บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไฮโดรเจนและเครื่องยนต์

ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่จะใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนยานพาหนะ เช่น เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน, จรวด, ยานอวกาศ หรือใช้ในกิจการอุตสาหกรรม โดยทั่วไปการนำไฮโดรเจนมาใช้งานอาจจะอยู่ในสถานะของแกส หรือของเหลว สำหรับในการศึกษาครั้งนี้เป็นการนำไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะของแกสมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์แกสโซลีน ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของไฮโดรเจนและของเครื่องยนต์ ดังนี้

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไฮโดรเจน

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

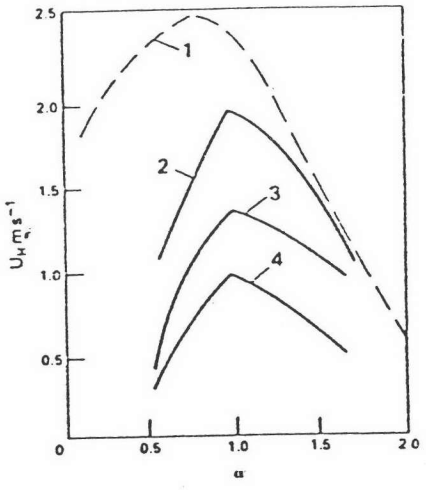
ไฮโดรเจนเป็นธาตุทางเคมีที่มีคุณสมบัติ คือ ที่อุณหภูมิปกติจะไม่มีสี, กลิ่น และไม่เป็นแกสพิษ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเคลวิน ไฮโดรเจนจะควบแน่น และที่อุณหภูมิ 14 องศาเคลวิน ไฮโดรเจนสามารถไหลผ่านชั้นของแข็งได้ แกสไฮโดรเจนมีลักษณะที่มีความสามารถในการกระจายตัวสูงมาก และสัมประสิทธิ์การกระจายตัวไฮโดรเจนในอากาศประมาณ 3 เท่าของสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของมีเทน, ออกซิเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนมีสัมประสิทธิ์มวลพลังงานที่สูงมากกว่าเชื้อเพลิงเคมีทั้งหมด และมวลพลังงานนี้จะสิ้นเปลืองน้อยกว่าเชื้อเพลิงไฮโดร-คาร์บอนประมาณ 3 เท่า, แอลกอฮอล์ประมาณ 5-6 เท่า และแอมโมเนียประมาณ 7 เท่า เป็นต้น

คุณสมบัติพื้นฐานของไฮโดรเจนและแกสโซลีน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ความเร็วของเปลวไฟที่แพร่กระจายในส่วนผสมไฮโดรเจนกับอากาศ ประมาณ 265 - 325 เซนติเมตรต่อวินาที และจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของส่วนผสม โดยจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

พลังงานที่ใช้ทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนจะต่ำตลอดช่วงการเผาไหม้ของส่วนผสมไฮโดรเจนกับอากาศ และความเร็วของการแพร่กระจายของเปลวไฟที่เกิดขึ้น ทำให้ความดันใน

กระบอกสูบเพิ่มขึ้นทันทีทันใด สามารถทำให้เกิดคลื่นการสั่นสะเทือน (Shock waves) และการน็อค (Knocking) ทำให้เพิ่มค่าความร้อนในผนังห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นทำให้เสียงานทางกล

รูปที่ 2.1 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบของความเร็วของการเผาไหม้ของส่วนผสมแกสโซลีนกับอากาศ (เส้นทึบ) และส่วนผสมของไฮโดรเจนกับอากาศ (เส้นปะ) อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันของการเผาไหม้ไฮโดรเจนในกระบอกสูบเครื่องยนต์ที่ส่วนประกอบทางทฤษฎี (Stoichiometric mixture) จะประมาณ 3 เท่าของแกสโซลีนเมื่อส่วนผสมบาง

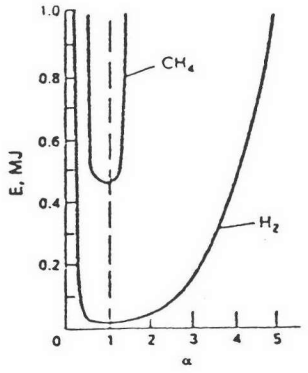


รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเปลวไฟเนื่องจาก ส่วนประกอบและอุณหภูมิของส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ:
1 = 297 K ; 2 = 473 K ; 3 = 573 K ; 4 = 673 K

กำลังที่ได้จากการเผาไหม้ส่วนผสมไฮโดรเจนกับอากาศจะน้อยกว่ากำลังที่ได้จากการเผาไหม้ของส่วนผสมแกสโซลีนกับอากาศประมาณ 10 เท่า และอุณหภูมิของการจุดระเบิดด้วยตัวเองของส่วนผสมไฮโดรเจนกับอากาศขึ้นอยู่กับปริมาณไฮโดรเจนกับอากาศของส่วนผสมนั้น และที่ส่วนประกอบทางทฤษฎี (Stoichiometric mixture) จะมีอุณหภูมิเท่ากับ 858 องศาเคลวิน

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้น้อยที่สุดของไฮโดรเจนและมีเทนในอากาศโดยจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F ratio) พลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้จะต่ำตลอดช่วงความยาวของการเปลี่ยนแปลงค่าของ A/F ratio ที่เครื่องยนต์สามารถ

เผาไหม้ไฮโดรเจนที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนอากาศจาก 4-5 ขณะเมื่อทำงานด้วยแกสโซลีน A/F ratio จะเปลี่ยนแปลงจาก 1.2-1.3



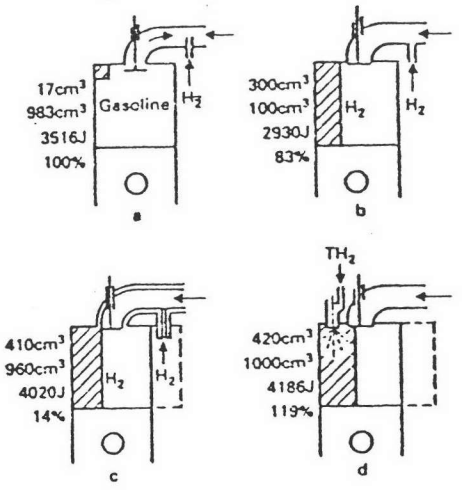
รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานการเผาไหม้ต่ำสุดของไฮโดรเจนและมีเทนในอากาศโดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอากาศ

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานด้วยไฮโดรเจนจะมีข้อดีดังนี้ ส่วนผสมไฮโดรเจนกับอากาศ จะมีช่วงการติดไฟที่กว้าง, ความเร็วของการแพร่กระจายเปลวไฟด้านหน้าสูง, ไฮโดรเจนสามารถผสมกับอากาศได้ง่าย และส่วนผสมไฮโดรเจนกับอากาศจะผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าเชื้อเพลิงเหลวกับอากาศมาก การเกิดเขม่าจากการเผาไหม้, ไฮโดรคาร์บอน, คาร์บอนมอนน็อค-ไซด์ และกลิ่นเหม็นของแกสไอเสียจะไม่เกิดขึ้น ส่วนผสมไฮโดรเจนกับอากาศจะกระจายตัวในกระบอกสูบได้อย่างสม่ำเสมอ อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนกับอากาศมีน้อย

ไฮโดรเจนจะมีข้อดีเหมือนกับเชื้อเพลิงแกสจากฟอสซิลมี แต่ที่แตกต่างจากเครื่องยนต์แกสโซลีน คือ เครื่องยนต์เผาไหม้ไฮโดรเจนไม่ต้องการส่วนผสมที่หนาเมื่อเริ่มติดเครื่องยนต์ ที่รอบเดินเบาและระหว่างการเร่งเครื่องยนต์ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์ประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้น เนื่องจากช่วงการเผาไหม้ของไฮโดรเจนมีมากกว่าน้ำมันเบนซิน อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนแปลงจาก 0.13-10.2 ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณส่วนผสมของไฮโดรเจนกับอากาศที่ 4-75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรที่สามารถติดไฟได้ ดังนั้นเครื่องยนต์เผาไหม้ไฮโดรเจนจะไม่ต้องการ

การควบคุมส่วนผสมเช่นเดียวกับกรณีของเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นสามารถตัดลิ้นปีกผีเสื้อออกได้ การเอาลิ้นปีกผีเสื้อออกจะทำให้ลดการสูญเสียงานทางกล

รูปที่ 2.3 แสดงปริมาณสูงสุดของความร้อนที่ปล่อยออกในกระบอกสูบเครื่องยนต์ที่ปริมาตรเท่ากับ 1.0 ที่ตำแหน่งทิศทางบรรจุไฮโดรเจนต่าง ๆ นอกจากนั้นสามารถเห็นได้อย่างหนึ่งคือ เมื่อเครื่องยนต์เผาไหม้น้ำมันเบนซินไอของน้ำมันจะเกิดขึ้นประมาณ 17 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของกระบอกสูบ ขณะไฮโดรเจนจะมีปริมาตรในกระบอกสูบ ประมาณ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นสามารถอธิบายได้ว่า ด้วยความหนาแน่นของไฮโดรเจนที่น้อยจะเข้าไปแทนที่อากาศ ทำให้จำนวนของอากาศที่เข้ามาในกระบอกสูบจะน้อยลง ทำให้ตัวประกอบพื้นที่ของกระบอกสูบน้อยลง เมื่อเผาไหม้ไฮโดรเจนแล้วจะมีค่ากำลังของเครื่องยนต์น้อยกว่า



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนสูงสุดของความร้อนที่ได้ในกระบอกสูบและปริมาตรที่เกิดขึ้นโดยแกสโซลีนและไฮโดรเจน : a = เครื่องยนต์เผาไหม้แกสโซลีน ; b = เครื่องยนต์เผาไหม้ไฮโดรเจนด้วยการฉีดไฮโดรเจนในท่อร่วมไอดี ; c = เครื่องยนต์เผาไหม้ไฮโดรเจนด้วยไฮโดรเจนเหลวฉีดในท่อร่วมไอดี ; d = เครื่องยนต์เผาไหม้ไฮโดรเจนด้วยไฮโดรเจนเหลวในกระบอกสูบ

ความร้อนที่ปล่อยจากหนึ่งหน่วยปริมาตรของส่วนผสมทางทฤษฎี (Stoichiometric mixture) ของไฮโดรเจนกับอากาศ ได้มาจากในคาร์บูเรเตอร์เกือบเท่ากับ 0.81 ของความร้อนของ

ส่วนผสมทางทฤษฎีของแกสโซลีนกับอากาศ ถ้าไฮโดรเจนถูกบรรจุโดยตรงในกระบอกสูบเครื่องยนต์ ความร้อนที่ปล่อยออกจะมากกว่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของไฮโดรเจนในสถานะแกสจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของแกสโซลีนมาก ประมาณ 56 เท่า เพราะว่า อัตรากำลังของเครื่องยนต์เผาไหม้ไฮโดรเจนจะขึ้นอยู่กับวิธีการบรรจุไฮโดรเจนในกระบอกสูบเครื่องยนต์

การเกิดเปลวไฟย้อนกลับ (Backfiring) สามารถเกิดขึ้นในท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ เนื่องจากความสามารถของการทำปฏิกิริยาที่สูงของไฮโดรเจนเมื่อเครื่องยนต์เผาไหม้ด้วยไฮโดรเจน จะเกิดเปลวไฟขึ้นในคาร์บูเรเตอร์

เปลวไฟที่เกิดขึ้นในคาร์บูเรเตอร์อธิบายได้ว่า เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการจุดระเบิดที่ต่ำของไฮโดรเจน ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่บาง (Lean fuel-air mixtures) ใช้แกสไอเสียไหลกลับ (Recirculation of exhaust gases) หรือใช้น้ำฉีด (Water injection) เข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์ ทั้ง 3 วิธีนี้จะทำให้อัตราการแพร่กระจายของเปลวไฟต่ำลง และดังนั้นต้องเพิ่มพลังงานที่จำเป็นสำหรับจุดส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ

คุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวของกับการใช้งาน

1. ความปลอดภัยต่อการเกิดอัคคีเพลิง จากคุณสมบัติของไฮโดรเจนที่มีความหนาแน่นน้อยมากจึงมีผลทำให้ไฮโดรเจนมีน้ำหนักเบามาก โดยเบากว่าอากาศถึง 14 เท่า (ที่ความดันและอุณหภูมิปกติ) ดังนั้นจึงลอยตัวขึ้นสู่บรรยากาศได้อย่างรวดเร็ว โอกาสที่จะเกิดการลุกไหม้ที่ระดับพื้นดินจึงมีน้อยมาก ส่วนโอกาสที่จะมีการลุกไหม้ได้ก็ คือ เกิดการรั่วซึมอย่างรวดเร็วจนความหนาแน่นของไฮโดรเจนที่สะสมในบริเวณนั้นมีปริมาณเพียงพอที่จะลุกไหม้ได้

2. ความปลอดภัยต่อสุขภาพ ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด, ไม่มีสี, ไม่มีกลิ่น และในปัจจุบันยังไม่สามารถค้นพบได้ว่าไฮโดรเจนจะมีผลต่อมนุษย์, สัตว์, พืช และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

3. การกัดกร่อน โดยปกติแล้วไฮโดรเจนจะไม่กัดกร่อนโลหะ แต่ถ้าเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนจะได้น้ำ ทำให้เกิดสนิม และกัดกร่อนเหล็กได้

การเก็บไฮโดรเจน (Hydrogen Stoage)

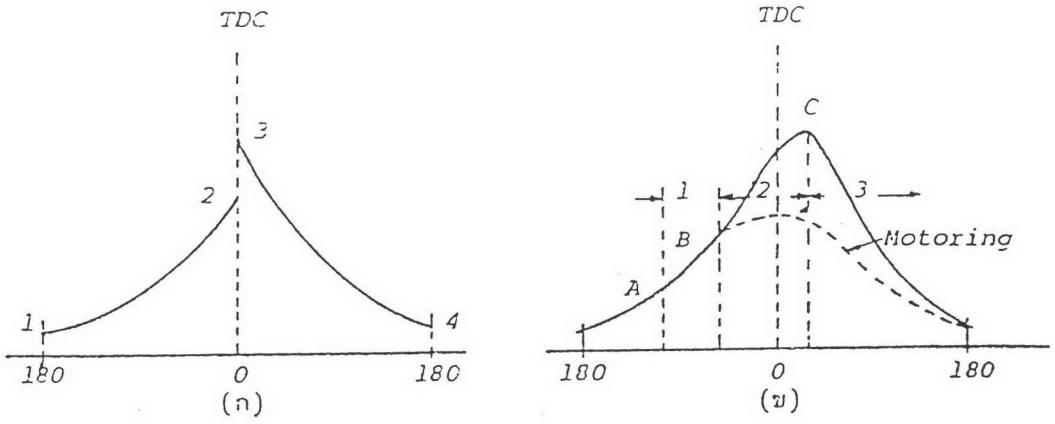
เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสามารถเก็บได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป โดยการศึกษาครั้งนี้จะยกตัวอย่างข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี[2] ซึ่งจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละวิธี ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ความรู้เบื้องต้นของเครื่องยนต์

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่เห็นกันทั่ว ๆ ไป ได้แก่ เครื่องยนต์แกสโซลีน ไฟจะเริ่มก่อตัวขึ้นที่หัวเทียนก่อน แล้วค่อย ๆ ลุกลามออกไปรอบๆหัวเทียน การเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความร้อนที่ได้จากประกายไฟสูงกว่าความร้อนที่จะสูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ ถ้าไม่มีอุปสรรคใด ๆ เกิดขึ้น เปลวไฟก็จะเคลื่อนที่ไปทั่วห้องเผาไหม้ อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง ก็มีส่วนทำให้เครื่องยนต์ติดหรือไม่ติดได้เหมือนกัน จากการทดลองปรากฏว่า อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเบนซิน ที่หนากว่า 7 : 1 หรือบางกว่า 30 : 1 การเผาไหม้จะไม่เกิดขึ้น แต่ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ด้วย ถ้าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูง การเผาไหม้อาจจะเกิดขึ้นเองก็ได้ (Autoignition) โดยทั่ว ๆไปขอบเขตของอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันที่ติดไฟได้อยู่ระหว่าง 8 : 1 ถึง 20 : 1

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ตามทฤษฎีจะเกิดขึ้นที่ศูนย์ตายบนและเสร็จสิ้นที่ศูนย์ตายบน ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ก) แต่ในทางปฏิบัติการเผาไหม้จะเริ่มขึ้นก่อนศูนย์ตายบนประมาณ 20 องศา และเสร็จสิ้นหลังศูนย์ตายบนเล็กน้อย ขั้นตอนของการเผาไหม้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ข) ตอนที่ 1 ส่วนใหญ่จะเป็นช่วงของการทำปฏิกิริยาเคมี หรือที่เรียกว่า ช่วงแห่งความล่าช้าของการจุดระเบิด (Ignition Delay) ตอนที่ 2 เป็นช่วงที่การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งอุณหภูมิและความดันเกิดขึ้นเร็วมากระหว่างตอนที่1 และตอนที่ 2 จะแยกกันไม่ค่อยออก แต่พอจะอนุโลมเอาตรงที่ความดันของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการจุดระเบิด (Firing Engine) จะแยกออกจากความดันที่เกิดจากเครื่องยนต์นั้น เมื่อถูกขับด้วยมอเตอร์ (Motoring Engine) ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ข) ขั้นตอนที่ 3 เป็นตอนเผาไหม้ขั้นสุดท้ายนับตั้งแต่ความดันสูงสุดออกไป จนถึงการเผาไหม้เสร็จสิ้น



รูปที่ 2.4 (ก) การเผาไหม้ตามทฤษฎี

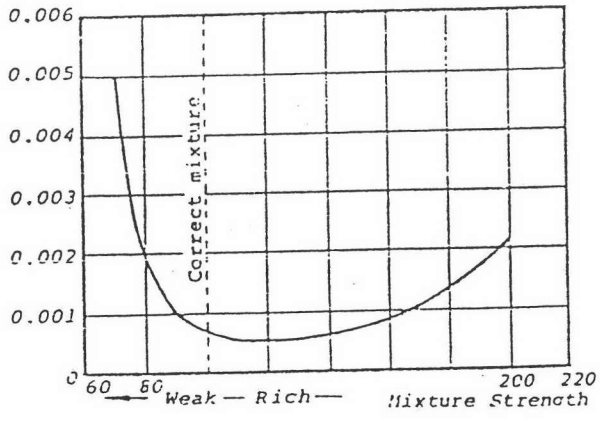
(ข) ขั้นตอนของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ SI

ความล่าช้าของการจุดระเบิดในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

การเผาไหม้เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ก่อนการเผาไหม้จะเกิดขึ้น จะต้องใช้เวลาพักหนึ่งสำหรับการรวมตัวและผสมผสานกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน และจะต้องใช้เวลาอีกพักหนึ่งสำหรับการทำปฏิกิริยา เวลาที่เสียไปทั้งสองขบวนการนี้เรียกว่า "ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิด" ซึ่งในช่วงแรกเรียกว่า ความล่าช้าทางกายภาพ (Physical Delay) และช่วงหลังเรียกว่า ความล่าช้าทางเคมี (Chemical Delay) ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินแบบใช้คาร์บูเรเตอร์นั้นความล่าช้าทางกายภาพมีน้อย เพราะน้ำมันและอากาศผสมกันมาเรียบร้อยแล้วก่อนที่จะเข้าห้องเผาไหม้ ต่างจากเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งน้ำมันและอากาศแยกกันเข้ามาและมาผสมกันในห้องเผาไหม้ ดังนั้นความล่าช้าของการจุดระเบิดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ จึงขึ้นอยู่กับความล่าช้าทางเคมี อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ความล่าช้าของการจุดระเบิดนี้เกิดขึ้นเร็วหรือช้า นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกมากดังต่อไปนี้

1. ชนิดของเชื้อเพลิง คุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องกับความล่าช้าแห่งการจุดระเบิด ได้แก่ จุดติดไฟหรือความไวไฟของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีจุดติดไฟไม่เหมือนกัน เชื้อเพลิงที่จุดติดไฟต่ำ ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดจะมีน้อยกว่าในเชื้อเพลิงที่จุดติดไฟสูง

2. อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศมีผลกระทบกระเทือนต่ออัตราการเผาไหม้ (Rate of burning) และปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิง อัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ให้ความเร็วของเปลวไฟสูงสุดหรือมีความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดน้อยที่สุดอยู่ที่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ทางซีกหนาของอัตราส่วนที่ถูกต้องทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.5 อัตราส่วนผสมที่ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงน้อย ความร้อนที่จะได้จากเชื้อเพลิงก็มีน้อยด้วย จะทำให้มีความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดมีมาก และถ้าอัตราส่วนผสมที่หนามากเกินไปก็จะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ประสิทธิภาพทางความร้อนจะลดลงและความเร็วของเปลวไฟลดลงด้วย



รูปที่ 2.5 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศและเวลาของการเผาไหม้

3. อัตราส่วนการอัด เครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูงเวลาเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความดันของแกสสูง มีไอเสียตกค้างน้อย อัตราการทำปฏิกิริยาหรือความเร็วในการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้น อุณหภูมิมีบทบาทสำคัญมาก ถ้าอุณหภูมิต่ำอัตราการทำปฏิกิริยาจะช้า และจะเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความดันเป็นปัจจัยที่ทำให้อุณหภูมิต่ำหรือสูง ดังนั้นเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูงจึงมีส่วนช่วยให้อัตราการทำปฏิกิริยาเร็วขึ้น

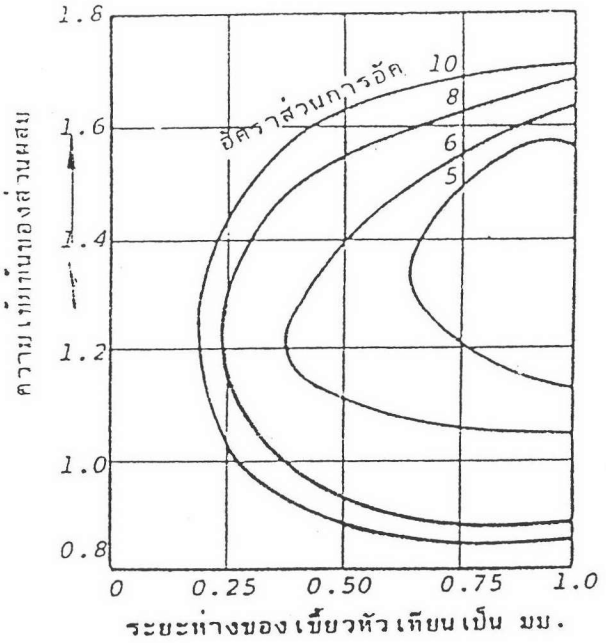
4. อุณหภูมิและความดันของไอดี ความดันของไอดีมีส่วนช่วยให้อัตราการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงกับอากาศให้เร็วขึ้นเหมือนกันแต่มีผลน้อยกว่าอุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิและความดัน

ให้กับไอดีจะด้วยวิธีใดก็ตาม จะไปลดเวลาของการทำปฏิกิริยาของไอดี การเพิ่มอุณหภูมิและความดันให้กับไอดีเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้อัตราการทำปฏิกิริยาเร็วขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวระบายความร้อนหรือการเพิ่มอุณหภูมิให้กับกระบอกสูบและห้องเผาไหม้ก็จะช่วยให้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยลง (ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดจะน้อยลง)

5. การหมุนเวียนของแกสและความเร็วของเครื่องยนต์ อัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศนั้น ความจริงไม่ได้ขึ้นอยู่กับการหมุนเวียนของแกสภายในกระบอกสูบมากนัก แต่การหมุนเวียนของแกสจะช่วยให้การคลุกเคล้าและผสมผสานกันของเชื้อเพลิงกับอากาศดีขึ้น ความเร็วของเครื่องยนต์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การหมุนเวียนของแกสเปลี่ยนไป ถ้าความเร็วเพิ่มขึ้น การหมุนเวียนหรือการเคลื่อนที่ของแกสก็จะเร็วขึ้นด้วย ที่ความเร็วสูงเวลาสำหรับการเผาไหม้มีน้อย แต่การหมุนเวียนมีมากก็อาจจะช่วยให้การเผาไหม้เสร็จเร็วขึ้นได้ อย่างไรก็ตามถ้าการหมุนเวียนของแกสมีมาก จะทำให้เสียพลังงานความร้อนมากด้วยและอีกประการหนึ่งถ้าบริเวณหัวเทียนมีการหมุนเวียนของอากาศมากอาจจะทำให้เครื่องไม่ติด ด้วยเหตุนี้เครื่องยนต์บางเครื่องต้องเอาหัวเทียนไปติดตั้งไว้ในที่อับหรือในซอกของห้องเผาไหม้

6. ระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียน ระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนเป็นตัวกำหนดปริมาณของประกายไฟ ถ้าเขี้ยวหัวเทียนแคบ ประกายไฟมีน้อยความร้อนที่ได้จากประกายไฟเพื่อเอาไปช่วยทำปฏิกิริยาเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศมีน้อยมาก การเผาไหม้อาจจะไม่เกิดขึ้น และอีกประการหนึ่งเขี้ยวหัวเทียนห่างใช้กับอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศได้กว้างขวางกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.6

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เขี้ยวหัวเทียนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศลดลง รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเชื้อเพลิงและระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนที่อัตราส่วนการอัดต่าง ๆ ที่อัตราส่วนการอัดต่ำ ๆ ระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนต้องมากขึ้น และยังทราบต่อไปอีกว่าที่อัตราส่วนการอัดสูง ๆ และเครื่องเดินเร็ว ๆ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เขี้ยวหัวเทียนมีมาก



รูป 2.6 ระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนกับความเข้มข้นของส่วนผสมที่อัตราส่วนการอัดต่าง ๆ

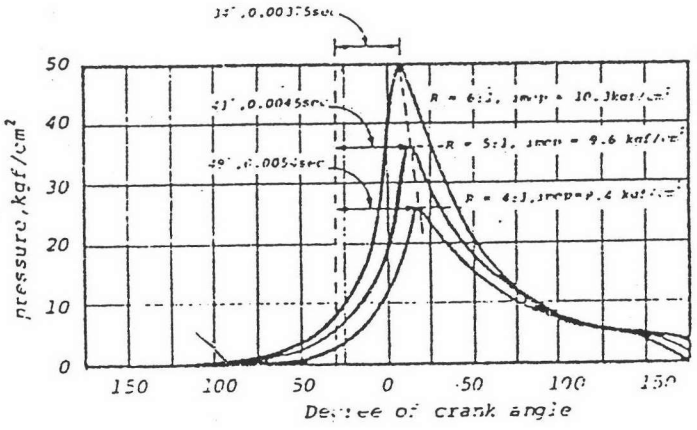
การเคลื่อนที่ของเปลวไฟในห้องเผาไหม้

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ มีอิทธิพลต่อการถีบตัวขึ้นของความดัน (Pressure rise) งานจากเครื่องยนต์จะมากหรือน้อย ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับการถีบตัวขึ้นของความดัน การเผาไหม้ที่เสร็จสิ้นโดยเร็วจะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูง และการน็อคในเครื่องยนต์จะลดน้อยลง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของเปลวไฟมีดังนี้

1. ส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศ ปริมาณน้ำมันในส่วนผสมเป็นตัวกำหนดปริมาณความร้อนในห้องเผาไหม้ ถ้าส่วนผสมมีน้ำมันน้อย ความร้อนที่น้ำมันปล่อยออกมา (ซึ่งจะต้องนำไปช่วยหรือเร่งอัตราการเผาไหม้) ก็มีน้อย ทำให้การเคลื่อนที่ของเปลวไฟช้าด้วย ส่วนผสมที่มีน้ำมันมากเกินไปก็ไม่ดี จะไปทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดคาร์บอนมอนน็อคไซด์ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ ส่วนผสมที่พอเหมาะอยู่ประมาณ 0.09 (น้ำมันกับอากาศ) หรือค่อนข้างไปทางหนาของส่วนผสมที่ถูกต้องทางเคมี รูป 2.8 (b)

2. การหมุนเวียนของแกสในห้องเผาไหม้ การหมุนเวียนของแกสในห้องเผาไหม้มีส่วนทำให้การเผาไหม้เสร็จเร็วหรือช้าได้เป็นอย่างมาก เครื่องยนต์ที่ไม่มีการหมุนเวียนของแกสในห้องเผาไหม้ เปลวไฟเคลื่อนที่ช้ามากซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการสร้างเครื่องยนต์รอบจัด การหมุนเวียนของแกสจะช่วยให้ความร้อนเคลื่อนที่ไปยังที่ต่าง ๆ และช่วยคลุกเคล้าส่วนผสมที่กำลังเผาไหม้ และที่ยังไม่ได้เผาไหม้ให้เข้ากัน ทั้งสองอย่างนี้จะช่วยให้เปลวไฟเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ส่วนผสมที่บางเกินไปอาจจะไม่ลุกไหม้ในสภาวะปกติ แต่จะลุกไหม้ได้ถ้ามีการหมุนเวียนของแกส อย่างไรก็ตามการหมุนเวียนของแกสก็มีส่วนเสียนอกจากจะสูญเสียพลังงานความร้อนแล้ว เครื่องอาจจะเดินไม่เรียบ (ความดันถีบตัวสูงขึ้นมาก) มีเสียงดัง

3. อัตราส่วนการอัด ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าอัตราส่วนการอัดทำให้ความดัน และอุณหภูมิสูง ซึ่งจะไปอุ่นให้ส่วนผสมที่ยังไม่ได้เผาไหม้ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ง่ายต่อการลุกไหม้ การเผาไหม้จึงเกิดขึ้นเร็ว เครื่องยนต์ที่มีอัคราการอัดสูงจะได้ความดันสูงสุด (Maximum Pressure) สูงขึ้นซึ่งทำให้ได้ความดันเฉลี่ยสูงขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความดันสูงสุดที่อัตราส่วนการอัดต่างกันของเครื่องยนต์เดียวกัน

4. ภาระงานของเครื่อง (Load) ภาระงานของเครื่องหรือการใช้งานของเครื่องในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปิด-เปิดลิ้นเร่ง ถ้าเครื่องยนต์เดินอย่างธรรมดาหรือเดินเบา ลิ้นเร่งจะเปิดให้ส่วนผสมเข้าห้องเผาไหม้เป็นบางส่วนเท่านั้น ปริมาณของส่วนผสมในห้องเผาไหม้มีน้อย ความดันสูงสุดและความดันเฉลี่ยจึงมีน้อย นอกจากนี้ไอเสียตกค้างจะเพิ่ม

ขึ้น ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ ฉะนั้นการเพิ่มภาระงานหรือการใช้เครื่องทำงานหนักจึงทำให้ความดันเพิ่มขึ้น นั่นคือความเร็วของเปลวไฟเพิ่มขึ้นด้วย

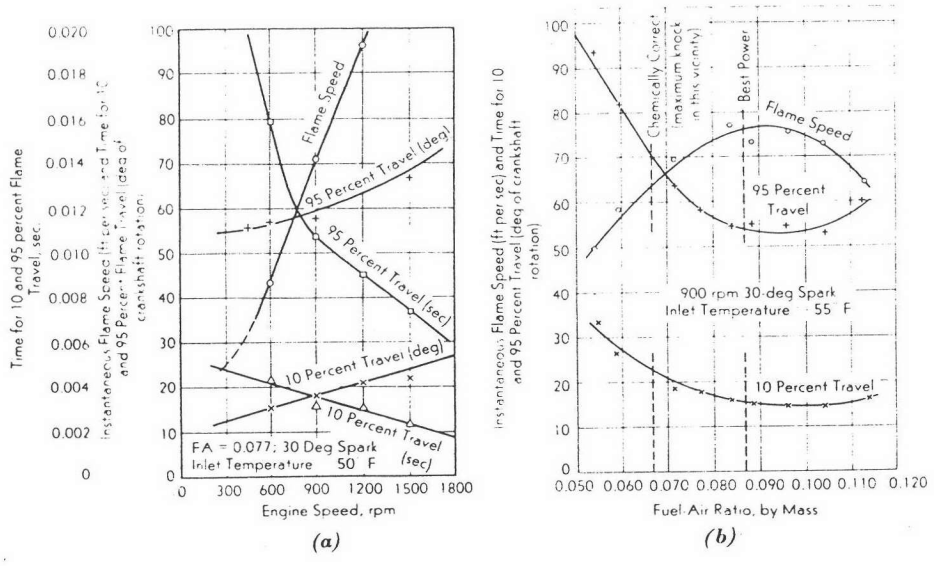
เครื่องยนต์ที่รับภาระงานน้อย ๆ มักจะเดินไม่ค่อยเรียบ (เนื่องจากไอเสียตกค้างมากและความดันต่ำ) วิธีแก้ไขโดยเพิ่มน้ำมันในส่วนผสมให้หนาขึ้น จะทำให้มีปัญหาเรื่องการเผาไหม้ซึ่งกินเวลาเข้าไปในจังหวะขยายตัว จะไม่ได้งานเท่าที่ควร และทำให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้นด้วย ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งสำหรับการเพิ่มน้ำมันนี้คือทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนหนึ่งของเชื้อเพลิงจะต้องสูญเสียไป (อาจจะอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ เช่น คาร์บอนมอนน็อกไซด์, มีเทน ฯลฯ)

5. อุณหภูมิและความดันของไอดี อุณหภูมิและความดันของไอดี ถ้าสูงอัตราการเผาไหม้จะสูงขึ้น การเคลื่อนที่ของเปลวไฟก็จะสูงขึ้นด้วย

6. ความเร็วของเครื่องยนต์ ความเร็วของเครื่องยนต์มิได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ แต่จะทำให้การหมุนเวียนของแกสในห้องเผาไหม้สูงขึ้น ถ้าความเร็วของเครื่องยนต์สูงขึ้น ดังนั้นความเร็วของเปลวไฟจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของเครื่องยนต์เช่น เครื่องยนต์เดินที่ 1500 รอบต่อนาที สมมติให้ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดเป็น 8 องศาก่อนศูนย์ตายบน และการเคลื่อนที่ของเปลวไฟเป็น 12 องศา รวมเป็นมุมของการเผาไหม้ 20 องศา ถ้าความเร็วของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า คือ 3000 รอบต่อนาที เวลาสำหรับความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดก็ยังคงที่อยู่ นั่นคือถ้าคิดเป็นมุมที่เพลาข้อเหวี่ยงจะต้องเป็น 16 องศา สำหรับการเคลื่อนที่ของเปลวไฟก็ยังคงเป็น 12 องศาตามเดิม รวมเป็นมุมสำหรับการเผาไหม้ 28 องศา ซึ่งผิดไปจากเดิม 8 องศา จะเห็นว่ามุมแห่งการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนที่ความเร็วต่าง ๆ มีค่าเกือบคงที่ แต่ถ้าคิดเป็นเวลาจะเห็นว่าเวลาแห่งการเผาไหม้จะลดลง เมื่อความเร็วของเครื่องยนต์สูงขึ้น ดังแสดงในรูป 2.8

7. ขนาดของเครื่องยนต์ การออกแบบเครื่องยนต์โดยทั่ว ๆ ไปจะยึดความเร็วของการเคลื่อนที่ของลูกสูบเป็นหลัก เครื่องเล็กก็สามารถออกแบบให้มีความเร็วรอบสูงกว่าเครื่องใหญ่ได้ ระยะทางเคลื่อนที่ของเปลวไฟในเครื่องเล็กสั้นกว่า สมมติให้เครื่องใหญ่มีขนาดเป็น 2 เท่าของเครื่องเล็ก เวลาที่ใช้ในการเดินทางของเปลวไฟก็จะเป็น 2 เท่าของเครื่องเล็กด้วย ความเร็วรอบของเครื่องเล็กก็สามารถสร้างได้เป็น 2 เท่าของเครื่องใหญ่ การหมุนเวียนของแกสก็มากขึ้นเป็น 2

เท่าของเครื่องใหญ่ การเผาไหม้ถ้าคิดเป็นเวลาในเครื่องเล็กจะเร็วกว่าเครื่องใหญ่ ถ้าคิดเป็นองศาของเพลาข้อเหวี่ยงจะเกือบเท่ากัน



รูปที่ 2.8 (a) แสดงความเร็วของเปลวไฟและช่วงการเผาไหม้ที่คิดเป็นเวลาและองศาของเพลาข้อเหวี่ยงที่ความเร็วต่าง ๆ

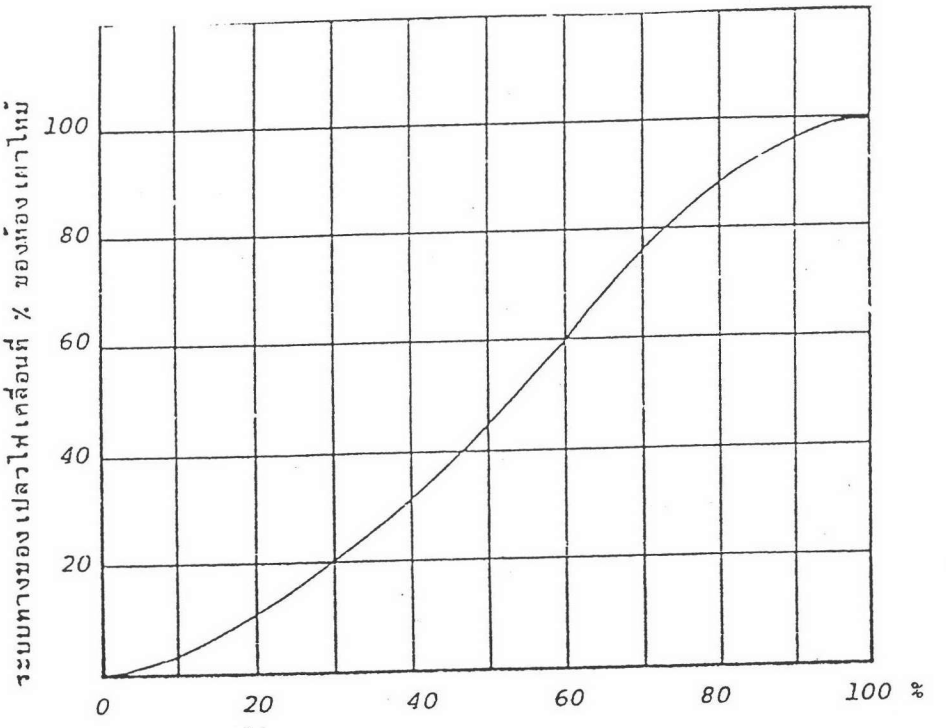
(b) แสดงความเร็วของเปลวไฟและช่วงการเผาไหม้ที่คิดเป็นองศาของเพลาข้อเหวี่ยงที่ความเข้มข้นของน้ำมันต่าง ๆ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การตั้งไฟจุดระเบิดถ้าตั้งให้จุดระเบิดก่อนถึงศูนย์ตายบนมาก ๆ จะทำให้ได้งานทางลบมาก แต่งานทางบวกก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าตั้งไฟให้จุดระเบิดที่ศูนย์ตายบนหรือก่อนศูนย์ตายบนเล็กน้อย จะทำให้ได้งานทางลบน้อย แต่งานทางบวกก็น้อยด้วย ในทางปฏิบัติการตั้งไฟให้จุดระเบิดที่ซึ่งจะให้ความดันสูงสุดประมาณ 10 องศาหลังศูนย์ตายบน รูปที่ 2.8 แสดงการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนที่ตั้งไฟให้จุดระเบิด 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

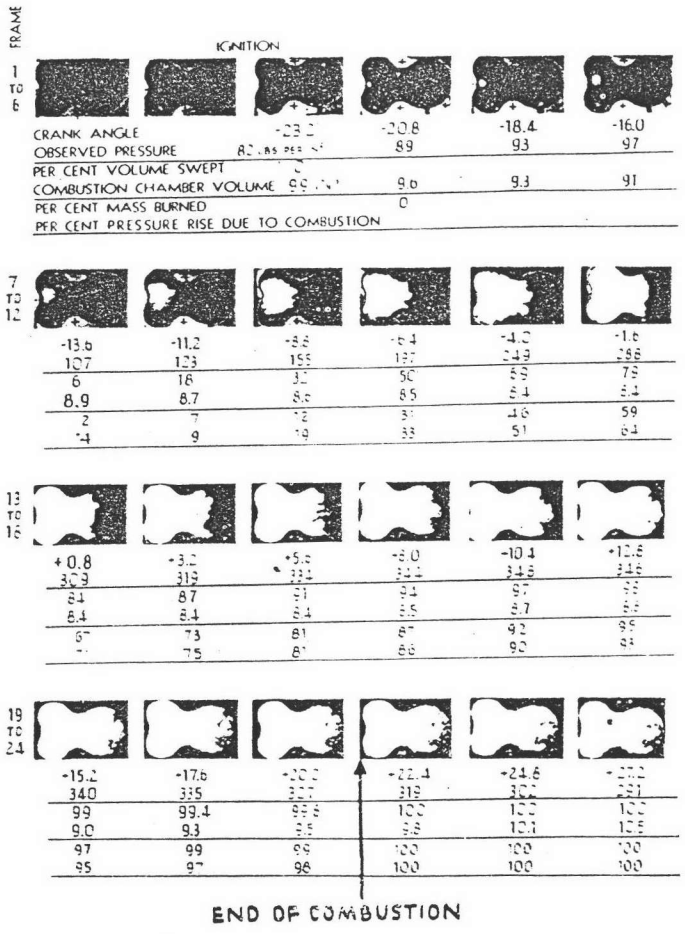
ที่ความเร็วต่ำ ๆ เวลาของการเผาไหม้มากกว่าที่ความเร็วสูง ๆ เช่นที่ 600 รอบต่อนาที ระหว่างการเผาไหม้ 10 - 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาประมาณ 0.012 รอบต่อนาที จะใช้เวลาประมาณ 0.006 วินาที แต่มุมของการเผาไหม้ในช่วงเดียวกันมีค่าเกือบคงที่ ความเร็วของเปลวไฟที่อัตรา

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนผสม(อากาศ-น้ำมัน) ค่อนข้างหนาเล็กน้อยจะมากกว่าที่อัตราส่วนผสมบางและหนาดังแสดงในรูปที่ 2.8 (b)



รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่ของเปลวไฟในห้องเผาไหม้

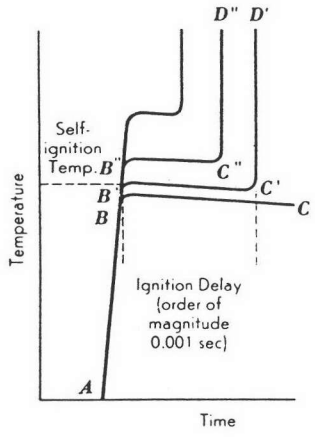


รูปที่ 2.10 กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

รูปที่ 2.10 เป็นภาพถ่ายของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน แสดงการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้เริ่มจากหัวเทียนซึ่งอยู่ทางซ้ายมือ ในตอนแรก ๆ การเผาไหม้เป็นไปอย่างช้า ๆ ที่ประมาณ 8 องศาก่อนศูนย์ตายบนเป็นต้นไป การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เปลวไฟส่วนหน้าจะอัดแกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ซึ่งอยู่ถัดไปให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยการเผาไหม้ในตอนหลัง ๆ ให้เร็วยิ่งขึ้น ถ้าการเผาไหม้เป็นไปตามปกติเปลวไฟจะเสร็จสิ้นหรือดับรอบ ๆ กระบอกสูบ ในที่นี้การเผาไหม้เสร็จสิ้นที่ภาพ 21 หรือที่ 20 องศาหลังศูนย์บน ความดันสูงสุดเกิดขึ้นที่ประมาณ 12 องศาหลังศูนย์ตายบน

ปฏิกิริยาเคมีและการจุดระเบิดด้วยตัวเอง

ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟเข้าช่วยก็ติดไฟเองได้ ถ้าอุณหภูมิที่อยู่รอบ ๆ สูงถึงอุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงนั้น การติดไฟเช่นนี้เรียกว่า การจุดระเบิดด้วยตนเอง ถ้าจะศึกษาให้ละเอียดต่อไปว่าการจุดระเบิดด้วยตัวเองเกิดขึ้นได้อย่างไร ลองพิจารณาอนุภาคเล็ก ๆ ของออกซิเจนและของเชื้อเพลิง (ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ) เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีการเคลื่อนที่มากขึ้น กระทบกันบ้าง ชนกันบ้าง จนในที่สุดถ้าทนไม่ได้อนุภาคเหล่านั้นก็จะสลายตัวหรือรวมตัวเกิดเป็นสารใหม่ขึ้น เช่น อนุภาคของคาร์บอนรวมตัวกับอนุภาคของออกซิเจนได้สารใหม่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น การรวมตัวเช่นนี้เป็นการปฏิบัติการทางเคมี ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้และให้ความร้อนออกมาด้วย (ปฏิกิริยาเคมีบางอย่างเมื่อเกิดขึ้นแล้วต้องใช้ความร้อนหรือความร้อนหายไปจากกระบวนการ) สำหรับส่วนผสมน้ำมันกับอากาศที่ใช้ในเครื่องยนต์แกสโซลีน เมื่อเกิดจุดระเบิดด้วยตัวเองมักจะมีสภาพรุนแรง กล่าวคือทั้งความดันและความร้อนจะสูงขึ้นมากในเวลาอันรวดเร็ว แต่โชคดีที่เครื่องยนต์จริง ๆ นั้นมีไอเสียตกค้างและในอากาศมีแกสเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน เป็นตัวต้านทานไม่ให้ปฏิกิริยาเคมีนี้รุนแรงจนเกินไป นอกจากนี้อาจจะใช้สารเติมต่าง ๆ เช่น ออกเทนเติมลงไปในน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อชลอการจุดระเบิดด้วยตัวเองก็ได้



รูปที่ 2.11 ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดและอุณหภูมิจุดระเบิดด้วยตัวเอง

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดระเบิดด้วยตัวเอง ถึงแม้แกสจะถูกอัดให้มีความหนาแน่นและมีความดันมากเท่าใดก็ตาม แต่ถ้าอุณหภูมิของแกสไม่ถึงจุดติดไฟ แกสนั้นก็จะไม่ลุกไหม้ และถ้าทิ้งไว้นานเกินช่วงความล่าช้าแห่งการจุดระเบิด แกสนั้นก็จะค่อย ๆ เย็นลงไปเองตามเส้น ABC ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ถ้าอุณหภูมิของแกสสูงถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง เช่น ที่จุด B' การจุดระเบิดด้วยตัวเองก็จะเกิดขึ้นเมื่อช่วงเวลาแห่งความล่าช้าหมด (B'C') การระเบิดก็จะเกิดขึ้นตามเส้น AB'C'D' รูปที่ 2.11 ถ้าส่วนผสมถูกอัดทำให้อุณหภูมิขึ้นสูงมาก เช่นที่ B'' ช่วงเวลาแห่งความล่าช้าก็จะเหลือน้อย การจุดระเบิดจะเกิดขึ้นตามเส้น AB''C''D'' รูปที่ 2.11

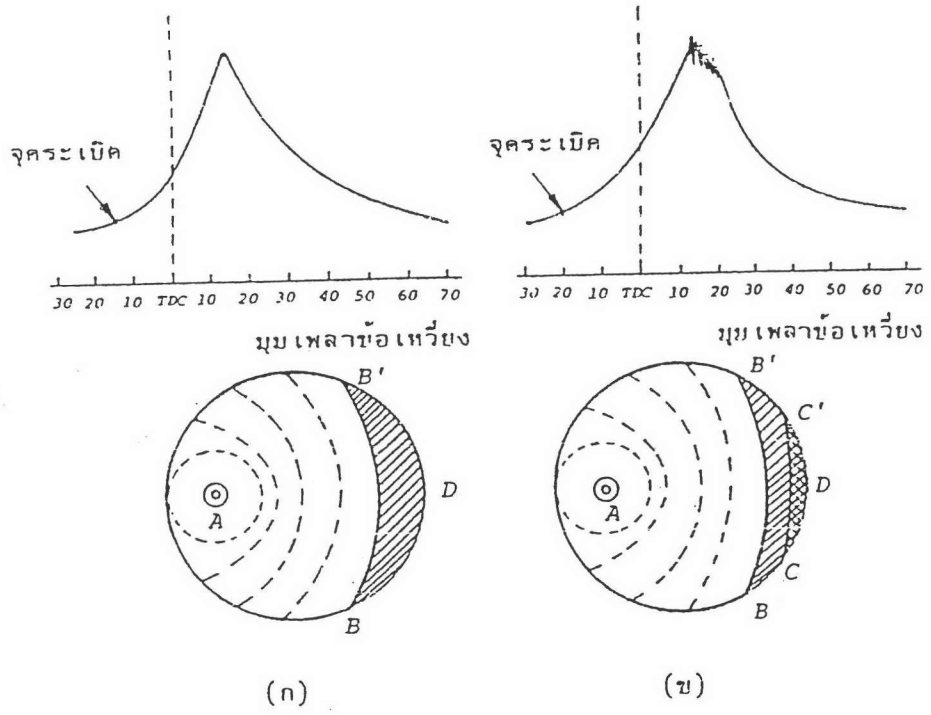
ในช่วงเวลาแห่งความล่าช้าของการจุดระเบิด (B'C') ปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นเรียกว่า "ปฏิกิริยาก่อนการเกิดไฟ" (Pre-flame reaction) ซึ่งเป็นช่วงที่ตระเตรียมเพื่อเกิดการลุกไหม้ ปฏิกิริยาในช่วงนี้เป็นไปอย่างสลับซับซ้อน ยังไม่มีใครทราบที่แน่นอน อย่างไรก็ตามมีผู้ให้ความเห็นว่าในช่วงนี้เชื้อเพลิงจะสลายตัว เกิดสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ (Aldehydes) เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และอื่น ๆ และให้ความร้อนออกมาด้วยสารใหม่ที่เกิดขึ้นบางตัวก็ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งซึ่งเป็นทางนำไปสู่การจุดระเบิดด้วยตัวเอง

การน็อคในเครื่องยนต์จุกระเบิดด้วยประกายไฟ

การเผาไหม้ปกติดังแสดงในรูปที่ 2.12(ก) เปลวไฟเริ่มเคลื่อนที่จาก A ไป D ด้วยความเร็วปกติ (60 เมตรต่อวินาที) ขณะที่เปลวไฟเคลื่อนที่ไปข้างหน้า จะอัดแกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ BB'D ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ความร้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยายังช่วยให้อุณหภูมิของแกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้นี้สูงขึ้นอีดด้วย ถ้าแกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้มีอุณหภูมิไม่ถึงจุดดติดไฟของเชื้อเพลิงมันก็จะไม่จุดระเบิด เปลวไฟส่วนหน้า BB' ก็จะเคลื่อนที่ไปจนสุดมุมที่ไกลที่สุดของห้องเผาไหม้ กราฟที่เขียนบนแกนความดัน-มุมข้อเหวี่ยงจะเป็นเส้นเรียบ

การเผาไหม้ผิดปกติที่ เรียกว่า ดีโตเนชั่น หรือน็อค (Detonation Knock) นั้นไอดีที่อยู่ห่างไกลออกไป จะจุดระเบิดด้วยตัวของมันเองก่อนที่เปลวไฟจะเดินทางไปถึง การที่จะเกิดจุดระเบิดด้วยตัวเองได้ ไอดีส่วนนั้นจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดติดไฟ และจะต้องอยู่ที่อุณหภูมินี้เป็นระยะเวลาหนึ่งที่เรียกว่า ความล่าช้าแห่งทางจุดระเบิด ในรูปที่ 2.12(ข) เปลวไฟส่วนหน้าเคลื่อนที่มาถึง BB' แกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ BB'D มีอุณหภูมิถึงจุดติดไฟ มันจะอยู่ในสภาพที่พร้อมจะจุดตัวเองได้ตลอดเวลา ถ้าเปลวไฟเคลื่อนที่จาก BB' ถึง D โดยเผาไหม้ประจุตามปกติ

และเสร็จสิ้นก่อนที่ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดจะหมดไปก็จะไม่เกิดการน็อค แต่ถ้าเปลวไฟส่วนหน้าเคลื่อนที่มาได้เพียง CC' ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดหมดลง แกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ส่วนที่เหลือ CC'D จะจุดระเบิดด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้เกิดการน็อคขึ้น



รูปที่ 2.12 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

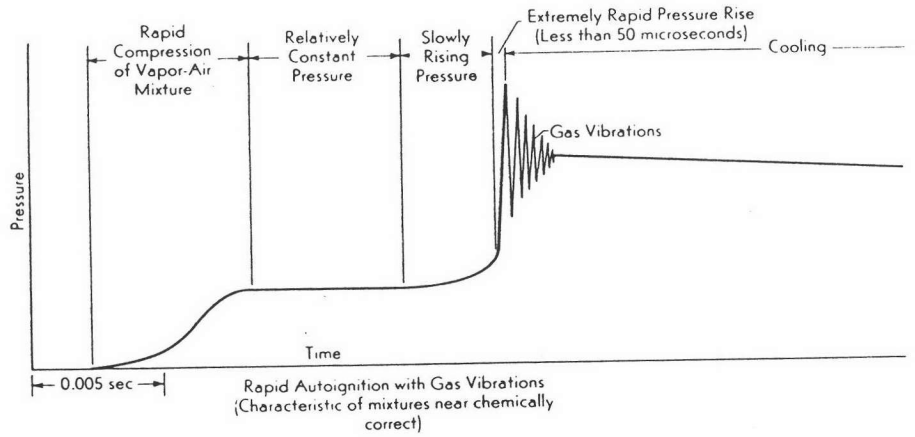
(ก) การเผาไหม้ปกติ

(ข) การเผาไหม้ที่เกิดการน็อค

การจุดระเบิดด้วยตนเองของแกส มีปรากฏการณ์ที่รุนแรง 2 อย่างเกิดขึ้น ได้แก่ อัตราความดันที่เพิ่มขึ้นสูงมาก (ประมาณ 3-4 เท่า) และอัตราการขยายตัวที่เร็วมาก การกระทำของ 2 อย่างนี้ขัดแย้งซึ่งกันและกัน กล่าวคือ อัตราการขยายตัวจะถูกต้านทานด้วยอัตราความดันเพิ่มพลังงานเคมี หรือความร้อนที่เชื้อเพลิงปล่อยออกมา เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอัตราการเพิ่มความดัน ถ้าแกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ในช่วงนี้มีมาก ความรุนแรงในทางความดันก็มีมาก ความแตกต่างของ

ความดันในห้องเผาไหม้เป็นสาเหตุของอัตราการขยายตัวของแกส ความจริงในการระเบิดครั้งหนึ่ง ๆ จะเกิดทั้งอัตราการเพิ่มความดันและอัตราการขยายตัว สุดแล้วแต่อย่างใดจะมากกว่ากันเรียกว่า เกิดจากการกระทำของสิ่งนั้น

ในที่สุดถ้าจะเกิดความดันแตกต่างจะทำให้เกิดคลื่นของความดันขึ้น แกสในห้องเผาไหม้จะถูกอัดแล้วขยายซ้ำ ๆ กันแล้วค่อย ๆ หายไปกับความต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 2.13 คลื่นของความดันจะไปกระแทกผนังห้องเผาไหม้และหัวลูกสูบทำให้ส่วนนั้นสั่นสะเทือนไปตามความถี่ของคลื่นนั้น และทำให้ได้ยินเสียงที่เรียกว่า น็อค (Knocking) น็อคอีกอย่างหนึ่งเกิดจากความดันขึ้นสูงในเวลาอันรวดเร็ว ความดันนี้จะไปกระแทกหัวลูกสูบและผนังห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดเสียงดังคล้ายฆ้อนตีโลหะ (Thu ding)



รูปที่ 2.13 น็อคที่เกิดจากการสั่นของแกส (Gas Vibrations)

เสียงที่เกิดจากการน็อคทั้งสองลักษณะนี้แยกกันไม่ค่อยออก และการน็อคมักจะเกิดขึ้นทั้งสองกรณีในขณะเดียวกัน น็อค นอกจากจะไปกระแทกชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างแล้ว ยังจะไปทำให้ส่วนต่าง ๆ ที่หลวมคลอนและติดไม่แน่นแกว่งไป-มากระทบกันทำให้เกิดเสียงขึ้นได้ เมื่อเอาไปปนกับเสียงน็อคที่แท้จริงแล้ว ยิ่งทำให้แยกไม่ออกว่า เสียงนั้นเกิดจากอะไร

ปัญหาจึงมีอยู่ว่า น็อคคืออะไร ถ้าน็อคหมายถึง การจุดระเบิดด้วยตัวเอง ภาพถ่ายจากกล้องที่มีความไวสูง ก็มีความจำเป็นสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ ถ้าหมายถึงความแตกต่างของ

ความดัน ความไวของเครื่องมือวัดความดัน ก็มีความจำเป็น แต่ถ้าหมายถึงเสียง ความไวของหูก็เป็นเรื่องสำคัญ จะเห็นว่าคำจำกัดความของคำว่า "น็อค" ที่แน่นอ่อนและสมบรูณ์นั้นจึงไม่มี ทั้งนี้เพราะกระบวนการเผาไหม้เป็นไปอย่างสลับซับซ้อน

โดยทั่ว ๆ ไป น็อคใช้ในความหมายที่แสดงถึงเสียงที่ผิดปกติใด ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้อันเนื่องมาจากการจุดระเบิดด้วยตัวเอง ในงานที่เกี่ยวกับรถยนต์มราคำจำกัดความของคำว่าน็อค ไว้แน่นอนว่า เป็นเสียงที่ได้ยินในห้องทดลองที่เงี่ยบ ในงานที่เกี่ยวกับการบิน คำจำกัดความนี้ใช้ไม่ได้ เพราะจะไม่ได้ยินเสียงน็อคเลย เนื่องจากเสียงรบกวนอื่น ๆ มีระดับสูงกว่า สำหรับกรณีนี้ตต้องใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนต่อเข้ากับเครื่องยนต์เมื่อถึงระดับอันตรายต้องรีบแก้ไข

ในการเผาไหม้ตามปกติ (ไม่เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเอง) เป็นไปได้เหมือนกันที่การแกว่งไกวของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์อาจจะทำให้เกิดเสียงคล้าย ๆ กลองตี การที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าความดันในการเผาไหม้มีขึ้นลง ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์บางส่วนอาจจะโค้งงอกลับไปกลับมาทำให้เกิดเสียงสั่นได้เหมือนกัน ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์นั้นจะไม่เกิดจุดระเบิดด้วยตัวเองก็ตาม เครื่องยนต์ชนิดนี้เรียกว่าเครื่องยนต์หยาบหรือไม่เรียบ สภาพเช่นนี้แก้ไขได้โดยออกแบบใหม่หรือแก้ไขชิ้นส่วนนั้นให้แข็งแรงขึ้น

วัตถุประสงค์ของกระบวนการเผาไหม้ คือ เผาไหม้ประจุให้เสร็จสิ้นก่อนที่ลูกสูบจะเลยเข้าไปในจังหวะขยายตัวมากนัก ดังนั้นการจุดระเบิดด้วยตัวเองที่เกิดขึ้นน้อย ๆ จึงมีความจำเป็นเพื่อเร่งการเผาไหม้ให้ทันเวลากับที่ความเร็วของเปลวไฟจะลดลง ความจริงเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟให้กำลังสูงสุดเมื่อปรับให้ได้ยินเสียงน็อคน้อย ๆ อย่างไรก็ตามความดันทำให้เกิดการน็อค จะไปกระแทรกโครงสร้างของเครื่องยนต์ถ้าเกิดน็อคมาก ๆ สามารถทำให้เครื่องพังได้ การเคลื่อนที่ของคลื่นแกสจะครูดกำแพงห้องเผาไหม้ ทำให้สูญเสียความร้อนไปกับตัวระบายความร้อน จงสังเกตด้วยว่าคลื่นของความดันในจังหวะอัดทำให้อุณหภูมิของแกสสูงขึ้นอีกเนื่องจากอุณหภูมิที่หัวเทียนก็สูงพอแล้ว อะไรก็ตามที่จะมาทำให้อุณหภูมิบริเวณสูงขึ้นไปอีกจึงเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดจุดร้อนจัดขึ้นในห้องเผาไหม้ จุดร้อนจัดนี้จะจุดประจุก่อนหัวเทียน เรียกว่า ชิงจุด (Pre-ignition) การชิงจุดจะทำให้เกิดและความดันของแกสตอนท้าย ๆ ที่ยังไม่ได้เผาไหม้สูงขึ้นไปอีก (สูงกว่าการเผาไหม้ตามปกติ) เพราะว่าการชิงจุดจะเกิดในจังหวะอัด เมื่อเป็นเช่นนี้การชิงจุดก็จะเป็นทางนำไปสู่ทางจุดระเบิดด้วยตัวเองและการจุดระเบิดด้วยตัวเองก็

เป็นการเร่ง หรือสนับสนุนให้เกิดการชิงจุด ถ้าไม่มีการตรวจหรือแก้ไขการชิงจุดจะทำให้เครื่องยนต์เสียหายได้มาก

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเอง

ในระหว่างจังหวะอัดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ความดัน ความหนาแน่น และอุณหภูมิของไอดีเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้ปฏิกิริยาเคมีอาจจะเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงด้วย เมื่อจุดระเบิดที่หัวเทียนแล้ว เปลวไฟจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามลำดับ ความดันเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอทั่วห้องเผาไหม้ ข้างหน้าเปลวไฟส่วนผสมที่ยังไม่ได้เผาไหม้ถูกอัด ทำให้ความดันสูงขึ้นและในขณะเดียวกันด้านอุณหภูมิและความหนาแน่นก็สูงขึ้นด้วย ปฏิกิริยาทางเคมีก่อนเกิดไฟในขณะนี้ก็เกิดขึ้นด้วย ปล่อยความร้อนออกมาทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีก ถ้าความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดหมดเสียก่อนที่ทำให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองนั้น ได้แก่ อุณหภูมิ, ความหนาแน่น (หรือความดัน) เวลา (ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิด) และองค์ประกอบของเชื้อเพลิง ซึ่งได้แก่ คุณสมบัติของเชื้อเพลิง, อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง, การหมุนเวียนของอากาศในห้องเผาไหม้ และอื่น ๆ เช่น ตัวเติม, แกสเฉื่อย ฯลฯ

เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการน็อค แกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ส่วนสุดท้ายควรจะมี

1. อุณหภูมิต่ำ
2. ความหนาแน่นน้อย
3. ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดนาน
4. องค์ประกอบของเชื้อเพลิงจะต้องไม่ไวไฟจนเกินไป

อย่างไรก็ตามถ้าสภาพของเครื่องยนต์เปลี่ยนไป อาจจะมีผลกระทบต่อปัจจัยเหล่านี้ก็ได้ เช่น การเพิ่มอัตราส่วนการอัดจะเพิ่มทั้งอุณหภูมิและความหนาแน่นของแกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ เป็นต้น

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ประจุเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเอง เพราะว่าการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มการเคลื่อนที่ของอนุภาค หรือเพิ่มพลังงานภายในนั่นเอง อนุภาคต่าง ๆ ถูกเร่งให้รวมตัวกันเร็วขึ้น ช่วงเวลาความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดก็สั้นเข้า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิให้กับส่วนผสมที่ยังไม่ได้เผาไหม้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้ จะทำให้มีโอกาสเกิดการน็อคได้ง่าย

1. เพิ่มอัตราส่วนการอัด เป็นการเพิ่มทั้งอุณหภูมิ และความหนาแน่นให้กับไอดี และลดเวลาความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดด้วย ในทางปฏิบัติอาจจะทำได้ง่าย ๆ โดยการเปลี่ยนแปลงประเก็นฝาสูบให้บางลง

2. ทำซูเปอร์ชาร์จ เป็นการเพิ่มปริมาณไอดี หรือเพิ่มความหนาแน่นของไอดีในกระบอกสูบในจังหวะอัด ลูกสูบจะอัดส่วนผสมที่มีความหนาแน่นกว่า แน่นอนอุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นนย่อมมากกว่า ความจริงแล้วการทำซูเปอร์ชาร์จก็คือ การเพิ่มอัตราส่วนการอัดในทางอ้อมนั่นเอง

3. เพิ่มอุณหภูมิให้กับไอดี ไอดีหรือส่วนผสมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เมื่อถูกอัดในจังหวะอัดในกระบอกสูบ ย่อมได้อุณหภูมิที่อัดแล้วสูงกว่าการอัดไอดีที่เย็นกว่า

4. เพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวระบายความร้อน ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแกสกับตัวระบายความร้อน (น้ำหรืออากาศ) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปริมาณความร้อนที่ระบายออกมากหรือน้อย ถ้าตัวระบายความร้อนมีอุณหภูมิสูง ความแตกต่างนี้ก็น้อย การระบายความร้อนจะไม่ดีนั่นคือ อุณหภูมิของไอดีสูงนั่นเอง การเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวระบายความร้อนมีหลายวิธี เช่น เปลี่ยนขนาดพัดลม, จำกัดทางเดินของน้ำระบายความร้อน เป็นต้น

5. เพิ่มอุณหภูมิให้กับกระบอกสูบและห้องเผาไหม้ ข้อนี้มีความสัมพันธ์กับข้อ 4 ข้างบน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มภาระงานหรือการเปิดลิ้นเร่งให้กว้างขึ้น ปริมาณส่วนผสมก็เข้ากระบอกสูบมากขึ้น ความร้อนที่น้ำมันปล่อยออกมาในเวลาที่เท่ากันย่อมมากกว่า ซึ่งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับไอดี

6. ตั้งไฟแก่ ไฟที่ตั้งไว้แก่ ลูกสูบจะอัดส่วนผสมที่กำลังลุกไหม้ ความดันหรือความหนาแน่นของแกสที่อยู่หน้าลูกสูบจะสูงกว่าเมื่อลูกสูบอัดแกสที่ตั้งไว้อ่อนกว่า เมื่อเป็นเช่นนี้ แน่นอนอุณหภูมิของแกสย่อมสูงกว่าแน่ การลดการน็อควิธีหนึ่งทำได้โดยตั้งไฟให้อ่อนไว้

ข้อสังเกต ลิ้นไอเสียส่วนมากมักจะร้อนจัด (ประมาณ 600°C) เช่นเดียวกับหัวเทียน การออกแบบจึงไม่ควรให้ไปอยู่ที่ปลายทางของแกสที่จะเดินทางไปถึง เพราะจะทำให้แกสเกิดการจุดระเบิดตัวเองขึ้นก่อนที่เปลวไฟจะเดินทางไปถึง ควรจะให้อยู่ใกล้ ๆ กับหัวเทียน (โอกาสที่ส่วนผสมจะจุดระเบิดด้วยตัวเองที่หัวเทียนจะไม่มี เพราะส่วนผสมบริเวณนี้ถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟ และเคลื่อนที่ออกไปหมดแล้ว)

ความหนาแน่น

การเพิ่มความหนาแน่นให้กับส่วนผสมที่ยังไม่ได้เผาไหม้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้จะทำให้โอกาสเกิดการน็อคขึ้นได้ง่าย

1. เปิดลิ้นเร่งให้กว้างขึ้น ลิ้นเร่งเป็นตัวบังคับให้ประจุเข้ากระบอกสูบมากหรือน้อย การเปิดลิ้นเร่งให้กว้างออกไปอีก จะทำให้ไอดีไหลเข้าสะดวกขึ้นและมีปริมาณมากขึ้น
2. ทำซูเปอร์ชาร์จ
3. เพิ่มอัตราส่วนการอัด
4. ตั้งไฟแก่

เวลาของความล่าช้าแห่งการจุดระเบิด

การเพิ่มเวลาให้กับแกสที่ยังไม่ได้เผาไหม้ที่อยู่ปลายทางโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้จะทำให้มีโอกาสเกิดการน็อคได้ง่าย

1. เพิ่มระยะทางที่เปลวไฟจะต้องเดินทางไปถึง
2. ลดการหมุนเวียนของไอดี ซึ่งเป็นการลดความเร็วของเปลวไฟด้วย

3. ลดความเร็วของเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้
   - ลดการหมุนเวียนของไอดี
   - เพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาเคมีก่อนการลุกไหม้

ห้องเผาไหม้ใหญ่ ๆ ประจุส่วนสุดท้ายอาจจะมีเวลาพอที่ทำให้ตัวของมันเองถึงอุณหภูมิจุดระเบิด และเลยเวลาความล่าช้าแห่งการจุดระเบิด ก่อนที่เปลวไฟจะเคลื่อนที่สุดห้องเผาไหม้ก็เป็นไปได้ ในเรื่องนี้การวางหัวเทียนนับว่ามีความสำคัญ ถ้าวางหัวเทียนไว้ตรงกลางหรือ ใช้หัวเทียน 2 หัววางไว้ที่ริมห้องเผาไหม้ซึ่งอยู่ตรงกันข้าม การน็อคของเครื่องยนต์จึงเกี่ยวข้องกับขนาดของห้องเผาไหม้ การวางหัวเทียนและจำนวนหัวเทียนด้วย

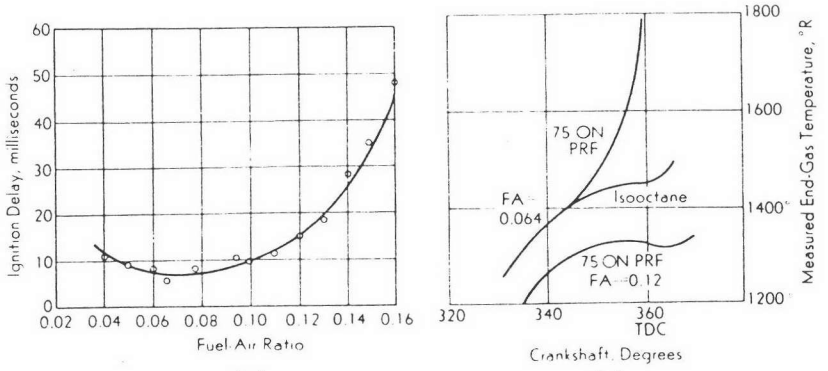
องค์ประกอบของเชื้อเพลิง

คุณสมบัติของน้ำมันและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการน็อคหรือไม่ เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่มีอัตราส่วนการอัดและขนาดที่แน่นอนแล้ว โอกาสที่จะเกิดการน็อคลดลงได้โดย

1. เพิ่มออกเทนในเชื้อเพลิง รูปที่ 2.15 (ก)
2. ใช้ส่วนผสมที่หนาหรือบาง รูปที่ 2.14 (ก)
3. ทำให้ส่วนผสมมีความเข้มข้นเป็นขั้นตอนโดยให้ส่วนผสมสุดท้ายบางหรือไม่ไวไฟ
4. เพิ่มความชื้นให้กับอากาศไหลเข้า

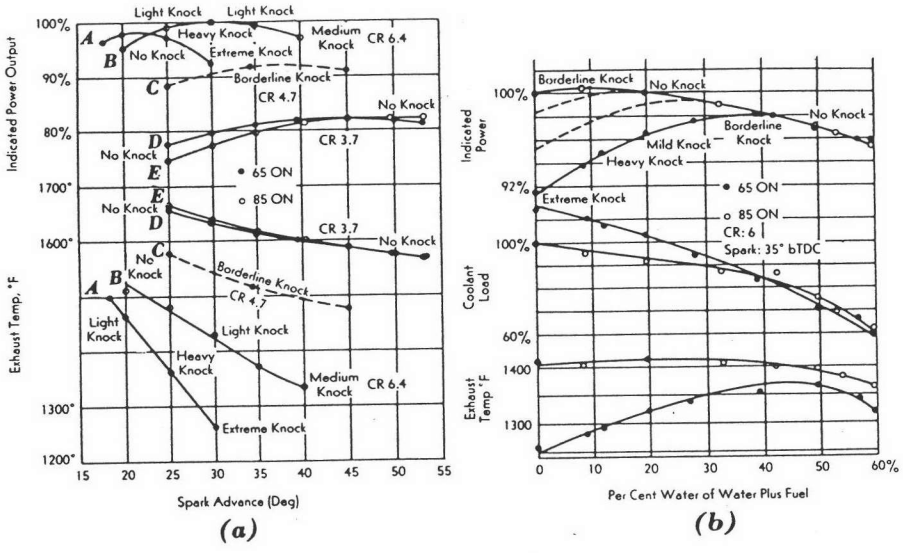
ส่วนผสมที่หนาหรือบางทำให้ไม่เกิดการน็อคได้เพราะ

1. ความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดนานกว่า รูปที่ 2.14(ก)
2. อุณหภูมิต่ำกว่า รูปที่ 2.14(ข)



รูปที่ 2.14 (ก) ผลของอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อความล่าช้าแห่งการจุดระเบิดของน้ำมันไอโซออกเทน

(ข) ผลของออกเทนนัมเบอร์ (ON) และอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง (F/A) ที่มีต่ออุณหภูมิของประจุส่วนท้าย



รูปที่ 2.15 (ก) แสดงอัตราส่วนการอัด การตั้งไฟ ออกเทนนัมเบอร์ที่มีผลต่อการน็อคและอุณหภูมิของไอเสีย

(ข) ผลของการฉีดน้ำเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีผลต่อการน็อค แรงบิด และการระบายความร้อน

(CRT engine; 900 rpm; A/F = 12 RFR unheates manifold)

รูปที่ 2.15 (ก) แสดงถึงผลของการน็อคที่มีต่อการทำงานของเครื่องยนต์สำหรับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดต่ำ ในที่นี้ 3.7 เส้น D และ E (85 ON เส้น D และ 65 ON เส้น E) จะให้กำลัง (ซึ่งหมายถึงแรงบิดด้วย) ค่อนข้างต่ำ และไม่แตกต่างกันมากนัก เช่นเดียวกันอุณหภูมิของไอเสียจะไม่ต่างกันมาก แต่ค่อนข้างสูง จงสังเกตด้วยว่าที่อัตราส่วนการอัดต่ำ ๆ นี้ไม่ว่าจะใช้น้ำมันออกเทนเท่าใด และจะตั้งไฟแก่เท่าใดก็ตามจะไม่เกิดการน็อค ส่วนเส้น A(65 ON) และ B(85 ON) ใช้อัตราส่วนการอัด 6.4 เท่ากัน แต่ใช้ออกเทนต่างกัน การตั้งไฟมีผลต่อการเกิดการน็อคและใช้ออกเทนสูงจะช่วยลดการน็อคได้ เช่นถ้าใช้ออกเทน 65 เครื่องยนต์จะน็อคน้อย ๆ ตั้งไฟแก่ 20 องศา แต่ถ้าใช้ออกเทน 86 การน็อคน้อยๆ จะเลื่อนมาที่ตั้งไฟแก่ 30 องศา นอกจากนี้อุณหภูมิของไอเสียยังลดลงอีกด้วย

สำหรับทางด้านกำลังงาน เครื่องยนต์จะให้กำลังงานสูงสุดที่มีน็อคน้อย ๆ (เส้น A และ B รูปที่ 2.15(ก)) ที่ไม่เกิดการน็อคและที่เกิดการน็อคมาก ๆ กำลังจะลดลง แต่จะเปรียบเทียบเรื่องการใช้น้ำมัน เส้น B ใช้ออกเทน 85 ให้กำลังสูงสุดมากกว่าเส้น B ซึ่งใช้ออกเทน 65 ดังนั้นการใช้น้ำมันออกเทนสูงๆ จะทำให้ได้กำลังมากกว่า สำหรับเส้น C นั้นมีไว้เพื่อให้เปรียบเทียบผลที่จะเกิดขึ้นจากการใช้อัตราส่วนการอัดต่าง ๆ

รูปที่ 2.15(ข) แสดงผลที่ได้จากการใช้น้ำ (หรือแอลกอฮอล์) ฉีดร่วมเข้าไปกับเชื้อเพลิง น้ำมีความร้อนสูง เมื่อฉีดเข้าไปจะไปดูดเอาความร้อนจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะต้องทิ้งไปกับตัวระบายความร้อน เอาไประเหยตัวเองแล้วตัวเองก็เผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป (ในกรณีแอลกอฮอล์) เมื่ออุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลง การขยายตัวของแกสในจังหวะอัดก็ไม่มากทำให้ลดงานในการอัดลงได้ และผลที่ตามมาอีกอย่างหนึ่งคือ Pre-flame reaction (ปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้) ลดลงด้วย การที่ใช้น้ำฉีดเข้าไปนี้เป็นการระบายความร้อนภายใน และนำความร้อนนี้ไปใช้ประโยชน์ดีกว่าการระบายความร้อนภายนอก ซึ่งความร้อนนั้นจะต้องเอาไปทิ้ง จากการศึกษารูปที่ 2.15(ข) จะทราบว่าจุดที่เคยน็อค ถ้าใช้น้ำฉีดเข้าไปช่วยจะไม่เกิดการน็อค และลดความร้อนที่จะไปกับตัวระบายความร้อนได้มาก แต่ถ้าใช้น้ำฉีดมาก กำลังที่ได้กลับลดน้อยลง

ผลที่เกิดจากการน็อค

เมื่อได้ทราบว่าน็อคคืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไรรวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดและการควบคุมต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงผลเสียของการน็อค ความจริงผลดีก็มีบ้างถ้าเกิดการน็อคน้อย ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว (ช่วยการเผาไหม้ให้เสร็จเร็วขึ้น และให้กำลังที่สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ไม่น็อคเลย)

1. เกิดแรงกระแทกบนชิ้นส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนหัวลูกสูบ ซึ่งแรงกระแทกนี้ได้ส่งต่อไปยังก้านสูบ และเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งจะทำให้แบริ่งที่ก้านสูบที่เพลาข้อเหวี่ยงสึกหรอ ก้านสูบอาจจะงอได้ นอกจากนี้ความร้อนรวมทั้งแรงกระแทกอาจทำให้ลูกสูบไหม้เป็นรูได้

2. เกิดเสียงดัง ความจริงเสียงที่เกิดจากการน็อคนั้นก็ไม่ดังมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเกิดการน็อคน้อย ๆ อาจจะไม่ได้ยินเลย แต่ชิ้นส่วนที่ติดอยู่กับเครื่องยนต์ที่ไม่แน่นพวกนี้ทำเสียงรบกวนให้มากกว่า เสียงน็อคที่ได้ยินนี้จะเป็นเครื่องเตือนให้ผู้ใช้ทราบว่า ควรจะทำอย่างไรต่อไปดีกว่าเครื่องที่น็อคแต่ไม่ได้ยินเสียง หรือแยกเสียงไม่ออก เช่น เครื่องยนต์ที่ใช้ในเครื่องบิน

3. เป็นการยากที่จะประกันได้ว่าความดันจะเกิดขึ้น (จากการจุดระเบิดด้วยตัวเอง) ที่จุดใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องยนต์หลายสูบ ความดันอาจจะสวนทางกันทำให้เสียงานและเกิดความเครียดที่เพลาข้อเหวี่ยงมาก

4. การแตกต่างของความดันทำให้เกิดคลื่น แกสจะขยายตัวและหดตัวครูดกระบอกสูบและไล่ผิวน้ำมันหล่อลื่นที่ติดตามกระบอกสูบออก ทำให้สูญเสียความร้อนไปกับการระบายความร้อนมาก

5. เกิด Pre-ignition (ชิงจุด) เครื่องที่เกิดการน็อคจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องที่เดินธรรมดา ซึ่งอาจจะทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดร้อนจัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่หัวเทียนและลิ้นไอเสียอาจทำให้เกิด Pre-ignition ขึ้นได้

6. งานและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนในทางอื่นมาก กำลังที่จะได้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จึงลดลง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไฮโดรเจนและแกสโซลีน

Property	Hydrogen		Gasoline
	gaseous	liquid	
1. Molecule mass	2.016	2.016	107.0
2. Density, g cm^{-3} (20°C, 760 mm Hg)	83.764×10^{-6}	0.0708	0.70-0.75
3. Specific heat absorption, J g^{-1} K	14.89	9.69	2.20
4. Dynamic viscosity, g cm^{-1} s	0.0000875	0.000133	0.002
5. Heat conduction, mW cm^{-1} K	1.987	1.00	1.31
6. Range of combustion in air in volume, %	4-75	-	1.0-7.6
7. Stoichiometric content in volume, %	29.63	-	1.76
8. Minimun ignition energy in air, mJ	0.02	-	0.24
9. Self-ignition temperature, K	858	-	501-744
10. Flame temperature in air, K	2318	-	2470
11. Amount of heat energy in percentage emitted by the flame in environment	17-25	-	30-43
12. Combustion speed in air at normal conditions, cm s^{-1}	265-325	-	37-43
13. Detonation rate in air at normal conditions, Km s^{-1}	1.48-2.15	-	1.4-1.7
14. Diffusion coefficient in air at normal conditions, cm^2 s^{-1}	0.61	-	0.05
15. Rate of diffusion in air at normal conditions, cm s^{-1}	2.00	-	0.17
16. Rate of rise in air at normal conditions, m s^{-1}	1.2-9	-	unrising
17. Working mixture content-ratio of amount of air and fuel			
(a) ratio of air and fuel (in units of wieght)	364.8-4.8	-	25-4.3
(b) ratio of air and fuel (in units of volume)	24-0.3	-	100-16.7
18. Theoretical content of the working mioxture			
(a) ratio of air and fuel (in units of wieght)	34.3	-	15.1
(b) ratio of air and fuel (in units of volume)	2.38	-	59.5
19. Low heat of combustion			
(a) in mass KJ kg^{-1}	120,000	-	44,000
(b) in volume KJ cm^{-2}	-	8,496	32,560
20. Heat emission from 1 ml stoichiometric mixture, KJ	3.185	-	3.914
(a) combustion products, mg;			
H_2O	239.0	-	267.5
CO_2	-	-	267.5
(b) change of the volume of exhaust gases	-15%	-	+5.5%

I 17113751

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไฮโดรเจนและแกสโซลีน(ต่อ)

Property	Hydrogen		Gasoline
	gaseous	liquid	
21. Comparison of the volume of hydrogen and its respective gasoline to obtain the same heat emission, liter			
(a) at 20°C and 0.1 Mpa	3.240	3.83	1
(b) at 20°C and 20 Mpa	16.2	-	1

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการเก็บไฮโดรเจนแต่ละวิธี

วิธีการเก็บ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ในรูป Metal hydride	- มีความหนาแน่นของอะตอมไฮโดรเจนมากกว่าในปริมาตรที่เท่ากัน - สามารถนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ได้ - ปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ทำให้ปลอดภัยมากกว่า	- น้ำหนักในการขนส่งมาก - การส่งผ่านไม่สะดวก - ต้องใช้พลังงานสูงในการซึมซับไฮโดรเจน
2.ในรูปLiquid hydrogen	- การส่งผ่านสะดวก เช่น ใช้ระบบท่อ - น้ำหนักรวมในการขนส่งไม่สูงนักเมื่อเทียบกับแบบอื่น	- ปริมาตรในการเก็บสูง - ใช้พลังงานสูงในการทำให้เป็นของเหลว - มีอุณหภูมิต่ำมาก - เสียค่าใช้จ่ายในระบบป้องกันความร้อน (ที่มีคุณภาพดี)สูง - มีการซึมผ่านชั้นโลหะสูง
3.ในรูปGaseous hydrogen	- การส่งผ่านสะดวก เช่น ใช้ระบบท่อ - สามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใด	- ปริมาตรในการเก็บสูง
4.ในรูปOrganic compound	- มีความว่องไวในการซึมซับไฮโดรเจนมากขึ้น - สามารถนำตัวกลางกลับมาใช้ใหม้ได้ - มีน้ำหนักเบากว่าโลหะ - ใช้ความดันต่ำในการซึมซับไฮโดรเจน	- ค่าใช้จ่ายของตัวกลางสูง