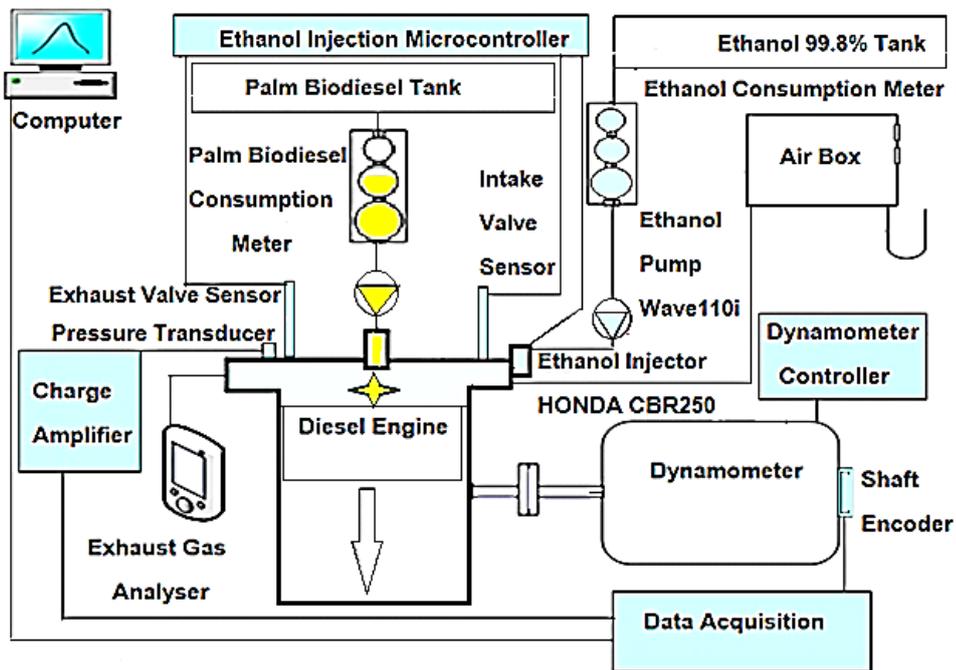


### บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง



ภาพที่ 3.1 แผนผังชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ ศึกษาถึงผลกระทบจากการฉีดล่วงหน้าเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 เข้าทางท่อไอดี ร่วมกับการฉีดปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจุดระเบิด ทดลองกับชุดทดสอบรุ่น DWE-8/10-M ติดตั้งระบบควบคุมการฉีดเอทานอลในเครื่องยนต์ CI ดังภาพที่ 3.1 ศึกษาถึงปริมาณการฉีดเอทานอล ต่อค่าสมรรถนะ คุณลักษณะในการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย เปรียบเทียบกับการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล และปาล์มไบโอดีเซล งานวิจัยทดลองที่ ห้องปฏิบัติการยานยนต์ อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีรายละเอียดดังนี้

##### 3.1.1 เครื่องยนต์

ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบความจุ 411 cc ฉีดเชื้อเพลิงตรง ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D-800 ติดตั้งอยู่บนไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไหลวน ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ทดลอง



ภาพที่ 3.2 เครื่องยนต์ทดลอง

### ตารางที่ 3.1 รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

รายการ	รายละเอียด
Model	Mitsubishi D-800
Bore x Stroke	82 x 78 mm x mm
No. of cylinder	1
Piston displacement	411 cc.
Maximum output	5.884 kW / 2400 rpm
Maximum torque	25.5 N-m / 1900 rpm
Compression ratio	18:1
Combustion	Direct injection

### 3.1.2 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์

ภาพที่ 3.3 ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลจำเพาะเครื่องวิเคราะห์ไอเสียรุ่น HM 5000 และ ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลจำเพาะแก๊สไอเสียที่วัดได้ ผลิตโดย Infrared industries Co, Ltd. วัด แก๊ส ได้ถึง 5 ชนิด คือ ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) และไนตริกออกไซด์ (NO<sub>x</sub>)



ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดและวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย รุ่น HM 5000

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย รุ่น HM 5000

รายการ	รายละเอียด
Display	Backlit LCD, Graphic 128x64 mm
External Power	10-16 VDC, less than 1A
Internal Power	Rechargeable Lithium-Ion Battery Pack
Gases-NDIR	HC, CO and CO <sub>2</sub>
Gases-Electrochemical cell	O <sub>2</sub> and NO <sub>x</sub>
Operating Temperature	35 to 110 °F
Size	7.5 x 3.5 x 2 inch x inch x inch
Weight	Less than 2 ponds
Outputs	RS232, Eight Analog Outputs 0-5 VDC
Probe	
Material	Pistol grip with stainless Steel
Hose Length	10"
Requirements	BAR 90/97
Insertion Length	Up to 27"

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะแก๊สไอเสียที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย รุ่น HM 5000

Gas	Range	Resolution	Accuracy
Hydrocarbons (HC)	0-10,000 ppm	10 ppm	±2%
Carbon Monoxide (CO)	0-10%	0.01%	±2%
Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )	0-20%	0.01%	±2%
Oxygen (O <sub>2</sub> )	0-25%	0.01%	±1%
Nitric Oxide (NO <sub>x</sub> )	0-5,000 ppm	1 ppm	±2%

### 3.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์วัดน้ำมันดีเซล และปาล์มไบโอดีเซล เป็นอุปกรณ์วัด รุ่น BE-512 Tokyo Meter Co, Ltd. แบบ 3 กระเปาะ วัดปริมาณน้ำมันที่ใช้ได้ 3 ช่วง คือ 5, 10 และ 15 cc



ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

### 3.1.4 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเอทานอล

ภาพที่ 3.5 เป็นอุปกรณ์วัดที่สร้างขึ้นใหม่ ประกอบด้วย Measuring Pipette วาล์วทองเหลือง สายส่งน้ำมัน E 85 ถังพักเอทานอลขนาดความจุ 2,500 cc วัดปริมาตรเอทานอลได้สูงสุด 20 cc วัดปริมาตรละเอียด 0.1 cc



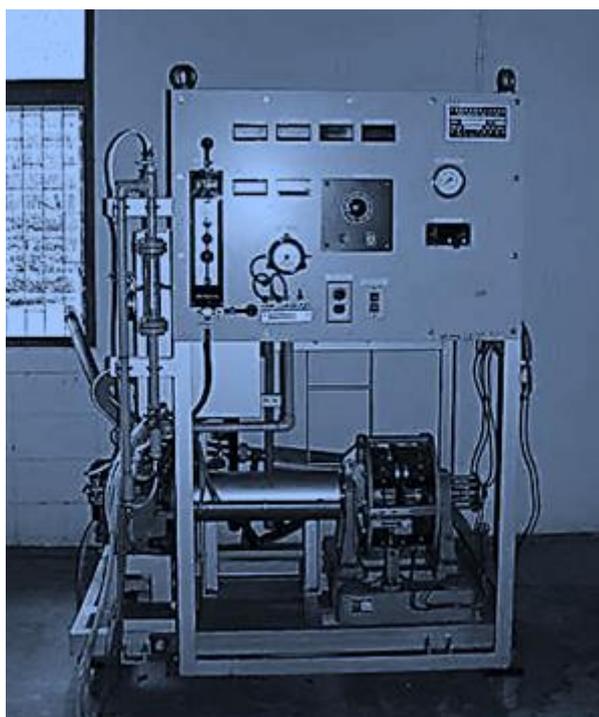
ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเอทานอล

### 3.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลโดยมวลของอากาศ (Air Flow Rate)

ภาพที่ 3.6 วัดอัตราการไหลอากาศเข้าเครื่องยนต์ ด้วยการวัดอัตราการไหลผ่านชุด Round Nozzle ใช้ร่วมกับมาโนมิเตอร์ วัดค่าความดันแตกต่างตกรวมออกมาในหน่วย mmH<sub>2</sub>O



ภาพที่ 3.6 ถังพักอากาศ 95 ลิตร และ Round nozzle OD 80 ID 18 mm ค่าสัมประสิทธิ์การไหล 0.822 มาโนมิเตอร์รุ่น WO-80 ช่วงการวัด 100 mmH<sub>2</sub>O วัดละเอียด 0.1 mmH<sub>2</sub>O



ภาพที่ 3.7 ไดนาโมมิเตอร์

### 3.1.6 ไดนาโมมิเตอร์

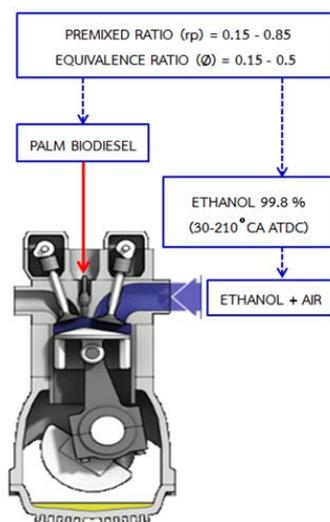
ภาพที่ 3.7 แสดงไดนาโมมิเตอร์ชนิด (Eddy current dynamometer) ติดตั้งในชุดทดลอง รุ่น EA-10 ผลิตโดย Tokyo Meter Co, Ltd. มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดจำเพาะของชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

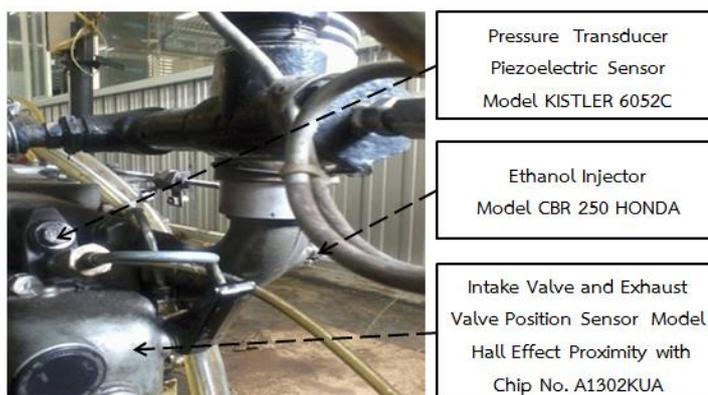
รายการ	รายละเอียด
Model	EA-10 Tokyo Meter Co., Ltd.
Max. absorbing horse power	7.45 kW
Max. shaft rotational speed	5000 rpm
Arm length	0.2389 m
Coil resistance	Approx. 13 $\Omega$
Insulation resistance	More than 10 M $\Omega$
Rotational speed indicator	Model AC-951-21 ASAHI KEIKI Co., Ltd.
Torque indicator	Model TDW 8 Tokyo Meter Co., Ltd.
Load cell rated capacity	20 Kg <sub>r</sub>

### 3.2 ระบบฉีดเอทานอล

ภาพที่ 3.8 แสดงเงื่อนไขการฉีดเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 ด้วยหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ ภาพที่ 3.9 แสดงตำแหน่งฉีดเอทานอลก่อนถึงลิ้นไอดี 10 cm ภาพที่ 3.12 แสดงการควบคุมและสั่งการด้วยแผงวงจรรวม ตั้งค่าอ้างอิงเปรียบเทียบสัญญาณองศาเพลาคือห้วงจาก Encoder เริ่มต้นรับสัญญาณจากสวิทช์แม่เหล็ก ภาพที่ 3.10 แสดงสวิทช์แม่เหล็กจับตำแหน่งลิ้นไอดี และลิ้นไอเสีย เมื่อลิ้นไอดีอยู่ที่ตำแหน่งเปิดและลิ้นไอเสียอยู่ตำแหน่งปิด ระบบเริ่มต้นฉีดที่ 30 °CA ภาพที่ 3.13 แสดงระยะเวลาฉีดเอทานอลขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมมวลวงหน้าทีโปรแกรมไว้ ตารางที่ 3.5-3.7 แสดงระยะเวลาในการฉีด ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ และBMEP การฉีดเอทานอลยาวนานที่สุดที่ 210 °CA ก่อนองศาที่ลิ้นไอดีปิด ระบบฉีดเอทานอลประกอบด้วยเซ็นเซอร์ แผงควบคุม ปุ่มสายส่ง และหัวฉีดเอทานอล ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.8 ตัวแปรที่ตั้งค่าไว้ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ในการทดลอง



ภาพที่ 3.9 ตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดตำแหน่งวาล์วไอดี ไอลีเย หัวฉีดและหัววัดความดัน

ตารางที่ 3.5 ระยะเวลาฉีดเอทานอล ที่ 1,200 rpm BMEP 0-716.2 kPa แปรผัน rp

Ethanol Injection Time (msec.)						
rp	BMEP (kPa)					
	0	143.2	286.5	429.7	572.9	716.2
0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.248	0.378	0.509	0.682	0.859	1.135
0.10	0.495	0.757	1.018	1.365	1.717	2.270
0.15	0.743	1.135	1.528	2.047	2.576	3.405
0.20	0.990	1.513	2.037	2.730	3.435	4.541
0.25	1.238	1.892	2.546	3.412	4.293	5.676
0.30	1.486	2.270	3.055	4.095	5.152	6.811
0.35	1.733	2.648	3.564	4.777	6.010	7.946
0.40	1.981	3.027	4.073	5.460	6.869	9.081
0.45	2.228	3.405	4.583	6.142	7.728	10.216
0.50	2.476	3.784	5.092	6.825	8.586	11.352
0.55	2.724	4.162	5.601	7.507	9.445	12.487
0.60	2.971	4.540	6.110	8.190	10.304	13.622
0.65	3.219	4.919	6.619	8.872	11.162	14.757
0.70	3.466	5.297	7.128	9.555	12.021	15.892
0.75	3.714	5.675	7.638	10.237	12.880	17.027
0.80	3.961	6.054	8.147	10.919	13.738	18.163
0.85	4.209	6.432	8.656	11.602	14.597	19.298
0.90	4.457	6.810	9.165	12.284	15.455	20.433
0.95	4.704	7.189	9.674	12.967	16.314	21.568
1.00	4.952	7.567	10.183	13.649	17.173	22.703

ตารางที่ 3.6 ระยะเวลาฉีดเอทานอล ที่ 1,500 rpm BMEP 0-716.2 kPa แปรผัน rp

Ethanol Injection Time (msec.)						
rp	BMEP (kPa)					
	0	143.2	286.5	429.7	572.9	716.2
0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.236	0.345	0.479	0.633	0.803	1.039
0.10	0.472	0.691	0.958	1.265	1.607	2.079
0.15	0.708	1.036	1.437	1.898	2.410	3.118
0.20	0.945	1.381	1.916	2.530	3.213	4.157
0.25	1.181	1.727	2.395	3.163	4.016	5.197
0.30	1.417	2.072	2.874	3.796	4.820	6.236
0.35	1.653	2.417	3.353	4.428	5.623	7.275
0.40	1.889	2.763	3.832	5.061	6.426	8.314
0.45	2.125	3.108	4.311	5.693	7.229	9.354
0.50	2.362	3.453	4.790	6.326	8.033	10.393
0.55	2.598	3.799	5.269	6.959	8.836	11.432
0.60	2.834	4.144	5.748	7.591	9.639	12.472
0.65	3.070	4.489	6.227	8.224	10.442	13.511
0.70	3.306	4.835	6.706	8.856	11.246	14.550
0.75	3.542	5.180	7.185	9.489	12.049	15.590
0.80	3.779	5.525	7.664	10.122	12.852	16.629
0.85	4.015	5.871	8.143	10.754	13.655	17.668
0.90	4.251	6.216	8.622	11.387	14.459	18.708
0.95	4.487	6.561	9.100	12.020	15.262	19.747
1.00	4.723	6.907	9.579	12.652	16.065	20.786

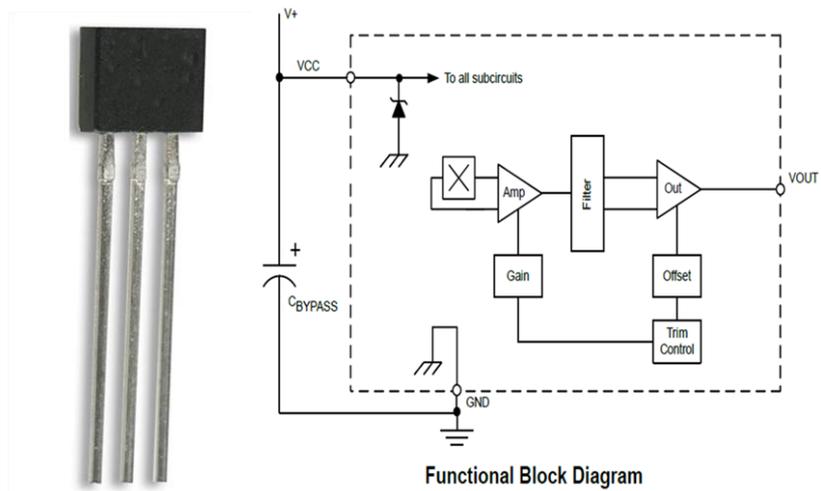
ตารางที่ 3.7 ระยะเวลาฉีดเอทานอล ที่ 1,800 rpm BMEP 0-716.2 kPa แปรผัน rp

Ethanol Injection Time (msec.)						
rp	BMEP (kPa)					
	0	143.2	286.5	429.7	572.9	716.2
0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.231	0.348	0.486	0.634	0.801	1.024
0.10	0.463	0.696	0.973	1.269	1.602	2.048
0.15	0.694	1.044	1.459	1.903	2.403	3.071
0.20	0.925	1.392	1.946	2.538	3.204	4.095
0.25	1.157	1.740	2.432	3.172	4.005	5.119
0.30	1.388	2.088	2.919	3.807	4.806	6.1429
0.35	1.619	2.436	3.405	4.441	5.607	7.167
0.40	1.851	2.784	3.891	5.075	6.408	8.191
0.45	2.082	3.132	4.378	5.710	7.209	9.214
0.50	2.313	3.480	4.864	6.344	8.010	10.238
0.55	2.545	3.828	5.351	6.979	8.811	11.262
0.60	2.776	4.176	5.837	7.613	9.612	12.286
0.65	3.008	4.524	6.323	8.248	10.413	13.310
0.70	3.239	4.872	6.810	8.882	11.214	14.334
0.75	3.470	5.220	7.296	9.516	12.016	15.357
0.80	3.702	5.569	7.783	10.151	12.817	16.381
0.85	3.933	5.917	8.269	10.785	13.618	17.405
0.90	4.164	6.265	8.756	11.420	14.419	18.429
0.95	4.396	6.613	9.242	12.054	15.220	19.453
1.00	4.627	6.961	9.728	12.689	16.021	20.476

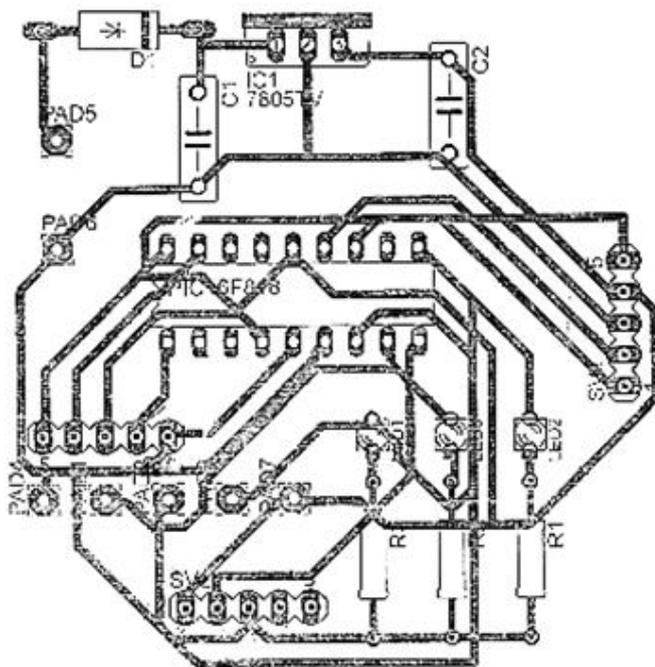
### 3.2.1 เซ็นเซอร์พร้อมแผงควบคุม

#### 3.2.1.1 เซ็นเซอร์จับตำแหน่งวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย

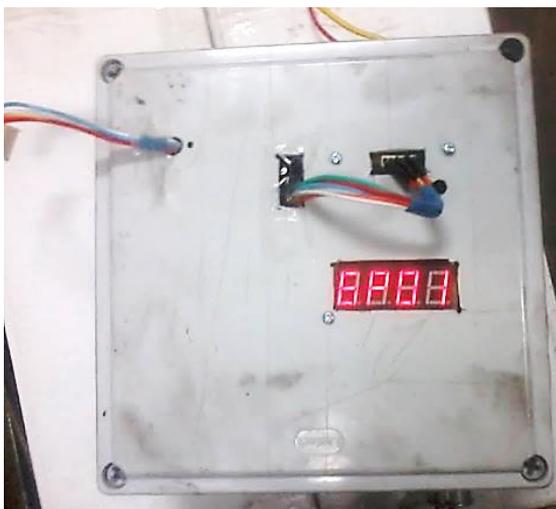
ภาพที่ 3.9 แสดงจุดติดตั้งเซ็นเซอร์ และจุดติดตั้งแม่เหล็กถาวรขนาดเล็กไว้ที่ก้านวาล์วไอดี และวาล์วไอเสีย ติดตั้งพร้อมชิปฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect Proximity with Chip No. A 1302 KUA) ภาพที่ 3.10 แสดงเซ็นเซอร์จับตำแหน่งวาล์วไอดีวาล์วไอเสียและวงจรภายในเซ็นเซอร์มี 3 ขาประกอบด้วยสัญญาณขาเข้า ขากราวด์ และสัญญาณขาออก รับสัญญาณไฟฟ้า 5.0-6.5 VDC ส่งสัญญาณขาออกไปยังแผงควบคุม ภาพที่ 3.12 เพื่อประมวลผลต่อไป



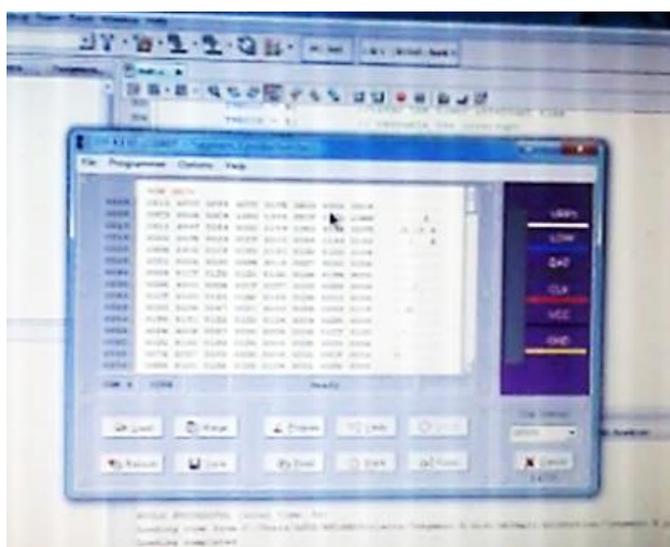
ภาพที่ 3.10 เซ็นเซอร์และวงจรภายในเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งวาล์วไอทีวาล์วไอเสีย



ภาพที่ 3.11 แผงวงจรติดตั้ง Chip No. A 1302 KUA เพื่อประมวลสัญญาณจากสวิทช์แม่เหล็ก



ภาพที่ 3.12 กล่องควบคุม ภายในประกอบด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรประมวลสัญญาณ



ภาพที่ 3.13 คำสั่งตั้งเวลาในการฉีดกำหนดด้วยโปรแกรม MPLAB X IDE V 2.10

### 3.2.1.2 แผงวงจรควบคุม

ภาพที่ 3.11 แสดงสวิทช์แม่เหล็กส่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง 5 VDC มาวงจรประมวลผลสัญญาณ ส่งต่อสัญญาณที่ผ่านการประมวลผลแล้วไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Injection Microcontroller Model MCU PIC 16 F 818) กล่องควบคุมการฉีดเอทานอล แสดงดังภาพที่ 3.13 เมื่อวาล์วไอดีเปิด และวาล์วไอเสียปิดตารางที่ 3.5-3.7 คำสั่งเวลาฉีดที่เขียนลงในโปรแกรม MPLAB X IDE V 2.10 ดังภาพที่ 3.13 โปรแกรมที่เขียนส่งคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยสัญญาณ 5 VDC เพื่อส่งสัญญาณขาออก 12 VDC ผ่านหน้ารีเลย์ไปยังปั๊ม และหัวฉีดเอทานอล

### 3.2.2 ระบบปั๊ม สายส่งและหัวฉีดเอทานอล

#### 3.2.2.1 ปั๊มส่งเอทานอล

ภาพที่ 3.14 ปั๊ม และถังพักเอทานอล ปั๊มเป็นปั๊มน้ำมัน HONDA Wave 110 i เสื่อปั๊มทำจากเรซิน ทนต่อการกัดกร่อนจากเอทานอล มอเตอร์ปั๊มขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า 12 VDC ติดตั้งในถังเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 ถังพักเอทานอลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm สูง 15 cm ความจุ 2,650 cc



ภาพที่ 3.14 ปั๊มส่งและถังพักเอทานอล

#### 3.2.2.2 สายส่งเอทานอล

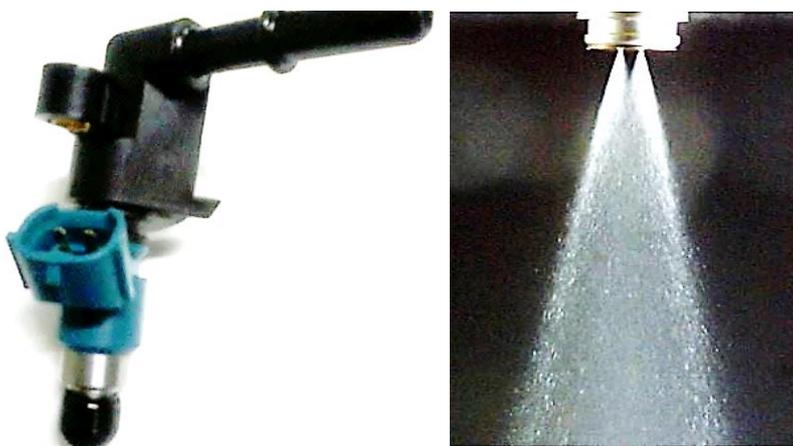
ภาพที่ 3.15 แสดงสายส่งเอทานอลผลิตจากเรซิน ยืดหยุ่น มีขนาดเล็ก ทนการกัดกร่อนจากเอทานอล ปั๊มส่งเชื้อเพลิงในปริมาณพอดีกับการฉีด ไม่ต้องใช้ท่อส่งเชื้อเพลิงส่วนเกินกลับ หากแรงดันส่งเกินเล็กน้อยตัวปั๊มจะปล่อยแรงดันส่วนเกินกลับสู่ถังพัก



ภาพที่ 3.15 สายส่งเอทานอล

### 3.2.2.3 หัวฉีดเอทานอล

ภาพที่ 3.16 หัวฉีดเอทานอลที่ใช้เป็นของมอเตอร์ไซด์ HONDA รุ่น CBR 250 มีความสามารถในการฉีด 3.683241 cc/sec ( $2.4292664 \times 10^{-3}$  kg/sec) เส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดน้ำมันมีขนาดเล็กฉีดเป็นละอองได้ดี สามารถควบคุมเวลาฉีดเป็นไมโครวินาที



ภาพที่ 3.16 หัวฉีดเอทานอล และลักษณะการฉีดละอองฝอย

### 3.3 เชื้อเพลิงสำหรับการทดลอง

เชื้อเพลิงที่ใช้ประกอบด้วย น้ำมันดีเซล ปาล์มไบโอดีเซล และเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 ดังตารางที่ 3.8 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงที่ใช้

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซล เอทานอลและปาล์มไบโอดีเซล

คุณสมบัติ	มาตรฐาน	ดีเซล	E100	B100
ความถ่วงจำเพาะ	ASTM D1298	0.850	0.794	0.888
ความหนืด (40 °c)	ASTM D88	4.1	1.2	6.44
จุดวาบไฟ ( °c)	ASTM D97	52	13.5	155
จุดติดไฟ ( °c)	ASTM D97	74	78.4	160
เลขซีเทน	ASTM D976-9	52	8	60
ความร้อนต่ำ(MJ/kg)	ASTM D1250	42.78	26.95	37.52

### 3.4 ตัวแปรในการคำนวณและการวัดค่าในการทดลอง

ตัวแปรในการทดลอง เพื่อคำนวณค่าสมรรถนะ และคุณลักษณะในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ CI ระบบเชื้อเพลิงร่วม คือ ค่า BMEP ความเร็วรอบ ค่า rp ระยะเวลาฉีดเอทานอล ปริมาณเชื้อเพลิงจุดระเบิด อัตราการไหลอากาศเข้าเครื่องยนต์ ปริมาณไอเสีย และอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ มีรายละเอียดในการวัด และวิธีคำนวณดังนี้

### 3.4.1 การวัดค่าภาระ ความเร็วรอบและกำลังของเครื่องยนต์

ค่าภาระวัดโดยใช้โหลดเซลล์ที่ติดตั้งในชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ สามารถวัดค่าได้สูงสุด 20 Kg<sub>f</sub> ปรับค่าได้ละเอียดสุด 0.1 kg<sub>f</sub> แขนของไดนาโมมิเตอร์ยาว 238.9 mm น้ำหนักที่กดบนโหลดเซลล์ที่วัดได้ นำไปคำนวณค่าแรงบิด ดังสมการ 3.1

$$T = 0.2389 \times w \times 9.81 \text{ (N.m)} \quad (3.1)$$

โดย  $w$  คือ ค่าน้ำหนักที่กดลงบนโหลดเซลล์ (kg<sub>f</sub>)

กำลังของเครื่องยนต์หาได้จากความเร็วรอบ และแรงบิด ความเร็วรอบวัดด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบที่ติดตั้งกับเพลลาของไดนาโมมิเตอร์อ่านค่าจากหน้าจอแสดงผลเป็น rpm มีค่าวัดละเอียด 1rpm นำค่าที่วัดได้มาคำนวณแรงบิดดังสมการ 3.1 และคำนวณค่ากำลังดังสมการ 3.2

$$P_b = \frac{2\pi \times N \times T}{60} \quad (3.2)$$

โดย  $P_b$  คือ กำลังม้าเบรก (kW)

$T$  คือ แรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์ (Nm)

$N$  คือ ความเร็วรอบเพลลาข้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ (rpm)

### 3.4.2 การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล ปาล์มไบโอดีเซล วัดค่าโดยอุปกรณ์ วัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชนิด 3 กระเปาะ เอทานอลใช้อุปกรณ์วัดชนิด Measuring Pipette 20 cc จับเวลาที่ปริมาณ 15 cc คำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง สมการ 3.3 อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ สมการ 3.5

$$\dot{m}_f = \frac{m_f}{t} \quad (3.3)$$

โดย  $\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงโดยมวล (kg/sec)

$m_f$  คือ ปริมาณน้ำมันที่ใช้โดยมวล (kg)

$t$  คือ เวลาที่วัดได้ (sec)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, SFC) ดังสมการ 3.4

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (3.4)$$

โดย  $SFC$  คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kWh)

$\dot{m}_f$  คือ ปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงโดยมวล (kg/h)

$P$  คือ กำลังม้าเบรก (kW)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) ดังสมการ 3.5

$$BSFC = \frac{Q_f}{P_b} \quad (3.5)$$

โดย BSFC คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kJ/kWh)

$Q_f$  คือ พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงรวม (kJ/h)

$P_b$  คือ กำลังม้าเบรก (kW)

3.4.3 การวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของอากาศ  
วัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงผ่านหัวฉีด คำนวณดังสมการ 3.6

$$\dot{m}_f = C_j \times A_j \times \sqrt{2\rho_f \times (p_1 - p_2)} \quad (3.6)$$

โดย  $\dot{m}_f$  คือ ปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงโดยมวล (kg/sec)

$C_j$  คือ สัมประสิทธิ์ของรูหัวฉีด

$A_j$  คือ พื้นที่รูหัวฉีด ( $m^2$ )

$\rho_f$  คือ ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง ( $kg/m^3$ )

$p_1$  คือ ความดันของน้ำมันในท่อน้ำมันเชื้อเพลิง ( $N/m^2$ )

$p_2$  คือ ความดันของอากาศในกระบอกสูบ ( $N/m^2$ )

วัดอัตราการไหลอากาศได้จากค่าความดันตกคร่อมมานอมิเตอร์ คำนวณดังสมการ 3.7

$$G_s = \alpha \times \epsilon \times \frac{\pi}{4} d^2 \times \sqrt{2g \times \gamma_a \times (p_1 - p_2)} \quad (3.7)$$

โดย  $G_s$  คือ ปริมาณการไหลของอากาศโดยมวล (kg/sec)

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์การไหล สำหรับ Round nozzle มีค่า 0.822

$\epsilon$  คือ สัมประสิทธิ์ของของไหลที่อัดตัวได้ ดังตารางที่ 3.9

$d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแผ่นออริฟิซ (m)

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  $9.81 (m/s^2)$

$\gamma_a$  คือ น้ำหนักจำเพาะของอากาศชั้น ( $kg/m^3$ )

$(p_1 - p_2)$  คือ ความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิซ ( $kg/m^2$ )

$(p_1 - p_2)/p_1$  คือ อัตราส่วนความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิซ

ตารางที่ 3.9 อัตราส่วนความดันตกคร่อมออริฟิซ และสัมประสิทธิ์ของของไหลที่อัดตัวได้

$(p_1 - p_2)/p_1$	0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$\epsilon$	1.0	0.969	0.906	0.873	0.840	0.850	0.769	0.732	0.693	0.653

### 3.4.4 การวัดปริมาณไอเสีย

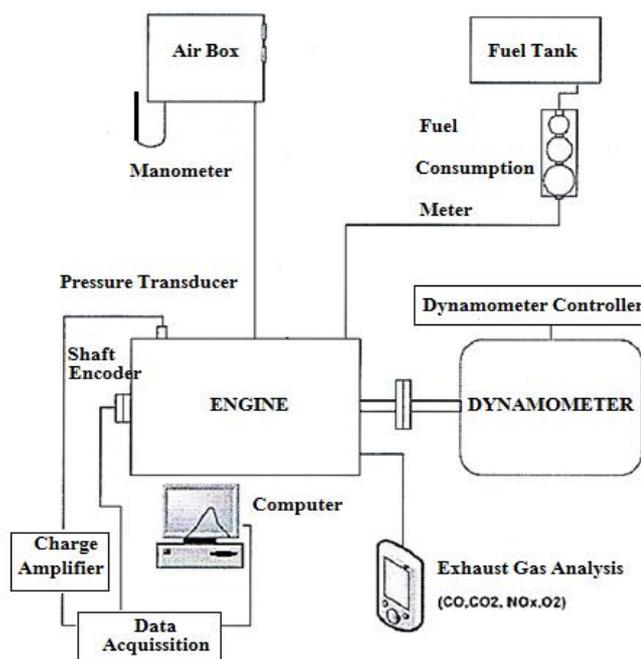
ไอเสียที่เกิดขึ้นถูกเครื่องยนต์ปล่อยออกมาในถังพัก วัดโดยเครื่องวัดไอเสีย รุ่น HM 5000 โดยหัววัดไอเสียถูกติดตั้งที่ปลายท่อไอเสียทำการอ่านค่า และบันทึกค่าที่อ่านได้ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานในสภาวะคงตัว

### 3.4.5 การวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิจุดต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้า อุณหภูมิน้ำออก อุณหภูมิน้ำมันเครื่องและอุณหภูมิไอเสีย วัดด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ติดตั้งไว้กับเครื่องยนต์ในจุดวัดต่างๆ ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิไอเสีย เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว

## 3.5 วิธีทดลอง

แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ และค่ามลพิษในการเผาไหม้โดยใช้น้ำมันดีเซล กรณีที่ 2 ศึกษาถึงสมรรถนะเครื่องยนต์ และค่ามลพิษในการเผาไหม้โดยปาล์มไบโอดีเซล เครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด สำหรับการทดลอง 2 กรณีแรก ภาพที่ 3.17 กรณีที่ 3 ศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ และค่ามลพิษในการเผาไหม้เมื่อใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงฉีดล่วงหน้าร่วมกับปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจุดระเบิด ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.17 แผนผังติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบด้วยน้ำมันดีเซลและปาล์มไบโอดีเซล

### 3.5.1 ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันดีเซล

ทดสอบสมรรถนะ และมลพิษในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ CI ใช้น้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบ 1,200 1,500 และ 1,800 rpm เริ่มต้นไม่ใส่ภาระและทดสอบที่ BMEP ต่างๆ โดยเพิ่มค่า BMEP 0-716.2 kPa (0-10 kg<sub>f</sub>)

3.5.1.1 เริ่มการทดสอบโดยอุ่นเครื่องยนต์ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่รอบเดินเบา ไม่ใส่ภาระ จนทุกจุดมีอุณหภูมิคงที่ และเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ใช้เวลาประมาณ 2 นาที

3.5.1.2 ปรับปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยคันเร่งจนเครื่องยนต์ทำงานที่ 1,200 rpm ไม่ใส่ภาระ ปรับอัตราการไหลน้ำหล่อเย็นให้คงที่ จนน้ำหล่อเย็นไหลออกจากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิ  $80 \pm 5$  °C เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น รอจนเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาที บันทึกอัตราการไหลของเชื้อเพลิง และอากาศ อุณหภูมิจุดต่างๆ และค่ามลพิษ

3.5.1.3 ทำการทดลองในลักษณะเดียวกับข้อ 3.5.1.2 แต่เพิ่มค่าภาระขึ้นเป็นช่วงครึ่งละ 2 kg<sub>f</sub> (19.62 N) และบันทึกค่าต่างๆ เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว

3.5.1.4 เมื่อทำการทดลองจนครบถึงภาระ 10 kg<sub>f</sub> ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบา โดยไม่ใส่ภาระ 5 นาที ก่อนดับเครื่องยนต์

3.5.1.5 ทำการทดลองซ้ำ ที่ 1,500 rpm ตามขั้นตอนที่ 3.5.1.1-3.5.1.4 ปรับน้ำหนักรถที่กระทำกับเซลล์ภาระจาก 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 kg<sub>f</sub> บันทึกผลการทดลอง

3.5.1.6 ทำการทดลองซ้ำ ที่ 1,800 rpm ตามขั้นตอนที่ 3.5.1.5 บันทึกผลการทดลอง

### 3.5.2 ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้ปาล์มไบโอดีเซล

ทดสอบสมรรถนะ และมลพิษการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ CI เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล ทดลองที่ความเร็วรอบคงที่ คือ 1,200 1,500 และ 1,800 rpm เริ่มต้นไม่ใส่ภาระ และ ที่ภาระ ต่างๆ โดยเพิ่มภาระ BMEP 0-716.2 kPa (0-10 kg<sub>f</sub>)

3.5.2.1 เริ่มการทดลองอุ่นเครื่องยนต์ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่รอบเดินเบา โดยไม่ใส่ภาระ จนกระทั่งอุณหภูมิทุกจุดคงที่ และเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ใช้เวลาประมาณ 2 นาที

3.5.2.2 ปรับปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้คันเร่ง จนความเร็วรอบถึง 1,200 rpm โดยไม่ใส่ภาระ ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้คงที่มีอุณหภูมิขาออก  $80 \pm 5$  °CA รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาที บันทึกค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิง และอากาศ อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และค่ามลพิษ

3.5.2.3 หลังจากนั้นทดลองในลักษณะเดียวกันตามข้อ 3.5.2.2 เพิ่มภาระขึ้นช่วงละ 2 kg<sub>f</sub> (19.62 N) บันทึกค่าต่างๆ เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว

3.5.2.4 เมื่อทำการทดสอบครบถึงภาระ 10 kg<sub>f</sub> ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบา โดยไม่ใส่ภาระ 5 นาที ก่อนดับเครื่องยนต์

3.5.2.5 ทำการทดลองซ้ำ ที่ 1,500 rpm ตามขั้นตอนที่ 3.5.2.1-3.5.2.4 ปรับน้ำหนักรถที่เซลล์ภาระจาก 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 kg<sub>f</sub> บันทึกผลการทดลอง

3.5.2.6 ทำการทดลองซ้ำ ที่ 1,800 rpm ตามขั้นตอน 3.5.2.5 บันทึกผล ข้อมูลที่บันทึกเพิ่มเติม คือ การเปลี่ยนแปลงค่าความดันสูงสุด การเปลี่ยนแปลงองศาความดันสูงสุด การเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด การเปลี่ยนแปลงองศาอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด และการเปลี่ยนแปลงองศาการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ร้อยละ 5, 10, 50 และ 90

### 3.5.3 ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้เอทานอล ร่วมกับปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ติดตั้งอุปกรณ์ และเครื่องมือวัด ดังภาพที่ 3.1 แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ ที่ 1,200

1,500 และ 1,800 rpm ปรับค่า BMEP 6 ระดับ คือ ที่ 0, 143.2, 286.5, 429.7, 572.9 และ 716.2 kPa ในทุกความเร็วรอบแต่ละค่า BMEP ตั้งค่า rp อยู่ในช่วง 0-0.85 ปรับทีละ 0.15 การปรับเวลาในการฉีดเอทานอลคำนวณสัมพันธ์กับความเร็วรอบ และ BMEP ควบคุมให้มีค่าความร้อนต่อ 1 รอบวัฏจักรคงที่ และควบคุมอัตราส่วนสมมูล ( $\phi$ ) อยู่ในช่วง 0.15-0.5 ทำการทดลองดังนี้

3.5.3.1 ทดลองที่ 1,200 rpm เริ่มอุ่นเครื่องยนต์ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่รอบเดินเบา ไม่ใส่ภาระ ปรับค่า rp 0.15 ตั้งเวลาฉีดเอทานอล ดังตารางที่ 3.5 เดินเครื่องยนต์จนกระทั่งอุณหภูมิทุกจุดคงที่ เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในสภาวะคงตัว ใช้เวลาประมาณ 2 นาที บันทึกอัตราการไหลของ เอทานอล และของปาล์มไบโอดีเซล บันทึกค่ามลพิษ และบันทึกค่าความดันโดยคอมพิวเตอร์

3.5.3.2 ทดลองซ้ำตาม 3.5.3.1 เปลี่ยนเวลาฉีดเอทานอลดังตารางที่ 3.5 โดยตั้งค่าลงในโปรแกรม โดยปรับ rp ที่ 0.30, 0.45, 0.60, 0.75 ตามลำดับ บันทึกผล

3.5.3.3 ทดลองซ้ำตาม 3.5.3.1-3.5.3.2 ปรับน้ำหนักกดเซลล์ภาระครั้งละ 2 kg<sub>f</sub> เปลี่ยนค่า BMEP เป็น 143.2, 286.5, 429.7, 572.9 และ 716.2 kPa เปลี่ยนเวลาฉีดเอทานอล โดยใช้ข้อมูลดังตารางที่ 3.5 แปรผัน BMEP และ rp ตามลำดับ บันทึกผล

3.5.3.4 ทดลองซ้ำที่ 1,500 rpm ตามขั้นตอนที่ 3.5.3.1-3.5.3.3 ใช้ข้อมูล ดังตารางที่ 3.6 แสดงระยะเวลาฉีดเอทานอล ที่ 1,500 rpm BMEP 0-716.2 kPa แปรผัน rp บันทึกผล

3.5.3.5 ทดลองซ้ำที่ 1,800 rpm ตามขั้นตอนที่ 3.5.3.4 ใช้ข้อมูลดังตารางที่ 3.7 แสดงระยะเวลาฉีดเอทานอล ที่ 1,800 rpm BMEP 0-716.2 kPa แปรผัน rp บันทึกผล

### 3.6 ข้อจำกัดในการศึกษา

ในการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะ และมลพิษในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ CI ระบบ เชื้อเพลิงร่วมเอทานอล และปาล์มไบโอดีเซล ทำการทดลองลู่ด้วยดี พบอุปสรรคและข้อจำกัดดังนี้

#### 3.6.1 การควบคุมค่าอัตราส่วน rp

การควบคุมค่า rp ให้คงที่ทำได้ยากเนื่องจากเครื่องยนต์มีกัมพัเจอร์เนอร์ เมื่อความเร็วรอบแรงบิด และกำลังเบรกเปลี่ยนแปลง กัมพัเจอร์เนอร์เร่งให้ความเร็วรอบคงที่ โดยฉีดปาล์มไบโอดีเซลเพิ่มเพื่อเร่งเครื่องยนต์ rp จึงมีค่าไม่คงที่ การวิเคราะห์ผลการทดลองใช้ค่า rp ที่ได้จากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยของทั้งเอทานอล และปาล์มไบโอดีเซล

#### 3.6.2 การควบคุมแรงดันเชื้อเพลิงจุดระเบิด

ระบบฉีดเชื้อเพลิงจุดระเบิดเป็นระบบเชิงกล การฉีดปาล์มไบโอดีเซลให้คงที่ทำได้ยาก ค่าความดันของเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ฉีดจุดระเบิดจึงมีผลต่อค่า rp

#### 3.6.3 ข้อเสนอในการแก้ปัญหา

จาก 3.6.1-3.6.2 เพื่อควบคุมให้การฉีดปาล์มไบโอดีเซลแม่นยำควรใช้ระบบรางยกความดัน เพิ่มอุปกรณ์ปรับแรงดันด้วยเรกูเรเตอร์ แยกปั๊มตีไฟฟ้าเพื่อสูบเชื้อเพลิงภายนอกถังเชื้อเพลิง และสร้างวงจรระบบฉีดเชื้อเพลิงร่วมอยู่ในแผงวงจรรวมเดียวกัน