การพัฒนาเทคโนโลยีของรถยนต์ประหยัดน้ำมัน
(ตอนที่ ๑)

น.ต. สุรศักดิ์ ปานเกษม
อาจารย์ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

เคยมีการคาดการณ์จากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อมว่า ถ้าอัตราการใช้น้ำมันของมนุษย์ยังคงเป็นอยู่ดั่งเช่นปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแหล่งน้ำมันที่มีการขุดเจาะและมีการค้นพบขึ้นใหม่แล้ว วัตถุดิบน้ำมันจะมีเหลือเพียงพอต่อการใช้งานอีกประมาณ ๕๐ ปีเท่านั้น เมื่อฟังดูและพยายามมองโลกในแง่ร้ายว่าคำทำนายที่ว่านี้จะเป็นจริง จึงเป็นหน้าที่ของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์และประเทศผู้ส่งรถยนต์เป็นสินค้าออก ที่จะต้องหาทางออกที่เป็นไปได้ในการออกแบบรถยนต์และพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีอัตราความสิ้นเปลืองที่ต่ำที่สุด โดยที่ผู้ขับขี่ไม่ต้องเสียสละความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการใช้รถยนต์ในช่วง ๒๐ ปีที่ผ่านมาบริษัทจากประเทศผู้ผลิตรถยนต์ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่นและภาคพื้นยุโรป มีการพัฒนาเทคโนโลยีชั้นสูงทางด้านอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์และมีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์กระบวนการการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นขณะเกิดการเผาไหม้ ในกระบอกสูบ ข้อมูลพื้นฐานที่ได้มานี้คือสมมุติฐานสำคัญในการพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อหาจุดสมดุล ในการใช้งานที่มีสมรรถนะการใช้งานสูงสุดและมีความสิ้นเปลืองน้อยที่สุด บทความนี้แสดงให้เห็นความพยายามต่าง ๆ ที่นำท่านไปสู่เทคโนโลยียานยนต์ในปัจจุบันซึ่งถ้าท่านได้มีโอกาศไปเยี่ยมชมงานแสดงรถยนต์ต่าง ๆ มาบ้างแล้ว ท่านคงจะคุ้นกับชื่อและศัพท์เฉพาะต่าง ๆ ทางเทคนิคที่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์แต่ละยี่ห้อใช้เป็นจุดขายในการนำเสนอสินค้าของตนเองซึ่งบางครั้งก็ไม่ได้บอกอะไรเรามากกว่าการสร้างความแปลกใหม่และเร้าใจแก่ลูกค้า ถ้าเรามีความรู้พื้นฐานเล็ก ๆ น้อย ๆ เพื่อที่เราจะได้เข้าใจในเทคนิคต่าง ๆ ที่ถูกนำเสนอมาให้ก็อาจช่วยทำให้เราเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้นก็ได้

๑. การเพิ่มกำลังงานและการลดอัตราความสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์

ความพยายามในการเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์สามารถเริ่มจากการพิจารณาสมการพื้นฐานทางด้านกลศาสตร์เครื่องจักรกล

$$P_e = P_i - P_m = A_k \cdot s \cdot p_e \cdot n \cdot \frac{z}{i} = M \cdot \omega$$

เมื่อ P_e = กำลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (kW)

P_i = กำลังงานที่สามารถวัดได้ภายในกระบอกสูบ (kW)

P_m = กำลังงานที่สูญเสียทางกล (kW)

M = โมเมนต์บิดของเพลา (N.m)

A_k = พื้นที่ผิวของลูกสูบ (cm^2)

s = ช่วงชักของลูกสูบ (mm)

p_e = ความดันใช้งาน (MPa)

ω = ความเร็วเชิงมุมของเพลา

n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM)

z = จำนวนกระบอกสูบ

i = ๑ สำหรับเครื่องยนต์สองจังหวะและเท่ากับ ๒ สำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ

ในช่วงแรกของวิวัฒนาการเพื่อการเพิ่มกำลังงานของเครื่องยนต์ได้มีการเพิ่มจำนวนกระบอกสูบให้มากขึ้น การขยายขนาดของกระบอกสูบ (cc.) ให้ใหญ่ขึ้นหรือการติดตั้งชุดอุปกรณ์เพิ่มกำลังงาน เช่น ชุดเทอร์โบชาร์จเจอร์ ซึ่งก็ทำให้เครื่องยนต์ให้กำลังงานได้มากขึ้นแต่ผลที่ตามมาด้วยก็คือ อัตราความสิ้นเปลืองที่สูงขึ้น ความพยายามที่จะลดความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อมีการเพิ่มกำลังงานของเครื่องยนต์เริ่มมีความเป็นไปได้มากขึ้น เมื่อวิศวกรยานยนต์ได้สะสมประสบการณ์เกี่ยวกับการดำเนินไปของกระบวนการการเผาไหม้ในกระบอกสูบ มากเพียงพอจนทำให้สามารถนำเอาข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้เป็นฐานข้อมูลของการใช้งานระบบอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ เช่นการควบคุมการฉีดน้ำมันโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ในระยะเวลา ๒๐ ปีที่ผ่านมานี้ โดยเฉลี่ยแล้วรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีอัตราความสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ลดลงขั้นต่ำถึง ๒๐%

นอกเหนือจากการพัฒนาในส่วนของเครื่องยนต์แล้วการพัฒนาด้านองค์ประกอบอื่น ๆ ของรถยนต์ก็มีผลอย่างยิ่งต่อการลดอัตราความสิ้นเปลืองนี้ องค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่

๑. ลักษณะรูปทรงของตัวถังรถยนต์มีคุณสมบัติทางพลศาสตร์ที่ดีขึ้น ทำให้สามารถลดแรงต้านทาน จากอากาศได้มากขึ้น

๒. การนำวัสดุสังเคราะห์มาใช้เป็นส่วนประกอบของรถยนต์แทนโลหะทำให้รถยนต์มีน้ำหนักโดยรวมลดลง มีการประมาณเป็นกฎโดยคร่าว ๆ ว่า “การลดน้ำหนักรถยนต์ได้ ๑๐๐ กิโลกรัมจะทำให้สามารถลดอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ๕ - ๖%”

๓. การพัฒนาชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้ในการส่งต่อแรงขับเคลื่อนทำให้อุปกรณ์ควบคุมการขับเคลื่อน เช่น ชุดเกียร์มีประสิทธิภาพการใช้งานดีขึ้นสำหรับเงื่อนไขการขับขี่ที่มีความแตกต่างเพิ่มมากขึ้น

๔. การลดแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากความฝืดที่ล้อ (P_m) และชุดชิ้นส่วนที่มีการหมุน จากการพัฒนาของบริษัทผู้ผลิตยางทำให้ได้ยางที่มีประสิทธิภาพการใช้งานและอายุการใช้งานที่ดีขึ้น

ในประเทศที่มีกฎหมายควบคุมสภาพการใช้งานของรถยนต์ เช่น ในประเทศเยอรมันมีการตั้งเป้าหมายที่ชัดเจนไว้ว่ารถยนต์ที่ได้รับอนุญาติให้วิ่งได้ในท้องถนน ควรมีอัตราความสิ้นเปลืองเฉลี่ยอยู่ที่ ๑๔.๑ กิโลเมตรต่อลิตรในปี ค.ศ ๒๐๐๐ นี่คือค่าความสิ้นเปลืองเฉลี่ยที่คิดจากจำนวนรถทั้งหมดที่มีวิ่งอยู่บนท้องถนนทั้งรถเก่าและรถใหม่รวมกัน ถ้าพิจารณาเฉพาะรถใหม่อย่างเดียวรถยนต์จากบางบริษัทมีอัตราความสิ้นเปลืองเพียง ๒๕ - ๓๐ กิโลเมตรต่อลิตร ซึ่งนับเป็นตัวเลขที่แสดงได้ถึงความสำเร็จของการทำงานของวิศวกรในช่วงระยะเวลา ๒๐ ปีที่ผ่านมาได้เป็นอย่างดี

สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อไป วิศวกรยานยนต์จะทุ่มเทความสนใจไปที่การพัฒนาเครื่องยนต์และกระบวนการเผาไหม้ของมัน เนื่องจากการพัฒนาด้านอื่น ๆ มีความเป็นไปได้น้อยมาก ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาการลดความต้านทานอันเนื่องจากแรงต้านทานลมตามสมการ

$$F_W = C_W \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \right) \cdot A_W$$

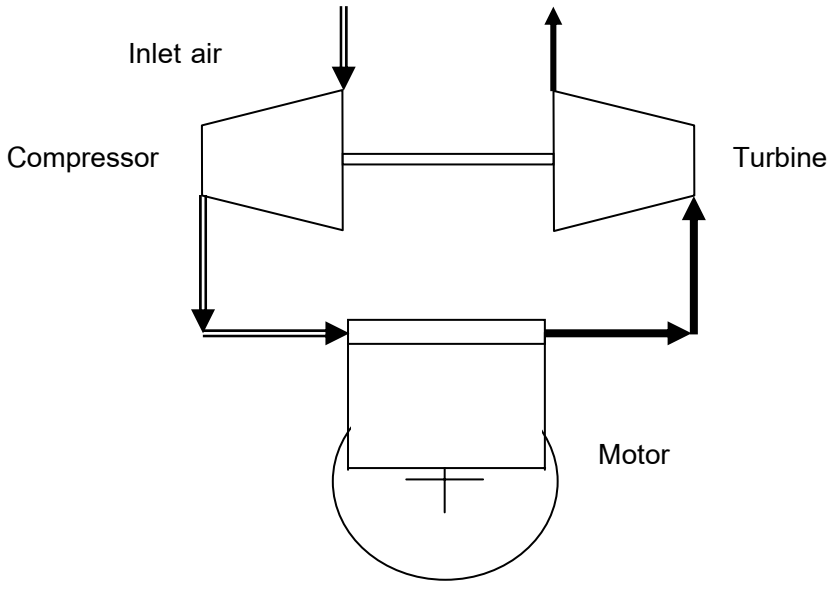
เมื่อ F_W = ความต้านทานอันเนื่องจากแรงต้านทานลม
C_W = ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานอากาศ
A_W = พื้นที่ผิวซึ่งตั้งฉากรับกระแสลม
ρ = ความหนาแน่นอากาศ
v = ความเร็วลม

ค่า $C_W = 0.29$ ที่ทำได้ในปัจจุบันนับได้ว่าอยู่ที่ขีดจำกัดล่างของการออกแบบรูปทรงรถยนต์แล้ว การออกแบบรถยนต์เช่นให้มีมุมเอียงกระจกที่มีความชันน้อยกว่านี้มีผลทำให้อุณหภูมิภายในห้องโดยสารมีค่าสูงขึ้นมากจนเกินไป

๒. LEAN BURNING MOTOR

แนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์หลายแห่งให้ความสำคัญและทำการค้นคว้าวิจัยในช่วงเวลา ๑๐ ปีที่ผ่านมาคือ การพัฒนาเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้แบบ Lean burning ซึ่งหมายความว่า อัตราส่วนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้กับน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่ามากกว่าหนึ่ง (λ >1) นั่นคือมีปริมาณอากาศที่มากเกินพอเสมอสำหรับการเผาไหม้แต่ละครั้ง จากการแบ่งประเภทของเครื่องยนต์ตามลักษณะเฉพาะซึ่งแตกต่างกันที่ผู้เขียนได้เคยกล่าวถึงมาแล้วในบทความฉบับก่อน **เครื่องยนต์ดีเซล** มีลักษณะเฉพาะคือ มีการจุดระเบิดด้วยตัวเอง การผสมกันระหว่างอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นการผสมภายในกระบอกสูบและมีอัตราส่วนการอัดตัวของกระบอกสูบที่สูง ด้วยลักษณะเฉพาะดังกล่าวนี้ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลมีการเผาไหม้แบบ Lean Burning เสมอ ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลใช้น้ำมันในการเผาไหม้อย่างหมดจดจึงมีอัตราความสิ้นเปลือง ที่ต่ำ กอปรกับราคาน้ำมันดีเซลในตลาดมีราคาที่ต่ำกว่าน้ำมันเบนซินจึงทำให้ผู้ใช้ประหยัดได้พอสมควร ขณะที่ **เครื่องยนต์เบนซิน** ของอ็อตโต้ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือ ต้องใช้หัวเทียนในการจุดระเบิด ส่วนใหญ่มีการผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงภายนอกห้องเผาไหม้และมีค่าอัตราส่วนการอัดตัวที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซล การเผาไหม้มีค่า λ = 1 เนื่องจากค่าอัตราส่วนอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมอิเล็คทรอนิกส์ของอุปกรณ์แค็ตตาไลเซอร์ (Catalytic converter) ที่มีหน้าที่ควบคุมปริมาณก๊าซเสีย ที่เกิดจากการเผาไหม้เพื่อให้ได้ก๊าซเสียที่มีปริมาณขององค์ประกอบเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ในกรณีที่เครื่องยนต์เบนซินต้องการกำลังงานสูงซึ่งในการเผาไหม้จะมีปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ (λ < 1) หรือมีการเผาไหม้แบบ Rich burning ชุดควบคุมของอุปกรณ์

แค็ตตาไลเซอร์จะหยุดการควบคุมชั่วคราว เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องยนต์ที่อาจเกิดขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งมีการเผาไหม้แบบ Lean burning จึงมีอัตราการเร่งที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งเนื่องมาจากการมีปริมาณน้ำมันต่อหน่วยเวลาการเผาไหม้เพื่อการให้กำลังงานที่จำกัดกว่า แต่ด้วยโมเมนต์บิดเพลาที่มีค่าสูงกว่าอันเนื่องมาจากแรงขยายตัวของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่ามากกว่าทำให้เครื่องยนต์ดีเซลสามารถให้กำลังงานที่สูงได้เช่นเดียวกัน สำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวันเครื่องยนต์ที่ดีควรสามารถให้กำลังงานที่ดีได้ในช่วงรอบการทำงานที่กว้าง สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลแล้วในช่วงความเร็วรอบ ๒,๕๐๐ ถึง ๕,๐๐๐ รอบต่อนาที นับได้ว่าเป็นเครื่องยนต์ที่ทรงพลังซึ่งสามารถให้กำลังงานได้สูง แต่ที่ความเร็วรอบมากกว่า ๕,๐๐๐ รอบต่อนาทีกำลังจะตกลงไปซึ่งการแก้ปัญหานี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มช่วงชักและ / หรือพื้นที่ผิวของลูกสูบเพื่อเพิ่มปริมาตรภายในของกระบอกสูบ การใช้ชุดช่วยหายใจพิเศษที่เพิ่มอัตราการไหลของอากาศเข้าห้องเผาไหม้ที่เรารู้จักดีในชื่อ **ชุดเทอร์โบชาร์จเจอร์** ซึ่งใช้ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นตัวขับชุดกังหันที่มีแกนต่อเชื่อมกับชุดอัดอากาศหรือคอมเพรสเซอร์ ทำให้อากาศที่ไหลเข้าเครื่องมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น นั่นคือการเพิ่มมวลอากาศหรือมวลของก๊าซอ๊อกซิเจนในกระบวนการเผาไหม้นั่นเอง ดังแสดงในรูป ๑



รูปที่ ๑ หลักการทำงานของเทอร์โบชาร์จเจอร์

๓. DIRECT INJECTING BENZINMOTOR

การพัฒนาของเครื่องยนต์ประหยัดน้ำมันในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเริ่มต้นจากการอัตรา ความสิ้นเปลืองที่ต่ำ ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการเผาไหม้แบบ Lean Burning และมีระบบการฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้แบบ Direct Injection ดังรูป ๒

รูปที่ ๒ น้ำมันเบนซินจะถูกฉีดเข้าไปในร่องลึกบริเวณส่วนบนของลูกสูบ โดยหัวฉีดอยู่ทางขวาของหัวเทียนจุดระเบิด ในตำแหน่งที่สามารถฉีดน้ำมันเข้าไปในเปลวไฟได้โดยตรง

การฉีดน้ำมันแบบ Direct Injection นั้นมีการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลของรถบรรทุกมานานหลายสิบปีแล้ว แต่ความพยายามในการนำมาใช้งานกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลประสพกับอุปสรรคที่สำคัญ คือ กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ Direct Injection มีลักษณะการเผาไหม้ที่รุนแรงและไม่มีความต่อเนื่อง ดังแสดงในรูป ๓ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์บิดที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะมีการแกว่งไปมาอย่างมาก การเพิ่มจำนวนกระบอกสูบทำให้ค่าโมเมนต์บิดเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นและค่าโมเมนต์สูงสุดมีค่าต่ำลง

รูปที่ ๓ การเปลี่ยนแปลงโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะจากหนึ่งจังหวะการทำงาน

—— เครื่องยนต์หนึ่งสูบ; -·-· เครื่องยนต์หนึ่งสูบ; --- เครื่องยนต์หนึ่งสูบ;

$M_{d,m,1,2,3}$ ค่าโมเมนต์บิดเฉลี่ยของเครื่องยนต์หนึ่งสูบ, - สองสูบ, - สามสูบ

$A_{\cup}$ ขนาดพื้นที่ซึ่งแสดงถึงค่าโมเมนต์สูงสุด

—— เครื่องยนต์หนึ่งกระบอกสูบ ; _..._... เครื่องยนต์สองกระบอกสูบ ;

_ _ _ _ _ เครื่องยนต์สามกระบอกสูบ ;

A_u = พื้นที่แสดงค่าโมเมนต์บิดสูงสุด ; $M_{d,m}$ = โมเมนต์บิดเฉลี่ย

แม้ว่า เครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่จะสามารถแก้ปัญหานี้ได้แล้วแต่การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลนี้ให้สามารถใช้ได้กับน้ำมันเบนซินโดยมีการเผาไหม้แบบ Lean burning ต้องแก้ปัญหาอื่น ๆ ต่อไป นั่นคือ การเผาไหม้โดยใช้น้ำมันเบนซินต้องการ **หัวเทียนจุดระเบิด** และค่าอัตราส่วนการอัดตัวที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถควบคุมไม่ให้สารผสมน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศเกิดการจุดระเบิดที่เร็วเกินไป เนื่องจากน้ำมันเบนซินมีจุดเดือดที่ต่ำกว่าและมีค่าอ็อคเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงระเหยและมีแนวโน้มในการเกิดการเผาไหม้ที่รวดเร็วกว่า หัวเทียนจุดระเบิดที่ใช้จะให้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงถึง ๔,๐๐๐°C ซึ่งจะทำให้สารผสมอากาศน้ำมันเชื้อเพลิงที่มี λ > 1 เกิดการเผาไหม้แต่การที่จะทำให้สารผสมนี้มีการ เผาไหม้ที่สมบูรณ์ทันทีทั้งหมดนั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ ทำให้ต้องใช้เทคนิคการฉีดน้ำมันที่ซับซ้อนขึ้นเล็กน้อยเข้าช่วย กล่าวคือจะมีการแบ่งจังหวะการฉีดน้ำมันออกเป็นสองจังหวะ จังหวะแรกคือจังหวะ Pre-injection ซึ่งจะมีการฉีดปริมาณน้ำมันส่วนน้อยออกไปก่อนที่บริเวณใกล้ ๆ กับหัวเทียนจุดระเบิด หรืออาจจะพูดได้ว่าน้ำมันถูกฉีดเข้าไปในเปลวไฟของหัวเทียนจุดระเบิด ส่วนผสมของอากาศน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงแรกนี้จะเป็นส่วนผสมที่ค่อนข้างหนา ($\lambda \cong 1$) จึงสามารถเกิดการลุกไหม้ได้ดี ในจังหวะต่อมาคือจังหวะ Main Injection ปริมาณน้ำมันหลักที่มี λ >1 จะถูกฉีดออกมาด้วยความดันประมาณ ๓๐๐ - ๔๕๐ บาร์ หลังจากจังหวะแรกเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณน้ำมันหลักถูกฉีดเข้าไปนั้นการลุกไหม้ในจังหวะแรกก็ยังมีอยู่เมื่อน้ำมันในส่วนที่สองถูกฉีดเข้าไปในปริมาณที่มากเพียงพอจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่รวดเร็ว รุนแรง ต่อเนื่องและหมดจด ปริมาณและช่วงจังหวะการฉีดน้ำมันนี้ถูกควบคุมด้วย “Control Unit” ที่ประมวลข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ แล้วสั่งให้โซลินอยด์วาล์วเปิดและปิดช่องทางจ่ายน้ำมันตามจังหวะดังกล่าวข้างต้น

อีกปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลทำให้สารผสมอากาศน้ำมันเชื้อเพลิงมีลักษณะการไหลที่เหมาะสมต่อการจุดระเบิดและการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ก็คือ การออกแบบช่องทางการไหลของอากาศเข้าห้องเผาไหม้และลักษณะของ Swirl ที่บริเวณส่วนบนของลูกสูบ ปัจจัยทั้งสองรับผิดชอบต่อลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) ของสารผสมอากาศน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ โดยลักษณะส่วนบนของลูกสูบที่เป็นร่องลึก ดังรูปที่ ๑ ทำให้อากาศมีลักษณะการไหลวนซึ่งจะช่วยทำให้น้ำมันที่ถูกฉีดเข้ามามีความปั่นป่วนมากขึ้นด้วย โดยกระบวนการทั้งหมดนี้เกิดขึ้นก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงจุดศูนย์ตายบน ดังนั้นหัวฉีดน้ำมันที่มีขนาดเพียง ๐.๒ มิลลิเมตรจึงต้องทำงานด้วยความแม่นยำสูงมากและต้องรักษาคุณสมบัตินี้ให้คงที่ตลอดช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์

ช่วงก่อนเกิดการเผาไหม้ : น้ำมันเชื้อเพลิง (มีสีขาวในภาพ) มีการไหลแบบปั่นป่วนเข้ามาสู่ห้องเผาไหม้

จังหวะการอัด : สารผสมอากาศน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกอัดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ทำให้มีการกระจายอย่างทั่วถึงภายในห้องเผาไหม้

จังหวะการจุดระเบิด : สารผสมอากาศน้ำมันเชื้อเพลิงเริ่มเกิดการเผาไหม้ ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้จะยังคงเห็นมีสีขาว

การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ แม้ว่าเปลวไฟจากการเผาไหม้แบบต่อเนื่องจะกระจายไปเกือบทั่วทั้งห้องเผาไหม้ก็ตาม สารผสมส่วนที่เหลือจะรวมตัวกัน

ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้รวมตัวกันอยู่บริเวณด้านขวาส่วนบนแล้วค่อย ๆ กระจายลงมา ทำให้เห็นเป็นกลุ่มสีขาวชัดเจนขึ้น

การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์สิ้นสุดลง ในห้องเผาไหม้ยังคงมีสารผสมหลงเหลืออยู่ ทำให้ต้องมีการพัฒนาลักษณะห้องเผาไหม้ และท่อทางการไหลของอากาศเพื่อแก้ปัญหานี้

อ่านต่อฉบับหน้า