

การทดสอบเปรียบเทียบระบบดูดก๊าซและระบบหัวฉีดก๊าซ ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ดัดแปลงเพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติ

A Comparative Experiment of Performance between Fumigation System and Injection System in a Natural Gas Dedicated Diesel Engine

เชษฐวุฒิ ภูมิพัฒน์พงศ์¹ และ ดิเรก ชูวิเชียร¹

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์ดีเซลที่ผ่านการใช้งานแล้วระยะเวลาหนึ่งเป็นสาเหตุหลักในการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีปัจจุบันได้นำเครื่องยนต์เหล่านี้มาดัดแปลงเพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นพลังงานสะอาด โดยการติดตั้งระบบก๊าซธรรมชาติซึ่งมีด้วยกันหลากหลายระบบ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ดัดแปลงเพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติที่ติดตั้งด้วยระบบดูดก๊าซแบบวงจรปิดกับการติดตั้งด้วยระบบหัวฉีดแบบแยกสูบ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ติดตั้งด้วยระบบหัวฉีดแบบแยกสูบมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตร กำลังและแรงบิดสูงกว่าระบบดูดก๊าซประมาณ 5 - 10% ในขณะเดียวกันก็ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณที่ต่ำกว่าระบบดูดก๊าซประมาณ 50% ข้อเสียเพียงประการเดียวที่พบในระบบหัวฉีดคือมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียที่สูงกว่าระบบดูดก๊าซมาก

คำสำคัญ : เครื่องยนต์ดีเซล, ก๊าซธรรมชาติ, ระบบดูดก๊าซ, ระบบหัวฉีดก๊าซ

Abstract

Old diesel engine is one of the main causes of air pollution. Current technology brings these diesel engines to operate with natural gas, a clean alternative fuel. This investigation intended to compare the results between a close-loop fumigation system and a multipoint injection system in a natural gas dedicated diesel engine. This research found that the multipoint injection system illustrated outstanding benefits over the fumigation system in terms of output power, torque and volumetric efficiency around 5 – 10%. At the same moment, the multipoint injection system emitted around 50% less carbon monoxide. The only defect found from the injection system was the totally high oxides of nitrogen emission.

Keywords : Diesel engine, Natural gas, Fumigation system, Injection system

¹ อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

ปริมาณยานยนต์เพิ่มขึ้นในทุกประเทศทั่วโลกส่งผลกระทบต่อปัญหาสถานะแวดล้อมและปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงทำให้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยั้งที่คงแสวงหาและวิจัยเชื้อเพลิงทางเลือกสะอาดชนิดใหม่มาประยุกต์ใช้กับยานยนต์ ปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เป็นสาเหตุหลักประการต้นๆ ในการสร้างมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่ด้วยข้อดีของเครื่องยนต์ชนิดนี้คือการมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีนทั่วไป จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์ชนิดนี้ในเรื่องพลังงานสะอาดและเทคโนโลยีการเผาไหม้แบบใหม่

เครื่องยนต์ดีเซลถูกใช้กันหลากหลายรูปแบบตั้งแต่รถยนต์โดยสารขนาดเล็กทั่วไปจนถึงรถบรรทุกขนาดใหญ่ เนื่องจากความทนทานและประสิทธิภาพที่สูง ตลอดจนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ต่ำ แต่เครื่องยนต์ดีเซลที่ผ่านการใช้งานมาช่วงอายุประมาณ 5 ปี หรือมีระยะทาง 100,000 กิโลเมตร จะเริ่มสร้างปัญหามลพิษออกสู่สังคม [1] เพื่อเป็นการลดมลพิษที่ออกมาทางไอเสียของเครื่องยนต์เหล่านี้ การดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเก่าให้มาใช้กับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจึงเป็นทางออกที่ดีทางหนึ่งในการลดมลพิษ โดยมีผลพลอยได้คือการได้ใช้เชื้อเพลิงราคาถูกที่ผลิตได้ภายในประเทศไทย

เทคโนโลยีการติดตั้งก๊าซธรรมชาติได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่การติดตั้งด้วยระบบดูดก๊าซแบบวงจรเปิด (Open-Loop Fumigation System) ระบบดูดก๊าซแบบวงจรปิด (Close-Loop Fumigation System) ระบบหัวฉีดตำแหน่งเดียว (Single Point Injection System) ระบบหัวฉีดแบบแยกสูบ (Multi Point Injection System) และระบบอื่นๆ ที่อยู่ระหว่างการพัฒนาอีกมากมาย ระบบการติดตั้งเหล่านี้มีราคาการติดตั้งที่แตกต่างกันอยู่มากเป็นเท่าตัว ซึ่งต้องส่งผลถึงข้อแตกต่างกันในด้านประสิทธิภาพ สมรรถนะและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอย่างแน่นอน [2]

ระบบดูดก๊าซ (Fumigation) เป็นระบบการติดตั้งที่ง่ายที่สุด ราคาถูกที่สุด ประสิทธิภาพต่ำที่สุด แต่นำมาสู่สิ่งที่สูงที่สุดคือ

ความสิ้นเปลืองและมลพิษ ระบบดูดก๊าซยังแบ่งออกเป็นระบบดูดก๊าซแบบวงจรแบบเปิด (Open-loop system) และวงจรแบบปิด (Close-loop system)

ระบบดูดก๊าซแบบวงจรแบบเปิดคือ การป้อนเชื้อเพลิงเข้าไปผสมกับไอดีบริเวณท่อร่วมไอดี โดยอาศัยแรงดูดจากเครื่องยนต์ ปริมาณก๊าซที่จ่ายเข้าสู่ระบบขึ้นอยู่กับปรังตั้งสกรูต่างๆ ของอุปกรณ์ ระบบไม่สามารถทราบได้ว่าขณะนั้นปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ระบบมากหรือน้อยเกินไป ในบางสภาวะรถยนต์อาจใช้งานได้ดีมาก และรถยนต์อาจวิ่งไม่ดีเลยเมื่อสภาวะเปลี่ยนไป

การควบคุมของระบบที่มีการรับส่งข้อมูลกันจึงเกิดขึ้นและเรียกว่าวงจรแบบปิด ระบบนี้มีเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับไอเสียและส่งสัญญาณสู่กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะทำการประมวลผลและทราบได้ว่าที่สภาวะนั้นๆ ปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ระบบมากหรือน้อยเกินไป หากมากเกินไป กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์นี้จะทำการสั่งให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงลง ดังนั้น ระบบนี้จึงสามารถลดมลพิษและความสิ้นเปลืองลงได้บ้าง อย่างไรก็ตามระบบดูดก๊าซแบบวงจรปิดนี้ก็ยังเป็นระบบที่จัดอยู่ในกลุ่มของระบบที่คุณภาพต่ำอยู่

ระบบหัวฉีดตำแหน่งเดียวเป็นระบบที่อาจทำการฉีดเชื้อเพลิงด้วยหัวฉีดเพียงอันเดียวหรือหลายอันก็ได้ แต่เป็นระบบหัวฉีดที่ทำการฉีดเชื้อเพลิงออกมาผสมกับอากาศก่อนเข้าลิ้นปีกผีเสื้อ ซึ่งต่างจากระบบหัวฉีดแบบแยกสูบที่ทำการฉีดเชื้อเพลิงในตำแหน่งที่ใกล้กับลูกสูบมากขึ้น

ระบบหัวฉีดตำแหน่งเดียวเป็นวงจรแบบปิด การควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงจะทำได้แม่นยำ และว่องไวกว่าระบบดูดมาก ความประหยัด ประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่ราคาย่อมเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน ระบบหัวฉีดตำแหน่งเดียวยังคงมีข้อเสียบางประการคือ เมื่อเชื้อเพลิงและอากาศเกิดการผสมกันและเดินทางเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งห้องเผาไหม้ของแต่ละสูบจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันเนื่องจากระยะทางที่ส่วนผสมเดินทางไม่เท่ากัน อุณหภูมิส่วนผสมอาจไม่เท่ากัน ความเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนผสมก็ต่างกันในแต่ละสูบ สูบใดที่อุณหภูมิสูงอากาศจะขยายตัวทำให้สูบนั้นมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรต่ำลง ข้อเสียเหล่านี้จึงนำมาสู่การพัฒนาเป็นระบบหัวฉีดแบบแยกสูบ

หัวฉีดแบบแยกสูบเป็นการติดตั้งหัวฉีดแบบแยกตามตำแหน่งลูกสูบ หัวฉีดทำการฉีดก๊าซให้ผสมกับอากาศในตำแหน่งที่ใกล้กับลูกสูบมากขึ้น เชื้อเพลิงก๊าซจะแย่งพื้นที่อากาศได้น้อยลง อากาศจึงถูกดูดเข้าไปในห้องเผาไหม้ได้มากกว่าระบบหัวฉีดตำแหน่งเดียว ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจึงสูงกว่า กำลังและแรงบิดเพิ่มขึ้น อีกทั้งการฉีดเชื้อเพลิงแบบแยกสูบสามารถลดข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบหัวฉีดตำแหน่งเดียวได้ [3]

ในปัจจุบันระบบฉีดก๊าซกำลังพัฒนาให้เข้าใกล้ลูกสูบเพิ่มมากขึ้นจนเป็นระบบ Direct Injection ซึ่งยังไม่ประสบความสำเร็จ แต่ระบบที่ประสบความสำเร็จแล้วคือ การฉีดเชื้อเพลิง LPG เหลว ซึ่งเรียกว่า LPLI หรือ LPI (Liquid Phase Liquefied Petroleum Gas Injection) โดยการพัฒนาของบริษัท EROOM ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี [4] ระบบนี้ทำการฉีดเชื้อเพลิงของเหลว ดังนั้น ปริมาตรของเชื้อเพลิงจึงต่ำ อากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้เต็มที่ประกอบกับการที่เชื้อเพลิงต้องดูดความร้อนเพื่อระเหยเป็นก๊าซ อุณหภูมิไอเสียจึงลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นหรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงปริมาตรให้สูงขึ้นอีกทางหนึ่งนั่นเอง

งานวิจัยของ R.D. Fleming และ G.B.O Neal ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ พบว่าระบบการจ่ายเชื้อเพลิงด้วยอิเล็กทรอนิกส์จะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงมาก กล่าวคือระบบการจ่ายเชื้อเพลิงด้วยหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้กับท่อร่วมไอดีหลากหลายรูปแบบ และสามารถเพิ่มอัตราการใช้ของอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ อีกประการหนึ่งก็คือเครื่องยนต์จะสามารถเลือกใช้อัตราส่วนกำลังอัดที่สูงขึ้นได้ เพราะระบบอิเล็กทรอนิกส์มีการประมวลผลและควบคุมปริมาณการฉีดน้ำมันได้อย่างละเอียด กำลังของเครื่องยนต์ย่อมสูงขึ้นอย่างแน่นอน [5]

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบ Direct Injection กับระบบหัวฉีดธรรมดาในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดย Antoni J. และคณะ ได้ข้อสรุปว่าระบบ Gasoline Direct Injection สามารถลดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้ประมาณ 30% และระบบนี้สามารถใช้อัตราส่วนการ

อัดได้สูงกว่าระบบอื่นๆ ได้ประกอบกับยังสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีออกเทนต่ำลงได้ด้วย สมรรถนะในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง (Transient Response) รวมไปถึงมลภาวะจากไอเสียอยู่ในระดับที่ดีกว่าระบบหัวฉีดแบบธรรมดา [6]

2. การทดสอบเครื่องยนต์

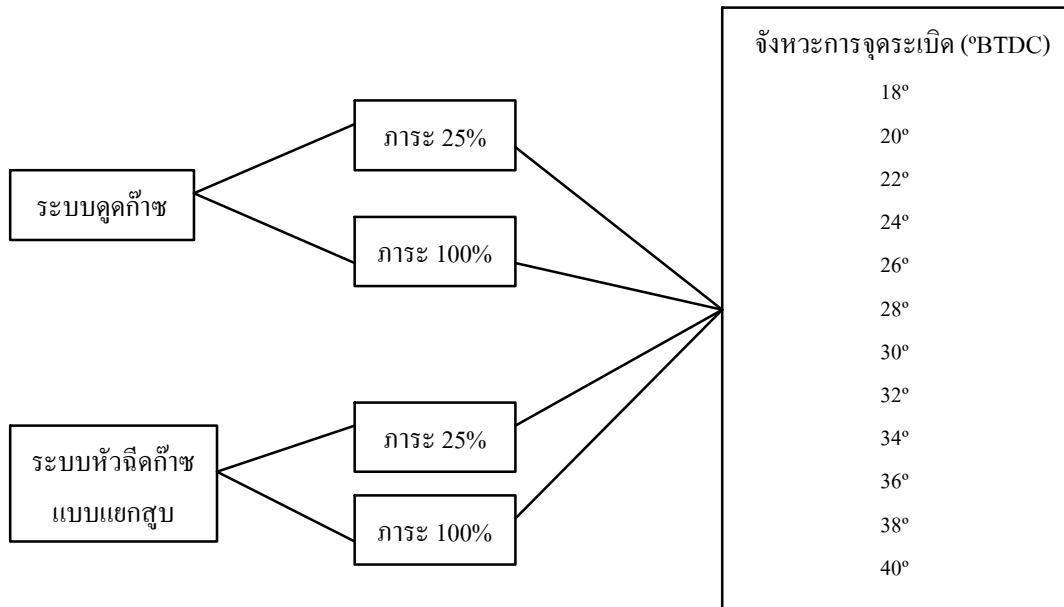
การทดลองนี้เป็นการทดสอบเครื่องยนต์บนเครื่องทดสอบกำลัง (Dynamometer) เพื่อเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างการจ่ายก๊าซด้วยระบบดูดแบบวงจรปิดและระบบหัวฉีดแบบแยกสูบในด้านประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency) กำลัง (Brake Power) แรงบิด (Torque) และมลพิษ โดยใช้เครื่องยนต์ Daedong รุ่น 4A220A-S1 ซึ่งมีข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1 มอลคอัตราส่วนกำลังอัดจาก 22:1 ให้เป็น 9:1 เพื่อใช้กับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก๊าซธรรมชาติในงานวิจัยนี้มีค่าออกเทน 121.9 และมีส่วนประกอบหลักเป็น CH_4 90.09%, C_2H_6 6.04% และ C_3H_8 2.54%

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

Item	Natural Gas Diesel Engine (dedicated engine)
Type	4-cylinder, 4-stroke engine
Displacement	2,197 cc.
Bore (mm.)	87
Stroke (mm.)	92.4
Compression Ratio	9.0

ความเร็วรอบเครื่องยนต์สำหรับการทดลองนี้คือ 1,800 rpm โดยทำการทดลองที่ภาระ 100% (Full Throttle) เพื่อจำลองการทำงานของรถบรรทุกขนาดใหญ่ และที่ภาระ 25% เพื่อจำลองการทำงานของรถโดยสารขนาดเล็กทั่วไป

การทดสอบเริ่มจากการติดตั้งระบบดูดก๊าซเข้ากับเครื่องยนต์ เริ่มทำการเก็บข้อมูลเมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเป็น 80°C เครื่องทดสอบกำลังเครื่องยนต์จะควบคุมให้ความเร็วรอบคงที่ 1,800 rpm ที่ภาระ 25% จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนจังหวะการจุดระเบิดในช่วง 18° ถึง 44° ก่อนศูนย์ตายบน (BTDC) ข้อมูลด้านกำลัง แรงบิด อัตราการใช้ของอากาศ และมลพิษ

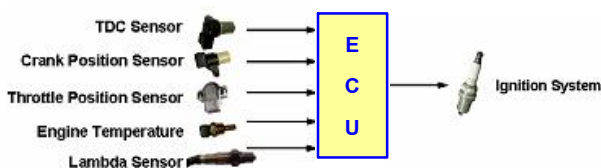


รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องยนต์

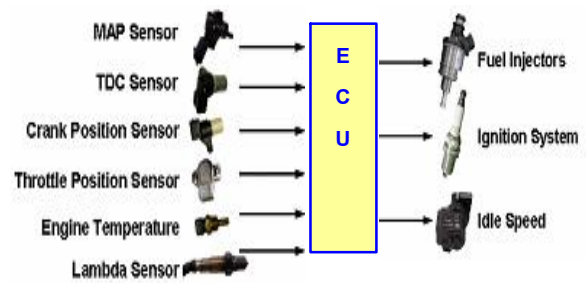
ไอเสียถูกเก็บบันทึก หลังจากทำการทดสอบครบทุกจังหวะการจุดระเบิด เครื่องยนต์จะถูกเร่งจนมีภาระ 100% และทำการเก็บข้อมูลในทุกๆ จังหวะการจุดระเบิดอีกครั้งหนึ่ง

เมื่อทำการทดสอบและเก็บข้อมูลของระบบฉีดก๊าซเป็นที่เรียบร้อย อุปกรณ์การจ่ายก๊าซจะถูกเปลี่ยนเป็นระบบหัวฉีดแบบแยกสูบและทดสอบด้วยขั้นตอนเช่นเดียวกันกับระบบฉีดก๊าซดังแสดงในรูปที่ 1

ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องยนต์ทดสอบได้ถูกติดตั้งเซ็นเซอร์หลายชนิดดังแสดงในรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 รวมไปถึงแกมดาเซ็นเซอร์ซึ่งตรวจวัดอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศ ดังนั้นในทุกสภาวะการทดสอบจึงมีการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงให้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเป็นไปตามทฤษฎี (Equivalent Air-Fuel Ratio =1)



รูปที่ 2 เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องยนต์ระบบฉีดก๊าซ



รูปที่ 3 เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดก๊าซ

3. ผลการทดสอบ

ข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมดจะถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตร กำลัง แรงบิด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) กับจังหวะการจุดระเบิดที่เปลี่ยนไป กราฟแต่ละรูปประกอบไปด้วยเส้นกราฟทั้งหมด 4 เส้น ดังนี้

เส้นที่ 1 Injector 25% หมายถึง ผลการทดสอบโดยใช้ระบบหัวฉีดก๊าซแบบแยกสูบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 rpm และภาระของเครื่องยนต์ 25%

เส้นที่ 2 Injector 100% หมายถึง ผลการทดสอบโดยใช้ระบบหัวฉีดก๊าซแบบแยกสูบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 rpm และภาระของเครื่องยนต์ 100%

เส้นที่ 3 Mixer 25% หมายถึง ผลการทดสอบโดยใช้ระบบดูดก๊าซที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 rpm และภาระของเครื่องยนต์ 25%

เส้นที่ 4 Mixer 100% หมายถึง ผลการทดสอบโดยใช้ระบบดูดก๊าซที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 rpm และภาระของเครื่องยนต์ 100%

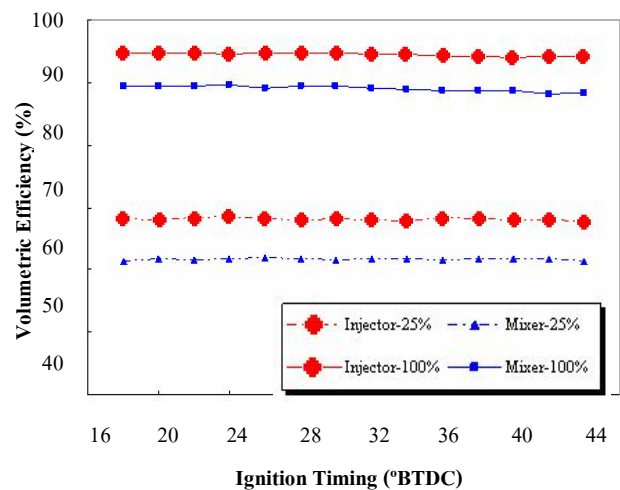
รูปที่ 4 แสดงอย่างชัดเจนว่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรไม่ขึ้นกับจังหวะการจุดระเบิด แต่ระบบการจ่ายเชื้อเพลิงมีผลต่อประสิทธิภาพนี้เป็นอย่างมาก

ระบบหัวฉีดก๊าซแบบแยกสูบทำการฉีดก๊าซเพื่อผสมกับอากาศหลังจากอากาศได้ผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ (Throttle Valve) ไปเรียบร้อยแล้ว ก๊าซเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปจึงไม่ไปแย่งพื้นที่ของอากาศ ในทางกลับกันระบบดูดก๊าซทำการดูดส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิงผ่านลิ้นปีกผีเสื้อเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ดังนั้น ปริมาตรส่วนหนึ่งจึงถูกแทนที่ด้วยก๊าซเชื้อเพลิงและทำให้อากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ภาระต่ำ ลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเพียงเล็กน้อย อากาศไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้น้อย ทำให้เกิดสูญเสียอากาศหลังลิ้นปีกผีเสื้อมาก ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจึงต่ำ ประกอบกับการมีเชื้อเพลิงปริมาณหนึ่งเข้าแทนที่อากาศจึงทำให้เครื่องยนต์ระบบดูดก๊าซมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดต่ำกว่าเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดแบบแยกสูบถึงประมาณ 7%

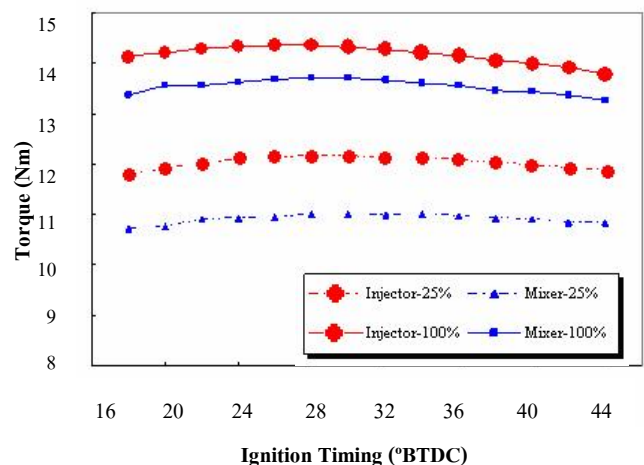
ในขณะที่ภาระสูง ลิ้นปีกผีเสื้อเปิดกว้าง ความแตกต่างระหว่างความดันที่ก่อนและหลังลิ้นปีกผีเสื้อน้อยลง ลักษณะการไหลของส่วนผสมจึงค่อนข้างคงตัวมากกว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างระบบทั้งสองจึงอยู่ที่ประมาณ 5%

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรส่งผลกระทบต่อแรงบิดของเครื่องยนต์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เครื่องยนต์ที่ดูดมวลอากาศเข้ามาได้มากกว่าย่อมมีกำลังอัดประสิทธิภาพ (Effective Compression Ratio) สูงกว่าจึงส่งผลให้มีความดันและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่สูง แรงบิดจากเครื่องยนต์จึงสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5



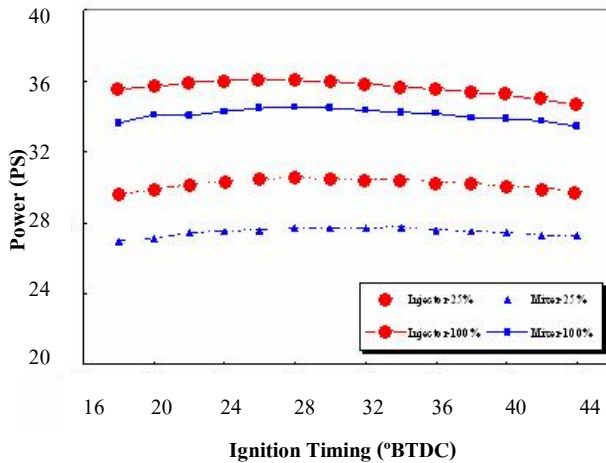
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของระบบดูดและหัวฉีดก๊าซ

การทำงานของเครื่องยนต์ที่ภาระ 100% จังหวะการจุดระเบิดที่ทำให้เกิดแรงบิดสูงสุด (Maximum Brake Torque Ignition Timing) คือ 26 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ณ ตำแหน่งนี้ระบบหัวฉีดก๊าซแบบแยกสูบสามารถสร้างแรงบิดได้สูงกว่าระบบดูดถึง 5.6% เมื่อภาระของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 25% จังหวะการจุดระเบิดที่ดีที่สุดคือ 28 หรือ 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ระบบหัวฉีดก๊าซแบบแยกสูบสามารถสร้างแรงบิดสูงกว่าระบบดูดได้ถึง 10%



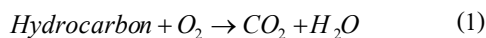
รูปที่ 5 แรงบิดของเครื่องยนต์ระบบดูดและหัวฉีดก๊าซ

การนำความเร็วรอบมาคูณกับแรงบิดก็จะได้กำลัง แต่เนื่องจากความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบนั้นคงที่ที่ 1,800 rpm ผลที่แสดงออกมาในรูปที่ 6 จึงให้แนวโน้มเช่นเดียวกันคือ เครื่องยนต์ที่ติดตั้งระบบหัวฉีดแบบแยกสูบมีกำลังสูงกว่าระบบฉีดประมาณ 10% และ 5.6% เมื่อทำงานที่ภาระ 25% และ 100% ตามลำดับ

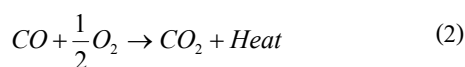


รูปที่ 6 กำลังของเครื่องยนต์ระบบฉีดและหัวฉีดก๊าซ

การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ที่สภาวะอุดมคติย่อมได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำดังสมการที่ (1)



ในทางปฏิบัติแล้วเป็นไปได้ไหมที่ผลลัพธ์ของการเผาไหม้จะมีเพียงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ แต่หากต้องมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกซิเจน (O_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกมาด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์จึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจเป็นเพราะการไม่มีออกซิเจนเพียงพอให้เกิดการสันดาป ดังสมการที่ (2) [7]

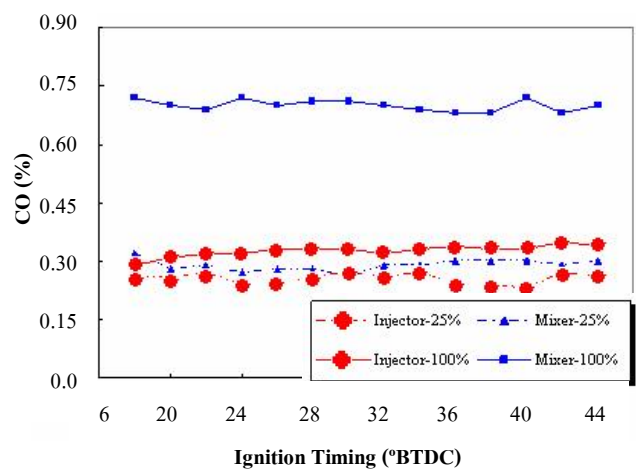


แต่การทดสอบนี้ได้ทำการควบคุมอัตราส่วนผสมให้เป็นไปตามทฤษฎี ปริมาณออกซิเจนนั้นเพียงพอต่อการสันดาปอย่าง

แน่นอน ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากเครื่องยนต์ระบบฉีดและระบบหัวฉีดจึงมิได้เกิดจากจากปัจจัยด้านส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิง แต่อาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ระยะเวลาการเผาไหม้นั้นสั้นเกินไปจึงทำให้การเผาไหม้ในสมการที่ (2) เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ หรืออุณหภูมิและความดันภายในห้องเผาไหม้แตกต่างกัน ซึ่งต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดนั้นน้อยกว่าระบบฉีดซึ่งอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดสูงกว่าเพราะการที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีน้อยลง แสดงว่าเกิดกระบวนการเผาไหม้ในสมการที่ (2) มากขึ้นและทำให้ได้มาซึ่งความร้อนอีกปริมาณหนึ่ง

หากเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระต่ำ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียระหว่างระบบทั้งสองนั้นแตกต่างกันเพียงไม่เกิน 10% แต่เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระสูงขึ้น ความแตกต่างนี้ชัดเจนเป็นอย่างมาก การติดตั้งก๊าซระบบหัวฉีดแบบแยกสูบลดปริมาณมลพิษประเภทก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้น้อยกว่าระบบฉีดได้ถึง 50% ดังแสดงในรูปที่ 7



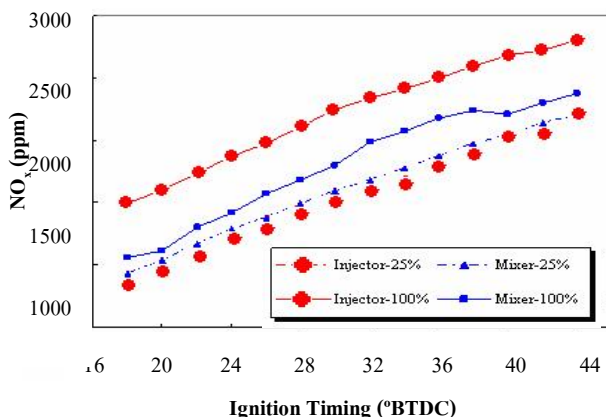
รูปที่ 7 ปริมาณ CO จากเครื่องยนต์ระบบฉีดและหัวฉีดก๊าซ

ผลการทดสอบ (ดังแสดงในรูปที่ 4) ได้แสดงแล้วว่ามวลอากาศถูกบรรจุเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดนั้นมากกว่าระบบฉีด ดังนั้น เมื่อเครื่องยนต์เข้าสู่จังหวะอัดและกำลัง ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดย่อมต้องมีความ

คันและอุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า เป็นเหตุให้เครื่องยนต์ระบบหัวฉีดสร้างมลพิษประเภทออกไซด์ของไนโตรเจนมากกว่าเครื่องยนต์ระบบคูด [8]

กราฟแสดงการเปรียบเทียบออกไซด์ของไนโตรเจนถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 8 ที่ภาระเครื่องยนต์ 25% มวลอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ก่อนข้างน้อยไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบหัวฉีดหรือระบบคูด เมื่อเครื่องยนต์ทำงานในจังหวะการอัดและกำลัง อุณหภูมิและความดันภายในกระบอกสูบจึงใกล้เคียงกัน ผลการทดสอบจึงแสดงเส้นกราฟเกือบจะทับเป็นเส้นเดียวกัน

ในกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานด้วยภาระ 100% อากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้เต็มที่ แม้ว่ามวลอากาศที่เข้าสู่ระบบทั้งสองจะแตกต่างกันเพียง 7% แต่เมื่อเข้าสู่จังหวะการอัดแล้ว ความแตกต่างเพียง 7% นี้จะส่งผลถึงอุณหภูมิและความดันสูงสุดของห้องเผาไหม้ ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจากเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดจึงสูงมาก



รูปที่ 8 ปริมาณ NO_x จากเครื่องยนต์ระบบคูดและหัวฉีดก๊าซ

4. สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบนี้ได้แสดงสมรรถนะและมลพิษที่ออกจากเครื่องยนต์ใช้ก๊าซธรรมชาติโดยติดตั้งระบบจ่ายเชื้อเพลิงด้วยระบบคูดก๊าซแบบวงจรปิดและระบบหัวฉีดก๊าซแบบแยกสูบ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ติดตั้งด้วยระบบหัวฉีดแบบแยกสูบน้ำมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่าระบบคูดก๊าซ 7% และ 5% เมื่อทำงานที่ภาระ 100% และ 25% ตามลำดับ แรงบิดที่ได้จากระบบหัวฉีดแบบแยกสูบสูงกว่าระบบคูดก๊าซ 5.6% และ 10% เมื่อทำงานที่ภาระ 100% และ 25% ตามลำดับ

เครื่องยนต์ที่ติดตั้งด้วยระบบหัวฉีดแบบแยกสูบน้ำยังปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในระดับที่ต่ำกว่าระบบคูดก๊าซถึง 50% ข้อเสียเพียงสิ่งเดียวที่พบในระบบหัวฉีดแบบแยกสูบคือปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่สูงมากหากเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระ 100%

5. ข้อเสนอแนะ

การติดตั้งระบบหัวฉีดก๊าซแบบแยกสูบน้ำจะมีความเหมาะสมมากในปัจจุบันเนื่องจากผลการทดสอบได้แสดงว่าระบบนี้สร้างแรงบิดและกำลังได้สูงกว่าระบบคูด 10% กล่าวคือสามารถประหยัดปริมาณเชื้อเพลิงได้ถึงประมาณ 10% และยังเป็น การช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก

การแก้ไขปัญหาปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ของเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การติดตั้งแคตาไลติก หรือการเปลี่ยนจังหวะการจุดระเบิดให้ล่า (Retard) [8] จากรูปที่ 5 จังหวะการจุดระเบิดที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดคือ 26° ก่อนศูนย์ตายบน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปที่ 8 พบว่า หากทำการจุดระเบิดล่าไป 2° แรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลง 3.47% แต่ทำให้ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนลดลงได้ 6.94% และในกรณีที่จุดระเบิดล่าไป 4° แรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลง 4.93% แต่ทำให้ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนลดลงได้ถึง 11.03% ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลของการจุดระเบิดล่าช้าของ

Injection 100%					
จังหวะการจุดระเบิด	26°	24°	ลดลง (%)	22°	ลดลง (%)
Torque	14.4	14.35	3.47	14.3	6.94
NO_x (PPM)	1,986	1,888	4.93	1,767	11.03

ดังนั้น จังหวะการจุดระเบิดที่ดีที่สุดอาจไม่สามารถคำนึงถึงแรงบิดและกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว แต่การให้ความสำคัญต่อปัญหาด้านมลพิษจากเครื่องยนต์เป็นสิ่งที่สำคัญซึ่งในอนาคตการเลือกจังหวะการจุดระเบิดอาจเป็นทางออกทางหนึ่งในการยกระดับให้เครื่องยนต์ผ่านมาตรฐานการควบคุมมลพิษที่เข้มงวดขึ้นในทุกปี

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ Power-Train ภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย Keimyung ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบเครื่องยนต์

เอกสารอ้างอิง

- 1 G. H. Choi., et al. "An Experimental and Numerical Study of a Miller Cycle for Gas Engine Converted from a Diesel Engine." 2007 ASME/IEEE Joint Rail Conference & Internal Combustion Engine Spring Technical Conference, March 2007, pp. 1-6.
- 2 คู่มือการติดตั้งก๊าซหุงต้มสมบูรณ์, สำนักพิมพ์ Professional Center, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2550
- 3 W. W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall, 2004.
- 4 EROOM Public Company Limited. New Renewable Energy. [Online] 2008. [Cited 2008 June 17]. Available from: URL: <http://www.eroomkorea.com/eng.html>
- 5 R. D. Fleming and G. B. O'Neal, "Potential for Improving the Efficiency of Spark Ignition Engine for Natural Gas Fuel" SAE 852073, 1995, Vol.94.
- 6 J. Antoni et al., "Some Problems of Improvement of Fuel Efficiency and Emissions in Internal Combustion Engines" Journal of KONES Internal Combustion Engines 2002, . No. 1-2, pp. 333-356.
- 7 C. Poompipatpong, Effects of Intake Valve Timing and Injection Timing in a Natural Gas Dedicated Diesel Engine, Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, 2007.
- 8 Y. Wang. et al. "Experimental investigation of applying Miller cycle to reduce NO_x emission from diesel engine." Proc. IMechE. Vol.219, 2005, pp. 631-638.
- 9 S. Richard, Introduction to Internal Combustion Engines, SAE, 1999.