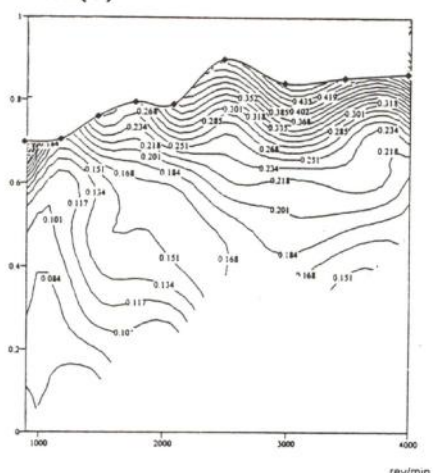
(n) CO:g/s

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ข) CO₂:g/s

อัตราส่วนแรงบิด:(T)



(ค) HC:10³g/s

รูปที่ 6 Engine Emission Maps. ของเครื่องยนต์ OEM (TOYOTA 4A-FE) เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 92 โดยแก้ไขแรงบิดตามมาตรฐาน AS2789.1-1985 และคำนวณค่าไอเสีย โดยมาตรฐาน SAE J1088 FEB93

7. การวิเคราะห์อัตราการใช้เชื้อเพลิงและมลพิษของเครื่องยนต์ด้วยแบบจำลอง

การจำลองค่าบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะของเครื่องยนต์เริ่มจากการแปรรูปแบบการขับขี่ซึ่งเป็นการสัมพันธ์ของความเร็วรถยนต์กับเวลาให้เป็นค่าของแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตามรูปแบบการขับขี่ (โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็นช่วงสั้นๆ เช่น ช่วงละ 1 วินาที) นำค่าแรงบิดและความเร็วรอบดังกล่าวมาเทียบกับข้อมูล Engine Maps เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะที่เกิดขึ้น เมื่อนำค่าที่ได้ของแต่ละช่วงเวลามารวมกันตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการขับขี่ก็สามารถทำนายการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษโดยรวมที่เกิดจากเครื่องยนต์เสมือนเครื่องยนต์ที่ถูกพัฒนาติดตั้งอยู่กับรถยนต์นั้นๆ

7.1 สมมติฐานของแบบจำลอง

เงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย

7.1.1 การขับขี่เป็นไปตาม ECE 15 Driving

mode ดังรูปที่ 7

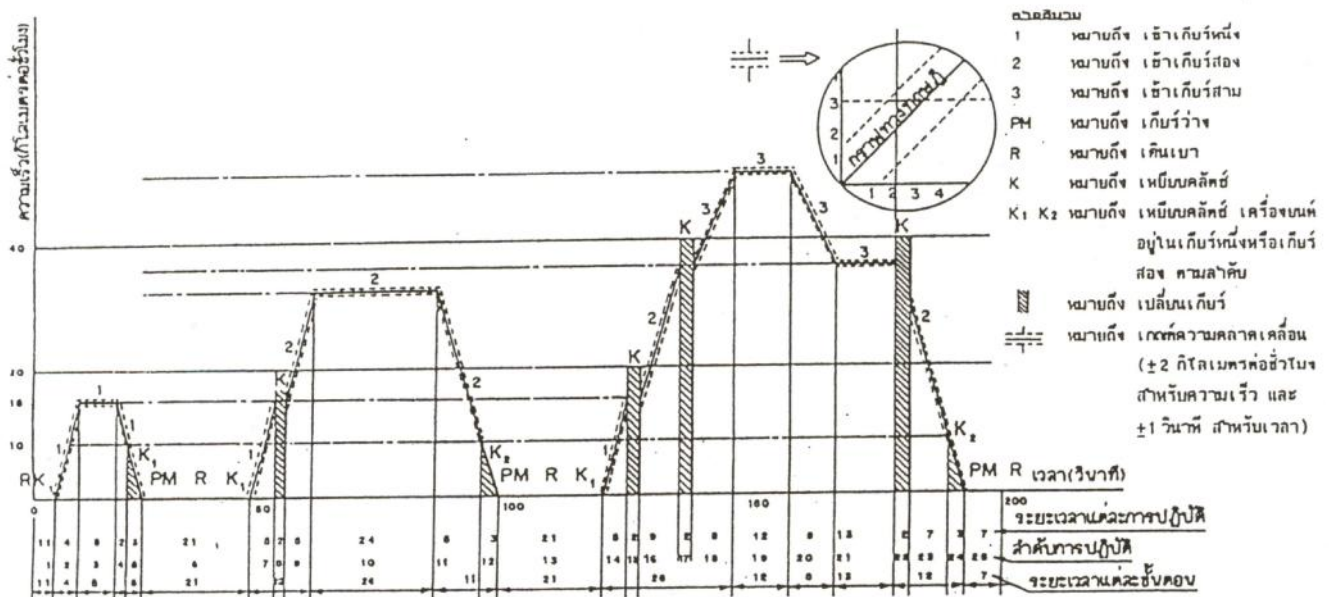
7.1.2 เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะอยู่ตัว (Steady State) ผลเนื่องจากสภาวะ Transient จะไม่นำมาพิจารณา

7.1.3 แบ่งรูปแบบการขับขี่เป็นช่วงเวลา เช่น ช่วงละ 1 วินาที และความเร่งในช่วงเวลา "T" ใดๆ คือ ผลต่างของความเร็วที่เวลา "T + 1" กับความเร็วของรถยนต์ในช่วงเวลา "T - 1" ต่อช่วงเวลาของความเร่งทั้งสอง

7.1.4 ที่ความเร็วของรถยนต์เป็นศูนย์ ให้ขณะนั้นรอบเครื่องยนต์เป็นรอบเดินเบา

7.1.5 ขณะเปลี่ยนเกียร์ให้ถือว่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับความเร็วรอบช่วงเวลาก่อนการเปลี่ยนเกียร์

7.1.6 ข้อมูลทางกลศาสตร์ของรถยนต์ที่นำมาพิจารณาในแบบจำลองเป็นรุ่น Collora



รูปที่ 7 รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน ECE 15 สำหรับการทดสอบมลพิษจากรถยนต์ [6]

7.2 ผลจากแบบจำลองการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์ [5]

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและปริมาณโดยรวมของมลภาวะแต่ละตัว คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ที่คำนวณได้จากแบบจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนรถยนต์ไปตาม ECE-15 Driving mode แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและปริมาณโดยรวมของมลภาวะจากแบบจำลองการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนตาม ECE-15 จำนวน 1 รอบการขับขี่ (cycle)

	OEM ENGINE		
ต่อ cycle (~ 1 km)	RON 98	RON 97	RON 92
fuel : litre	0.146	0.145	0.156
CO : g	1.07	1.286	1.267
CO ₂ : g	42.9	42.33	45.591
HC : g	0.015	0.013	0.016

ผลจากแบบจำลองพบว่า ยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สาร (RON 97, RON 98) เป็นเชื้อเพลิงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมีปริมาณสารมลภาวะต่ำสุด ขณะที่ยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สาร (RON 92) เป็นเชื้อเพลิงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมีปริมาณสารมลภาวะค่อนข้างสูง

8. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีสองส่วนโดยส่วนแรกเป็นการเปรียบเทียบแต่ละสภาวะการทำงานโดยในการพิจารณาแบ่งความเร็วรอบเครื่องยนต์ออกเป็นสามส่วนคือ รอบต่ำ (900 rev/min) รอบปานกลาง (1200-1800 rev/min) และรอบสูง (2100-4000 rev/min) จากการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของแรงบิดและประสิทธิภาพทางความร้อน พบว่าน้ำมันที่มีออกเทนสูง (RON 98, RON 97) ให้แรงบิดและประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า น้ำมันที่มีออกเทนต่ำในรอบเดินเบาและรอบปานกลาง ส่วนในรอบสูงน้ำมันทั้งสามมีค่า ค่าสูงสุดของแรงบิดและประสิทธิภาพทางความร้อนใกล้เคียงกัน ส่วนมลภาวะ CO, CO₂ และ HC สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 และในส่วนที่สองเป็นการจำลองการ

ตารางที่ 3 สรุปผลของมลภาวะ CO CO₂ และ HC จากเครื่องยนต์

	Idle speed (900 rev/min)			Part speed (1200-1800 rev/min)			Full speed (2100-4000 rev/min)		
	CO	CO ₂	HC	CO	CO ₂	HC	CO	CO ₂	HC
RON 98	↔	O	O	↔	O	O	↔	△	△
RON 97	△	↔	↔	↔	↔	↔	↔	O	↔
RON 92	O	△	△	△	△	△	↔	↔	△

△ = มีค่าสูงสุด

↔ = มีค่าปานกลาง

O = มีค่าต่ำสุด

ใช้งานจริงโดยเลือก ให้จำลองการใช้งานตาม ECE-15 และเปรียบเทียบผลของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะ สรุปได้ว่ายานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินพิเศษไร้สาร (RON 97, RON 98) เป็นเชื้อเพลิงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและให้มลภาวะต่ำสุด ขณะที่ยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สาร (RON 92) เป็นเชื้อเพลิงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและให้ค่ามลภาวะค่อนข้างสูง

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บุคคล คณะบุคคล และองค์กรที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ในความอนุเคราะห์ในหลายๆ ด้าน ซึ่งร่วมกันมีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี อาทิ รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในหลายประการรวมถึงการประสานงานติดต่อหาผู้สนับสนุนด้วยทุนวิจัย บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเงินทุน เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยเชื้อเพลิง ศูนย์วิจัยและพัฒนา การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ผู้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลน้ำมันเบนซินในประเทศไทย นิสิตบัณฑิตศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยด้านการทดสอบเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์และสถานที่วิจัย เป็นต้น

10. เอกสารอ้างอิง

1. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ฝ่ายวิจัยพัฒนา) (บจม.) น้ำมันเบนซิน
2. ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2538) เรื่องกำหนดคุณภาพของน้ำมัน
3. มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ สำนักงานมาตรฐานออสเตรเลีย; AS 2789.1-1985
4. SAE, *SAE handbook, cooperative engineering program. volume 1.* Warrendal. Pa, มาตรฐานเลขที่ SAE J1088 FEB93. (1996)
5. คณิต วัฒนวิเชียร, รายงานฉบับสมบูรณ์, "การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์ OEM เมื่อใช้น้ำมันต่างคุณภาพ", ฝ่ายวิจัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2541)
6. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สนง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, "รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินเฉพาะด้านความปลอดภัย : สารมลพิษจากเครื่องยนต์ระดับ 3, มอก. 1280-2538 (2538)



ขอเชิญส่งบทความ

วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา (Research & Development Journal of the Engineering Institute of Thailand)

ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยกำลังเร่งพัฒนาตัวเอง ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อรองรับการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรมในด้านต่าง ๆ ให้สามารถก้าวไปสู่ความเป็นประเทศพัฒนาทางอุตสาหกรรมสมัยใหม่ (Newly Industrialized Country) ได้ การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำได้เร็วที่สุด คือ การซื้อเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ดังเช่น ประเทศญี่ปุ่นในสมัยหลังสงครามโลก วิธีการนี้จะได้ผลเร็วเพราะไม่ต้องเสียเวลาการวิจัย แต่ในขณะเดียวกัน นอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองเงินตราแล้ว ยังทำให้ประเทศนั้นต้องพึ่งพาประเทศอื่น ๆ อยู่ตลอดไป ประเทศที่ยอมซื้อไม่ว่าจะเป็นประเทศญี่ปุ่นจนมาถึงไต้หวัน เกาหลี และประเทศเพื่อนบ้านเรา คือ สิงคโปร์ในขณะนี้ ประเทศเหล่านี้ต่างมองการณ์ไกลเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำการวิจัยเพื่อพัฒนาวิทยาการต่าง ๆ ให้สามารถรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เพื่อจะได้ค่อย ๆ ปลดตัวเองจากภาระที่เกิดจากการเอาตัวเราเปรียบของประเทศที่เป็นเจ้าของเทคโนโลยีได้

ปัจจัยหนึ่งของการส่งเสริมการวิจัย คือ การมีวารสารวิจัยและพัฒนา มารองรับเพื่อเป็นการเผยแพร่ผลงานของนักวิชาการและนักวิจัยเอาไว้ประโยชน์ที่มินอกจากช่วยไม่ให้มีการทำวิจัยซ้ำซ้อนกันแล้ว ยังช่วยให้เกิดความร่วมมือระหว่างนักวิชาการและนักวิจัยที่สนใจในปัญหาเดียวกัน เกิดมีการวิพากษ์วิจารณ์เพื่อให้ผลงานที่ติดตามมามีคุณภาพดียิ่งขึ้น วารสารทางวิชาการนี้จึงเป็นทรัพยากรทางความรู้ที่สามารถใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคตสำหรับวิศวกร นักวิชาการ และนักวิจัยรุ่นหลังได้

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการมี “วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา” จึงเห็นสมควรแยกเล่มออกมาจาก “วิศวกรรมสาร” (ซึ่งต่อไปจะเน้นไปทางสารคดีทั้งวิชาการและข่าวสารปริทัศน์มากกว่า) ต่อไปวารสารวิชาการของ ว.ส.ท. จะออกเป็นราย 6 เดือน โดยจะรวมทุกสาขาวิชาทางวิศวกรรมศาสตร์เข้าด้วยกัน บทความทุกบทความที่ลงพิมพ์ในวารสารจะได้รับการประเมิน (Review) โดยกรรมการสараณียกรและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้มั่นใจว่าทุกบทความที่ได้รับการลงพิมพ์ใน “วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา” เป็นบทความที่มีคุณภาพและมีคุณค่ายิ่ง

การส่งบทความ เพื่อให้วารสารทางวิชาการมีมาตรฐานไม่ด้อยกว่าวารสารของสมาคมวิชาชีพทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอื่น ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ คณะกรรมการสараณียกรได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อผู้เขียนจะได้ใช้ในการพิจารณาส่งบทความมาลงตีพิมพ์ “วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา” ดังนี้

1. บทความที่จะส่งควรเป็นผลงานการค้นคว้าวิจัยของผู้เขียนเอง และมีคุณค่าทางวิชาการพอสมควร
2. ภาษาที่ใช้อาจเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ชื่อบทความ (title) ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
3. เพื่อให้บทความมีความกะทัดรัดไม่เยิ่นเย้อ และบทความควรมีความยาวไม่เกิน 10 หน้า กระดาษพิมพ์ดีด รวมทั้งรูปและตาราง
4. บทความต้องมีบทคัดย่อยาวไม่เกิน 15 บรรทัดพิมพ์ โดยมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
5. ทุกบทความควรมีบทนำ (Introduction) บทสรุป (Conclusion) และเอกสารอ้างอิง (Reference)
6. เอกสารอ้างอิงถ้ามาจากเอกสารภาษาต่างประเทศ ให้เขียนเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยภาษาอังกฤษ เอกสารอ้างอิงจะต้องประกอบด้วยชื่อผู้เขียน ชื่อบทความ ชื่อเอกสารที่ตีพิมพ์ สถานที่ตีพิมพ์ (ถ้าเป็นหนังสือ) ปีที่พิมพ์ และหน้าของบทความดังกล่าวในเอกสารนั้น
7. ตารางและกราฟ ควรเป็นต้นฉบับที่ชัดเจน รูปถ่ายควรแนบฟิล์มมาด้วย คำบรรยายภาพควรเป็นภาษาอังกฤษ
8. โปรดส่งบทความมายังคณะกรรมการสараณียกรฉบับวิจัยและพัฒนา ณ สำนักงานวิศวกรรมสถาน แห่งประเทศไทยฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กทม. 10330 โทร. 218-6794-9, 251-2504 และ 250-1900
9. บทความทุกบทความจะได้รับการประเมินเพื่อตีพิมพ์โดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาเดียวกัน
10. คณะกรรมการสараณียกร อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงบทความให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจตีพิมพ์บทความหรือไม่ก็ได้
11. ผู้เขียนบทความเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากบทความนั้น ๆ และยินยอมให้วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ร่วมถือลิขสิทธิ์ของบทความนั้นๆ

RESEARCH AND DEVELOPMENT JOURNAL OF THE ENGINEERING INSTITUTE OF THAILAND

Notes for Contributors

1. Paper should be original contribution and substantial technical quality.
2. The main body of the paper can be written either in Thai or English. Regardless of the language of the main body, the title, the summary of the paper and the author name(s) must be submitted both in Thai and English.
3. The manuscript should typed one and a half space on one side of the paper. The total number of pages should normally not exceed 10 pages including figures and tables.
4. The paper should be reasonably divided into sections, which may include Introduction, Conclusions and References. Numbering of Sections should be avoided.
5. References should be quoted in the text sequentially by Arabic numerals and grouped together at the end in numerical order. References should include author(s), title, name of the publication (Journals, Reports, etc.), publisher, place and date of publication, and page numbers.
6. Original tables and figures must be submitted with the manuscript. Description should be English.
7. The manuscript should be submitted to the Chief Editor, Prof. Dr. Prida Wibulswas, The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage, Henry Dunant Road, Bangkok 10330, Thailand, or any of the Associate Editors whose field is close to the nature of the paper.
8. All papers will be evaluated by reviewers before the final decision on publication is made. The editors reserve the right to recommend for revision as a condition for final acceptance.
9. In submitting the manuscript, the author(s) transfer the copyright to TJEIT, but still accepts any legality consequence for having the paper published.