บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง

งานวิจัยนี้ได้จัดแบ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 6 ส่วนแสดงการติดตั้งในรูปที่ 4-1 ประกอบด้วย

4.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

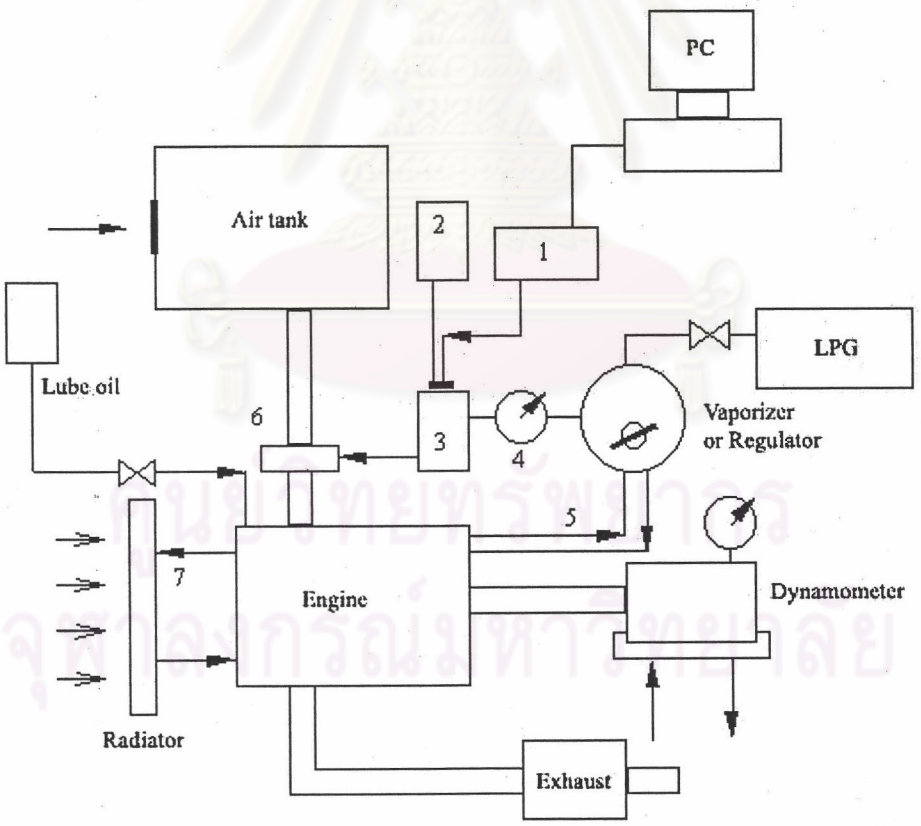
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงบิด (Torque) จากเครื่องยนต์

4.3 อุปกรณ์ในการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อใช้เชื้อเพลิง LPG

4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการ metering เชื้อเพลิง

4.5 อุปกรณ์ที่ใช้วัดการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง LPG และน้ำมันหล่อลื่น

4.6 อุปกรณ์การวัดอัตราการไหลอากาศ



รูปที่ 4-1 แสดงไดอะแกรมและอุปกรณ์การทดสอบโดย 1.Driver interface PCB, 2.power supply, 3.gas variable venturi, 4.drum gas meter, 5.coolant vaporizer, 6.mixing unit, 7.coolant engine

4.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

เครื่องยนต์		= Daihatsu รุ่น ZM-9XK
ชนิดเครื่องยนต์/ จำนวนสูบ		= 2 จังหวะ/ 2 สูบแบบเรียง
ลักษณะของห้องเผาไหม้		= semi-spherical
ปริมาตรกระบอกสูบ		= 356 cc
bore x stroke		= 62 x 59 (mm x mm)
compression ratio		= 9
กำลังสูงสุด		= 23/5000 (PS/rpm)
แรงบิดสูงสุด		= 3.5/4000 (kg.m/rpm)
ความเร็วสูงสุด		= 90 (kms/hr)
อัตราทดเกียร์ (gear ratio)	1^{st}	= 4
	2^{nd}	= 2
	3^{rd}	= 1.33
	4^{th}	= 1
อัตราทดเฟืองท้าย (differential gear)		= 6.286
ชนิดของจ่ายเชื้อเพลิง		= คาร์บูเรเตอร์
ระบบจุดระเบิด		= Ignition coil & Mechanical distributor

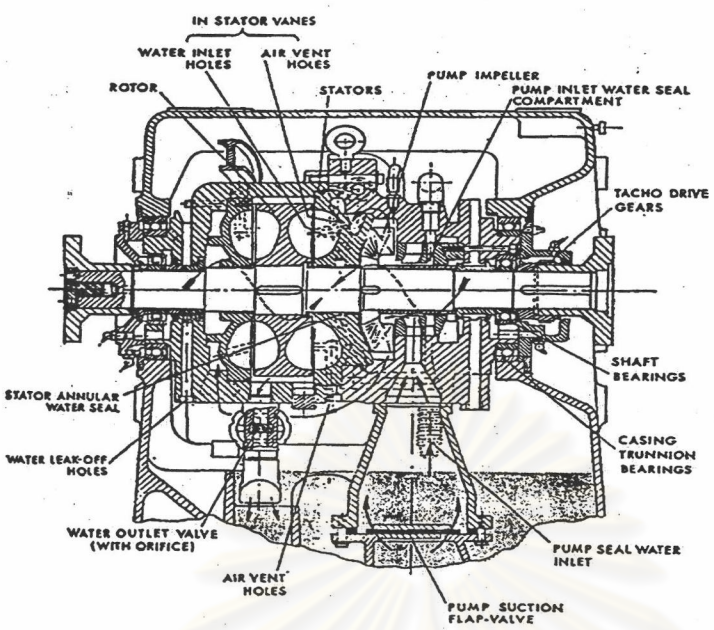
ในการทดสอบปรับเกียร์ไว้ที่เกียร์4 อัตราทดเกียร์เป็น 1 ต่อ 1

4.2 อุปกรณ์วัดแรงบิด (Torque) จากเครื่องยนต์

ไดนาโมมิเตอร์ใช้วัดแรงบิดจากเครื่องยนต์เป็น Fluid friction dynamometer ชนิด Absorption ของ Redman Heenan Froude LTD. โดยแสดงภาพตัดขวางของชุด Dynamometer ไว้ในรูปที่ 4-2

ยี่ห้อ/รุ่น	: Redman Heenan Froude/ Froude Hydraulic Dynamometer size DPX2
ระยะแขนสมดุล	= 0.3525 เมตร
Resolution	= 0.1 kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-2 แสดงภาพตัดขวางของ Froude Hydraulic Dynamometer: Type G.[26]

4.3 อุปกรณ์ในการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อใช้เชื้อเพลิง LPG

เครื่องยนต์รถตุ๊กตุ๊กซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงถูกดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีน มีส่วนประกอบของระบบการทำงานของเครื่องยนต์ ได้แก่ ถังก๊าซ, วาล์วนิรภัย (safty solenoid valve), เวเปอร์ไรเซอร์หรือเรกกูเรเตอร์ปรับความดันก๊าซ, สกรูปรับปริมาณก๊าซ, และมิกเซอร์หรือคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

การทำงานของเครื่องยนต์ LPG เริ่มจาก LPG ความดันสูงจากถังก๊าซไหลผ่านกรองเชื้อเพลิงและวาล์วนิรภัย (safty solenoid valve) เข้าสู่เวเปอร์ไรเซอร์หรือเรกกูเรเตอร์ปรับความดันก๊าซ (vaporizer/ pressure regulator) เพื่อลดความดันของ LPG ดังนั้น LPG จะเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซที่มีความดันต่ำ และไหลไปตามท่อหลัก (main passage) และท่อเดินเบา (idle passage) ไปยังมิกเซอร์ (mixture) หรือคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ ซึ่งทำหน้าที่ผสมก๊าซ LPG กับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ ก่อนที่จะถูกดูดเข้าสู่กระบอกสูบ เมื่อเครื่องยนต์หยุดการทำงานวาล์วนิรภัยจะทำหน้าที่ปิดการไหลของ LPG ระหว่างถังก๊าซกับเวเปอร์ไรเซอร์

1. ถังก๊าซ (LPG cylinder)

ถังก๊าซที่ใช้บรรจุ LPG ในสถานะของเหลว เป็นถังสำหรับก๊าซหุงต้มขนาด 48 กิโลกรัม ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน มาตรฐาน มอก. เลขที่ 370-2524 โดยสรุปคือ สามารถทนแรงดันได้ถึง 68 กก./ตร.ซม. (1000 ปอนด์/ตร.นิ้ว)

2. ตัวกรองก๊าซ (Filter)

ตัวกรองก๊าซทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกของ LPG เหลวก่อนเข้าสู่เวเปอร์ไรเซอร์และเครื่องยนต์

3. วาล์วนิรภัย (solenoid safty valve)

วาล์วนิรภัยเป็นโซลีนอยด์วาล์วยี่ห้อ Aisan แรงดัน 12 V_{DC} ทำงานร่วมกับสวิตช์กุญแจ ทำหน้าปิด-เปิดการไหล LPG เหลวเข้าเวเปอร์ไรเซอร์เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน โดยชุดที่ใช้นี้เป็นชุดที่มีอุปกรณ์กรองก๊าซและวาล์วนิรภัยรวมเข้าเป็นชุดเดียวกัน

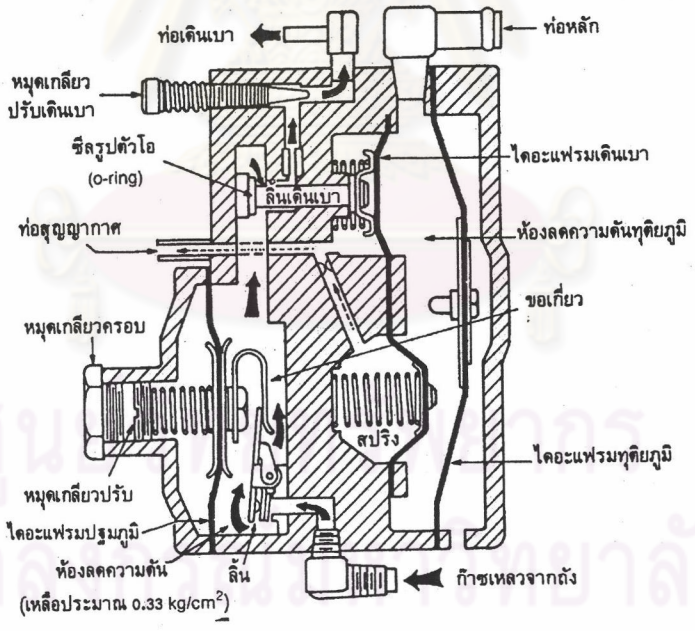
4. เวเปอร์ไรเซอร์หรือเรกกูเลเตอร์ปรับความดัน (vaporizer/ pressure regulator)

เวเปอร์ไรเซอร์หรือเรกกูเรเตอร์ปรับความดัน (ในท้องตลาดทั่วไปเรียกหม้อต้ม) ทำหน้าที่ลดความดัน, ทำให้ LPG เหลวกลายเป็นไอสมบูรณ์ (dry gas) และปรับความดันของ LPG ให้เหมาะสมก่อนจ่ายให้กับเครื่องยนต์ ในการเปลี่ยนสถานะจาก LPG เหลวให้กลายเป็นไอ ต้องอาศัยความร้อนจากระบบหล่อเย็นเครื่องยนต์มาใช้ เพื่อป้องกันไม่ให้ไดอะแฟรมในเวเปอร์ไรเซอร์แข็งตัว มีรายละเอียดดังนี้

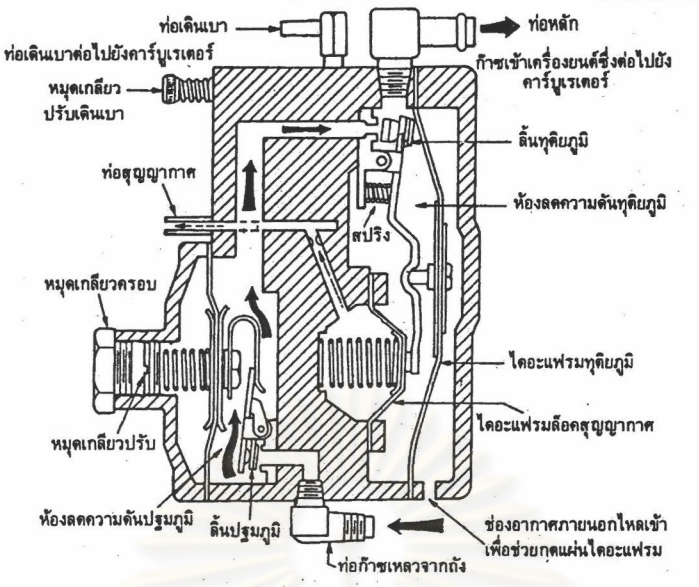
ยี่ห้อ/รุ่น : Aisan/ 9BP

type : two-stage

มีลักษณะการทำงานแสดงในรูปที่ 4-3(a) เป็นการทำงานในตำแหน่งเครื่องยนต์เดินเบาและรูปที่ 4-3(b) เป็นการทำงานในตำแหน่งการขับขี่ปกติ



รูปที่ 4-3(a) แสดงการทำงานของเวเปอร์ไรเซอร์ที่ใช้งานในตำแหน่งเครื่องยนต์เดินเบา [9]

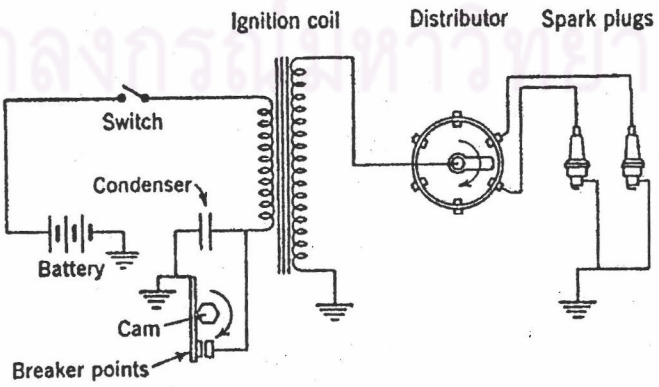


รูปที่ 4-3(b) แสดงการทำงานของเวเปอร์ไรเซอร์ที่ใช้งานในขณะขับขี่ปกติ [9]

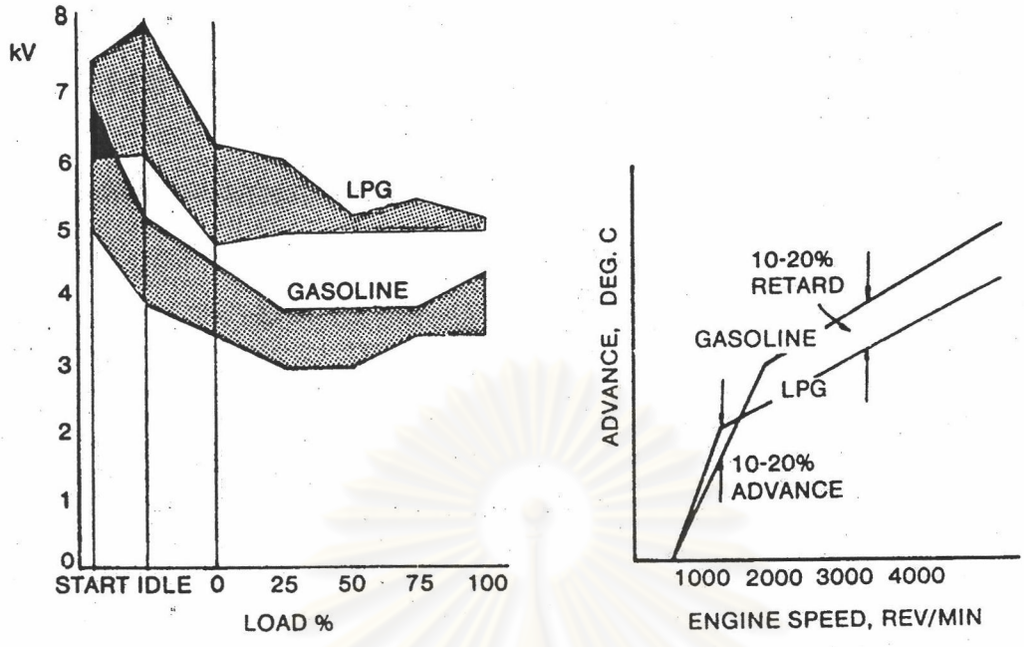
5. ระบบจุดระเบิด (Ignition system)

ระบบจุดระเบิดที่ใช้ในเครื่องยนต์สองจังหวะ Daihatsu ZM356cc เป็นชนิดการจุดระเบิดด้วยคอยล์ที่ใช้ชุดทองขาว (coil ignition system) ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรไฟแรงต่ำ (primary circuit) ได้แก่ แบตเตอรี่, สวิตช์, ตัวต้านทาน, ขดลวดไฟแรงต่ำ, ชุดทองขาว (contact breaker), คอนเดนเซอร์ และวงจรไฟแรงสูง ได้แก่ ขดลวดไฟแรงสูง, จานจ่าย (distributor) และหัวเทียน แสดงดังรูปที่ 4-4

T.K. Garrett [21] พบว่าเมื่อดัดแปลงเครื่องยนต์ SI 4 จังหวะมาใช้กับเชื้อเพลิง LPG ต้องเพิ่มแรงดันที่หัวเทียนขึ้นประมาณ 30-40% ดังรูปที่ 4-5(a) ทั้งนี้เนื่องจาก LPG ในกระบอกสูบมีสถานะเป็นแก๊สแห้ง (dry gas) จึงมีความต้านทานสูงกว่าแก๊สโซลีนที่ไอ (vapour) นอกจากนี้ LPG มีปริมาตรภายกระบอกสูบมากกว่าจึงใช้เวลาในการเผาไหม้นานกว่าแก๊สโซลีน จึงตั้งองศาให้มากกว่าแก๊สโซลีนประมาณ 10-20% ดังรูปที่ 4-5(b)



รูปที่ 4-4 แสดงระบบจุดระเบิดด้วยคอยล์ (coil ignition system) ที่ใช้กับเครื่องยนต์สองจังหวะ



(a) (b)

รูปที่ 4-5 แสดงการเปรียบแรงดันที่ต้องการในการจุดระเบิดของเครื่องยนต์เอสไอ 4 จังหวะ (a) และองศาการจุดระเบิด (b) ระหว่างแก๊สโซลีนกับ LPG [21]

W.S. Blalock and R.N. Little [20] พบว่าเมื่อเปลี่ยนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะมาใช้เชื้อเพลิง LPG ระบบจุดระเบิดดังกล่าวสามารถให้แรงดันในการจุดระเบิดได้ตามความต้องการ โดยการลดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนให้เหลือประมาณ 0.020-0.025 นิ้ว (ปกติระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนที่ใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนมีค่าประมาณ 0.030-0.035 นิ้ว) ดังนั้นหัวเทียนที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ LPG จึงมีอายุการใช้งานสั้นกว่า ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงกำหนดให้ระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนมีค่า 0.025 นิ้ว คงที่ตลอดการทดสอบ

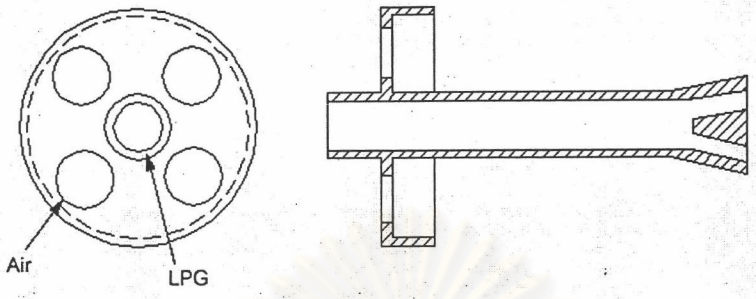
4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการ metering เชื้อเพลิง

ในการทดลองครั้งนี้มีอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการ metering เชื้อเพลิง ดังนี้

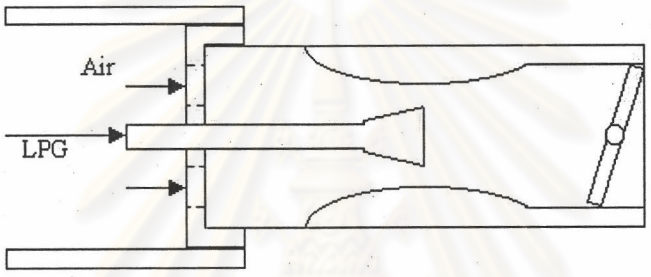
4.4.1 สำหรับการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ OEM ใช้คาร์บูเรเตอร์ของ Hitachi ซึ่งเป็น OEM Carburetor ที่ติดตั้งกับเครื่อง Daihutsu รุ่น ZM-9XK 356 cc มีวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 3 cm. ช่วยในการควบคุมปริมาณอากาศ โดยเชื้อเพลิงจะถูกดูดผ่านนมหนูจ่ายเชื้อเพลิงด้วยความกดอากาศ (depression) ที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านคอคอด

4.4.2 สำหรับการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้รับการดัดแปลงมาใช้ LPG และหา Optimum path ของเครื่องยนต์ 2 จังหวะที่ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงจะใช้มิกเซอร์ (Mixer) Local mixer ชนิดสวมครอบกับคาร์บูเรเตอร์น้ำมัน และอาศัยความกดอากาศ (depression) ที่เกิดในคอ

คอดของคาร์บูเรเตอร์กำหนดอัตราการไหลของก๊าซ ร่วมกับการปรับสกรูปรับการไหลของก๊าซที่ติดตั้งบนเวเปอร์ไรเซอร์ในการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ แสดงดังรูปที่ 4-6



(a)



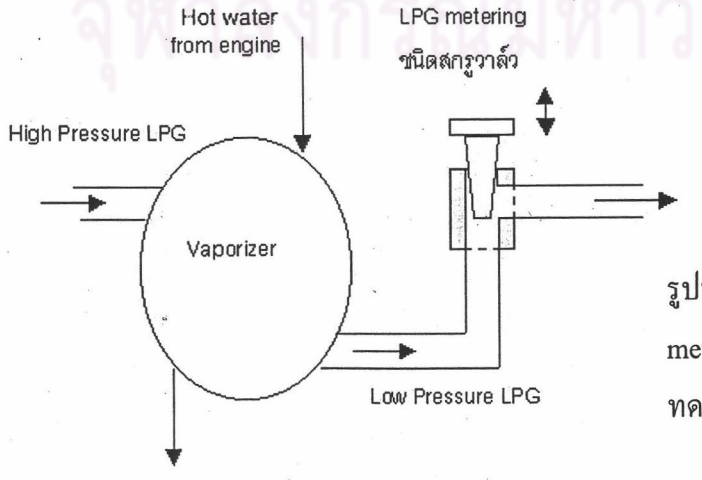
(b)

รูปที่ 4-6 แสดงมิกเซอร์แบบ Local made ที่ใช้ในเครื่องยนต์รถตุ๊กตุ๊ก (a) และลักษณะการติดตั้งเข้ากับคาร์บูเรเตอร์แก๊สโซลีน (b)

Specification ของ local mixer - Venturi area = 28.86 mm^2

- Air passage area = 678.6 mm^2
- Butterfly valve area = 706.8 mm^2

4.4.3 LPG metering ชนิดสกรูวาล์วใช้ปรับปริมาณ LPG เพื่อหา Optimum A/F ที่ MBT มีลักษณะเป็นสกรูวาล์วปรับขนาดพื้นการไหล ติดตั้งอยู่หลังเวเปอร์ไรเซอร์สำหรับปรับปริมาณก๊าซก่อนจ่ายไปที่ Local mixer ดังแสดงในรูป 4-7



รูปที่ 4-7 แสดงการติดตั้งระบบ LPG metering ชนิดสกรูวาล์วเพื่อใช้ในการทดสอบ mixer loop test

4.5 อุปกรณ์ที่ใช้วัดการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง LPG และน้ำมันหล่อลื่น

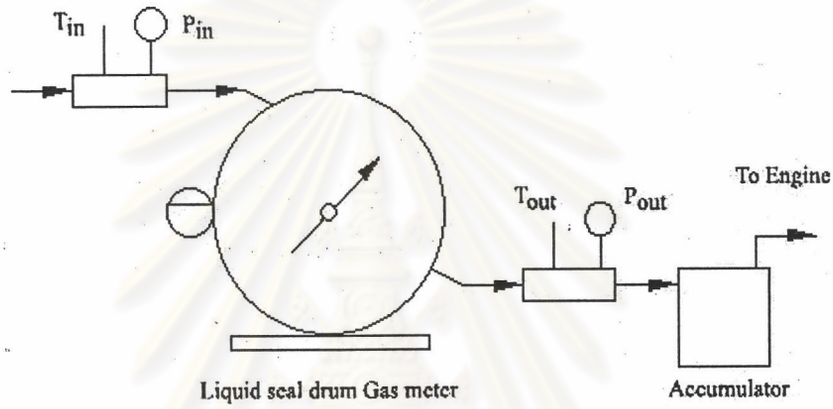
4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง LPG เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรการไหล LPG ชนิด Liquid seal drum gas meter ของ Alex.Wright & Co.,(Westminster) LTD. มีลักษณะการติดตั้งงานดังรูปที่ 4-8 และรายละเอียดดังนี้

ปริมาตรการไหลผ่านของก๊าซ = 2.5 ลิตรต่อรอบ

Full scale/rev = 100 ช่อง

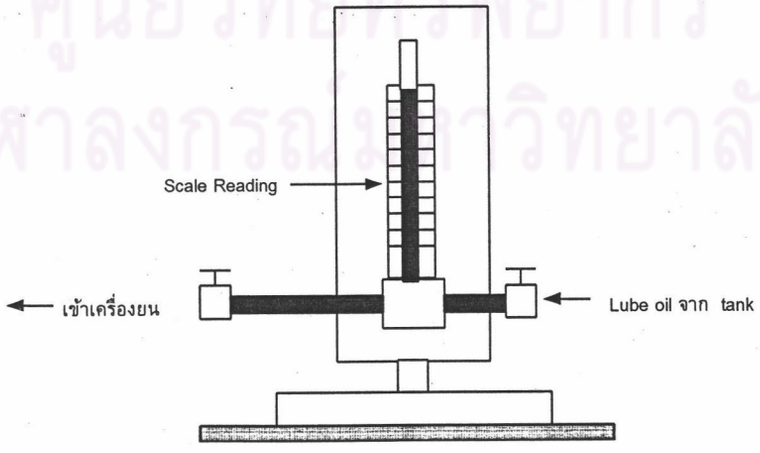
Resolution = 0.025 ลิตรต่อช่อง

Maximum pressure = 10 inch H_2O



รูปที่ 4-8 แสดงอุปกรณ์วัดการไหลของก๊าซ LPG และการติดตั้ง

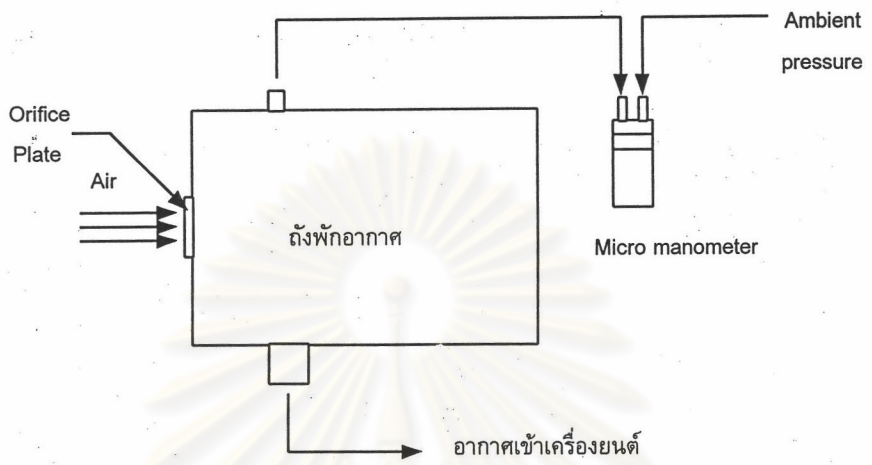
4.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น : เนื่องจากการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นจะมีน้อยมาก ฉะนั้นจึงได้จัดทำเครื่องมือวัดการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นขึ้นมา โดยใช้หลักการวัดปริมาตรน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลออกมาจากหลอดแก้วที่แบ่งสเกลจากไม้บรรทัดไว้ และทำการปรับเทียบ (calibration scale) กับหลอดตวงปริมาตรมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 แสดงหลอดแก้วที่ใช้วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

4.6 อุปกรณ์การวัดอัตราการไหลอากาศ

การวัดปริมาณอากาศที่เครื่องยนต์นำไปใช้ในการเผาไหม้ ในการทดลองนี้ได้ใช้ Orifice plate เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.81 นิ้ว ติดตั้งบนถังพักอากาศ จากการใช้สมการของ Stolz[1] โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลเท่ากับ 0.598089 หรือประมาณ 0.6 ดังแสดงในรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศ

เครื่องมือที่ใช้วัดความดันดิฟเฟอเรนที่ออริฟิสคือ Micro manometer ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ยี่ห้อ/รุ่น	: Alnor instrument / AXD 510 series
Range	= -20 –20 inch H_2O
Resolution	= 0.01 นิ้วน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

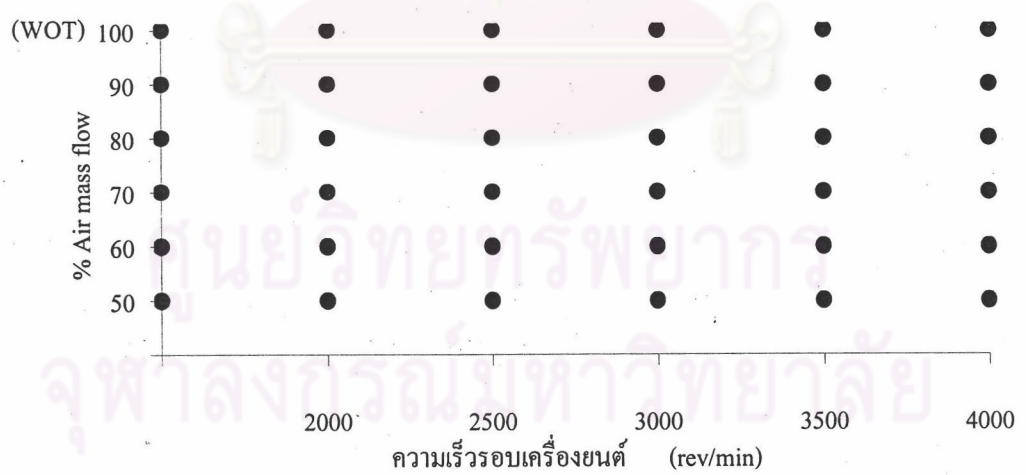
[1] British Standard, BS 1042,1992(ISO 5167-1,1991), Section 1.1,PP22

4.7 ขั้นตอนการทดสอบ

การศึกษานี้เริ่มจากการทดสอบหาสมรรถนะเบื้องต้นของ OEM engine Daihatsu รุ่น ZM-9XK กับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ออกเทน 91 โดยการทดสอบกระทำทุกจุดของเมตริกระหว่างค่าความแตกต่างความดันที่ใช้ในการวัดค่าการไหลของมวลอากาศที่เข้าเครื่องยนต์กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ดังแสดงในรูปที่ 4-11 จากนั้นทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิง LPG กับ Local mixer โดยปรับแต่งสภาวะของเครื่องยนต์ตามการใช้งานจริง เพื่อหาแนวสมรรถนะของเครื่องยนต์ดังกล่าวกับเชื้อเพลิง LPG ตามจุดทดสอบเดียวกัน จากนั้นทำทดสอบการทำ mixture loop test โดยใช้ LPG metering ชนิดสกรูวาล์ว เพื่อหา Optimum A/F ที่ MBT

4.7.1 การทดสอบเบื้องต้น

เป็นการทดสอบโดยใช้ระบบการจ่ายแก๊สโซลีนด้วย OEM Carburetor ซึ่งเป็นระบบเดิมของเครื่องยนต์ ตามเมตริกทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยปรับตำแหน่งวาล์วควบคุม Lube oil ให้อยู่ในตำแหน่งเปิดคงที่และอาศัยความเร็วรอบในการควบคุม Lube oil pump ของเครื่องยนต์ในการจ่าย Lube oil ให้กับเครื่องยนต์ เมื่อปรับองศาการจุดระเบิดไปที่ตำแหน่ง Spark advance timing 24.5 องศามุมเพลาข้อเหวี่ยงก่อน TDC ในการทดสอบค่าสมรรถนะที่ทำการบันทึกคือ แรงบิด, ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมกับค่าตัวแปรการทำงาน (Operating variable) ที่เกี่ยวข้องอาทิ อุณหภูมิบรรยากาศทั้งกระเปาะแห้งและเปียก, ความดันบรรยากาศ, ความดันตกคร่อมของการไหลอากาศที่ผ่าน Orifice plate และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 4-11 แสดงจุดทำงานที่จะทดสอบในรูป Test matrix บนแกนความเร็วรอบกับมวลอากาศ

จากเมตริกทดสอบรูปที่ 4-11 ได้ทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบสูงสุด 4000 Rev/min ทั้งนี้เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องยนต์และ Dynamometer ที่ใช้ในการทดสอบ อนึ่งเมื่อประเมินการ

ใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถยนต์พบว่าช่วงที่ทำการทดสอบนั้นอยู่ในช่วงความเร็วที่ใช้งานจริง จึงถือช่วงความเร็วในเมตริกดังกล่าวครอบคลุมจุดที่ควรพิจารณาแล้ว

4.7.2 การทดสอบเบื้องต้นกับเครื่องยนต์ Convention LPG

เป็นการทดสอบโดยใช้ระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ด้วยมิกเซอร์ชนิดสวมครอบ (conventional local made mixer) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กับแพร่หลายกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถรับจ้างชนิดสามล้อเครื่องหรือรถตุ๊กตุ๊ก ตามเมตริกทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยปรับตำแหน่งวาล์วควบคุม Lube oil ให้อยู่ในตำแหน่งเปิดคงที่และอาศัยความเร็วรอบในการควบคุม Lube oil pump ของเครื่องยนต์ในการจ่าย Lube oil ให้กับเครื่องยนต์ ตั้ง spark gap ไว้ที่ 0.025" และปรับองศาการจุดระเบิดไปที่ตำแหน่ง Spark advance timing 35 องศามุมเพลาข้อเหวี่ยงก่อน TDC ในการทดสอบค่าสมรรถนะที่ทำการบันทึกคือ แรงบิด, ปริมาณแก๊ส LPG พร้อมกับค่าตัวแปรการทำงาน (Operating variable) ที่เกี่ยวข้องอาทิ อุณหภูมิและความดันแก๊ส LPG, อุณหภูมิบรรยากาศทั้งกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก, ความดันบรรยากาศ, ความดันตกคร่อมของการไหลอากาศที่ผ่าน Orifice plate และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เมื่อสภาวะของเครื่องยนต์มีเสถียรภาพ

4.6.3 การทดสอบ mixture loop test

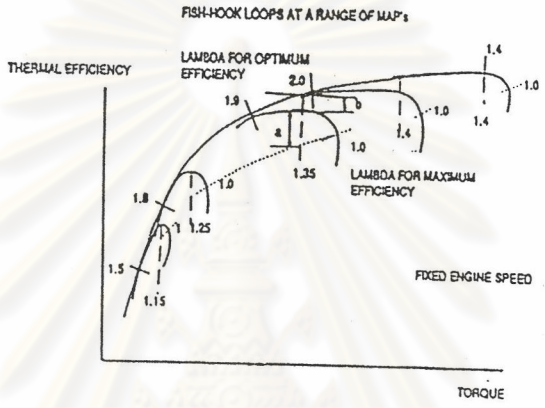
การทดสอบ mixture loop test ตามเมตริกทดสอบดังรูปที่ 4-11 จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์หาแนวสมรรถนะที่เหมาะสมในเชิงประหยัดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบ profile ของมิกเซอร์ชนิด Variable venturi การทดสอบทำโดยแต่ละจุดทำงานบนเมตริกทดสอบจะปรับค่าอัตราส่วนผสมอากาศเชื้อเพลิงจากสกรูปรับปริมาณเชื้อเพลิง ประมาณ 3-5 ค่าจากส่วนผสมบางเข้าใกล้ misfire limit จนผ่านจุด Stoichiometric ออกไปทางส่วนผสมหนาเล็กน้อย และที่แต่ละค่าส่วนผสมในการทดสอบจะทำการปรับค่าองศาจุดระเบิดให้ได้แรงบิดสูงสุด (The minimum advance for the best torque :MBT) ด้วยการหมุนปรับจานจ่ายของเครื่องยนต์

นอกจากนี้เมื่อต้องการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่กระทำต่างเวลา, ต่างสภาวะอากาศของห้องทดสอบ ข้อมูลการทดสอบที่ได้จึงนำมาปรับแก้ไขให้เป็นค่า ณ สภาวะมาตรฐานตามข้อแนะนำของมาตรฐานออสเตรเลีย AS 2789:1.1985 และนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิ

4.6.4 การวิเคราะห์หาแนวสมรรถนะที่เหมาะสม (Optimum performance path)

อัตราส่วน A/F ที่เหมาะสมที่ทำให้เครื่องยนต์ทำงานที่ optimum thermal efficiency สามารถหาได้จากการปรับส่วนผสมจาก lean limit ให้ผ่านจุดที่ให้แรงบิดสูงสุด โดยทั่วไปจะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) เกิดเส้นที่มีรูปร่างเป็น fish-hook และเกิดเรียงกันตามการเพิ่มตำแหน่ง throttle ดังรูปที่ 4-12

ค่า λ ที่อยู่บนแผนภูมิแสดงถึงตำแหน่ง stoichiometric, efficiency สูงสุดและ optimum efficiency โดยค่า optimum efficiency หมายถึงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่ตำแหน่งแรงบิดเดียวกัน ค่านี้จะน้อยกว่าค่าสูงสุดที่พบในการทดสอบ mixture loop test จากรูป 4-12 จะเห็นว่าที่ตำแหน่งแรงบิดเดียวกันประสิทธิภาพที่ตำแหน่ง optimum มีค่ามากกว่าตำแหน่งที่ stoichiometric โดยที่ค่าที่เพิ่มขึ้นเกิดจากตำแหน่งของ maximum efficiency 'a' และการเพิ่มอัตราส่วน A/F ให้บางลงเพื่อให้ถึงตำแหน่ง optimum efficiency 'b' (บางครั้งจุดทำงานนี้อาจจะเข้าใกล้ lean misfire limit)



รูปที่ 4-12 แสดงการวิเคราะห์หาแนวสมรรถนะที่ประหยัดที่สุด ที่ความเร็วรอบคงที่ [30]

วิธีในการวิเคราะห์หาแนวสมรรถนะที่เหมาะสมที่สุด (Optimum efficiency path) ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด ที่ความเร็วรอบหนึ่งๆ ทำได้โดยนำแผนภูมิที่ได้ข้างต้นมาวิเคราะห์เขียนความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนในแต่ละภาระงาน (กำหนดโดย เปอร์เซ็นต์มวลอากาศที่เข้าเครื่องยนต์) แล้วทำการเขียนเส้นสัมผัสระหว่างความสัมพันธ์ของแรงบิดกับประสิทธิภาพในแต่ละรอบเครื่องยนต์เส้นสัมผัสที่สร้างขึ้นมาคือ Optimum efficiency path ที่รอบคงที่นั้นๆ