

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนวาเทล เชียงใหม่

ผลกระทบของการใช้ Open-loop Catalytic Converter ในรถยนต์รุ่นเก่า Effect of Using Open-loop Catalytic Converters in Old Model Vehicles

สมชาย จันทรชานา

ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140
โทร 662-4708013, โทรสาร 662-4709111

Somchai Chanchaona

Combustion and Engine Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

Tel : 662-4708013, Fax : 662-4709111, E-Mail : isomaona@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของการติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์กับเครื่องยนต์ ซึ่งไม่ได้ออกแบบมาให้ใช้งานร่วมกับคอนเวอร์เตอร์ ได้ดำเนินการโดยการติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์แบบโลหะ กับเครื่องยนต์แบบหัวฉีดไฟฟ้าและแบบคาร์บูเรเตอร์ และทำการทดสอบที่สภาวะความเร็วรอบและภาระงานคงที่ ผลการทดสอบพบว่าในกรณีเครื่องยนต์หัวฉีดไฟฟ้า ประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเกือบ 100 % ที่สภาวะภาระงานต่ำและปานกลาง ส่วนที่สภาวะภาระงานปานกลางถึงสูง ประสิทธิภาพมีค่า 6-22% และประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรคาร์บอนมีค่า 40% ที่สภาวะภาระงานต่ำถึงปานกลาง ที่สภาวะภาระงานปานกลางถึงสูงประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าต่ำกว่า 15 % การติดตั้งคอนเวอร์เตอร์ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้น 1.3% ในขณะที่เครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ ประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนมีค่าเฉลี่ย 28 % และ 42 % ตามลำดับ ส่วนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.2 %

Abstract

Effect of using catalytic converter with non-catalytic converter vehicle was studied extensively. Tests were conducted using electronic fuel injected engine and carbureted one. Catalytic converter selected had substrate made from metal. Test runs were done at steady state conditions. Results showed that for the EFI engine CO conversion efficiencies reach 100% at low to medium load conditions and they are in a range of 6-22 % at medium to high load conditions. HC conversion efficiencies are approximately 40% at low to medium load and drop below 15% at medium to high load. Detrimental effect on BSFC is about 1.3 %. For the carbureted engine average CO and HC conversion efficiencies are 28% and 42%, respectively. However, increase in BSFC when catalytic converter is installed on the carbureted engine is as high as 12.2 %.

1. บทนำ

การประกาศยกเลิกการจำหน่ายน้ำมันเบนซินที่มีสารตะกั่วแล้วให้หันมาจำหน่ายน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว เป็นแนวทาง

คาร์บอนไดออกไซด์แบบ NDIR เครื่องวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนแบบ FID เครื่องวิเคราะห์ออกไซด์ของไนโตรเจนแบบ Chemiluminescence และเครื่องวิเคราะห์ออกซิเจนแบบ Paramagnetic

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

เครื่องยนต์	Toyota	Toyota
รุ่น / ขนาด	4A-GE / 1600 cc.	4A-F / 1600 cc.
ลักษณะ	16 วาล์ว 4 สูบ	16 วาล์ว 4 สูบ
กระบอกสูบ x ช่วงชัก	81.0mm x 77.0mm	81.0mm x 77.0mm
อัตราส่วนอัด	10.3	9.5
กำลังสูงสุด, kW/rpm	96 / 7000	69 / 6000
แรงบิดสูงสุด Nm/rpm	145 / 6000	127 / 4000
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง	EFI	Carburetor ทั่อกุ่

ตารางที่ 3 รายละเอียดของแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์

แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์	แบบโลหะ
รูปร่าง	ทรงกระบอก
เส้นผ่านศูนย์กลาง	93 มม.
ความยาว	100 มม.
ปริมาตร	0.679 L
ความหนาแน่นเซลล์	200 เซลล์/ตารางนิ้ว
Catalyst Ratio	Pd : Rh = 5 : 1

3. ผลการทดสอบ

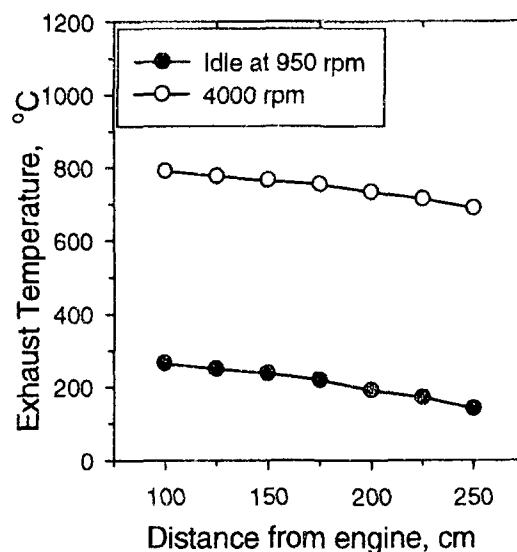
3.1 การกำหนดตำแหน่งการติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์

อุณหภูมิในการทำงานของแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารมลพิษเป็นอย่างมาก โดยอุณหภูมิไอเสียที่ต่ำกว่า 250 °C ทำให้ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ต่ำกว่า 50% และอุณหภูมิที่สูงกว่า 850 °C ทำให้เกิดความเสียหายกับคอนเวอร์เตอร์ได้ [1-4] ดังนั้นในการทดสอบขั้นแรกจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์เสียก่อน

การทดสอบกระทำโดยการบันทึกค่าอุณหภูมิไอเสียที่ระยะ 100-250 ซม. ตามความยาวท่อไอเสีย (วัดระยะจากช่องไอเสียที่ฝาสูบ) โดยใช้เครื่องยนต์แบบคาร์บูเรเตอร์ พบว่าที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที และภาระงานสูงสุด ซึ่งไอเสียควรมีค่าอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิไอเสียอยู่ในช่วง 791-689 °C และที่สภาวะความเร็วรอบเดินเบาไม่มีภาระงาน ซึ่งไอเสียควรมีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด พบว่าอุณหภูมิไอเสียอยู่ใน

ช่วง 265-141 °C ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบแล้ว ได้เลือกตำแหน่งที่ระยะ 175 และ 225 ซม. สำหรับการติดตั้ง แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากเป็นระยะที่มีอุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงที่สุดถึง 750 และ 720 °C โดยเมื่อไอเสียไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์แล้ว อุณหภูมิไอเสียที่ทางออกจากคอนเวอร์เตอร์อาจเพิ่มขึ้นถึง 850 และ 820 °C ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับคอนเวอร์เตอร์ อย่างไรก็ตามทั้งสองตำแหน่งนี้ อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะรอบเดินเบามีค่า 220 และ 170 °C และอาจทำให้ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์มีค่าต่ำกว่า 50 % ได้

ผลการทดสอบที่แสดงในบทความนี้ เป็นผลจากการติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ที่ระยะ 175 และ 225 ซม.



รูปที่ 2 อุณหภูมิไอเสียที่รอบเดินเบาและที่ 3000 rpm

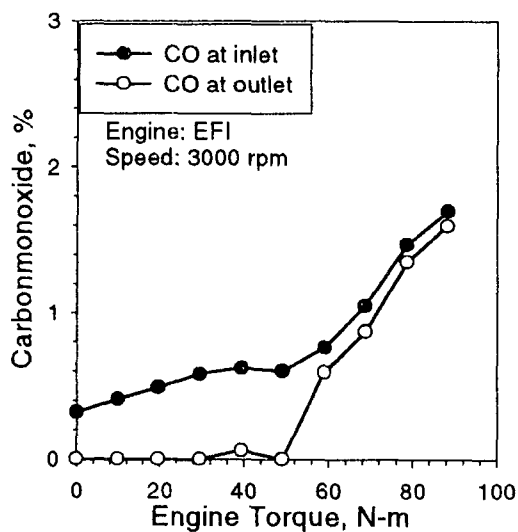
3.2 ผลการทดสอบแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์กับเครื่องยนต์หัวฉีดไฟฟ้า

ผลการทดสอบแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ ที่รอบเดินเบา 950 รอบต่อนาที โดยไม่มีภาระงาน และติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ที่ระยะ 225 ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าประมาณ 12% และไฮโดรคาร์บอนมีค่าประมาณ 4% เนื่องจากอุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำมากประมาณ 160 °C

ผลการทดสอบในขณะที่เครื่องยนต์มีภาระงานได้กระทำที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที โดยที่ความเร็วนี้ ได้ปรับเปลี่ยนภาระงานตั้งแต่มีภาระงานต่ำสุดจนกระทั่งภาระงานสูงสุด ผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3-7

รูปที่ 3 แสดงความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ไหลเข้าและออกจากแคลทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ ที่ทางเข้าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.3 – 1.7 % ส่วนที่ทางออกอยู่ในช่วง 0 – 1.6 % สามารถสังเกตได้ว่าที่สภาวะภาระงานน้อยและปานกลาง ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทางออกมีค่าน้อยจนเกือบวัดไม่ได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าเกือบ 100 % และในช่วงภาระงานปานกลางจนถึงสูงความสามารถในการบำบัดมีค่าต่ำมาก (ประสิทธิภาพต่ำกว่า 22% ดังรูปที่ 5) อันนี้มิใช่สาเหตุมาจากที่สภาวะภาระงานสูงๆ เครื่องยนต์ทำงานที่ส่วนผสมเข้มข้น ปริมาณออกซิเจนในไอเสียมีน้อย ประสิทธิภาพการบำบัดจึงต่ำลงมาก

ในทำนองเดียวกัน ดังรูปที่ 4 แสดงความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนที่ทางเข้าและออกจากคอนเวอร์เตอร์ โดยที่ทางเข้าความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนอยู่ในช่วง 740 – 1300 ppm และที่ทางออกอยู่ในช่วง 420 – 1285 ppm ที่สภาวะภาระงานต่ำและปานกลาง ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าประมาณ 40 % แต่ที่สภาวะภาระงานปานกลางถึงสูง ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าต่ำกว่า 15 % ในรูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนที่สภาวะภาระงานจากน้อยไปมาก ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที

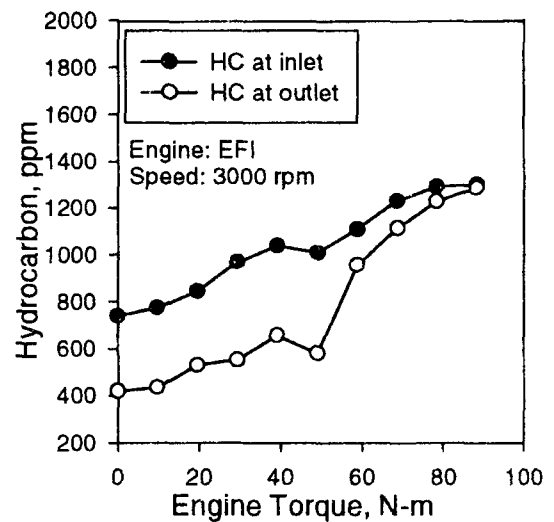


รูปที่ 3 คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทางเข้าและทางออก

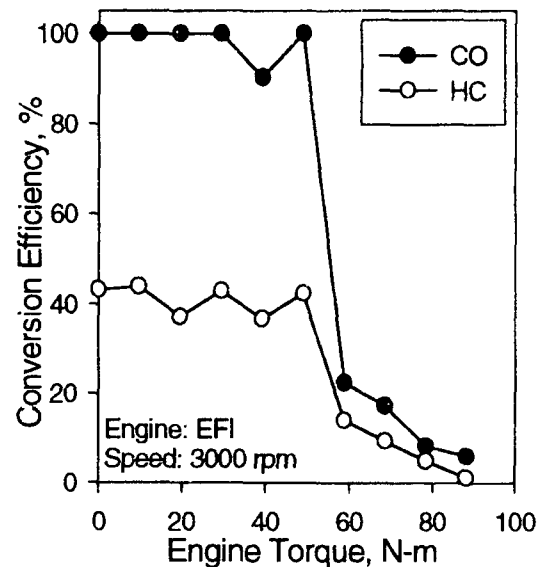
รูปที่ 6 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียที่ทางเข้าและทางออกจากคอนเวอร์เตอร์ พบว่าอุณหภูมิไอเสียที่ทางเข้ามีค่าระหว่าง 370 – 635 °C และที่ทางออกอยู่ระหว่าง 380 – 635 °C โดย

อุณหภูมิที่ทางออกส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าที่ทางเข้า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในแคลทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีค่า 0 - 40 °C

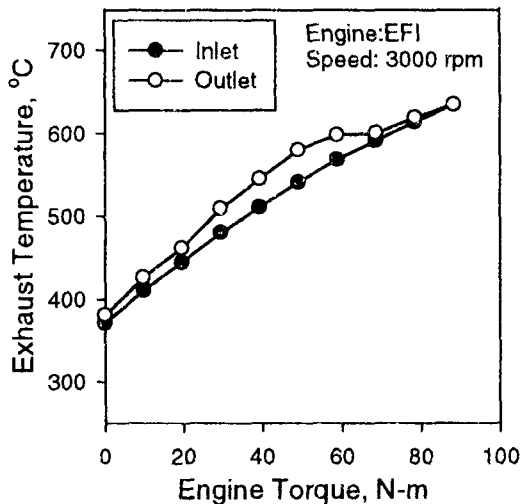
รูปที่ 7 เปรียบเทียบอัตราการความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง และติดตั้งแคลทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ พบว่าในช่วงสภาวะที่ใช้ทดสอบ ค่า BSFC อยู่ระหว่าง 750 - 280 g/(kWh) โดยการติดตั้งแคลทาลิติกคอนเวอร์เตอร์มีผลกระทบต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยมาก โดยเฉลี่ยค่า BSFC เพิ่มขึ้น 1.30 %



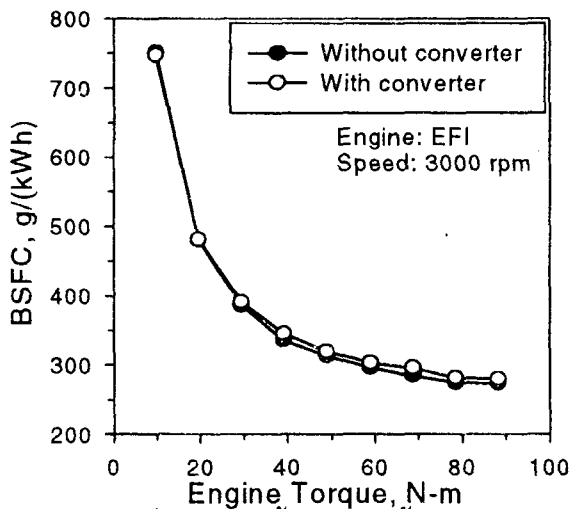
รูปที่ 4 ไฮโดรคาร์บอนที่ทางเข้าและทางออก



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพในการบำบัดสารมลพิษ



รูปที่ 6 อุณหภูมิไอเสียที่ทางเข้าและทางออก



รูปที่ 7 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

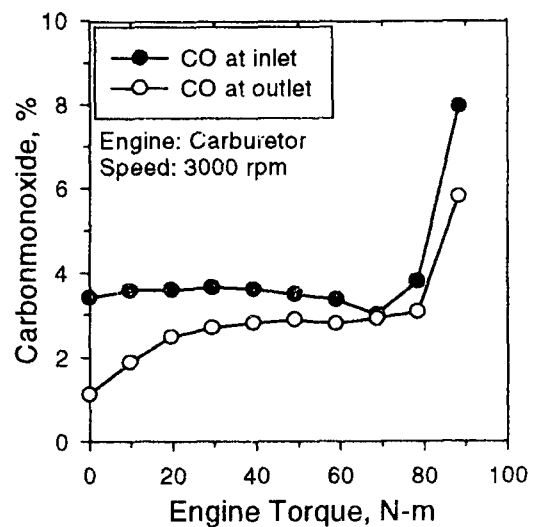
3.3 ผลการทดสอบแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์กับเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์

ในกรณีเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ ได้ติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ที่ระยะ 175 ซม. และทำการทดสอบที่รอบ 3000 รอบต่อนาที ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 8-12

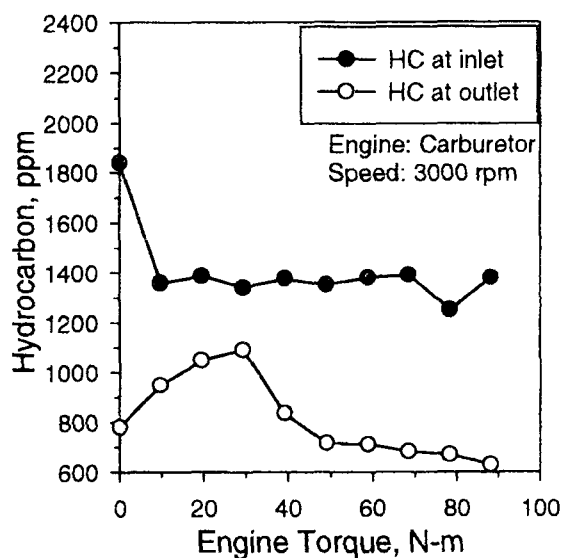
รูปที่ 8 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทางเข้าและทางออกจากคอนเวอร์เตอร์ พบว่าที่ทางเข้าคาร์บอนมอนอกไซด์ อยู่ในระดับ 3.0-4.0 % (ยกเว้นที่สภาวะภาระงานสูงสุด) ส่วนที่ทางออก อยู่ในระดับ 1.0-3.0 % และจากรูปที่ 10 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าประมาณ 17.0-67.0 % เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์หัว

ฉีดไฟฟ้า เห็นได้ว่าคาร์บอนมอนอกไซด์จากเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์มีระดับสูงกว่ามาก

รูปที่ 9 แสดงปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ทางเข้าและทางออกจากคอนเวอร์เตอร์ พบว่าที่ทางเข้ามีค่าประมาณ 1250-1840 ppm ส่วนที่ทางออกมีค่าประมาณ 630-1090 ppm เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์หัวฉีดไฟฟ้า พบว่าไฮโดรคาร์บอนจากเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์มีค่าสูงกว่าโดยตลอดช่วงการทำงาน ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดสารไฮโดรคาร์บอนพบว่ามีค่าประมาณ 19.0-57.0% ดังแสดงในรูปที่ 10



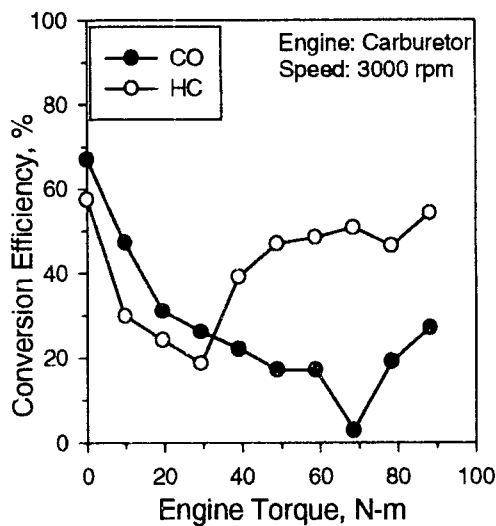
รูปที่ 8 คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทางเข้าและทางออก



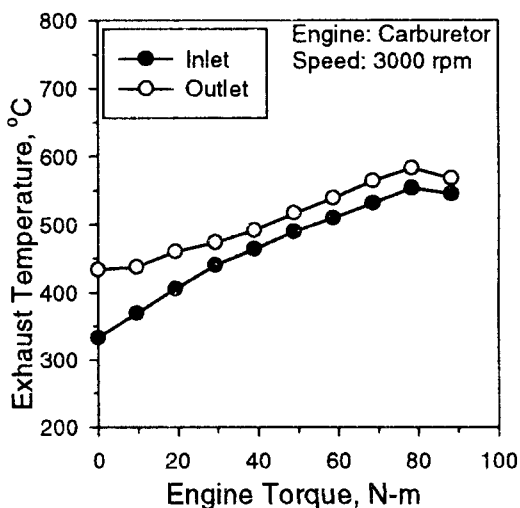
รูปที่ 9 ไฮโดรคาร์บอนที่ทางเข้าและทางออก

รูปที่ 11 แสดงอุณหภูมิไอเสียที่ทางเข้าและทางออกจากคอนเวเตอร์ พบว่าที่อุณหภูมิที่ทางเข้ามีค่าอยู่ในช่วง 330-550 °C และที่ทางออกมีค่า 430-585 °C และอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออกมีค่าเพิ่มขึ้น 25-100 °C

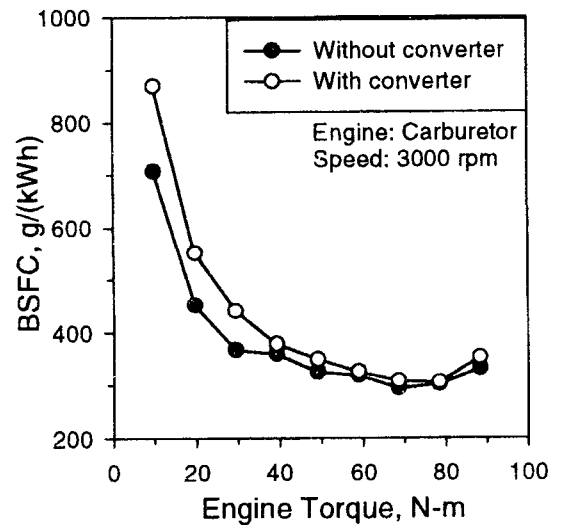
รูปที่ 12 แสดงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในกรณีที่ไม่มีและมีการติดตั้งคอนเวเตอร์ พบว่าสำหรับเครื่องยนต์แบบคาร์บิวเรเตอร์ เมื่อติดตั้งคอนเวเตอร์เข้าไปแล้วทำให้เกิดผลกระทบต่อการใช้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าในกรณีที่เครื่องยนต์หัวฉีดไฟฟ้า โดยค่า BSFC ของเครื่องยนต์คาร์บิวเรเตอร์ มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 12.2 %



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพในการบำบัดสารมลพิษ



รูปที่ 11 อุณหภูมิไอเสียที่ทางเข้าและทางออก



รูปที่ 12 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

4. สรุป

การศึกษานำแคทาลิติกคอนเวเตอร์ มาใช้กับเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ออกแบบจากโรงงานมาสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์แบบนี้ ได้ดำเนินการโดยการทดสอบเครื่องยนต์ทั้งแบบหัวฉีดไฟฟ้า และแบบคาร์บิวเรเตอร์ กับแคทาลิติกคอนเวเตอร์แบบที่โครงสร้างทำมาจากโลหะ โดยทำการทดสอบที่รอบเดินเบาและที่ 3000 รอบต่อนาที

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า เมื่อติดตั้งกับเครื่องยนต์แบบหัวฉีดไฟฟ้าที่ระยะ 225 ซม. สามารถช่วยบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ที่รอบเดินเบาได้ 12% และ 4% ตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าเกือบ 100 % ที่สภาวะภาระงานต่ำและปานกลาง ส่วนที่สภาวะภาระงานปานกลางถึงสูง ประสิทธิภาพมีค่า 6-22% เท่านั้น และประสิทธิภาพในการบำบัดไฮโดรคาร์บอนมีค่า 40% ที่สภาวะภาระงานต่ำถึงปานกลาง แต่ที่สภาวะภาระงานปานกลางถึงสูงประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าต่ำกว่า 15 % การติดตั้งคอนเวเตอร์ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพียง 1.3 % เท่านั้นสำหรับ เครื่องยนต์แบบหัวฉีดไฟฟ้า

ส่วนผลการทดสอบเครื่องยนต์คาร์บิวเรเตอร์ เมื่อได้ติดตั้งคอนเวเตอร์ที่ระยะ 175 ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนมีค่าประมาณ 17.0-67.0 % และ 19.0-57.0% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมีข้อที่น่าสังเกตเกี่ยวกับการติดตั้งคอนเวเตอร์กับเครื่องยนต์

แบบคาร์บิวเรเตอร์ กล่าวคือทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 12.2 %

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินกับโครงการวิจัยนี้ บริษัท เดกussa แคททาลิสท์ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่สนับสนุนตัวอย่างแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์สำหรับการทดสอบ พร้อมทั้งข้อมูลอันเป็นประโยชน์ บริษัท โตโยต้ามอเตอร์ประเทศไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลด้านเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ สุดท้ายขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยและนักศึกษา ในห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ มจร ที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Heywood, J.B., 1988, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, New York, pp. 648-667.
- [2] Heck, R.M. and Ferrauto, R.J., 1995, Catalytic Air Pollution Control, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 63-70.
- [3] Mondt, J.R., 1989, An Historical Overview of Emission-Control Techniques for Spark-Ignition Engines: Part B – Using Catalytic Converters, ASME ICE-Vol. 8, pp. 57-63.
- [4] Degobert, P., 1995, Automobiles and Pollution, Society of Automotive Engineers, Pennsylvania, pp. 357-446.