ผลกระทบของอุณหภูมิไอดีต่อมลพิษของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

Effect of Intake Air Temperature on the SI Engine Emissions

เชี่ยวชาญ ห้าวหาญ[1] และ เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์[1]

บทคัดย่อ

การคำนึงถึงปริมาณมลพิษในไอเสียมีส่วนผลักดันให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องยนต์ใหม่ ๆ อยู่ตลอด วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการลดปริมาณมลพิษไอเสียคือ การพัฒนาโครงสร้างและการออกแบบเครื่องยนต์ แต่วิธีการนี้มีความซับซ้อนสูงเนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ต้องเกี่ยวข้องกับตัวแปรมากมาย โดยตัวแปรแต่ละตัวย่อมมีความสัมพันธ์และส่งผลกระทบต่อกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิไอดีที่มีต่อปริมาณมลพิษคาร์บอนมอนน็อกไซด์และไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย โดยทำการทดสอบบนเครื่องยนต์สี่ลูกสูบ ขนาด 1587 cc จุดระเบิดด้วยประกายไฟ อุณหภูมิอากาศที่ตั้งไว้ในการทดสอบอยู่ในช่วง 35 - 60 ºC ผลการทดสอบพบว่าที่อุณหภูมิอากาศ 45 ºC ปริมาณมลพิษคาร์บอนมอนน็อกไซด์ในไอเสียต่ำที่สุดและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ปริมาณไฮโดรคาร์บอนค่อนข้างจะคงที่ที่อุณหภูมิต่ำและปานกลาง แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงประมาณ 55 ºC

คำสำคัญ : อุณหภูมิไอดี, เครื่องยนต์, มลพิษไอเสีย, คาร์บอนมอนน๊อกไซด์ และ ไฮโดรคาร์บอน

Abstract

The consideration of engine exhaust emission is one of the driving forces to develop the engine technologies. A solution used for reducing the exhaust emission is “the structural development and design”. This solution is very complicated because it involves many parameters. Each parameter usually relates and affects to the others. This research intended to investigate the effect of intake air temperature on the carbonmonoxide and hydrocarbon emissions. The testing was done on a four-stroke fore cylinder 1587-cc spark ignition engine. The intake air temperature was set in the range between 35 - 60 ºC. The result showed that the intake air temperature of 45 ºC produced the least carbonmonoxide emission. The emission rapidly increased when the temperature changed. The hydrocarbon emission was relatively constant at low to medium temperature. But it swiftly increased when the temperature reached 55 ºC

Keywords : Intake air temperature, Engine, Exhaust emission, Carbonmonoxide and Hydrocarbon

[1] อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

การพัฒนาเครื่องยนต์ทุกชนิดตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันเกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซล การเปลี่ยนจากระบบการฉีดทางอ้อม (indirect injection) มาเป็นระบบฉีดตรง (direct injection) หรือการใช้ระบบหัวฉีดแบบกลไกถูกพัฒนาไปสู่ระบบรางน้ำมันที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (common rail system) ส่วนเครื่องยนต์แก๊สโซลีนก็มีการพัฒนาจากคาร์บูเรเตอร์ (carburetor) ให้เป็นระบบหัวฉีดแบบกลไกและอิเล็กทรอนิกส์ (injection system) ดังเช่นในปัจจุบัน ยิ่งไปกว่านั้นเทคโนโลยีในปัจจุบันได้ทำให้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้มีความสามารถสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ (sensor) นับสิบตำแหน่งภายในเครื่องยนต์

สาเหตุที่ทำให้เกิดการพัฒนาเหล่านี้ย่อมเป็นเพราะการแข่งขันด้านการตลาดของบริษัทผู้ผลิตที่ต้องการเพิ่มสมรรถนะประสิทธิภาพ และลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลง แต่เหตุผลหนึ่งที่สำคัญที่สุดที่ผลักดันให้เทคโนโลยีเครื่องยนต์ถูกพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งคือ กฎหมายการควบคุมมลพิษที่เข้มงวดมากขึ้นทุกๆ ปี ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ ในอดีตเครื่องยนต์สองจังหวะจะเป็นที่นิยมมากเนื่องจากเครื่องยนต์สามารถสร้างงานได้ทุกรอบที่เพลาข้อเหวี่ยงหมุน ซึ่งต่างจากเครื่องยนต์สี่จังหวะที่สร้างงานได้เพียงหนึ่งครั้งต่อการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงสองรอบ แต่กฎหมายควบคุมมลพิษที่เข้มงวด ผู้ผลิตจึงไม่สามารถพัฒนาเครื่องยนต์สองจังหวะให้มีปริมาณมลพิษอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ จึงทำให้ของการพัฒนาและผลิตเครื่องยนต์สองจังหวะเป็นอันต้องสิ้นสุดลง

มลพิษที่เกิดจากยานยนต์ประกอบด้วยคาร์บอนมอนน็อกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และเขม่าควัน (PM) ถ้าส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงเป็นไปตามทฤษฎี (stoichiometric) และการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ผลิตผลจากการเผาไหม้จะเป็นเพียงไอน้ำ (vapor) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่านั้น [1] อย่างไรก็ตามการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แทบจะเป็นไปไม่ได้ในความเป็นจริง เนื่องจากเหตุผลหลักสองประการคือ (1) อุณหภูมิของผนังห้องเผาไหม้ที่เย็น และ (2) อัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ [2]

ในไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายในจึงไม่ได้ประกอบด้วยไอน้ำและ CO_2 เพียงเท่านั้น แต่ยังมี CO, HC, NO_x และ PM เจือปนออกมาด้วย การศึกษาพบว่าการลดปริมาณมลพิษในไอเสียสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีหลักๆ คือ (1) การพัฒนาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง เช่น การผสมแอลกอฮอล์เข้ากับน้ำมันแก๊สโซลีนเพื่อให้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ซึ่งทำให้กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นและมีไอเสียที่สะอาดขึ้นกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนธรรมดา(2) การปรับปรุง (treatment)ไอเสีย ที่ออกมาจากเครื่องยนต์ เช่น การติดตั้ง Catalytic Convertor และ (3) การพัฒนาโครงสร้างหรือลักษณะการออกแบบเครื่องยนต์ [2]

การพัฒนาโครงสร้างหรือลักษณะการออกแบบเครื่องยนต์นี้เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนเนื่องจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์นั้นมีอยู่เป็นจำนวนมาก การปรับเปลี่ยนเพื่อพัฒนาเกิดขึ้นได้ยากเนื่องจากตัวแปรแต่ละตัวย่อมมีความสัมพันธ์และส่งผลกระทบต่อกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบท่อร่วมไอดีที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่าน หรือออกแบบให้ท่อไอดีอยู่ใกล้ท่อไอเสียเพื่อรับความร้อนในเครื่องยนต์บางเครื่องถึงกับมีการติดตั้งระบบไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนด้วย เป้าหมายของการออกแบบนี้คือ ต้องการให้ละอองเชื้อเพลิงระเหยและผสมเข้ากับอากาศให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ได้ดีขึ้น การแผ่กระจายของเปลวเพลิงและการเผาไหม้เกิดได้ดี อันนำมาสู่กำลังและแรงบิดที่สูงได้ แต่ในทางกลับกันการเพิ่มอุณหภูมิในท่อร่วมไอดีทำให้อากาศขยายตัว ความหนาแน่นของอากาศจึงลดลงและส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรต่ำลง กำลังและแรงบิดที่ได้จึงไม่ดีเท่าที่ควร [3]

จากตัวอย่างดังกล่าวได้แสดงว่าการวิจัยและพัฒนาผลกระทบของตัวแปรแต่ละตัว เป็นสิ่งที่สำคัญและต้องทำด้วยความละเอียด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอดีและปริมาณมลพิษ CO และ HC ในไอเสีย โดยทำการทดสอบบนเครื่องยนต์สี่ลูกสูบ ขนาด 1587 cc จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (spark ignition engine) โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบนี้มีระบบการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์แบบวงจรปิด (close - loop control) กล่าวคือ

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ปรับปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับปริมาณอากาศอยู่ตลอดเวลา ทำให้ปริมาณมลพิษที่วัดได้จะไม่ขึ้นกับตัวแปรอื่นๆ นอกจากอุณหภูมิของไอดี งานวิจัยที่ได้เคยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและลักษณะของท่อร่วมไอดีที่ส่งต่อมลพิษในไอเสียไว้ก่อนแล้ว ได้แก่

Hoglund และ Ydstedt [4] ได้ศึกษาปริมาณมลพิษ CO และ HC จากการสตาร์ทเครื่องขณะอุณหภูมิต่ำ (cold start) และเปรียบเทียบกับมลพิษที่เกิดจากการขับขี่โดยปกติในประเทศสวีเดน การทดสอบพบว่า การสตาร์ทเครื่องขณะอุณหภูมิต่ำสร้างมลพิษ CO และ HC ได้ถึง 83% และ 84% ของปริมาณมลพิษจากการขับขี่เป็นระยะทาง 5 กิโลเมตร งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการลดมลพิษด้วยการใช้เครื่องทำความร้อน (heater) ในการอุ่นเครื่องยนต์ซึ่งสามารถลดมลพิษและช่วยลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (fuel consumption) ได้

Shannak และคณะ [2] ได้วิจัยผลกระทบของลักษณะท่อร่วมไอดีต่อมลพิษในไอเสีย โดยใช้เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 ลูกสูบ ขนาด 1452 cc มาติดตั้งอุปกรณ์ปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อร่วมไอดีจาก 63 มิลลิเมตรให้เป็น 40, 35, 30, 25 และ 20 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดท่อร่วมไอดีต่อมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้น การทดสอบได้ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบเครื่องยนต์ระหว่าง 1,000 – 4,000 rpm ผลการทดสอบแสดงว่าปริมาณ CO และ HC สูงมากเมื่อท่อร่วมไอดีมีขนาดเล็กและความเร็วรอบต่ำ ปริมาณ CO และ HC ลดต่ำลงเมื่อขนาดท่อร่วมไอดีและความเร็วรอบสูงขึ้น โดยปัจจัยด้านความเร็วรอบเครื่องยนต์ส่งผลกระทบต่อปริมาณมลพิษมากกว่าผลกระทบจากขนาดท่อร่วมไอดี โดยปริมาณ CO_2 และ O_2 ในไอเสียค่อนข้างคงที่ในทุกสภาวะการทดสอบ

Semin และคณะ [5] ได้จำลองการไหลของอุณหภูมิในท่อร่วมไอดี (intake port gas flow temperature) โดยใช้โปรแกรม GT-Power ผู้วิจัยได้จำลองเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติแบบสี่จังหวะที่มีการฉีดเชื้อเพลิงบริเวณท่อไอดี (port injection) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 250 ถึง 3,750 rpm ผลการจำลองพบว่าความเร็วรอบที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิในท่อไอดีสูงขึ้นเนื่องจากความถี่ของการสันดาปได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และพบว่าความร้อนส่วนใหญ่ที่ไหลออกไปสู่ท่อร่วมไอดีในขณะที่ลิ้นไอดีกำลังเปิดนั้นจะสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ของวัฏจักร

การศึกษาระบบการผสมเชื้อเพลิงดีเซลก่อนจ่ายเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (Homogeneous Charge Compression Ignition; HCCI) ของเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ขนาด 673 cc โดย Kim และ Lee [6] ส่วนหนึ่งของผลการทดสอบแสดงอย่างชัดเจนว่าช่วงอุณหภูมิไอดีที่ต่ำกว่า 50 ºC ปริมาณเขม่า (soot) และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ค่อนข้างจะคงที่ไม่ว่าอัตราการการผสมก่อน (premixed ratio) จะเป็นเท่าใด แต่เมื่ออุณหภูมิไอดีสูงขึ้นถึงช่วง 80ºC ขึ้นไป ปริมาณมลพิษทั้งสองชนิดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากตาม premixed ratio การเปลี่ยนแปลงจะเป็นไปในทิศทางมากขึ้นหรือน้อยลงนั้น ผู้วิจัยได้สรุปว่าทิศทางขึ้นอยู่กับกลไกทางเคมีในการเกิดเขม่า (soot formation) และปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ (oxidization) ซึ่งมีความซับซ้อนและจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

2. อุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิอากาศต่อปริมาณมลพิษ HC และ CO โดยใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศ (heater) ติดตั้งบริเวณก่อนถึงกรองอากาศ โดยใช้เครื่องยนต์ Toyota รุ่น 4A-FE และไม่มีการติดตั้ง Catalytic Convertor ซึ่งรายละเอียดของเครื่องยนต์ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 1

รูปที่ 1 แสดงรูป Thermocouple ที่มีอุณหภูมิทำงานอยู่ในช่วง 0-400ºC ซึ่งจะถูกจับยึดเข้ากับท่ออุ่นอากาศ ทำหน้าที่แปลงความร้อนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อส่งต่อสู่ชุดควบคุมอุณหภูมิ Maxthermo MC-2538 ดังแสดงในรูปที่ 2

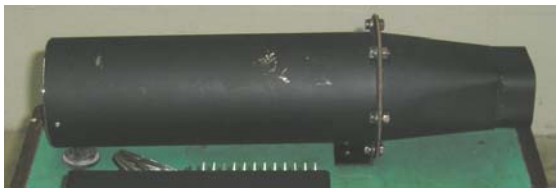
ชุดควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ตัดต่อการทำงานของขดลวดความร้อนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิอากาศให้เป็นไปตามค่าที่ผู้วิจัยตั้งไว้ ดังรูปที่ 3 แสดงภาพขดลวดความร้อนขนาด 800 W ที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในท่ออุ่นอากาศ

เครื่องวิเคราะห์มลพิษไอเสีย (exhaust gas analyzer) ที่ใช้ในการทดลอง คือ Bosch BEA-350 ซึ่งมีความสามารถในการวัดก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์และไฮโดรคาร์บอนได้ละเอียดสูงสุด 0.001% vol. และ 1 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 1 รายละเอียดจำเพาะของเครื่องยนต์ Toyota 4A-FE

เครื่องยนต์	Toyota
	4A-FE
จำนวนลูกสูบ	4 สูบ
การจัดเรียงลูกสูบ	แบบเรียงแถว (In Line)
ความจุกระบอกสูบ	1,587 cc
กำลังสูงสุด	105 hp @ 5,800 rpm
แรงบิดสูงสุด	137 Nm @ 4,800 rpm
จำนวนลิ้น	4 ลิ้นต่อ 1 สูบ (รวม 16 ลิ้น)
ระบบการจ่ายเชื้อเพลิง	ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์แบบแยกสูบ (Multipoint Port Fuel Injection; MPI)

รูปที่ 2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

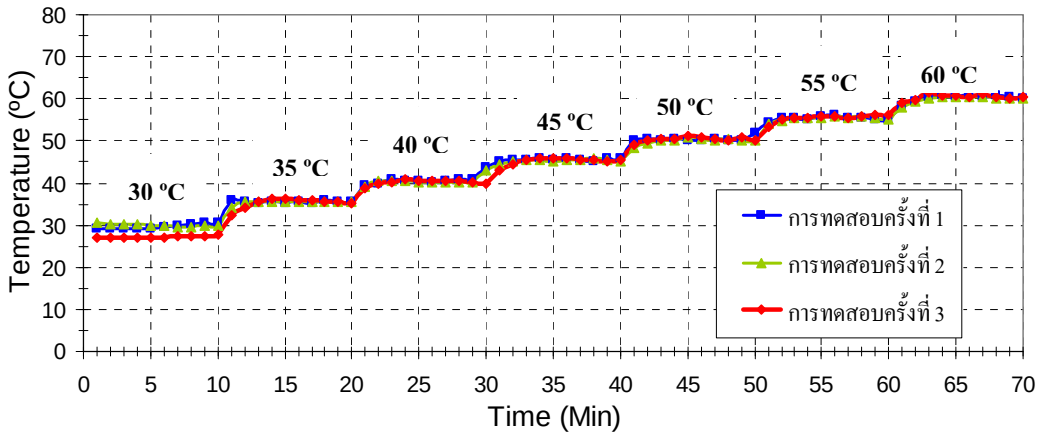


รูปที่ 3 ขดลวดความร้อนที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในท่ออุ่นอากาศ

รูปที่ 1 ชุดจับยึด Thermocouple

3. ขั้นตอนการทดลอง

เนื่องจากการทดสอบนี้ต้องอาศัยการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอากาศด้วย ดังนั้น การทดสอบจึงต้องแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) การทดสอบการเข้าสู่สภาวะคงตัวของชุดควบคุมอุณหภูมิ และ (2) การทดสอบหาผลกระทบของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณมลพิษ CO และ HC ในไอเสียที่ความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์



รูปที่ 4 การทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิ

3.1 การทดสอบการเข้าสู่สภาวะคงตัวของชุดควบคุมอุณหภูมิ

งานวิจัยนี้จะทำการทดสอบอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่เครื่องยนต์ระหว่าง 30 ถึง 60 ºC โดยมีช่วงห่างครั้งละ 5 ºC การทดลองเพื่อหาเวลาในการควบคุมให้อุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) เป็นขั้นตอนที่จะลดความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลและสามารถประหยัดเวลาการทดสอบลงได้มาก

การทดสอบทำโดยตั้งค่าอุณหภูมิของชุดควบคุมไว้ที่ 30 ºC เป็นเวลา 10 นาที โดยจดบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศจริงทุก 1 นาที จากนั้นปรับตั้งค่าอุณหภูมิเพิ่มเป็น 35 ºC และจดบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศจริงทุก 1 นาที เป็นเวลา 10 นาทีเช่นเดียวกัน การเก็บข้อมูลยังคงทำต่อเนื่องในลักษณะเดียวกันนี้สำหรับอุณหภูมิ 40, 45, 50, 55 และ 60 ºC เมื่อการทดสอบสิ้นสุดลง ผู้วิจัยได้เริ่มทำการทดสอบซ้ำกระบวนการเดิมอีก 2 รอบ เพื่อนำค่าที่ได้ทั้ง 3 ครั้งมาวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบเครื่องมือชุดควบคุมอุณหภูมิจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องตั้งแต่ 35 ºC ขึ้นไปเท่านั้นโดยการปรับตัวในช่วงเปลี่ยนแปลง (transient period) จะใช้เวลาประมาณ 5 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4 การทดสอบหาผลกระทบของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณมลพิษควรทำที่ช่วงอุณหภูมิ 35 – 60 ºC และต้องใช้เวลา 5 นาที เพื่อให้ชุดควบคุมสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างคงที่

3.2 การทดสอบหาผลกระทบของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณมลพิษ CO และ HC ในไอเสีย

การทดสอบเริ่มจากการอุ่นเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบา 800 rpm ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 85 ºC และให้ชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ทุกชิ้นอยู่ที่อุณหภูมิทำงานอย่างทั่วถึง จากนั้นทำการติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศเข้าสู่ระบบประจุอากาศของเครื่องยนต์ และติดตั้งเครื่องวิเคราะห์มลพิษไอเสีย Bosch BEA-350 เข้าที่ท่อระบายไอเสียดังแสดงในรูปที่ 5

การทดสอบเริ่มที่การตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 35 ºC และปล่อยให้ระบบใช้เวลา 5 นาทีเพื่อปรับอุณหภูมิ การบันทึกข้อมูลปริมาณ CO และ HC เกิดขึ้นเมื่อครบนาทีที่ 6, 7, 8, 9 และ 10

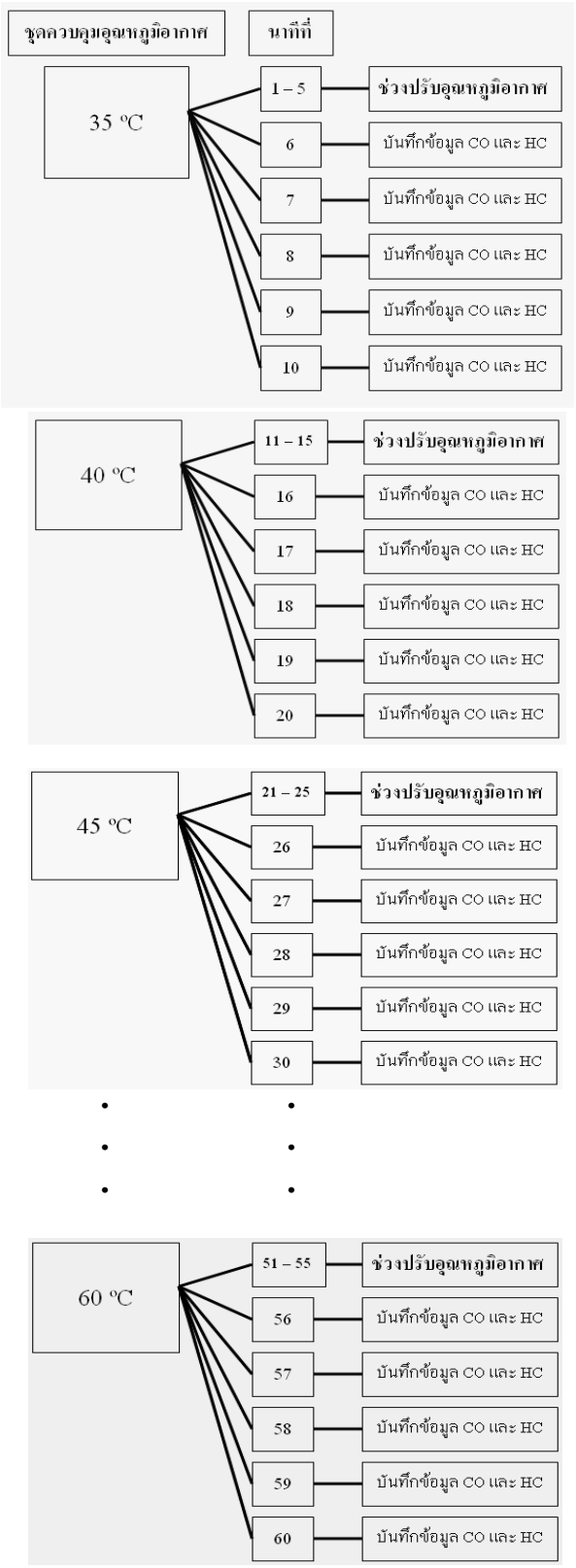
จากนั้นทำการตั้งอุณหภูมิที่ 40ºC และปล่อยให้ระบบใช้เวลาอีก 5 นาทีเพื่อปรับอุณหภูมิ การบันทึกข้อมูลปริมาณ CO และ HC จึงเกิดขึ้นเมื่อครบนาทีที่ 16, 17, 18, 19 และ 20 การทดสอบดำเนินต่อไปโดยการเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 45 ºC, 50 ºC, 55 ºC และ 60 ºC ดังแสดงในรูปที่ 6 การทดสอบจะสมบูรณ์เมื่อเก็บข้อมูลด้วยกระบวนการข้างต้นครบ 3 รอบ

รูปที่ 5 การเตรียมอุปกรณ์เพื่อการทดสอบ

4. ผลการทดลอง

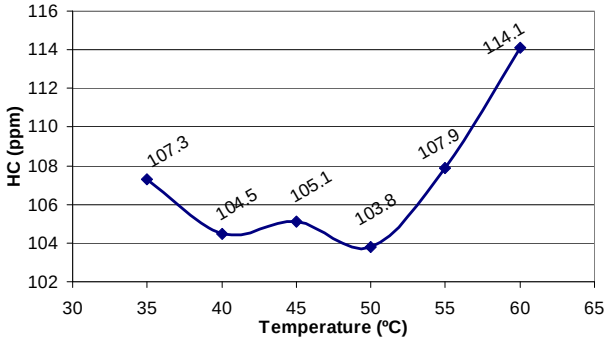
ปริมาณมลพิษ CO และ HC จากการเก็บข้อมูล 3 รอบๆ ละ 5 ครั้ง (รวมการเก็บข้อมูล 15 ครั้ง) ถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย และแสดงเป็นเส้นแนวโน้มตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ

ปริมาณ HC ในไอเสียเป็นดัชนีที่บ่งบอกประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ตัวหนึ่ง [7] เชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ย่อมทำให้ HC ทำปฏิกิริยากับ O_2 ซึ่งได้ผลผลิตหลักเป็น H_2O และ CO_2 รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบว่าอุณหภูมิไอดีช่วง 40ºC ถึง 50 ºC มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง HC ที่เกิดขึ้นดีกว่าช่วงอุณหภูมิอื่น ทั้งนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าที่ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 40ºC การระเหยของไอน้ำมันเกิดขึ้นได้ค่อนข้างน้อย การผสมกันระหว่างอากาศที่มีสถานะเป็นก๊าซกับน้ำมันที่มีสถานะเป็นของเหลวเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร การเผาไหม้จึงทำให้เหลือ HC อยู่ค่อนข้างมาก



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทดสอบ 1 รอบ

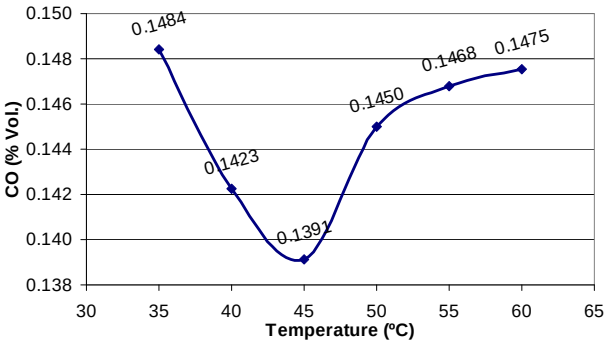
ในทางกลับกันที่อุณหภูมิสูงกว่า 50°C การผสมกันของอากาศและไอเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้ดี แต่อุณหภูมิที่สูงนี้ทำให้อากาศเกิดการขยายตัว ความหนาแน่นลดต่ำลง มวลอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงน้อยลงเป็นอย่างมาก ดังนั้นภายในห้องเผาไหม้จึงมีเนื้ออากาศและเชื้อเพลิงที่บาง การแผ่กระจายของเปลวเพลิง (flame propagation) จึงเกิดขึ้นได้ยากและช้ากว่าสภาวะปกติ และทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 7 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศต่อปริมาณ HCในไอเสีย

หลังจากที่เชื้อเพลิง HC เกิดการสันดาปกับ O_2 แล้ว ผลผลิตอาจจะมี CO และ O_2 ปนอยู่ในปริมาณหนึ่ง การรวมตัวกันระหว่าง CO และ O_2 สามารถเกิดขึ้นต่ออีกเพื่อให้ได้ผลผลิตเป็น CO_2 และความร้อน (heat) ซึ่งทำให้เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังนั้นถ้าไม่คำนึงถึงผลกระทบของอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแล้ว มลพิษ CO ในไอเสียก็สามารถเป็นดัชนีบ่งบอกประสิทธิภาพการสันดาปได้อีกตัวหนึ่ง เพราะถ้าไอเสียมีปริมาณ HC ที่ต่ำ และยังพบว่ามี CO ที่ต่ำ แสดงว่าเชื้อเพลิงเกือบทั้งหมดสามารถเกิดการสันดาปกับ O_2 ได้เป็นอย่างดี

โดยทั่วไป มลพิษ CO เกิดจากการผสมคลุกเคล้าไม่ทั่วกันของไอดี การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ [3] รูปที่ 8 แสดงว่า ถ้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นจาก 35°C เป็น 45°C ปริมาณ CO จะลดลงจาก 0.1484% เหลือเป็น 0.1391% หรือเท่ากับ 6.686% หากคำนวณเป็นร้อยละสัมพัทธ์ $(\frac{0.1391-0.1484}{0.1484}\times 100\%)$ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงเกินกว่า 45°C ปริมาณ CO กลับเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 8 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศต่อปริมาณ CO ในไอเสีย

5. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบได้พิสูจน์ว่าอุณหภูมิอากาศมีผลต่อปริมาณมลพิษ CO และ HC ในไอเสีย โดยอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ท่อร่วมไอดีที่ทำให้มลพิษไอเสียต่ำที่สุดอยู่ที่ประมาณ 45ºC เพราะเป็นอุณหภูมิเหมาะสมที่สุด (optimum) เมื่อคำนึงถึงความสามารถในการระเหยของเชื้อเพลิงและคุณสมบัติการขยายตัวของอากาศเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

การออกแบบเครื่องยนต์ให้ท่อร่วมไอดีได้รับการถ่ายเทความร้อนจากท่อเสียในปริมาณพอเหมาะทำให้อุณหภูมิของผสม (อากาศและเชื้อเพลิง) อยู่ในระดับที่ดีสามารถทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น มลพิษไอเสียลดลงได้

การทดสอบในอนาคตอาจทำการทดสอบกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงก๊าซ (gaseous fuel) เพราะเชื้อเพลิงก๊าซสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกับอากาศได้ดีมากอยู่แล้ว ผลการทดสอบอาจแตกต่างจากงานวิจัยนี้ หรืออาจพบว่ามีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบก็เป็นได้

งานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มอุณหภูมิไอเสียเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องในท่อไอเสีย กล่าวคือการขยายระยะเวลาให้เกิดกระบวนการเผาไหม้นานขึ้น แม้ว่าการเผาไหม้มิได้เกิดขึ้นในกระบอกสูบ แต่การเผาไหม้ที่ต่อเนื่องนี้อาจทำให้ปริมาณมลพิษลดลงได้ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งที่ควรวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1 R. Stone, Introduction to Internal Combustion Engines, SAE International, 1999.

2 B. Shannak, R. Damseh and M.Alhusein, “Influence of Air Intake Pipe on Engine Exhaust Emission”, Forsch Ingenieurwes, 2006, Vol. 70, No. 70, pp. 128-132.

3 W. W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall, 2004.

4 P. G. Hoglund and A. Ydstedt, “Reduced Air Pollution and Fuel Consumption with Preheated Car Engines” Urban Transport and the Environment for the 21st Century, 1998, Vol. 09, No. 1, pp. 1-8.

5 Semin, A. R. Ismail and R. A. Bakar, “Investigation of CNG Engine Intake Port Gas Flow Temperature Based on Steady-State and Transient Simulation”, European Journal of Scientific Research, 2008, Vol. 22, No. 3, pp. 361-372.

6 D. S. Kim and C. S. Lee, “Improved Emission Characteristics of HCCI Engine by Various Premixed Fuels and Cooled EGR”, Fuel, 2006, pp. 695-704.

7 P. Chedthawut, 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.