บทที่ 3

การดัดแปลงระบบจ่ายเชื้อเพลิง

ระบบเชื้อเพลิงเป็นระบบที่สำคัญของเครื่องยนต์ที่จะต้องทำการดัดแปลง เนื่องจากต้องการเปลี่ยนมาใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเบนซิน ดังนั้น อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แกสโซลีน ต้องเปลี่ยนแปลงและต้องติดตั้งอุปกรณ์ในระบบเชื้อเพลิงเพิ่มเติม เพื่อให้เครื่องยนต์ไฮโดรเจนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัย สำหรับเครื่องยนต์แกสโซลีนที่ใช้เป็นแบบคาร์บูเรเตอร์ จำนวน 4 สูบ และเครื่องยนต์เป็นแบบ Startified charge spark ignition engine[6] ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนั้นในการดัดแปลงระบบบรรจุส่วนผสมไอดีสามารถทำได้ 2 วิธี[7][8] คือ ดัดแปลงให้แกสไฮโดรเจนกับอากาศไหลเข้าไปผสมกันในท่อร่วมไอดีก่อนไหลเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์ ซึ่งวิธีการผสมแบบนี้เรียกว่า การผสมแบบภายนอก(External mixture formation) และดัดแปลงให้แกสไฮโดรเจนกับอากาศไหลเข้าไปผสมกันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งวิธีการผสมแบบนี้เรียกว่าการผสมแบบภายใน (Internal mixture formation) จากการดัดแปลงระบบจ่ายเชื้อเพลิงทั้ง 2 วิธีนี้จะทำให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุดได้ เพื่อนำวิธีการผสมที่ดีที่สุดไปใช้งาน สำหรับวิธีการดัดแปลงแบบภายนอกและภายในกระบอกสูบมีดังนี้

การดัดแปลงระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบผสมภายนอก

คาร์บูเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับเครื่องยนต์แกสโซลีน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการจ่ายส่วนผสมของน้ำมันเบนซินกับอากาศให้เป็นไปอย่างถูกต้องแล้วส่งส่วนผสมที่มีสภาพเป็นไอเข้าไปในแต่ละกระบอกสูบ ทำให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ดีในทุกสภาวะ ซึ่งอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันแกสโซลีนกับอากาศในทางทฤษฎี (Stoichiometric mixture) มีค่าประมาณ 15:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ทำให้ การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ แต่ไม่ใช่อัตราส่วนที่ทำให้กำลังสูงสุดหรือประหยัดที่สุด เช่น ในการสตาร์ทขณะเครื่องเย็นอัตราส่วนจะเป็น 1:1 และในขณะขับขี่โดยปกติอาจเป็น 17:1

สำหรับวิธีการนำแกสไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องยนต์จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า มิกเซอร์แบบเจาะ มีลักษณะดังรูปที่ 3.2 มิกเซอร์แบบนี้จะต้องเจาะเข้ากับคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์[4]

การเจาะให้เจาะระหว่างโช๊คกับลิ้นปีกเสื้อ โดยเจาะตรงบริเวณที่อยู่เหนือลิ้นปีกผีเสื้อเล็กน้อย หรือเจาะบริเวณที่เป็นคอคอดของคาร์บูเรเตอร์ มิกเซอร์ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์ที่ใช้อยู่นี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมาก จึงไม่สามารถทำการเจาะบริเวณดังกล่าวได้ จึงได้นำมิกเซอร์ตัวนี้ ไปติดตั้งบริเวณฐานคาร์บูเรเตอร์แทนทางเข้าของท่อระบายไอน้ำมันเครื่องจากฝาครอบลิ้น ดังรูปที่ 3.3 สำหรับการต่อแบบนี้จะไม่มีผลกระทบต่อการผสมผสานของแกสไฮโดรเจนกับอากาศ เพราะว่าแกสไฮโดรเจนมีคุณสมบัติการกระจายตัวได้ดี

การใช้มิกเซอร์แบบเจาะตัวเดียวนี้ ต้องปิดลิ้นปีกผีเสื้อลิ้นที่สองด้วย ซึ่งการปิดสามารถทำได้โดยถอดชิ้นส่วนกลไกที่เป็นตัวเปิดลิ้นออก[4]

เหตุผลที่ต้องปิดลิ้นที่สองนี้ ก็เพราะว่าเครื่องยนต์มีอัตราเร็วที่สูง ๆ ลิ้นที่สองจะเปิดหากไม่ปิดตายให้แน่นแล้ว เมื่อลิ้นที่สองนี้เปิด อากาศจะเข้าเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอีกมาก ทำให้ส่วนผสมจางลงทันทีเครื่องยนต์จะวิ่งไม่ออกเหมือนไม่มีกำลัง

การดัดแปลงระบบเชื้อเพลิงแบบผสมภายใน

เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นแบบ Stratified charge spark ignition engine ซึ่งมีการแบ่งห้องเผาไหม้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ห้องเผาไหม้ช่วย (Prechamber) และห้องเผาไหม้หลัก (Main chamber) โดยแต่ละห้องเผาไหม้จะมีลิ้นคอยปิด-เปิดให้ส่วนผสมของแกสไฮโดรเจนกับอากาศไหลเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์ในจังหวะดูด ซึ่งขนาดของลิ้นที่อยู่ในห้องเผาไหม้ช่วยจะมีขนาดเล็กกว่าลิ้นที่อยู่ในห้องเผาไหม้หลัก (ดังรูปที่ 3.4) ซึ่งในขณะทำงาน ลิ้นไอดีใหญ่และเล็กจะเปิด-ปิด พร้อมกัน ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ คือ ในจังหวะดูดของเครื่องยนต์ลิ้นทั้งสองจะเปิดออกและลูกสูบจะดูดเอาส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเบนซินที่จ่ายมาจากคาร์บูเรเตอร์และผ่านท่อร่วมไอดีแล้วไหลเข้ากระบอกสูบซึ่งส่วนผสมที่ไหลผ่านลิ้นตัวเล็กนี้จะเป็นส่วนผสมหนา (Stoichiometric mixture) และส่วนผสมที่ผ่านลิ้นตัวใหญ่จะเป็นส่วนผสมบาง (Lean mixture) จากนั้นจะเป็นจังหวะอัดและจังหวะจุดระเบิดส่วนผสมไอดี โดยการจุดระเบิดจะเกิดขึ้นที่ส่วน

ผสมหนาก่อน เพราะว่าส่วนผสมหนาจะติดไฟได้ง่ายกว่า เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วเปลวไฟจะมีแรงดันสูง ทำให้พุ่งออกมาจากรูห้องเผาไหม้ช่วยอย่างรวดเร็ว เนื่องจากรูของห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็น Orifice และจะลามลุกต่อที่ส่วนผสมบางในห้องเผาไหม้หลัก เครื่องยนต์แบบนี้จะช่วยลดแกสคาร์บอนมอนน็อคไซด์ เพราะว่าการเผาไหม้ส่วนผสมที่บาง แกสคาร์บอน-มอนน็อคไซด์จะเกิดขึ้นน้อย ดังนั้นการดัดแปลงระบบเชื้อเพลิงแบบผสมภายในนี้สามารถทำได้โดย แยกท่อร่วมอากาศ และท่อร่วมแกสไฮโดรเจนออกจากกัน โดยอากาศจะจ่ายเข้าทางท่อร่วมไอดีใหญ่ แต่แกสไฮโดรเจนไหลเข้าทางท่อร่วมไอดีเล็ก จากนั้นอากาศและแกสไฮโดรเจน จะไหลเข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ตามแรงดูดของลูกสูบในจังหวะดูด แต่เนื่องจากท่อร่วมไอดีเล็กนี้ไม่มีรูสำหรับต่อท่อจ่ายแกสไฮโดรเจนเข้าโดยตรง จึงได้กลึงข้อต่ออลูมิเนียมแล้วต๊าร์ฟเกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปเชื่อมติดกับท่อร่วมไอดีเล็ก แล้วเจาะรูที่ท่อร่วมไอดีเล็กเพื่อให้มีช่องทางไหลเข้าของแกสไฮโดรเจน ในส่วนของคาร์บูเรเตอร์นั้นจะต้องปิดทางจ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศที่จ่ายมาที่ท่อร่วมไอดีเล็ก ซึ่งสามารถทำได้โดยตัดประเก็นอุดรูสำหรับจ่ายส่วนผสมนี้ (ดังรูปที่ 3.5)

การติดตั้งระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจน

ระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเป็นระบบที่ต้องมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากแกสไฮโดรเจนมีความหนาแน่นน้อยมากทำให้รั่วซึมได้ง่าย และมีความสามารถในการติดไฟสูง ดังนั้น ระบบเชื้อเพลิงต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถป้องกันการรั่วซึมและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. ถังบรรจุแกสไฮโดรเจน (Hydrogen tank)

แกสไฮโดรเจนจะเก็บอยู่ในถังรูปทรงกระบอกที่ทำด้วยเหล็กเหนียวทนความดันสูง ถังแกสไฮโดรเจนจะใช้สัญญาลักษณ์ท่อสีแดง (ดังรูปที่ 3.6) แกสไฮโดรเจนถูกบรรจุด้วยความดันประมาณ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันที่ถังสามารถรับได้ แกสที่ใช้จัดอยู่ในคุณภาพอุตสาหกรรม (Industrial grade) คือจะประกอบไปด้วย แกสไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.95 เปอร์เซ็นต์ ไอน้ำน้อยกว่า 100 ppm ไนโตรเจนน้อยกว่า 100 ppm

2. ลิ้นควบคุมแรงดันแกส (Pressure regulator)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ 2 อย่างด้วยกัน คือ ทำหน้าที่บอกปริมาณของแกสที่อยู่ภายในถังเก็บ ซึ่งสามารถดูได้จากเกจวัดความดันภายในถัง และทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไปใช้งานให้คงที่อยู่เสมอไม่ว่าแกสภายในถังจะเหลือมากน้อยเท่าใด ซึ่งแรงดันของแกสที่ใช้งานนี้สามารถปรับได้โดยการหมุนปุ่มปรับแรงดันที่ทำงานโดยอาศัยแรงดันของสปริง ส่วนแรงดันที่ไปใช้งานดูได้จากเกจวัดความดันไปใช้งาน (ดังรูปที่ 3.6)

3. ท่อส่งแกสไฮโดรเจน (Hydrogen tube)

ท่อนี้ทำหน้าที่ส่งแกสจากถังเก็บแกสไฮโดรเจนผ่านไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้วส่งไปที่เครื่องยนต์ (ดังรูปที่ 3.8) ท่อส่งแกสนี้จะมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ต่อกับอุปกรณ์จะใช้ท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์ภายใน 6 มิลลิเมตร มีความหนา 1 มิลลิเมตร แต่ส่วนที่จ่ายเข้าเครื่องยนต์จะใช้ท่อยาง เพื่อให้สามารถอ่อนตัวได้ตามแรงสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ขณะทำงาน สำหรับการเดินท่อส่งนี้ต้องทำให้ท่อมีส่วนโค้งน้อยที่สุดและการงอท่อต้องไม่ทำให้ท่อบุบและหักได้ เพราะว่าอาจทำให้เกิดการรั่วของแกสไฮโดรเจนได้ และยังเพิ่มความต้านทานการไหลของแกสด้วย

4. ข้อต่อ (Connecting)

ทำหน้าที่ต่อท่อส่งแกสไฮโดรเจนเข้าด้วยกัน และยังต่ออุปกรณ์อื่น ๆ กับท่อส่งแกสด้วย ข้อต่อที่ใช้นี้เป็นแบบตาไก่ 2 ชั้น ซึ่งทั้งน็อตและตาไก่จะทำด้วยทองเหลืองที่ใช้กับท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 3.7)

5. ลิ้นโซลีนอยด์ (Solinoid valve)

ทำหน้าที่เปิด-ปิดการจ่ายแกสไฮโดรเจนเข้าเครื่องยนต์ ซึ่งทำงานโดยอาศัยแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์จากแบตเตอรี่เป็นตัวเปิดลิ้นให้แกสไหลผ่านไปได้ โดยควบคุมมาจากสวิทช์กุญแจในตำแหน่งเปิด (ON) ถ้าสวิทช์กุญแจไม่ได้เปิดลิ้นนี้จะถูกปิดอยู่ด้วยแรงดันของสปริง ซึ่งแกสจะไม่สามารถไหลผ่านไปได้ ลิ้นโซลีนอยด์จะมีข้อดี คือ ถ้าไม่ทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ หรือขณะ

ดับเครื่องยนต์จะไม่มีแกสไหลเข้าเครื่องยนต์ ช่วยทำให้มีความปลอดภัยในการทำงานสูงขึ้น (ดังรูปที่ 3.7)

6. ลิ้นควบคุมการจ่ายแกสไฮโดรเจน (Needle valve)

ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการไหลของแกสไฮโดรเจนเข้าเครื่องยนต์ตามต้องการ ซึ่งลิ้นควบคุมนี้สามารถปรับอัตราการไหลของแกสได้ทีละปริมาณน้อย ๆ เนื่องจากลิ้นมีลักษณะเป็นเข็ม (ดังรูปที่ 3.8)

7. มิเตอร์วัดอัตราการไหลของแกสไฮโดรเจน (Hydrogen flow meter)

ทำหน้าที่ วัดอัตราการไหลของแกสไฮโดรเจนที่เข้าเครื่องยนต์ (ดังรูปที่ 3.7) เพื่อให้การวัดเป็นไปอย่างถูกต้องมากขึ้นจึงได้ทำการ Calibrated โดยกราฟการปรับเทียบนี้จะแสดงอยู่ในรูปที่ จ-2

8. ลิ้นกันกลับ (Check valve)

ทำหน้าที่ ให้แกสไฮโดรเจนไหลเข้าเครื่องยนต์ได้ทางเดียว โดยไม่สามารถไหลย้อนกลับได้เพื่อป้องกันแรงดันย้อนกลับเข้ามาในท่อจ่ายแกสอันเนื่องมาจากเปลวไฟย้อนกลับของเครื่องยนต์ (ดังรูปที่ 3.7)

9. อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flashback arrestor)

ทำหน้าที่กันเปลวไฟที่เกิดจากเปลวไฟย้อนกลับ (Flashback) ของเครื่องยนต์ไม่ให้ไหลย้อนกลับเข้ามาในท่อจ่ายแกสไฮโดรเจน (ดังรูปที่ 3.7)

10. ลิ้นระบายความดัน (Presure relief valve)

ทำหน้าที่ระบายความดันภายในท่อจ่ายแกสไฮโดรเจนที่สูงเกินกว่ากำหนดออกสู่บรรยากาศ (ดังรูปที่ 3.7)

11. ลิ้นนิรภัย (Safety valve)

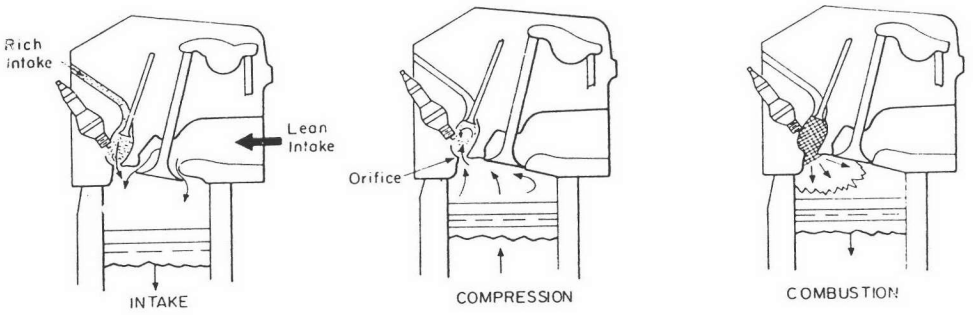
เป็นลิ้นที่ติดมากับถังแกสไฮโดรเจน ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง และสามารถป้องกันแรงดันย้อนกลับสู่ถังได้

แบบผังแสดงการติดตั้งระบบจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.8

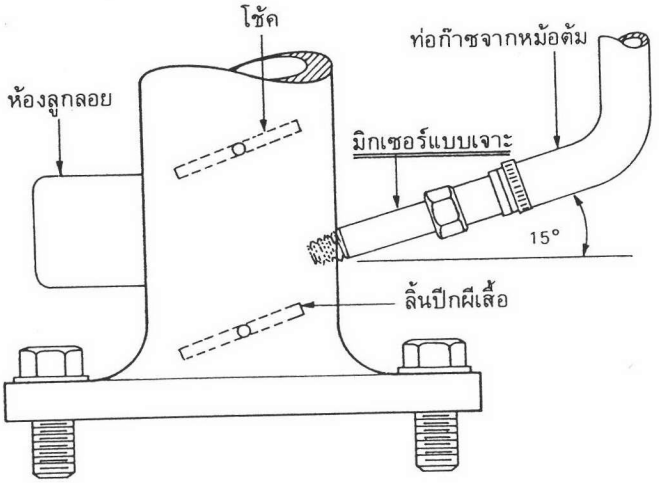
ระบบความปลอดภัยของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้แกสไฮโดรเจนแบบถังอัดความดันสูง ประมาณ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่เนื่องจากแกสไฮโดรเจนมีคุณสมบัติในการติดไฟสูง และมีความหนาแน่นน้อยมากทำให้สามารถรั่วซึมได้ง่าย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องป้องกันเปลวไฟที่อาจเกิดขึ้น เนื่องจากการFlashbackจากเครื่องยนต์เข้ามาในระบบท่อทางเดินแกสไฮโดรเจนได้ มิฉะนั้นแล้วอาจทำให้เกิดการลุกไหม้ไปถึงถังเก็บแกสทำให้เกิดระเบิดขึ้นได้ดังนั้นในระบบท่อทางเดินแกสไฮโดรเจนต้องมีการป้องกันการรั่วซึมได้เป็นอย่างดี แล้วยังต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถป้องกันเปลวไฟย้อนกลับมาในท่อทางเดินแกสได้ จึงจะทำให้การทำงานของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนมีความปลอดภัย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ ลิ้นนิรภัย, ลิ้นกันกลับ, อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ และลิ้นระบายแรงดัน

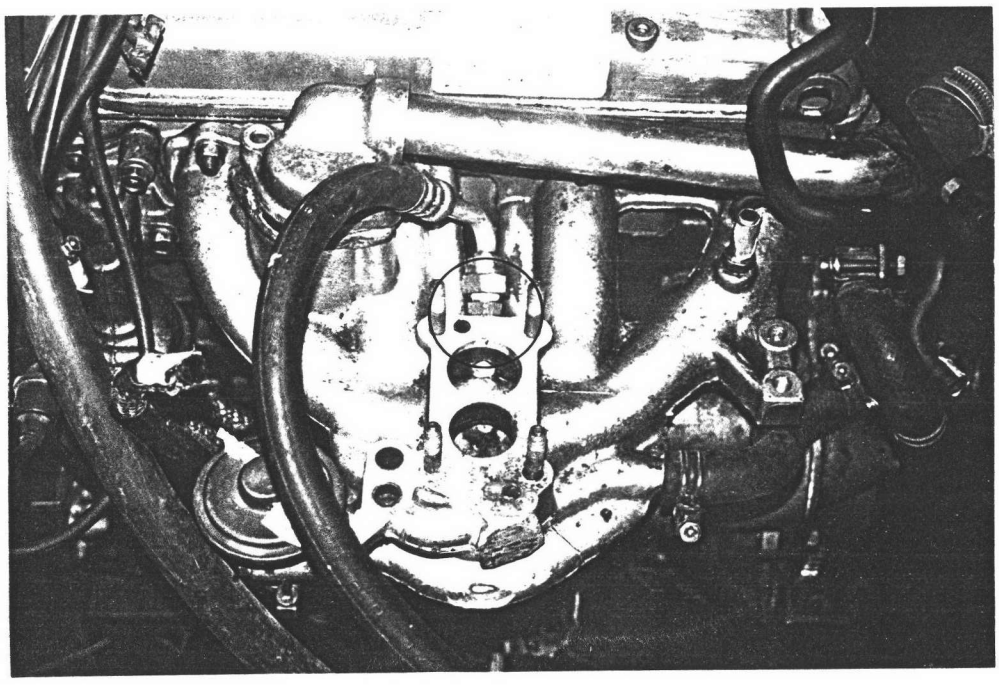
นอกจากอุปกรณ์ทั้ง 4 ชนิด ที่สามารถป้องกันเปลวไฟย้อนกลับเข้าไปในท่อ เพื่อป้องกันไม่ให้ถังเก็บแกสไฮโดรเจนระเบิดได้แล้ว ในระบบท่อลำเลียงเชื้อเพลิงไฮโดรเจน เช่น ท่อ, ข้อต่อ และลิ้นควบคุมแรงดัน ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูง ซึ่งจะสามารถป้องกันการรั่วซึมของแกสไฮโดรเจนได้ และยังได้ต่อสายยางระบายแกสไฮโดรเจนที่อาจรั่วเข้าไปในห้องอ่างน้ำมันเครื่องได้ในจังหวะอัดของเครื่องยนต์โดยผ่านช่องว่างของแหวนลูกสูบซึ่งสามารถทำได้โดยเอาเหล็กวัดระดับน้ำมันเครื่องออกแล้วเอาสายยางที่มีปลายเปิดมาเสียบไว้แทนเพื่อป้องกันน้ำมันเครื่องกระเด็นออกโดยยกปลายสายยางอีกด้านหนึ่งให้สูงขึ้น นอกจากนั้นแล้ว เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในขณะทำการทดลองเครื่องยนต์ จะเปิดพัดลมเพดานเป่าบริเวณที่ทำการทดลอง ซึ่งถ้าเกิดการรั่วซึมของแกสไฮโดรเจน พัดลมจะช่วยเป่าให้แกสไฮโดรเจนเกิดการกระจายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้แกสไฮโดรเจนไม่สะสมในบริเวณนั้น ซึ่งสามารถป้องกันไฟลุกไหม้ได้



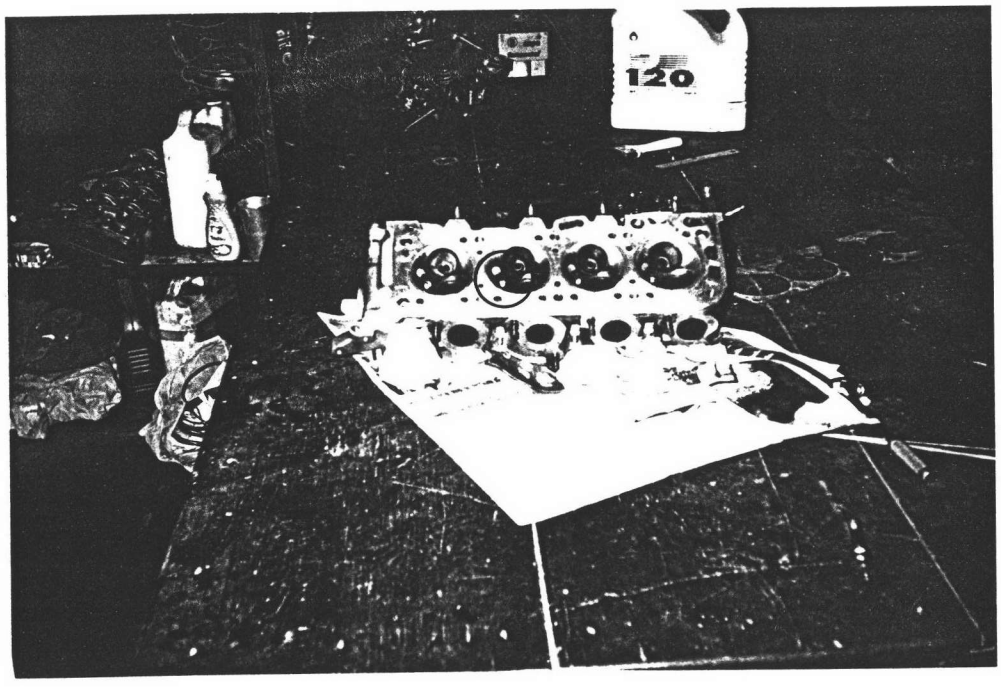
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องยนต์แบบ Stratified charge spark ignition engine



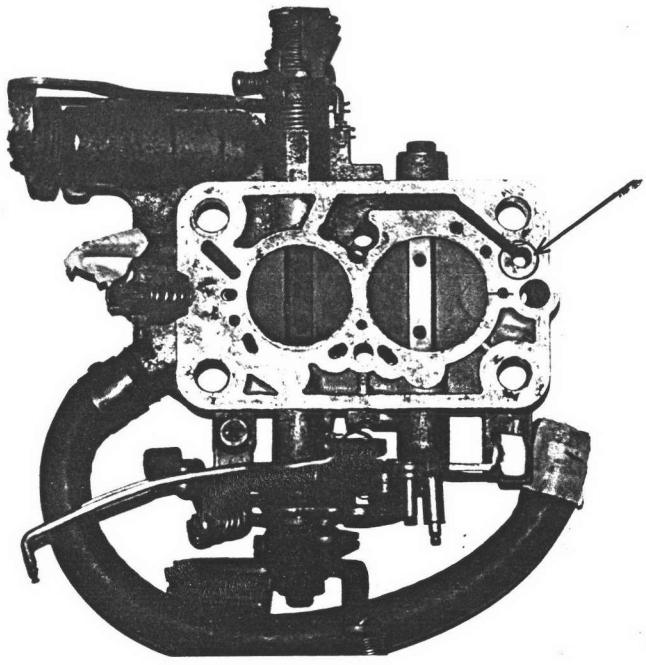
รูปที่ 3.2 แสดงแบบของมิกเซอร์แบบเจาะ



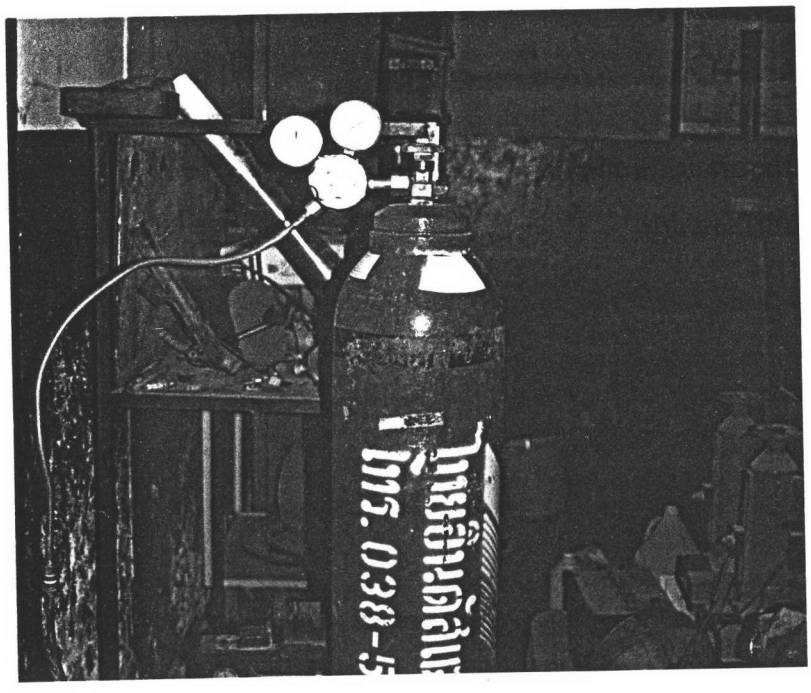
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อมิกเซอร์เข้ากับคาร์บูเรเตอร์



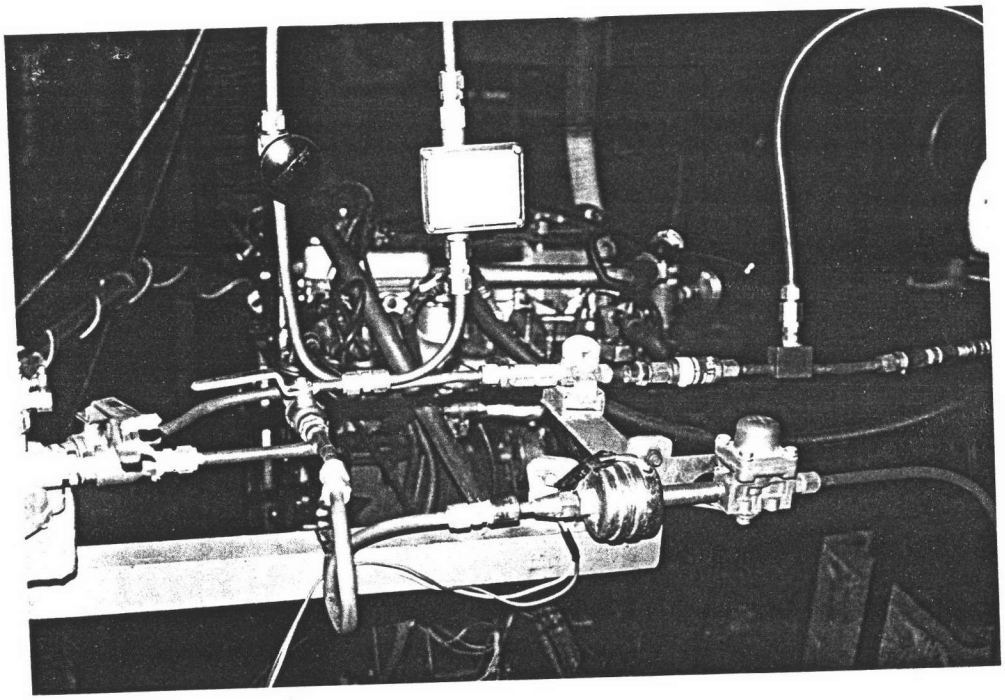
รูปที่ 3.4 แสดงห้องเผาไหม้ช่วยและห้องเผาไหม้หลัก



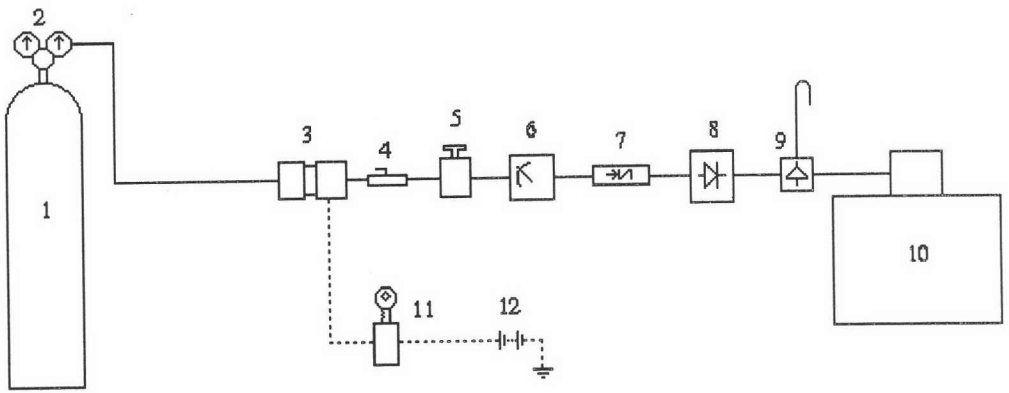
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งรูที่ต้องอุด



รูปที่ 3.6 แสดงถังเก็บแกสไฮโดรเจนและลิ้นควบคุมแรงดัน



รูปที่ 3.7 แสดงท่อส่งแกส, ข้อต่อ, ลิ้นโซลีนอยด์, มิเตอร์วัดอัตราการไหลแกส
อุปกรณ์กันเปลวไฟย้อนกลับ



1. Hydrogen cylinder
2. Regulator
3. Solinoid valve
4. Ball valve
5. Needle valve
6. Hydrogen flowmeter
7. Check valve
8. Flash back arrestor
9. Pressure Relief Valve
10. Engine
11. Ignition switch
12. Battery

รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งระบบจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจน