

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการทดสอบสมรรถนะ**

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเมื่อใช้น้ำมัน Diesel B5

N (rpm)	T (Nm)	P <sub>b</sub> (kW)	m <sub>f</sub> (g/s)	bsfc (g/kW-hr)	η <sub>f</sub> (%)
1004	16.28	1.71	0.13	273.07	29.06
997	15.99	1.67	0.13	285.61	27.79
996	15.79	1.65	0.13	287.55	27.60
1001	16.09	1.69	0.13	279.04	28.44
1299	18.05	2.46	0.17	254.98	31.12
1305	18.25	2.49	0.17	248.92	31.88
1300	17.85	2.43	0.17	251.04	31.61
1304	17.85	2.44	0.17	252.41	31.44
1602	24.53	4.11	0.28	243.05	32.65
1598	24.33	4.07	0.27	242.26	32.76
1599	24.13	4.04	0.27	237.57	33.41
1604	24.43	4.10	0.27	237.14	33.47
1899	23.15	4.60	0.32	248.23	31.97
1900	23.54	4.68	0.32	243.97	32.53
1896	23.35	4.64	0.33	254.62	31.17
1903	23.05	4.59	0.32	252.78	31.40
2201	23.05	5.31	0.44	301.12	26.36
2200	22.86	5.27	0.43	290.91	27.28
2202	23.05	5.32	0.43	290.98	26.68
2203	22.76	5.25	0.43	298.11	26.62

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเมื่อใช้น้ำมัน Biodiesel

N (rpm)	T (Nm)	P <sub>b</sub> (kW)	m <sub>f</sub> (g/s)	bsfc (g/kW-hr)	$\eta_f$ (%)
998	15.21	1.59	0.14	323.63	27.95
1000	14.91	1.56	0.14	334.13	27.07
1002	15.11	1.59	0.14	329.13	27.48
1003	15.21	1.60	0.14	324.33	27.89
1304	16.87	2.30	0.19	294.80	30.68
1302	16.97	2.31	0.19	299.19	30.23
1298	16.78	2.28	0.19	295.11	30.65
1296	17.27	2.34	0.19	292.64	30.91
1599	23.64	3.96	0.31	279.81	32.32
1601	23.64	3.96	0.31	283.82	31.87
1600	23.54	3.94	0.32	289.71	31.22
1602	23.35	3.92	0.31	282.80	31.98
1899	21.78	4.33	0.36	296.87	30.47
1896	22.07	4.38	0.36	298.71	30.28
1901	21.88	4.35	0.35	290.05	31.18
1902	21.58	4.30	0.36	299.10	30.24
2202	21.29	4.91	0.49	357.75	25.28
2203	21.39	4.93	0.50	364.84	24.79
2200	21.58	4.97	0.48	344.78	26.23
2198	21.78	5.01	0.49	350.32	25.82

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเมื่อใช้น้ำมัน BE10

N (rpm)	T (Nm)	P <sub>b</sub> (kW)	m <sub>f</sub> (g/s)	bsfc (g/kW-hr)	η <sub>r</sub> (%)
1002	13.93	1.46	0.14	356.94	26.12
1000	14.32	1.50	0.14	345.36	27.00
996	14.13	1.47	0.15	356.69	26.14
999	14.32	1.50	0.14	348.21	26.77
1297	15.99	2.17	0.19	318.77	29.25
1300	16.28	2.22	0.19	303.53	30.72
1302	16.28	2.22	0.19	314.83	29.61
1301	16.38	2.23	0.19	310.18	30.06
1596	22.76	3.80	0.32	305.30	30.54
1602	22.86	3.83	0.31	293.38	31.78
1605	22.46	3.78	0.32	307.56	30.31
1596	22.76	3.80	0.32	300.45	31.03
1899	20.90	4.16	0.36	315.04	29.59
1900	21.19	4.22	0.37	316.25	29.48
1897	20.90	4.15	0.36	315.37	29.56
1903	20.99	4.18	0.37	318.71	29.25
2198	20.50	4.72	0.48	363.26	25.67
2200	20.60	4.75	0.5	379.26	24.58
2203	20.90	4.82	0.5	373.41	24.97
2202	20.70	4.77	0.49	367.92	25.34

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเมื่อใช้น้ำมัน BE30

N (rpm)	T (Nm)	P <sub>b</sub> (kW)	m <sub>f</sub> (g/s)	bsfc (g/kW-hr)	η <sub>r</sub> (%)
998	12.16	1.27	0.14	393.30	25.26
1000	12.26	1.28	0.14	386.68	25.69
1003	12.07	1.27	0.14	389.11	25.53
1004	12.16	1.28	0.14	388.25	25.59
1298	14.13	1.92	0.19	357.12	27.82
1303	14.22	1.94	0.19	349.96	28.39
1304	14.52	1.98	0.19	339.40	29.27
1301	14.22	1.94	0.19	347.22	28.61
1595	19.33	3.23	0.30	332.92	29.84
1602	19.42	3.26	0.31	339.93	29.22
1605	19.72	3.31	0.30	329.17	30.18
1600	19.42	3.25	0.30	335.20	29.64
1901	18.34	3.65	0.36	358.47	27.71
1903	18.25	3.64	0.36	353.59	28.10
1898	18.25	3.63	0.36	360.96	27.52
1896	17.95	3.56	0.35	354.38	28.03
2200	17.66	4.07	0.49	431.67	23.01
2199	17.66	4.07	0.48	421.59	23.56
2204	17.95	4.14	0.48	413.74	24.01
2201	17.76	4.09	0.47	409.14	24.28

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบสมรรถนะเมื่อใช้น้ำมัน BE50

N (rpm)	T (Nm)	P <sub>b</sub> (kW)	m <sub>f</sub> (g/s)	bsfc (g/kW-hr)	η <sub>r</sub> (%)
1003	10.99	1.15	0.14	433.27	24.54
1000	10.89	1.14	0.14	432.47	24.58
1005	11.38	1.20	0.14	414.61	25.64
1004	10.99	1.16	0.14	426.90	24.90
1302	13.15	1.79	0.19	382.59	27.79
1303	13.24	1.81	0.19	383.11	27.75
1299	13.05	1.77	0.19	382.71	27.78
1298	13.15	1.79	0.19	376.59	28.23
1599	17.56	2.94	0.31	376.72	28.22
1600	17.85	2.99	0.30	359.23	29.60
1602	17.85	3.00	0.31	369.82	28.75
1598	17.66	2.95	0.30	369.18	28.80
1902	16.58	3.30	0.36	396.44	26.82
1900	16.38	3.26	0.36	394.44	26.95
1902	16.28	3.24	0.36	403.60	26.34
1899	15.99	3.18	0.35	397.24	26.76
2197	15.60	3.59	0.47	466.59	22.79
2204	15.89	3.67	0.49	478.77	22.21
2201	15.99	3.69	0.48	465.13	22.86
2200	16.09	3.71	0.48	462.51	22.99

ภาคผนวก ข  
ผลการวัดมลพิษ

ตารางที่ ข.1 ผลการวัดมลพิษเมื่อใช้น้ำมัน Diesel B5

N (rpm)	CO (ppm)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>fg</sub> (°C)
1004	229	280	122	161
997	233	305	120	162
996	220	295	114	162
1299	172	224	178	205
1305	178	220	184	203
1300	173	225	174	206
1602	175	205	201	287
1598	168	190	196	285
1599	170	200	194	286
1899	211	226	213	327
1900	216	230	192	325
1896	207	228	208	325
2201	253	250	203	337
2200	249	240	196	338
2202	247	255	197	337

ตารางที่ ข.2 ผลการวัดมลพิษเมื่อใช้น้ำมัน Biodiesel

N (rpm)	CO (ppm)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>fg</sub> (°C)
998	191	260	129	176
1000	207	280	133	177
1002	212	270	134	177
1304	152	211	188	220
1302	154	208	185	218
1298	158	210	192	216
1599	152	180	213	297
1601	153	190	207	295
1600	149	200	211	296
1899	195	216	210	342
1896	189	215	214	340
1901	194	222	211	343
2202	236	240	207	347
2203	231	234	209	344
2200	228	225	210	345

ตารางที่ ข.3 ผลการวัดมลพิษเมื่อใช้น้ำมัน BE10

N (rpm)	CO (ppm)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>fg</sub> (°C)
1002	197	230	114	156
1000	169	260	129	157
996	186	240	119	154
1297	133	190	172	199
1300	147	192	177	201
1302	141	187	174	201
1596	142	180	194	281
1602	154	170	188	279
1605	144	186	193	282
1899	183	205	197	321
1900	180	198	195	319
1897	185	207	200	319
2198	217	225	198	330
2200	220	230	197	331
2203	214	210	201	329

ตารางที่ ข.4 ผลการวัดมลพิษเมื่อใช้น้ำมัน BE30

N (rpm)	CO (ppm)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>fg</sub> (°C)
998	170	225	101	146
1000	173	230	104	147
1003	176	227	108	144
1298	128	180	162	189
1303	132	190	158	191
1304	119	184	157	190
1595	116	163	175	274
1602	129	169	174	272
1605	124	170	170	276
1901	166	185	190	311
1903	160	200	186	314
1898	164	190	183	313
2200	211	210	180	320
2199	203	207	177	321
2204	207	204	184	319

ตารางที่ ข.5 ผลการวัดมลพิษเมื่อใช้น้ำมัน BE50

N (rpm)	CO (ppm)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>fg</sub> (°C)
1003	163	220	84	133
1000	157	220	89	132
1005	162	217	90	134
1302	127	170	145	181
1303	100	173	145	179
1299	105	180	141	179
1599	106	154	163	269
1600	117	156	164	268
1602	103	160	160	268
1902	147	178	177	301
1900	152	185	175	303
1902	150	184	172	304
2197	187	205	170	310
2204	192	190	171	311
2201	190	188	160	309

ภาคผนวก ค  
ตัวอย่างการคำนวณ

## ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm

ข้อมูลที่วัดได้จากการทดสอบคือ

- ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (N) เท่ากับ 2,202 rpm
- แรงบิด (T) เท่ากับ 23.05 Nm
- อัตราการใช้เชื้อเพลิง ( $\dot{m}_f$ ) เท่ากับ 0.43 g/s
- ค่าความร้อน ( $Q_{HV}$ ) ของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 46,362.60 kJ/kg

### การคำนวณหากำลังเบรค

กำลังเบรคของเครื่องยนต์คำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$P_b = 2\pi NT$$

$$P_b = 2\pi \frac{\text{radians}}{\text{rev}} \times \frac{2,202\text{rev}}{60\text{s}} \times 23.05\text{Nm}$$

$$P_b = 5.32 \text{ kW}$$

### การคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรค

อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์คำนวณได้จากสมการที่ 2.9 โดยใช้ กำลังเบรค ( $P_b$ )

มาคำนวณ

$$\text{bsfc} = \frac{\dot{m}_f}{P_b}$$

$$\text{bsfc} = \frac{0.43 \text{ g/s}}{5.32 \text{ kW}} \times 3,600\text{s/hr}$$

$$\text{bsfc} = 290.98 \text{ g/kW-hr}$$

### การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์คำนวณได้จากสมการที่ 2.10 โดยใช้ อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (bsfc) มาคำนวณ

$$\eta_{f,b} = \frac{1}{\text{bsfc } Q_{HV}}$$

$$\eta_{f,b} = \frac{1}{290.98 \text{ g/kW-hr} \times 46,362.60 \text{ kJ/kg}} \times 1,000 \text{ g/kg} \times 3,600 \text{ s/hr} \times 100\%$$

$$\eta_{f,b} = 26.68\%$$

ผลงานที่ตีพิมพ์

# สมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิงโดย อ้อมที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง

## Performance and Emissions of Indirect Injection Diesel Engine Fuelled by Biodiesel-Ethanol Blends

กิตติธัช ถนอมพงษ์วัฒนา\*

จิรวรรณ เตียรย์สุวรรณ\*\*

ธิษณินทร์ แสงสว่าง\*\*\*

\*สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ

กรุงเทพฯ 10140

\*\*หน่วยวิจัยระบบความร้อนเชิงนิเวศ

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ

กรุงเทพฯ 10140

โทร0-2470-8663 โทรสาร0-2470-8663

\*\*\*ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (IDI) ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ในการทดสอบเครื่องยนต์ มีทั้งหมด 5 สัตส่วน ได้แก่ น้ำมันดีเซล 100% (D100) และน้ำมันผสมระหว่าง น้ำมันไบโอดีเซล: เอทานอล ที่สัดส่วน 90:10 (BE10), 70:30 (BE30) และ 50:50 (BE50) ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 5 ค่า คือ 1,000, 1,300, 1,600, 1,900 และ 2,200 rpm ที่ภาระงานเต็มที และทำการวัดมลพิษที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมา จากการทดสอบพบว่า แรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้ B100, BE10, BE30 และ BE50 มีค่าต่ำกว่า D100 3.26%, 6.77%, 20.14%, และ 27.18% ตามลำดับ (ที่แรงบิดของเครื่องยนต์สูงสุดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm) มีกำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่ต่ำกว่า D100 6.24%, 10.02%, 22.68% และ 30.81% ตามลำดับ (ที่กำลังเบรคของเครื่องยนต์สูงสุดความเร็วรอบ 2,200 rpm) มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่า D100 15.50%, 20.44%, 28.21% และ 34.91% ตามลำดับ (ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคต่ำสุดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm) มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่า D100 3.60%, 6.53%, 10.13% และ 12.79% ตามลำดับ (ที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm) ในขณะที่การวัดมลพิษที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาพบว่า ปริมาณ CO และ HC ที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลนั้นจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมีออกซิเจนในองค์ประกอบของน้ำมัน จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น NO<sub>x</sub> ที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่เมื่อผสมเอทานอลลงไปในน้ำมันไบโอดีเซลจะทำให้ปริมาณ NO<sub>x</sub> ลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, เอทานอล, มลพิษ, สมรรถนะ

## บทนำ

ผลผลิตทางการเกษตรที่ประเทศไทยผลิตได้นั้นก็มีศักยภาพเพียงพอที่จะพัฒนาเป็นพลังงานทดแทน เช่น ปาล์มและสบู่ดำที่สามารถผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล หรือน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์อากาศยานจากอุตสาหกรรมน้ำตาลสามารถผลิตเป็นเอทานอล เป็นต้น ในขณะที่ภาคการเกษตรของประเทศไทยก็มีการใช้พลังงานในรูปของน้ำมันดีเซลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้เอง และก็มีการทำวิจัยเพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ไบโอดีเซลในภาคการเกษตร แต่ด้วยข้อจำกัดด้านสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่เมื่อนำไปใช้งานจริงแล้วมีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ เช่น ค่าซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลซึ่งมีผลต่อความล่าช้าในการจุดติดไฟ โดยเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูงจะถูกเผาไหม้ก่อนลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนทำให้เกิดความดันด้านลูกสูบตั้งแต่จังหวะอัดทำให้ประสิทธิภาพลดลง ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล จะมีผลต่อการกระจายตัวเป็นฝอย ถ้ามีค่ามากการกระจายตัวไม่ดีทำให้ผสมกับอากาศได้ไม่ดีซึ่งมีผลต่อการเผาไหม้ และค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล จะมีผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ากระบอกสูบในแต่ละครั้ง เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความสนใจในการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลโดยมีงานวิจัย [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] ที่นำเอทานอลมาช่วยในการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลโดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพของเอทานอลซึ่งมี ค่าซีเทน ค่าความหนืด และค่าความหนาแน่นต่ำ รวมทั้งยังสามารถผสมกับไบโอดีเซลได้ดี ประกอบกับประเทศไทยเองก็สามารถผลิตไบโเอทานอลได้จำนวนมาก

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เอทานอลสามารถผสมกันได้ดีกับไบโอดีเซลในอุณหภูมิการเก็บรักษาตั้งแต่อุณหภูมิ 10°C ถึง 30°C โดยไม่เกิดการแยกชั้นและมีลักษณะใส ทุกอัตราส่วนการผสม [1] ในส่วนของกาทดสอบสมรรถนะและ

มลพิษที่เกิดขึ้นพบว่าการใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลในอัตราส่วนระหว่าง 5-20% (D85B10E5, D80B10E10 และ D70B15E15) จะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (bsfc) เพิ่มขึ้น [2, 3, 8] แต่ในส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อน (BTE) จะลดลง [2] เพราะค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลนั้นต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล สำหรับการปลดปล่อยมลพิษในแก๊สไอเสียนั้นพบว่า ปริมาณ CO และ HC ลดลง [2, 3, 5, 6, 7, 8] สอดคล้องกับปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่เพิ่มขึ้น [2, 3, 13] เนื่องจากออกซิเจนในเอทานอลทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความดันลดลง [2, 5, 8] ปริมาณ NO<sub>x</sub> มีทั้งเพิ่มขึ้น [2, 5, 6] และลดลง [3, 4, 7, 8] ซึ่งอุณหภูมิในการเผาไหม้มีผลต่อการเกิด NO<sub>x</sub> จากงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันผสม 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอล แต่ในส่วนของกาใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลยังไม่มีการนำมาใช้งานในเครื่องยนต์แบบ IDI งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้เอทานอลผสมในน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อปรับปรุงสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเป็นแนวทางในการใช้น้ำมันผสมทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคต

## เครื่องยนต์และน้ำมันเชื้อเพลิง

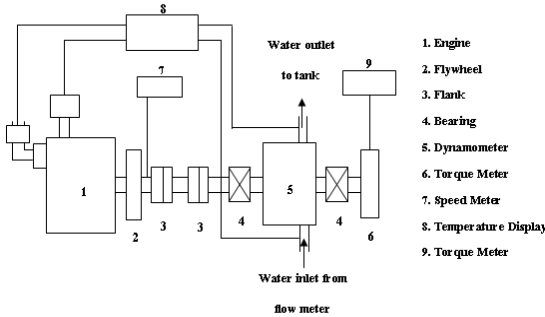
### 2.1 เครื่องยนต์

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์และวัดมลพิษ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง โดยจะใช้เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำชนิดสูบเดี่ยวแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม เป็นเครื่องยนต์ดีเซล ยันมาร์ รุ่น TF75LM รายละเอียดของเครื่องยนต์แสดงดังตารางที่ 1

Engine	Yanmar Model TF75LM
Type	1-cylinder, In-Direct Injection (IDI)
Bore x stroke	8.0 x 8.7
Displacement	437
Maximum power	7.5/2200 hp/rpm, 5.52/2200 kW/rpm
Maximum torque	2.7/1600 kg.m/rpm, 26.48/1600 N.m/rpm

ตาราง 1. รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อ Yanmar รุ่น TF75LM

และติดตั้งไดนาโมมิเตอร์แบบทอร์กน้ำซึ่งเป็นตัวเบรกเพลลาของเครื่องยนต์ การทำงานของชุดไดนาโมมิเตอร์จะควบคุมการทำงานด้วย Load Valve ที่ติดตั้งบนตู้ควบคุม และมีชุดวัดอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนจากตัวไดนาโมมิเตอร์ โดยไดนาโมมิเตอร์จะส่งแรงบิดไปกดแขนของ Load Cell ที่ติดตั้งไว้ และส่งสัญญาณมาที่มิเตอร์ที่ชุดควบคุมในหน่วยนิวตัน-เมตร (N-m) ซึ่งมีการทำงานของเครื่องยนต์พร้อมชุดไดนาโมมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 1



รูป 1. ผังการทำงานของเครื่องยนต์พร้อมชุดไดนาโมมิเตอร์

2.2 น้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์มีทั้งหมด 5 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล (D100) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอล 3 อัตราส่วนคือ ไบโอดีเซล 90% ต่อเอทานอล 10% โดยปริมาตร (BE10) น้ำมันไบโอดีเซล 70% ต่อเอทานอล 30% โดยปริมาตร (BE30) และน้ำมันไบโอดีเซล 50% ต่อเอทานอล 50% โดยปริมาตร (BE50) โดยสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 2

Properties	Standard	D100	B100	BE10	BE30	BE50	Ethanol
HHV (MJ/kg)	ASTM D 5865	46.36	39.80	38.64	36.24	33.86	27.92
Viscosity@40°C (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D 445	3.14	6.68	6.14	5.06	3.98	1.27
Density@40°C (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM D 1298	821.14	880.31	869.63	848.27	826.92	773.52
Carbon content (%mass)		85.98	76.42	74.02	69.21	64.41	52.39
Hydrogen content (%mass)		13.87	12.06	12.17	12.40	12.63	13.19
Oxygen content (%mass)		0	11.48	13.77	18.36	22.95	34.42

ตาราง 2. สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

วิธีการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษ จะทำการทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,000 rpm, 1,300 rpm, 1,600 rpm, 1,900 rpm และ 2,200 rpm ที่ Full load โดยเริ่มจากการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล ทำการเดินเครื่องยนต์และปรับโหลด (ปริมาณน้ำ) ที่ Load Valve จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้ตามที่ต้องการ เดินเครื่องทิ้งไว้จนเครื่องยนต์เข้าสู่สภาวะ Steady จึงทำการวัด อัตราการกินน้ำมัน(g/s) ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm) แรงบิด (Nm) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (°C) และวัดมลพิษที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาโดยใช้เครื่องวัดค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้จากปล่องระบาย Testo 350XL โดยวัดแก๊ส CO (0 - 10,000 ppm), HC (0 - 40,000ppm), NO (0 - 3,000 ppm) และ NO<sub>2</sub> (0 - 500 ppm) และทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น B100, BE10, BE30 และ BE50 ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะนำไปคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยแบ่งเป็น Brake Power, Brake Specific Fuel Consumption and Brake Thermal Efficiency ตามสมการ

$$P_b = 2\pi NT \tag{1}$$

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b} \tag{2}$$

$$BTE = \frac{P_b}{m_f Q_{HV}} = \frac{1}{bsfc Q_{HV}} \tag{3}$$

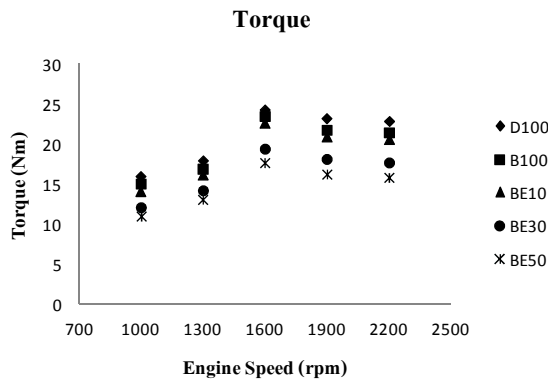
- เมื่อ P<sub>b</sub> Brake power (kW)
- N Engine speed (rpm)
- T Torque (N.m)
- bsfc Brake specific fuel consumption (g/kW.s)
- m<sub>f</sub> Fuel Consumption (kg/s)
- BTE Brake Thermal Efficiency
- Q<sub>HV</sub> Heating value (MJ/kg)

สมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ภายใต้การทดสอบตามเงื่อนไขต่างๆ สามารถแสดงผลดังต่อไปนี้

4.1 แรงบิดของเครื่องยนต์

แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์จะบอกถึงขีดจำกัดการทำงานสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สามารถให้กำลังออกมาได้ ซึ่งแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมกับเอทานอล ตามอัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล แสดงดังรูปที่ 2

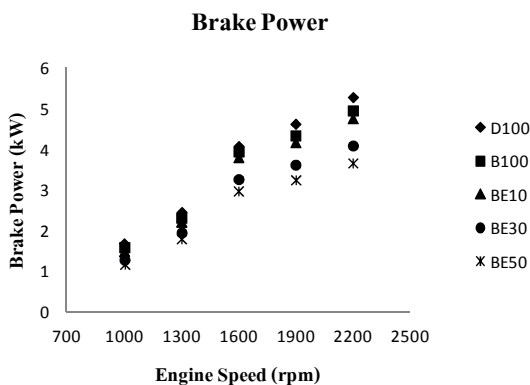


รูป 2 แรงบิดของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm แรงบิดของเครื่องยนต์ที่วัดได้มีค่าสูงสุดทุกๆ น้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเทียบกับแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบอื่นๆ โดยเมื่อใช้น้ำมันดีเซล (D100) สามารถวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ได้ 24.83 N.m และเมื่อทำการทดลองโดยการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น น้ำมันไบโอดีเซล (B100) น้ำมันผสม BE10 BE30 และ BE50 สามารถวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ได้ 24.02 N.m, 23.15 N.m, 19.85 N.m, และ 18.08 N.m ตามลำดับ ซึ่งแรงบิดของเครื่องยนต์ที่วัดได้ลดลง 3.26%, 6.77%, 20.14%, และ 27.18% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล โดยแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ลดลงเป็นผลมาจากค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลอัตราส่วนต่างๆ ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

4.2 กำลังของเครื่องยนต์

กำลังเบรคของเครื่องยนต์คือกำลังที่วัดได้จากเพลลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ ซึ่งวัดออกมาในรูปของแรงบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มาคำนวณตามสมการที่ 1 โดยกำลังเบรคของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอลตามอัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล แสดงดังรูปที่ 3

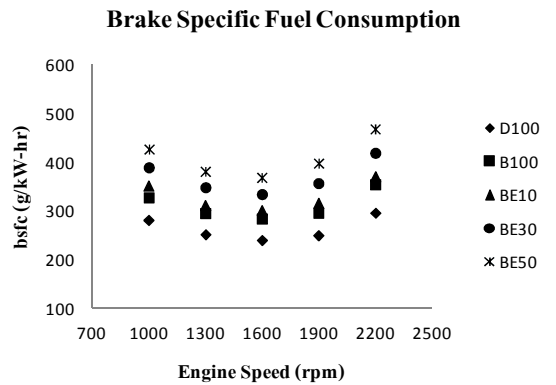


รูป 3 กำลังของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำมันดีเซลให้กำลังเบรคของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุด 5.29 kW ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm และเมื่อเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น น้ำมันไบโอดีเซล (B100) ให้กำลังเบรคสูงสุดเท่ากับ 4.96 kW ลดลง 6.24% น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10 ให้กำลังเบรคสูงสุด เท่ากับ 4.76 kW ลดลง 10.02% BE30 ให้กำลังเบรคสูงสุดเท่ากับ 4.09 kW ลดลง 22.68% และ BE50 ให้กำลังเบรคสูงสุดเท่ากับ 3.66 kW ลดลง 30.81% เมื่อเทียบกับกำลังเบรคสูงสุดที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล โดยค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลอัตราส่วนต่างๆ ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้กำลังเบรคของเครื่องยนต์ลดลง

4.3 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ

อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคได้จากการนำอัตราการใช้ของเชื้อเพลิงและกำลังเบรคของเครื่องยนต์ มาคำนวณตามสมการที่ 2 โดยอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันผสมกับเอทานอลตามอัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล แสดงดังรูปที่ 4

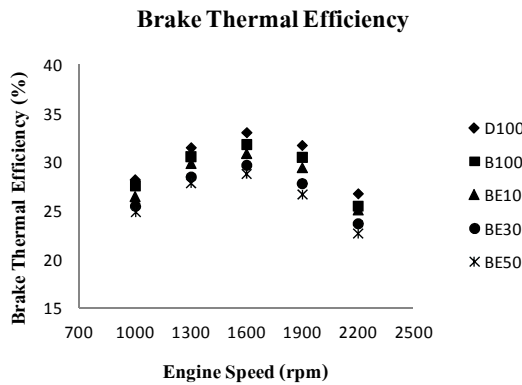


รูป 4 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 4 แสดงค่าความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำสุดสอดคล้องกับแรงบิดของเครื่องยนต์ โดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของน้ำมัน D100 ต่ำสุดเท่ากับ 240.00 g/kW-hr โดยน้ำมันไบโอดีเซล B100 น้ำมันผสม BE10 BE30 และ BE50 มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเท่ากับ 284.03 g/kW-hr, 301.67 g/kW-hr, 334.29 g/kW-hr และ 368.73 g/kW-hr ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้น 15.50%, 20.44%, 28.21% และ 34.91% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเป็นผลให้กำลังเบรคที่เครื่องยนต์ผลิตได้ลดลง กระทบกับความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลจึงทำให้มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าน้ำมันดีเซล

4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร ตามสมการที่ 3 โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอลตามอัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล แสดงดังรูปที่ 5

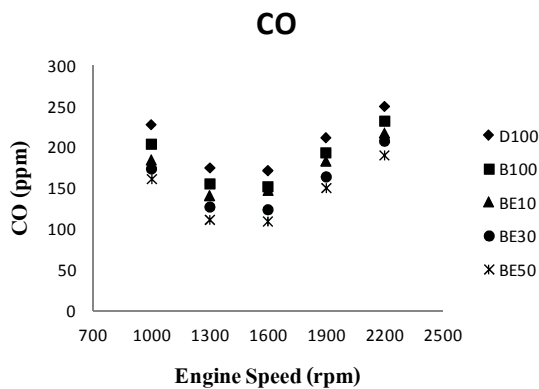


รูป 5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าน้ำมันดีเซล D100 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล โดยน้ำมันดีเซล D100 น้ำมันไบโอดีเซล B100 น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10, BE30 และ BE50 ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 33.07%, 31.85%, 30.91%, 29.72% และ 28.84% ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 28.22%, 27.60%, 26.51%, 25.52% และ 24.92% ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 26.82%, 25.53%, 25.14%, 23.72% และ 22.71% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล มีกำลังเบรคที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลและอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่สูงกว่าจึงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

4.5 ปริมาณ CO

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดขึ้นจากสารคาร์บอนในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับอากาศที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 6



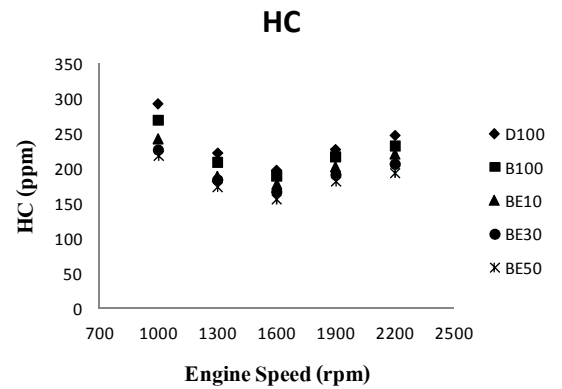
รูป 6 ปริมาณ CO

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะขึ้นอยู่กับอากาศที่

สมบูรณ์ โดยน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมีออกซิเจนในองค์ประกอบของน้ำมัน และเอทานอลที่ผสมลงไปน้ำมันไบโอดีเซลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันต่ำลงเป็นผลให้การกระจายตัวเป็นฝอยและระเหยเป็นไอได้ดี ทำให้น้ำมันผสมกับอากาศได้ดี จึงเผาไหม้สมบูรณ์กว่าน้ำมันไบโอดีเซล โดยปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ของน้ำมันดีเซล (D100) น้ำมันไบโอดีเซล (B100) น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10, BE30 และ BE50 ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm เท่ากับ 227 ppm, 203 ppm, 184 ppm, 173 ppm, และ 161 ppm ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm เท่ากับ 171 ppm, 151 ppm, 147 ppm, 123 ppm, และ 109 ppm ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm คือ 250 ppm, 232 ppm, 217 ppm, 207 ppm, และ 190 ppm ตามลำดับ

4.5 ปริมาณ HC

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เกิดการเผาไหม้กับอากาศในห้องเผาไหม้และอนุภาคขนาดเล็กที่แตกตัวจากอนุภาคขนาดใหญ่ของเชื้อเพลิงและถูกความร้อนขณะเกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ จะถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียของเครื่องยนต์ โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ออกมากับไอเสีย แสดงดังรูปที่ 7

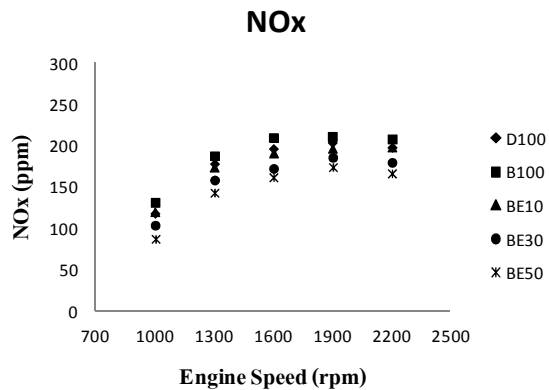


รูป 7 ปริมาณ HC

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล โดยปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่วัดได้ของน้ำมันดีเซล D100 น้ำมันไบโอดีเซล B100 น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10, BE30 และ BE50 ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm เท่ากับ 293 ppm, 270 ppm, 243 ppm, 227 ppm, และ 219 ppm ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm เท่ากับ 198 ppm, 190 ppm, 179 ppm, 167 ppm, และ 157 ppm ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm เท่ากับ 248 ppm, 233 ppm, 222 ppm, 207 ppm, และ 194 ppm ตามลำดับ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมีค่าความหนืดที่ต่ำกว่าน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งค่าความหนืดที่ต่ำจะทำให้การกระจายตัวเป็นฝอยและเอทานอลที่ระเหยเป็นไอได้ดีทำให้น้ำมันผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ได้ดี ประกอบกับองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันเป็นผลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เกิดการเผาไหม้ลดลง

4.6 ปริมาณ NO<sub>x</sub>

อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงจะทำให้ แก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) ในอากาศที่เครื่องยนต์ใช้ในการเผาไหม้กับน้ำมันเชื้อเพลิง ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>) เกิดเป็นออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) โดยแสดงดังรูปที่ 8

รูป 8 ปริมาณ NO<sub>x</sub>

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าออกไซด์ของไนโตรเจนที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาเมื่อน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากความหนาแน่นและอัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่า จึงทำให้มีปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมา และอุณหภูมิเผาไหม้สูงกว่า แต่เมื่อผสมเอทานอลลงในน้ำมันไบโอดีเซลจะทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง โดยปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่วัดได้ของน้ำมันดีเซล D100 น้ำมันไบโอดีเซล B100 น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10, BE30 และ BE50 ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm เท่ากับ 119 ppm, 132 ppm, 121 ppm, 104 ppm, และ 88 ppm ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm เท่ากับ 197 ppm, 210 ppm, 191 ppm, 173 ppm, และ 162 ppm ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm เท่ากับ 199 ppm, 209 ppm, 199 ppm, 180 ppm, และ 167 ppm ตามลำดับ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมีค่าความร้อนที่ต่ำ จึงทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลง ออกไซด์ของไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์จึงลดลง

## สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะและมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ในการทดสอบเครื่องยนต์ มีทั้งหมด 5 สัตส่วน ได้แก่ น้ำมันดีเซล 100% (D100) และน้ำมันผสม น้ำมันไบโอดีเซล:เอทานอล ที่สัดส่วน 90:10 (BE10), 70:30 (BE30) และ 50:50 (BE50) ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากการทดสอบสมรรถนะพบว่า น้ำมันไบโอดีเซล B100 น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10, BE30 และ BE50 เทียบกับน้ำมันดีเซล D100 จะให้แรงบิดลดลง 3.32-6.22%, 6.75-11.61%, 20.04-24.16% และ 26.98-31.04% ตามลำดับ กำลังเบรกลดลง 3.34-6.23%, 6.81-11.65%, 20.05-24.03% และ 27.06-30.80% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเพิ่มขึ้น 14.18-16.44%, 19.24-21.00%, 27.72-29.97% และ 33.94-37.20% ตามลำดับ ในส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำมันดีเซล D100 เท่ากับ 26.82-33.07% น้ำมันไบโอดีเซล B100 25.53-31.85% น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10 25.14-30.91%, BE30 23.72-29.72% และ BE50 22.71-28.84%

ในส่วนของมลพิษที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมาพบว่า น้ำมัน B100, BE10, BE30 และ BE50 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล D100 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาลดลง 8.87%, 17.28%, 23.93% และ 31.10% ตามลำดับ และไฮโดร

คาร์บอนลดลง 5.77%, 12.69%, 17.58% และ 21.99% ตามลำดับ เนื่องจากเอทานอลที่ผสมลงในน้ำมันไบโอดีเซลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันต่ำลงเป็นผลให้การกระจายตัวเป็นฝอยและระเหยเป็นไอได้ดี ทำให้น้ำมันผสมกับอากาศได้ดี จึงเผาไหม้ดีขึ้น สำหรับในส่วนของออกไซด์ของไนโตรเจนที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมานั้น น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10, BE30 และ BE50 จะมีค่าลดลง 7.29%, 15.97% และ 23.51% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล เพราะค่าความร้อนที่ต่ำทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลง ออกไซด์ของไนโตรเจนปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์จึงลดลง

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้เอทานอลผสมในน้ำมันไบโอดีเซลจะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากค่าความร้อนที่แตกต่างกันของน้ำมันผสมเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลหรือแม้แต่น้ำมันไบโอดีเซล แต่สามารถปรับปรุงมลพิษที่มีการปลดปล่อยออกมาได้ทั้งในส่วนของ CO, HC ตลอดจนค่า NO<sub>x</sub> ให้มีค่าต่ำลงได้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยความร้อนเชิงนิเวศ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] อารีรัตน์ โชติวิเชียร, อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย และสมัย ใจอินทร์, 2550, การใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล-เอทานอลและดีเซล-บิวทานอล, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3 โรงแรมโบตยทศกษย กรุงเทพฯ, วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พฤษภาคม, หน้า -.
- [2] Barabas, I., Todorut, A. and Baldean, D., 2010, "Performance and Emission Characteristics of an CI Engine Fueled with Diesel-Biodiesel-Bioethanol Blends", *Fuel*, Vol. 89, No. 12, pp. 3827-3832.
- [3] Aydin, H. and Lilkic, C., 2010, "Effect of Ethanol Blending with Biodiesel on Engine Performance and Exhaust Emissions in a CI Engine", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, No. 10, pp. 1199-1204.
- [4] Randazzo, M.L. and Sodre, J.R., 2010, "Exhaust Emissions from a Diesel Powered Vehicle Fueled by Soybean Biodiesel Blends (B3-B20) with Ethanol as an Additive (B20E2-B20E5)", *Fuel*, Vol. 90, No. 1, pp. 98-103.
- [5] Qi, D.H., Chen, H., Geng, L.M. and Bian, Y.Z., 2011, "Effect of Diethyl Ether and Ethanol Additives on the Combustion and Emission Characteristics of Biodiesel-Diesel Blended Fuel Engine", *Renewable Energy*, Vol. 36, No. 14, pp. 1252-1258.
- [6] Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H. and Li, R., 2006, "Emission Reduction Potential of Using Ethanol-Eiodiesel-Diesel Fuel Blend on a Heavy-Duty Diesel Engine", *Atmospheric Environment*, Vol. 40, No. 14, pp. 2567-2574.
- [7] Jha, S.K., Fernando, S., Columbus, E. and Willcutt, H., 2009, "A Comparative Study of Exhaust Emissions Using Diesel-Biodiesel-Ethanol Blends in New and Used Engine", *American Society of Agricultural and Biological Engineering*, Vol. 52, No. -, pp. 375-381.
- [8] Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G. and Huang, Z., 2011, "Combustion Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Fueled with Ethanol-Biodiesel Blends.", *Fuel*, Vol. 90, No. 5, pp. 1743-1750.