

การประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงใน เครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง

บัญชา ล้ำเลิศ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กรกฎาคม 2556
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงใน เครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง

บัญชา ล้าเลิศ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กรกฎาคม 2556
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายบัญชา ล้าเลิศ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

ประธานกรรมการ
(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

.....
(ผศ.ดร.บพิตร บุปผโชติ)

กรรมการ
(ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

.....
(ผศ.ดร.สุดสาคร อิบลิเดช)

กรรมการ
(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

.....
(อาจารย์ ดร.นำพน พัทฒนไพบูลย์)

กรรมการ
(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ.ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ.เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอภาส)
ผู้รักษาการคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 17 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2556

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายบัญชา ลำเลิศ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2527
จังหวัด และประเทศที่เกิด	อำเภอพรหมานิคม จังหวัดสกลนคร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยการอาชีพพรหมานิคม จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2548 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาช่างเทคนิค ยานยนต์วิทยาลัยการอาชีพพรหมานิคม จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2550 ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อศ.บ.) (เกียรตินิยม อันดับ 2) สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร พ.ศ. 2556 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน	ตำแหน่งอาจารย์ สังกัดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 199 หมู่ 3 ตำบลพังโคน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร 47160
รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา	รางวัลเกียรตินิยม อันดับ 2 และทุนการศึกษาจากกองทุนหมุนเวียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ก-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ไม่ผ่านท่อทองแดง

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	41.8	25.5	28.0	179.0	29.0	31.0	-
2	50.1	25.5	29.0	176.0	29.0	31.0	-
3	54.4	25.4	29.7	171.0	28.0	30.0	-
4	57.7	25.3	29.3	165.0	28.0	30.0	-
5	60.1	25.3	29.7	164.0	28.0	30.0	-
6	62.3	25.3	30.0	163.0	28.0	30.0	-
7	64.9	25.3	28.9	163.0	28.0	30.0	-
8	69.1	25.3	29.3	161.0	28.0	30.0	-
9	71.8	25.4	29.1	160.0	28.0	31.0	-
10	76.1	25.6	28.9	160.0	28.0	31.0	-
11	78.8	25.7	29.6	159.0	29.0	31.0	-
12	80.8	25.7	29.5	158.0	29.0	31.0	-
13	82.7	25.8	30.3	157.0	29.0	31.0	-
14	83.5	25.8	31.0	155.0	29.0	31.0	-
15	82.6	25.8	32.0	155.3	29.0	31.0	-
16	81.6	25.7	32.9	155.4	29.0	31.0	-
17	80.7	25.7	32.8	154.0	29.0	31.0	-
18	80.3	25.7	32.8	155.0	29.0	31.0	-
19	80.0	25.8	32.6	154.0	30.0	32.0	-
20	79.9	25.8	33.1	155.2	29.0	32.0	-
21	79.4	25.8	33.2	155.0	29.0	32.0	-
22	79.0	25.9	33.3	155.0	29.0	32.0	-
23	78.6	25.9	33.6	154.0	30.0	32.0	-
24	78.2	26.0	33.5	152.0	29.0	32.0	-
25	77.9	26.0	33.6	151.0	30.0	32.0	-
26	77.6	26.1	33.4	150.0	30.0	32.0	-
27	77.5	26.2	32.7	149.0	30.0	32.0	-
28	77.4	26.3	32.7	148.0	30.0	32.0	-
29	77.4	26.3	32.5	147.0	30.0	32.0	-
30	77.3	26.4	32.8	146.0	30.0	32.0	-

ตาราง ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	77.2	26.4	33.1	146.0	30.0	32.0	-
32	77.2	26.5	32.8	146.0	30.0	32.0	-
33	77.1	26.6	33.0	146.0	30.0	32.0	-
34	77.1	26.7	32.6	145.0	30.0	32.0	-
35	77.2	26.9	32.7	145.0	30.0	32.0	-
36	77.2	26.9	32.7	145.0	30.0	32.0	-
37	77.1	26.9	33.3	145.0	30.0	32.0	-
38	77.2	26.9	32.8	144.0	30.0	32.0	-
39	77.4	27.1	33.1	144.0	30.0	32.0	-
40	77.6	27.1	33.4	144.0	30.0	32.0	-
41	77.8	27.2	33.3	145.0	31.0	33.0	-
42	77.9	27.2	33.1	144.0	30.0	33.0	-
43	77.9	27.2	33.1	144.0	30.0	33.0	-
44	78.1	27.3	33.5	143.0	30.0	33.0	-
45	78.2	27.4	33.3	143.0	30.0	33.0	-
46	78.2	27.4	32.9	143.0	30.0	33.0	-
47	78.3	27.5	32.8	143.0	31.0	33.0	-
48	78.4	27.6	32.6	142.0	30.0	32.0	-
49	78.7	27.7	32.6	142.0	31.0	33.0	-
50	78.4	27.7	32.6	143.0	30.0	33.0	-
51	78.9	27.8	33.0	143.0	30.0	33.0	-
52	78.3	27.8	32.9	144.0	30.0	33.0	-
53	79.8	27.9	33.1	144.0	31.0	33.0	-
54	79.3	27.9	33.0	143.0	30.0	33.0	-
55	79.1	27.9	33.3	144.0	31.0	33.0	-
56	78.8	27.9	33.4	144.0	30.0	33.0	-
57	78.6	28.0	33.2	144.0	31.0	33.0	-
58	78.4	28.0	33.1	143.0	30.0	33.0	-
59	78.2	28.0	33.1	143.0	31.0	33.0	-
60	78.1	28.1	33.3	142.0	31.0	33.0	-

ตาราง ภาคผนวก ก-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	30.1	27.2	28.4	165.0	26.0	30.0	30.9
2	38.2	27.2	29.3	178.0	26.0	30.0	36.8
3	45.2	27.1	29.3	177.0	27.0	31.0	41.6
4	51.3	27.0	29.4	169.0	27.0	30.0	45.2
5	55.2	27.0	30.0	162.0	27.0	30.0	48.0
6	58.3	26.9	29.7	156.0	27.0	29.0	50.2
7	60.3	26.8	29.9	154.0	27.0	29.0	51.6
8	62.5	26.8	29.7	151.0	27.0	30.0	52.7
9	64.2	26.8	30.0	152.0	27.0	30.0	55.8
10	67.7	26.9	39.8	152.0	27.0	30.0	58.1
11	70.9	26.9	29.9	153.0	28.0	30.0	60.6
12	73.8	26.9	30.1	153.0	28.0	30.0	62.4
13	76.7	26.9	30.1	154.0	28.0	30.0	65.1
14	78.4	27.0	30.2	154.0	28.0	30.0	66.1
15	80.4	27.0	30.7	154.0	28.0	31.0	67.0
16	81.4	27.0	29.8	151.0	28.0	31.0	67.7
17	81.4	27.1	30.1	150.0	28.0	31.0	66.9
18	80.4	27.0	30.6	148.0	29.0	31.0	65.0
19	79.2	27.0	30.9	147.0	29.0	31.0	64.8
20	78.3	27.1	31.5	146.0	29.0	31.0	64.4
21	77.6	27.1	30.7	146.0	29.0	31.0	63.8
22	77.1	27.2	31.0	146.0	29.0	31.0	63.4
23	76.7	27.3	30.6	145.0	29.0	31.0	63.2
24	76.5	27.3	31.1	144.0	29.0	32.0	63.0
25	76.5	27.4	31.4	144.0	30.0	32.0	62.9
26	76.6	27.5	31.8	143.0	30.0	32.0	62.9
27	76.5	27.5	32.0	143.0	30.0	32.0	62.9
28	76.4	27.5	32.0	143.0	30.0	32.0	62.7
29	76.3	27.5	32.0	142.0	30.0	32.0	62.5
30	76.2	27.6	31.4	142.0	30.0	32.0	62.9

ตาราง ภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	76.1	27.6	31.6	142.0	30.0	32.0	63.8
32	76.0	27.6	31.8	142.0	30.0	32.0	64.9
33	76.0	27.7	32.2	142.0	30.0	32.0	64.9
34	76.0	27.7	31.6	141.0	30.0	32.0	65.2
35	76.2	27.7	31.9	141.0	30.0	33.0	64.5
36	76.2	27.7	32.4	141.0	30.0	33.0	65.5
37	76.3	27.7	32.1	142.0	30.0	33.0	64.8
38	76.4	27.7	32.0	141.0	30.0	33.0	65.2
39	76.5	27.8	31.8	141.0	30.0	33.0	65.2
40	76.5	27.8	32.3	141.0	30.0	33.0	65.0
41	76.6	27.9	31.7	142.0	31.0	33.0	65.2
42	76.4	27.9	30.9	142.0	31.0	33.0	65.2
43	76.5	27.9	31.4	143.0	31.0	33.0	65.9
44	76.4	28.0	31.5	142.0	31.0	33.0	65.7
45	76.4	28.0	31.9	143.0	31.0	33.0	64.9
46	76.5	27.1	32.2	142.0	31.0	33.0	65.5
47	76.6	27.3	32.2	143.0	31.0	33.0	65.0
48	76.6	28.3	32.1	142.0	31.0	33.0	64.5
49	76.6	28.4	32.6	142.0	31.0	33.0	65.8
50	76.6	28.4	31.5	142.0	31.0	33.0	65.8
51	76.7	28.5	31.9	142.0	31.0	33.0	65.0
52	76.7	28.5	32.1	142.0	31.0	33.0	65.0
53	76.5	28.5	31.2	143.0	31.0	33.0	64.5
54	76.5	28.5	31.3	142.0	31.0	33.0	64.3
55	76.5	28.5	32.6	143.0	31.0	33.0	64.8
56	76.7	28.6	32.2	143.0	31.0	33.0	65.0
57	76.7	28.6	32.4	144.0	31.0	33.0	64.9
58	76.7	28.7	32.1	144.0	31.0	33.0	65.1
59	76.6	28.7	32.4	144.0	31.0	33.0	65.1
60	76.7	28.8	31.7	143.0	31.0	33.0	65.1

ตาราง ภาคผนวก ก-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.3	28.9	29.6	138.5	25.0	27.0	29.7
2	32.7	28.9	29.2	148.0	26.0	28.0	32.3
3	38.6	28.9	29.6	152.0	27.0	30.0	36.4
4	43.5	28.9	30.0	158.0	27.0	30.0	39.9
5	48.7	28.7	30.0	161.0	27.0	30.0	43.2
6	52.3	28.6	30.3	158.0	27.0	30.0	46.0
7	55.1	28.5	30.8	153.0	27.0	30.0	48.2
8	57.4	28.5	30.7	151.0	27.0	30.0	50.0
9	59.2	28.5	31.1	150.0	28.0	30.0	52.2
10	61.7	28.5	30.8	150.0	28.0	30.0	55.4
11	65.2	28.5	31.0	151.0	28.0	30.0	58.4
12	68.5	28.5	31.2	151.0	28.0	30.0	61.3
13	70.7	28.5	31.5	151.0	28.0	31.0	63.2
14	73.1	28.6	31.7	152.0	28.0	31.0	64.8
15	75.2	28.6	32.3	152.0	29.0	31.0	66.4
16	76.3	28.5	31.9	152.0	29.0	31.0	64.7
17	76.6	28.5	31.9	151.0	29.0	31.0	67.2
18	75.7	28.4	31.8	150.0	29.0	31.0	66.0
19	74.6	28.4	32.1	148.0	29.0	31.0	65.1
20	73.7	28.4	32.3	146.0	29.0	31.0	64.6
21	73.1	28.5	32.6	145.0	29.0	31.0	64.3
22	72.5	28.6	33.0	143.0	29.0	31.0	64.0
23	72.0	28.6	32.3	143.0	29.0	31.0	63.3
24	71.7	28.7	32.6	142.0	29.0	31.0	63.1
25	71.5	28.7	32.4	142.0	29.0	31.0	62.9
26	71.0	28.7	32.3	142.0	29.0	32.0	62.2
27	70.9	28.7	32.1	142.0	30.0	32.0	62.8
28	70.8	28.9	31.9	141.0	30.0	32.0	62.8
29	71.2	28.9	32.5	141.0	30.0	32.0	62.9
30	71.2	29.0	32.3	141.0	30.0	32.0	62.8

ตาราง ภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	71.1	29.1	33.9	141.4	30.0	32.0	63.1
32	71.2	29.1	33.1	140.0	30.0	32.0	63.0
33	71.2	29.1	33.0	140.0	30.0	32.0	62.9
34	71.3	29.2	32.8	140.0	30.0	32.0	62.8
35	71.4	29.2	32.9	140.0	30.0	32.0	62.2
36	71.5	29.2	32.9	140.0	30.0	32.0	62.2
37	71.6	29.2	32.9	140.0	30.0	32.0	62.8
38	71.5	29.3	33.3	140.0	30.0	32.0	63.0
39	71.5	29.3	33.2	139.0	30.0	33.0	62.6
40	71.7	29.5	33.2	140.0	30.0	33.0	62.7
41	71.7	29.5	33.1	140.0	31.0	33.0	62.4
42	71.7	29.5	33.4	139.0	31.0	33.0	62.9
43	71.8	29.6	33.2	140.0	31.0	33.0	62.6
44	71.7	29.6	33.3	141.0	31.0	33.0	63.0
45	71.6	29.6	33.2	140.0	31.0	33.0	62.9
46	71.5	29.6	33.5	141.0	31.0	33.0	62.6
47	71.6	29.7	33.3	141.0	31.0	33.0	62.3
48	71.5	29.6	33.3	141.0	31.0	33.0	62.6
49	71.3	29.7	33.4	141.0	31.0	33.0	62.8
50	71.5	29.8	34.0	140.0	31.0	33.0	62.9
51	71.6	29.8	33.8	141.0	31.0	33.0	63.0
52	71.8	29.8	33.7	141.0	31.0	33.0	63.1
53	71.9	29.8	34.1	141.0	31.0	33.0	62.0
54	71.8	29.8	33.6	142.0	31.0	33.0	63.0
55	71.8	29.8	33.6	142.0	31.0	33.0	63.1
56	71.8	29.9	33.7	142.0	31.0	33.0	63.1
57	71.8	29.9	33.5	142.0	31.0	34.0	63.2
58	71.9	30.0	34.2	142.0	31.0	34.0	63.3
59	71.8	30.0	34.0	142.0	31.0	34.0	63.0
60	71.8	30.0	34.0	142.0	31.0	34.0	63.1

ตาราง ภาคผนวก ก-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.7	26.0	27.5	152.0	25.0	26.0	26.0
2	32.4	26.0	27.3	154.0	26.0	29.0	29.8
3	40.6	25.9	27.4	166.0	27.0	31.0	33.6
4	50.6	25.8	27.9	165.0	27.0	31.0	40.2
5	57.0	25.7	28.1	156.0	27.0	30.0	44.1
6	59.7	25.6	28.5	151.0	27.0	30.0	46.2
7	61.6	25.5	28.5	149.0	27.0	30.0	47.7
8	64.2	25.5	28.6	146.0	27.0	30.0	49.8
9	67.6	25.4	28.7	146.0	28.0	30.0	52.3
10	70.6	25.4	29.3	146.0	28.0	30.0	54.4
11	73.5	25.5	29.2	146.0	28.0	30.0	56.2
12	75.7	25.5	29.1	147.0	28.0	30.0	57.7
13	78.0	25.5	29.1	147.0	28.0	31.0	59.6
14	79.9	25.6	29.9	147.0	28.0	31.0	60.7
15	81.1	25.6	29.6	147.0	28.0	31.0	61.6
16	82.5	25.6	29.9	147.0	28.0	31.0	62.2
17	82.9	25.6	30.2	146.0	28.0	31.0	62.0
18	82.6	25.6	30.2	145.0	28.0	31.0	62.3
19	81.2	25.6	30.4	144.0	29.0	31.0	61.5
20	80.0	25.6	30.8	145.0	29.0	31.0	62.9
21	79.0	25.7	30.8	144.0	29.0	31.0	62.2
22	78.3	25.7	30.9	144.0	29.0	31.0	62.8
23	77.7	25.7	31.0	143.0	29.0	31.0	62.8
24	77.4	25.8	31.0	143.0	29.0	31.0	62.9
25	77.1	25.8	31.2	142.0	29.0	31.0	62.8
26	76.9	25.8	31.7	142.0	29.0	31.0	63.1
27	76.8	25.9	31.3	142.0	29.0	32.0	63.0
28	76.8	26.0	31.6	143.0	29.0	32.0	62.9
29	76.8	26.0	31.4	142.0	29.0	32.0	62.8
30	76.8	26.2	31.3	142.0	29.0	32.0	62.2

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	76.9	26.4	31.4	142.0	30.0	32.0	62.2
32	76.9	26.3	31.3	142.0	30.0	32.0	62.8
33	76.9	26.4	31.5	142.0	30.0	32.0	63.0
34	76.9	26.4	31.1	142.0	30.0	32.0	62.6
35	76.9	26.4	31.6	142.0	30.0	32.0	60.3
36	76.9	26.4	31.4	142.0	30.0	32.0	61.5
37	77.0	26.7	31.6	142.0	30.0	32.0	62.9
38	77.1	26.7	31.5	142.0	30.0	32.0	62.4
39	77.2	26.8	30.0	142.0	30.0	32.0	62.5
40	77.4	26.9	30.7	142.0	30.0	32.0	62.3
41	77.4	27.1	30.8	142.0	30.0	32.0	63.0
42	77.4	27.2	31.3	141.0	30.0	32.0	64.1
43	77.2	27.3	31.2	140.0	30.0	32.0	65.0
44	78.0	27.3	31.4	141.0	30.0	32.0	66.4
45	78.2	27.3	31.4	142.0	30.0	32.0	66.6
46	78.7	27.3	30.8	142.0	30.0	32.0	66.7
47	78.6	27.3	31.2	142.0	30.0	32.0	66.3
48	78.7	27.3	31.2	141.0	30.0	32.0	67.8
49	79.0	27.4	30.4	142.0	30.0	33.0	67.3
50	78.3	27.4	30.9	142.0	30.0	33.0	67.3
51	79.0	27.6	31.0	142.0	30.0	33.0	66.6
52	78.5	27.5	31.2	141.4	30.0	33.0	66.9
53	78.5	27.5	31.3	141.0	30.0	33.0	66.7
54	78.4	27.5	31.4	140.0	30.0	33.0	65.9
55	78.3	27.7	31.3	140.0	30.0	33.0	65.6
56	78.2	27.7	31.9	140.0	30.0	33.0	65.7
57	78.1	27.7	31.7	140.0	30.0	33.0	65.9
58	79.1	27.8	31.4	141.0	30.0	33.0	66.5
59	79.6	27.7	30.9	141.0	30.0	33.0	67.5
60	79.2	27.8	31.0	141.0	30.0	33.0	67.8

ตาราง ภาคผนวก ก-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.8	27.5	29.0	148.0	25.0	27.0	27.9
2	32.1	27.5	29.5	146.0	27.0	29.0	31.5
3	39.5	27.4	29.9	164.0	28.0	31.0	36.2
4	52.0	27.3	31.1	168.0	28.0	31.0	45.8
5	56.6	27.2	31.5	164.0	28.0	31.0	48.4
6	59.8	27.1	31.9	156.0	28.0	30.0	51.4
7	62.1	27.1	32.4	153.0	28.0	30.0	52.4
8	63.7	27.1	31.2	147.0	28.0	31.0	56.7
9	67.2	27.1	32.1	146.0	28.0	31.0	59.8
10	70.4	27.2	31.1	146.0	28.0	31.0	62.3
11	73.3	27.3	32.6	145.0	28.0	31.0	64.3
12	75.7	27.3	32.8	145.0	28.0	31.0	66.5
13	77.9	27.4	31.8	145.0	29.0	31.0	68.1
14	79.6	27.5	31.4	145.0	29.0	31.0	69.3
15	80.9	27.5	31.1	145.0	29.0	31.0	70.0
16	81.3	27.6	33.4	143.0	29.0	31.0	69.4
17	81.0	27.6	38.3	144.0	29.0	32.0	69.1
18	79.8	27.5	31.8	144.0	29.0	32.0	67.0
19	79.0	27.6	33.3	144.0	29.0	32.0	67.2
20	78.4	27.6	32.8	144.0	29.0	32.0	67.1
21	77.9	27.6	34.3	142.0	30.0	32.0	66.8
22	77.8	27.6	32.7	143.0	30.0	32.0	66.7
23	77.6	27.6	33.1	144.0	30.0	32.0	66.1
24	77.6	27.6	35.4	143.0	30.0	32.0	65.6
25	77.7	27.6	34.1	143.0	30.0	32.0	65.2
26	77.7	27.6	35.1	143.0	30.0	32.0	65.9
27	77.8	27.7	32.9	143.0	30.0	32.0	66.6
28	77.8	27.9	34.1	143.0	30.0	33.0	66.5
29	77.8	27.9	33.7	142.0	31.0	33.0	66.4
30	77.9	28.0	32.9	142.0	30.0	33.0	66.4

ตาราง ภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	78.0	28.1	33.8	142	31.0	33.0	66.8
32	78.0	28.2	32.5	141	31.0	33.0	66.1
33	78.1	28.3	33.7	142	31.0	33.0	65.3
34	78.1	28.3	34.0	142	31.0	33.0	66.2
35	78.1	28.4	33.3	141	31.0	33.0	66.2
36	78.2	28.5	34.4	142	31.0	33.0	66.9
37	78.4	28.5	34.4	142	31.0	33.0	66.3
38	78.4	28.5	33.6	142	31.0	33.0	66.4
39	78.4	25.6	32.3	142	31.0	33.0	66.7
40	78.4	28.6	33.0	142	31.0	33.0	67.3
41	78.4	28.6	32.4	143	31.0	33.0	66.9
42	78.6	28.7	34.2	142	31.0	33.0	66.3
43	78.5	28.7	33.8	141	31.0	33.0	66.5
44	78.5	28.7	34.7	141	31.0	33.0	66.2
45	78.2	28.7	34.3	142	31.0	33.0	66.4
46	78.6	28.8	33.7	142	31.0	33.0	66.6
47	78.6	28.8	32.2	142	31.0	33.0	66.2
48	78.7	28.9	35.0	141	31.0	33.0	66.3
49	78.9	28.9	36.1	142	31.0	33.0	65.6
50	79	29.0	33.7	142	31.0	33.0	64.9
51	79.1	29.1	33.6	143	31.0	33.0	67.3
52	79.1	29.0	35.6	143	31.0	34.0	65.7
53	79.1	29.1	34.5	143	31.0	34.0	67.3
54	79.2	29.1	33.4	143	31.0	34.0	67.7
55	79.2	29.2	34.2	142	31.0	34.0	68.2
56	79.2	29.3	34.3	144	31.0	34.0	68.2
57	79.2	29.4	33.2	143	31.0	34.0	66.3
58	79.2	29.4	33.7	143	31.0	34.0	67.7
59	79.3	29.5	35.0	143	31.0	34.0	68.3
60	79.2	29.5	33.8	143	31.0	34.0	66.7

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ข-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ไม่ผ่านท่อทองแดง

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	60.9	26.2	29.5	278.0	31.0	39.0	-
2	67.0	26.0	28.8	242.0	30.0	37.0	-
3	70.3	26.0	29.7	230.0	29.0	37.0	-
4	79.2	26.2	29.9	224.0	30.0	36.0	-
5	80.7	26.3	30.7	220.0	30.0	36.0	-
6	82.4	26.4	31.7	217.0	30.0	37.0	-
7	84.6	26.3	33.5	210.0	30.0	37.0	-
8	85.4	25.9	34.3	206.0	30.0	37.0	-
9	86.2	25.8	34.5	202.0	30.0	37.0	-
10	86.7	25.8	34.5	201.0	31.0	37.0	-
11	86.4	25.9	34.6	199.0	31.0	38.0	-
12	86.6	26.0	35.0	198.0	31.0	38.0	-
13	86.3	26.0	35.2	197.0	31.0	38.0	-
14	86.4	26.2	35.1	197.0	32.0	38.0	-
15	86.6	26.3	35.4	197.0	31.0	38.0	-
16	87.1	26.5	35.9	197.0	32.0	39.0	-
17	87.0	26.6	35.1	196.0	32.0	39.0	-
18	87.2	26.7	35.1	196.0	32.0	39.0	-
19	87.2	26.9	36.2	196.0	32.0	39.0	-
20	87.2	27.0	36.1	196.0	33.0	39.0	-
21	87.9	27.1	36.9	196.0	33.0	39.0	-
22	88.7	27.3	36.5	196.0	33.0	40.0	-
23	88.0	27.4	36.5	196.0	33.0	40.0	-
24	88.3	27.6	36.9	196.0	33.0	40.0	-
25	90.7	27.7	37.1	198.0	33.0	40.0	-
26	90.2	28.0	36.7	200.0	34.0	40.0	-
27	91.1	28.0	36.2	200.0	34.0	40.0	-
28	91.3	28.0	37.5	201.0	34.0	40.0	-
29	90.4	27.9	37.2	200.0	34.0	40.0	-
30	89.3	28.0	37.2	200.0	34.0	41.0	-

ตาราง ภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	89.4	28.1	37.3	199.0	34.0	41.0	-
32	88.5	28.3	37.0	199.0	34.0	41.0	-
33	89.8	28.5	37.3	198.0	34.0	41.0	-
34	89.4	28.6	37.0	199.0	34.0	41.0	-
35	88.7	28.8	37.0	197.0	34.0	41.0	-
36	89.2	29.0	37.3	198.0	34.0	41.0	-
37	89.2	29.1	37.5	198.0	34.0	41.0	-
38	89.4	29.1	37.8	198.0	34.0	41.0	-
39	89.4	29.3	37.8	198.0	34.0	41.0	-
40	89.6	29.3	38.0	198.0	35.0	41.0	-
41	89.5	29.4	37.9	198.0	34.0	41.0	-
42	89.3	29.5	38.5	199.0	35.0	42.0	-
43	89.4	29.6	37.9	198.0	35.0	41.0	-
44	89.4	29.7	37.0	198.0	35.0	42.0	-
45	89.3	29.8	37.8	198.0	35.0	42.0	-
46	89.4	29.3	37.4	198.0	35.0	42.0	-
47	89.4	30.1	37.9	198.0	35.0	42.0	-
48	89.3	30.3	37.6	198.0	35.0	42.0	-
49	89.2	30.3	37.4	198.0	35.0	42.0	-
50	89.2	30.5	37.5	197.0	35.0	42.0	-
51	89.1	30.6	37.6	197.0	35.0	42.0	-
52	89.5	30.7	37.4	197.0	35.0	42.0	-
53	89.0	30.8	37.4	196.0	35.0	42.0	-
54	89.2	30.9	35.9	197.0	35.0	42.0	-
55	89.5	31.0	35.8	197.0	35.0	42.0	-
56	89.3	31.1	35.4	197.0	35.0	42.0	-
57	89.2	31.1	35.4	196.0	35.0	42.0	-
58	89.4	31.2	36.2	196.0	35.0	42.0	-
59	89.9	31.3	36.0	196.0	35.0	42.0	-
60	89.7	31.3	35.8	196.0	35.0	42.0	-

ตาราง ภาคผนวก ข-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	37.9	26.1	26.1	254.0	27.0	35.0	33.0
2	45.7	26.1	26.5	237.0	27.0	35.0	37.4
3	53.9	25.9	27.3	233.0	27.0	35.0	42.8
4	63.9	25.8	25.9	227.0	27.0	35.0	50.1
5	70.7	25.9	26.0	227.0	28.0	35.0	54.4
6	78.9	26.0	26.7	221.0	28.0	36.0	54.9
7	83.3	26.0	26.6	212.0	28.0	34.0	56.7
8	85.9	26.0	27.4	213.0	28.0	35.0	63.4
9	86.9	25.8	27.8	211.0	29.0	35.0	64.6
10	87.6	25.7	29.0	206.0	29.0	36.0	65.1
11	87.6	25.6	28.6	203.0	29.0	36.0	64.6
12	87.4	25.5	30.2	205.0	29.0	36.0	64.1
13	87.6	25.4	29.7	205.0	30.0	36.0	63.8
14	88.0	25.4	29.6	208.0	30.0	36.0	63.8
15	87.9	25.3	30.6	203.0	30.0	37.0	63.9
16	88.0	25.4	29.6	200.0	30.0	37.0	63.6
17	88.2	25.4	30.6	195.0	30.0	37.0	64.3
18	87.9	25.5	29.2	200.0	30.0	37.0	63.4
19	88.2	25.6	30.5	197.0	31.0	37.0	63.8
20	88.2	25.7	30.6	199.0	31.0	38.0	63.8
21	88.4	25.8	31.3	198.0	31.0	38.0	63.6
22	88.3	25.9	32.1	197.0	31.0	38.0	64.5
23	88.2	26.0	31.2	198.0	31.0	38.0	64.3
24	88.3	26.1	30.6	195.0	32.0	38.0	64.5
25	88.6	26.2	30.7	196.0	32.0	38.0	64.9
26	88.9	26.5	30.9	197.0	32.0	38.0	65.4
27	88.6	26.6	31.6	194.0	32.0	39.0	64.9
28	88.7	26.6	31.5	197.0	32.0	39.0	64.7
29	88.8	26.7	32.3	192.0	32.0	39.0	65.1
30	89.0	26.8	31.1	197.0	32.0	39.0	65.2

ตาราง ภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	88.9	27.0	32.5	191.0	33.0	39.0	64.4
32	88.9	27.0	31.9	197.0	33.0	39.0	64.5
33	89.2	27.0	32.9	196.0	33.0	39.0	65.0
34	89.0	27.1	32.5	197.0	33.0	40.0	64.7
35	89.4	27.2	32.0	196.0	33.0	40.0	64.6
36	89.4	27.3	32.1	197.0	33.0	40.0	64.4
37	89.1	27.3	33.0	194.0	34.0	40.0	64.0
38	88.9	27.4	33.4	196.0	34.0	40.0	64.3
39	89.0	27.5	32.9	190.0	34.0	40.0	64.4
40	89.1	27.6	33.8	194.0	34.0	40.0	65.0
41	88.9	27.7	33.7	191.0	34.0	41.0	65.1
42	89.0	27.9	32.6	197.0	34.0	40.0	65.0
43	89.3	27.9	32.5	195.0	34.0	41.0	65.0
44	89.7	27.8	30.5	194.0	34.0	41.0	65.3
45	90.2	28.1	31.8	202.0	35.0	41.0	65.2
46	89.8	28.1	34.7	203.0	35.0	41.0	65.5
47	90.0	28.2	32.8	201.0	35.0	41.0	65.3
48	89.6	28.3	35.1	200.0	35.0	41.0	65.6
49	90.0	28.3	31.5	203.0	35.0	41.0	65.4
50	89.9	28.3	32.1	202.0	35.0	41.0	65.1
51	89.9	28.4	32.0	199.0	35.0	42.0	65.4
52	90.0	28.4	32.6	203.0	35.0	42.0	65.3
53	90.4	28.7	34.0	203.0	35.0	42.0	65.8
54	90.6	28.8	33.2	204.0	35.0	42.0	65.7
55	90.0	28.8	32.7	204.0	35.0	42.0	65.4
56	90.3	28.8	34.2	204.0	35.0	42.0	65.6
57	90.2	28.9	33.0	202.0	36.0	42.0	65.2
58	89.8	28.9	32.9	200.0	36.0	42.0	64.8
59	90.0	29.0	33.6	203.0	36.0	42.0	65.2
60	90.2	29.1	30.7	203.0	36.0	42.0	66.1

ตาราง ภาคผนวก ข-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.9	27.8	27.6	168.0	28.0	30.0	27.4
2	35.9	27.7	28.2	244.0	31.0	37.0	31.4
3	47.9	27.5	28.8	231.0	31.0	39.0	36.9
4	57.1	27.3	29.1	217.0	30.0	38.0	43.5
5	64.8	27.3	30.8	213.0	30.0	38.0	48.6
6	71.9	27.4	29.5	209.0	30.0	38.0	53.6
7	82.8	27.5	30.5	207.0	31.0	37.0	56.6
8	83.2	27.4	29.4	210.0	31.0	38.0	60.1
9	85.2	27.4	30.6	207.0	31.0	38.0	61.7
10	86.6	27.4	30.1	202.0	31.0	38.0	60.1
11	87.6	27.3	30.0	199.0	31.0	38.0	61.7
12	87.7	27.3	30.2	196.0	31.0	38.0	60.7
13	88.0	27.3	31.4	195	32.0	39.0	62.1
14	88.4	27.3	31.5	193.0	32.0	39.0	63.0
15	88.7	27.3	30.5	193.0	32.0	39.0	62.4
16	88.4	27.3	31.5	192.0	32.0	39.0	62.3
17	88.1	27.1	31.8	192.0	32.0	39.0	61.6
18	88.0	27.1	31.4	191.0	32.0	39.0	61.8
19	88.4	27.2	31.5	191.0	33.0	39.0	63.3
20	88.6	27.3	31.9	190.0	33.0	39.0	62.7
21	88.8	27.4	31.8	190.0	33.0	39.0	62.7
22	89.3	27.6	32.5	190.0	33.0	40.0	62.4
23	89.5	27.8	31.1	190.0	33.0	40.0	62.7
24	89.4	27.9	32.7	190.0	33.0	40.0	62.9
25	89.5	28.0	30.9	190.0	33.0	40.0	62.3
26	89.9	28.1	31.8	190.0	33.0	40.0	63.0
27	90.0	28.1	33.4	191.0	34.0	40.0	61.8
28	89.8	28.2	32.3	192.0	34.0	40.0	62.7
29	89.5	28.2	33.4	192.0	34.0	41.0	63.7
30	89.8	28.2	32.5	192.0	34.0	41.0	62.0

ตาราง ภาคผนวก ข-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	89.4	28.2	32.9	192	34.0	41.0	62.9
32	89.8	28.3	32.0	191	34.0	41.0	62.0
33	89.6	28.5	32.9	192	34.0	41.0	63.1
34	90.0	28.6	30.7	191	34.0	41.0	63.1
35	90.3	28.7	30.6	191	35.0	41.0	63.6
36	90.4	28.8	30.7	192	35.0	41.0	63.7
37	90.5	28.9	33.7	192	35.0	41.0	63.2
38	90.3	28.8	29.7	193	35.0	41.0	62.6
39	90.0	29.0	34.2	193	35.0	41.0	63.8
40	89.9	28.9	33.4	192	35.0	41.0	62.1
41	89.8	29.0	31.8	192	35.0	41.0	62.3
42	89.9	29.0	32.5	192	35.0	41.0	62.8
43	89.9	29.2	32.0	193	35.0	42.0	63.7
44	89.9	29.2	32.9	193	35.0	42.0	62.9
45	89.9	29.2	33.4	193	35.0	42.0	63.4
46	89.9	29.3	31.5	193	35.0	42.0	63.9
47	90.1	29.4	29.9	193	35.0	42.0	63.7
48	90.4	29.5	31.0	192	35.0	42.0	63.1
49	90.3	29.6	31.1	193	35.0	42.0	64.0
50	90.3	29.7	33.9	193	35.0	42.0	63.2
51	90.0	29.6	32.9	193	35.0	42.0	63.8
52	90.2	29.7	34.3	193	35.0	42.0	63.1
53	90.2	29.8	31.9	194	36.0	42.0	64.0
54	90.2	29.8	33.1	193	36.0	42.0	64.0
55	90.0	29.8	33.3	194	36.0	42.0	63.3
56	90.0	29.8	33.2	194	36.0	42.0	64.1
57	89.9	29.8	33.3	194	36.0	43.0	63.3
58	90.2	29.9	33.1	195	36.0	43.0	64.0
59	90.9	30.0	30.7	195	36.0	43.0	63.4
60	90.7	30.1	34.4	194	36.0	42.0	63.4

ตาราง ภาคผนวก ข-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	30.5	25.8	27.1	262.0	31.0	39.0	30.2
2	47.7	25.4	27.6	232.0	31.0	40.0	40.8
3	58.4	25.1	28.7	220.0	32.0	40.0	45.6
4	65.2	25.2	28.2	216.0	31.0	40.0	50.5
5	72.9	25.3	28.2	214.0	32.0	39.0	56.3
6	81.3	25.4	28.4	212.0	32.0	39.0	59.6
7	85.9	25.4	30.0	207.0	32.0	38.0	60.4
8	87.4	25.4	30.2	204.0	32.0	39.0	60.6
9	88.3	25.3	31.0	201.0	32.0	40.0	61.9
10	88.2	25.1	30.3	198.0	32.0	39.0	62.4
11	87.7	24.9	30.7	196.0	32.0	39.0	62.8
12	87.5	24.8	30.0	194.0	33.0	39.0	63.1
13	87.9	24.8	30.1	194.0	33.0	39.0	62.3
14	88.4	24.8	30.6	195.0	33.0	40.0	62.5
15	88.2	24.8	30.7	196.0	33.0	40.0	63.8
16	88.4	24.9	30.9	195.0	33.0	40.0	61.8
17	88.6	25.0	30.8	195.0	34.0	40.0	61.9
18	88.7	25.1	30.8	195.0	33.0	40.0	60.1
19	88.9	25.4	30.9	195.0	34.0	40.0	61.4
20	89.3	25.6	31.0	195.0	34.0	41.0	60.1
21	89.4	25.8	31.9	196.0	34.0	41.0	60.9
22	89.6	25.9	31.8	196.0	34.0	41.0	59.9
23	89.5	26.0	31.9	196.0	34.0	41.0	61.0
24	89.7	26.0	32.1	195.0	34.0	41.0	61.2
25	89.7	26.2	32.2	196.0	35.0	41.0	61.3
26	89.6	26.3	31.8	195.0	34.0	41.0	61.8
27	89.6	26.4	32.1	195.0	35.0	41.0	61.8
28	89.7	26.5	33.0	195.0	35.0	41.0	60.1
29	89.7	26.7	33.1	195.0	35.0	41.0	60.9
30	89.8	26.9	33.4	195.0	35.0	41.0	61.1

ตารางภาคผนวก ข-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	89.6	27.0	33.6	195.0	35.0	42.0	60.2
32	90.0	27.1	33.1	194.0	35.0	42.0	60.3
33	89.9	27.2	33.3	195.0	35.0	42.0	61.0
34	89.5	27.3	33.0	194.0	35.0	42.0	60.1
35	89.6	27.4	33.8	194.0	35.0	42.0	60.5
36	89.8	27.5	33.2	194.0	35.0	42.0	60.6
37	89.9	27.5	34.4	195.0	35.0	42.0	60.4
38	90.4	27.7	33.0	194.0	35.0	43.0	60.3
39	90.8	27.8	33.7	195.0	36.0	43.0	61.5
40	90.7	28.0	32.7	193.0	35.0	42.0	60.3
41	90.2	28.0	33.3	194.0	36.0	42.0	60.4
42	90.1	28.1	33.6	193.0	36.0	42.0	60.9
43	90.4	28.2	34.0	194.0	36.0	42.0	61.6
44	89.9	28.2	33.4	193.0	36.0	42.0	62.3
45	90.0	28.0	33.9	194.0	36.0	42.0	62.4
46	90.0	28.3	33.7	193.0	36.0	42.0	62.9
47	89.9	28.3	34.5	193.0	36.0	43.0	62.1
48	90.2	28.3	34.2	193.0	36.0	43.0	62.2
49	89.9	28.0	34.1	193.0	36.0	43.0	62.1
50	90.2	28.4	33.9	193.0	36.0	43.0	62.6
51	90.1	28.6	33.3	193.0	36.0	43.0	63.0
52	90.1	28.7	33.6	192.0	36.0	43.0	61.7
53	90.1	28.9	33.6	193.0	36.0	43.0	61.6
54	90.3	28.9	33.4	193.0	36.0	43.0	62.5
55	90.6	29.0	33.9	193.0	36.0	43.0	63.7
56	90.0	29.1	34.0	194.0	36.0	43.0	63.8
57	89.8	29.2	34.3	194.0	36.0	43.0	64.0
58	89.6	29.3	35.0	194.0	36.0	43.0	65.3
59	89.7	29.3	34.5	194.0	36.0	43.0	66.2
60	89.9	29.4	33.7	193.0	36.0	43.0	65.8

ตาราง ภาคผนวก ข-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.9	27.0	28.4	240.0	27.0	34.0	28.8
2	38.1	26.9	29.7	239.0	28.0	37.0	36.9
3	56.2	29.7	29.8	227.0	29.0	37.0	49.8
4	64.2	26.7	30.2	215.0	29.0	36.0	56.7
5	73.8	26.0	29.7	207.0	30.0	37.0	63.3
6	79.8	26.7	29.7	204.0	30.0	37.0	68.3
7	87.2	26.9	30.3	209.0	30.0	37.0	72.8
8	89.4	26.8	32.9	201.0	30.0	37.0	73.3
9	89.1	26.6	33.9	198.0	30.0	37.0	73.4
10	88.6	26.5	33.3	196.0	30.0	37.0	72.4
11	88.5	26.4	33.7	195.0	31.0	38.0	68.3
12	88.5	26.4	34.9	194.0	31.0	38.0	70.4
13	88.4	26.4	35.1	194.0	31.0	38.0	70.5
14	88.0	26.4	34.9	193.0	31.0	38.0	70.3
15	88.1	26.4	34.8	192.0	32.0	38.0	70.3
16	88.4	26.4	34.9	192.0	32.0	38.0	70.2
17	88.8	26.4	34.2	192.0	32.0	39.0	70.7
18	88.7	26.5	35.6	192.0	32.0	39.0	71.6
19	89.0	26.7	36.7	193.0	32.0	39.0	68.2
20	88.9	26.7	36.1	193.0	33.0	39.0	69.5
21	88.9	26.8	35.9	193.0	33.0	39.0	69.6
22	89.0	26.8	36.2	193.0	33.0	39.0	69.6
23	89.2	27.0	36.4	193.0	33.0	40.0	69.7
24	89.3	27.1	36.5	194.0	33.0	40.0	69.0
25	89.4	27.2	37.0	194.0	34.0	40.0	69.7
26	89.5	27.3	37.4	194.0	34.0	40.0	69.0
27	89.6	27.4	37.4	193.0	34.0	40.0	69.7
28	89.7	27.6	37.1	193.0	34.0	40.0	70.6
29	89.9	27.7	33.6	194.0	34.0	41.0	68.7
30	90.2	27.8	36.7	193.0	34.0	41.0	69.8

ตาราง ภาคผนวก ข-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	90.2	28	37.6	194.0	34.0	41.0	70.3
32	90.0	28	35.6	194.0	34.0	41.0	70.5
33	89.9	28.2	36.6	194.0	35.0	41.0	71.2
34	90.1	28.4	35.3	194.0	35.0	41.0	69.5
35	89.9	28.4	33.7	195.0	35.0	42.0	68.6
36	90.2	28.6	34.4	193.0	35.0	41.0	69.7
37	89.9	28.6	37.0	194.0	35.0	41.0	70.2
38	89.6	28.7	36.5	194.0	35.0	41.0	70.4
39	89.8	28.8	36.4	194.0	35.0	42.0	69.4
40	89.6	28.9	34.8	194.0	35.0	42.0	70.0
41	89.7	28.9	37.8	194.0	35.0	42.0	69.7
42	89.7	29.0	32.8	194.0	35.0	42.0	70.4
43	90.0	29.2	34.8	195.0	36.0	42.0	69.6
44	90.0	29.3	34.0	194.0	36.0	42.0	71.0
45	90.3	29.3	37.0	195.0	36.0	42.0	71.2
46	90.4	29.4	35.5	194.0	36.0	42.0	71.4
47	90.0	29.5	36.3	195.0	36.0	42.0	70.8
48	90.7	29.6	35.7	194.0	36.0	42.0	70.8
49	90.5	29.6	36.5	195.0	36.0	43.0	71.0
50	90.4	29.7	36.4	195.0	36.0	43.0	71.5
51	90.1	29.7	35.9	195.0	36.0	43.0	70.1
52	90.3	29.8	35.6	195.0	36.0	43.0	69.9
53	90.5	29.8	35.9	196.0	36.0	43.0	69.9
54	90.2	29.9	36.5	195.0	36.0	43.0	68.7
55	90.0	29.9	32.5	196.0	36.0	43.0	70.6
56	90.0	30.0	36.7	195.0	36.0	43.0	70.0
57	90.4	30.1	36.1	195.0	37.0	43.0	70.7
58	90.5	30.1	33.4	196.0	36.0	43.0	70.3
59	90.1	30.2	35.7	196.0	37.0	43.0	70.7
60	90.3	30.3	36.4	195.0	37.0	43.0	

ภาคผนวก ค
ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ค-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ไม่ผ่านท่อทองแดง

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	42.3	28.1	29.7	256.0	30.0	40.0	-
2	51.6	28.0	30.0	253.0	30.0	41.0	-
3	59.7	28.0	30.0	245.0	30.0	41.0	-
4	69.9	28.1	29.7	243.0	30.0	41.0	-
5	79.7	28.3	30.0	241.0	30.0	41.0	-
6	87.4	28.4	29.9	238.0	30.0	41.0	-
7	89.8	28.4	31.0	235.0	31.0	41.0	-
8	92.4	28.5	32.2	231.0	31.0	41.0	-
9	93.0	28.4	33.3	230.0	31.0	42.0	-
10	92.0	28.2	33.7	226.0	31.0	42.0	-
11	91.8	28.1	33.6	226.0	32.0	42.0	-
12	91.6	28.1	33.5	225.0	32.0	42.0	-
13	91.5	28.2	33.8	226.0	33.0	43.0	-
14	91.7	28.3	33.8	227.0	33.0	43.0	-
15	91.9	28.5	34.2	229.0	33.0	43.0	-
16	92.0	28.7	34.6	228.0	33.0	43.0	-
17	92.3	28.9	34.7	229.0	33.0	44.0	-
18	92.6	29.1	35.7	230.0	33.0	44.0	-
19	92.9	29.3	35.7	231.0	34.0	44.0	-
20	93.1	29.4	36.3	231.0	34.0	44.0	-
21	94.0	29.6	36.4	231.0	34.0	45.0	-
22	94.2	29.9	36.5	232.0	34.0	45.0	-
23	94.3	30.0	37.0	233.0	35.0	45.0	-
24	94.5	30.3	37.4	234.0	35.0	45.0	-
25	94.6	30.5	37.7	234.0	35.0	45.0	-
26	94.8	30.7	37.1	233.0	35.0	45.0	-
27	95.0	30.9	37.3	234.0	35.0	46.0	-
28	95.3	31.1	37.8	234.0	35.0	46.0	-
29	95.2	31.2	38.0	235.0	35.0	46.0	-
30	95.3	31.3	37.8	234.0	35.0	46.0	-

ตาราง ภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	95.4	31.5	37.6	234.0	36.0	46.0	-
32	95.8	31.6	38.2	236.0	36.0	46.0	-
33	96.3	31.8	38.5	237.0	36.0	47.0	-
34	96.3	31.9	38.7	237.0	36.0	47.0	-
35	96.4	32.0	38.6	237.0	36.0	47.0	-
36	96.2	32.2	38.3	236.0	36.0	47.0	-
37	96.2	32.4	38.1	237.0	36.0	47.0	-
38	96.6	32.6	38.2	236.0	36.0	47.0	-
39	96.6	32.7	38.0	237.0	37.0	47.0	-
40	96.5	32.7	38.3	236.0	37.0	47.0	-
41	96.5	32.9	37.8	236.0	37.0	48.0	-
42	96.7	33.0	37.8	237.0	37.0	48.0	-
43	96.7	33.1	38.2	237.0	37.0	48.0	-
44	96.4	33.2	38.6	237.0	37.0	48.0	-
45	96.3	33.4	38.5	237.0	37.0	48.0	-
46	96.4	32.9	38.6	236.0	37.0	48.0	-
47	96.5	32.8	38.4	236.0	37.0	48.0	-
48	96.7	32.6	38.5	236.0	37.0	48.0	-
49	96.8	32.6	38.5	236.0	37.0	48.0	-
50	96.7	32.3	38.5	236.0	37.0	48.0	-
51	96.7	32.5	38.5	236.0	38.0	48.0	-
52	96.6	32.6	38.6	236.0	37.0	48.0	-
53	96.3	32.3	38.6	236.0	38.0	49.0	-
54	96.6	32.4	38.5	235.0	38.0	49.0	-
55	96.9	32.7	38.6	236.0	38.0	49.0	-
56	96.8	32.8	38.6	236.0	38.0	49.0	-
57	96.8	32.7	38.7	236.0	38.0	49.0	-
58	96.7	32.7	38.5	236.0	38.0	49.0	-
59	96.8	32.8	38.5	236.0	38.0	49.0	-
60	96.8	32.8	38.7	236.0	38.0	49.0	-

ตาราง ภาคผนวก ค-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	47.1	28.4	28.7	277.0	32.0	42.0	33.9
2	55.9	28.3	28.8	267.0	32.0	43.0	44.3
3	73.6	28.2	29.6	261.0	32.0	43.0	53.7
4	82.1	28.2	29.1	254.0	32.0	43.0	58.5
5	88.2	28.2	30.1	248.0	33.0	43.0	60.8
6	90.8	28.0	30.6	240.0	33.0	43.0	61.0
7	92.1	27.7	30.3	232.0	33.0	43.0	60.6
8	92.1	27.9	30.4	228.0	33.0	43.0	60.4
9	92.2	27.5	30.2	227.0	34.0	44.0	60.3
10	92.6	27.5	30.3	224.0	34.0	44.0	60.1
11	92.8	27.5	30.5	224.0	34.0	44.0	61.4
12	93.0	27.5	30.4	224.0	34.0	44.0	60.8
13	93.3	27.6	31.0	224.0	34.0	45.0	61.0
14	93.9	27.7	30.6	224.0	35.0	45.0	60.6
15	94.0	27.9	31.2	224.0	35.0	45.0	60.4
16	94.2	28.0	31.0	224.0	35.0	45.0	60.3
17	94.3	28.1	31.3	224.0	36.0	45.0	60.1
18	94.5	28.2	31.5	224.0	36.0	46.0	64.9
19	94.5	28.3	31.4	224.0	36.0	46.0	65.4
20	94.8	28.4	31.6	224.0	36.0	46.0	64.9
21	94.9	28.5	32.0	224.0	36.0	46.0	64.7
22	94.9	28.7	32.5	224.0	36.0	46.0	65.1
23	95.0	28.8	32.0	223.0	37.0	47.0	65.2
24	95.2	29.0	32.6	223.0	37.0	47.0	64.4
25	95.2	29.1	32.3	224.0	37.0	47.0	64.5
26	95.3	29.2	33.0	224.0	37.0	47.0	65.0
27	95.3	29.3	33.6	225.0	37.0	48.0	64.7
28	95.2	29.3	33.9	225.0	37.0	48.0	64.6
29	95.5	29.5	32.7	225.0	38.0	48.0	64.4
30	95.5	29.6	34.1	225.0	38.0	48.0	64.0

ตาราง ภาคผนวก ค-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	95.1	29.7	34.3	226	38.0	48.0	64.3
32	95.6	29.7	34.5	225	38.0	48.0	64.4
33	95.8	29.8	35.5	226	39.0	48.0	65.0
34	95.9	29.9	33.9	226	38.0	49.0	65.1
35	95.8	30.1	34.4	227	39.0	49.0	65.0
36	95.8	30.5	34.5	226	39.0	49.0	65.0
37	95.9	30.7	35.3	227	39.0	49.0	65.3
38	96.0	30.9	35.2	226	39.0	49.0	65.2
39	96.1	31.0	34.5	228	39.0	49.0	65.5
40	96.0	31.1	34.3	226	39.0	49.0	65.3
41	96.1	31.2	34.7	227	40.0	50.0	65.6
42	96.0	31.2	35.2	227	39.0	50.0	65.4
43	96.1	31.3	34.5	227	40.0	50.0	65.1
44	96.1	31.4	33.5	226	40.0	50.0	65.4
45	96.2	31.5	32.7	225	40.0	50.0	65.3
46	96.1	31.5	32.7	225	40.0	50.0	65.8
47	96.0	31.5	32.2	226	40.0	50.0	65.7
48	95.9	31.6	32.2	225	40.0	50.0	65.4
49	95.8	31.6	31.7	225	40.0	50.0	65.6
50	95.8	31.6	32.8	225	40.0	50.0	65.2
51	95.8	31.7	32.8	225	40.0	50.0	64.8
52	95.7	31.7	32.1	225	40.0	50.0	65.2
53	95.8	31.8	31.8	225	40.0	50.0	66.1
54	95.7	31.6	32.4	224	40.0	50.0	65.8
55	95.7	31.6	32.3	224	41.0	51.0	65.7
56	95.6	31.5	37.8	224	40.0	50.0	65.4
57	95.6	31.6	31.1	224	40.0	50.0	65.6
58	95.7	31.6	32.3	225	40.0	50.0	65.2
59	95.5	31.6	31.9	224	41.0	51.0	64.8
60	95.5	31.6	32.3	225	41.0	51.0	65.2

ตาราง ภาคผนวก ค-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	33.7	27.4	28.0	296.0	30.0	41.0	30.9
2	46.8	28.3	29.0	281.0	31.0	44.0	37.7
3	59.7	29.2	28.5	271.0	31.0	44.0	45.0
4	69.7	29.4	28.7	263.0	31.0	44.0	51.4
5	79.0	29.8	28.6	255.0	31.0	44.0	55.6
6	85.9	30.6	29.6	245.0	31.0	43.0	58.4
7	90.0	32.5	29.9	237.0	32.0	43.0	60.3
8	91.1	33.3	32.0	228.0	32.0	43.0	63.9
9	91.4	34.5	29.8	224.0	32.0	43.0	64.2
10	91.3	35.1	32.3	224.0	33.0	43.0	64.7
11	91.4	36.2	29.6	225.0	33.0	43.0	65.2
12	91.6	35.8	29.8	223.0	33.0	43.0	64.5
13	91.6	36.1	30.4	223.0	33.0	43.0	64.6
14	92.4	37.5	33.5	222.0	33.0	44.0	64.5
15	92.2	38.2	30.3	223.0	34.0	44.0	65.3
16	92.5	38.3	31.5	223.0	34.0	44.0	65.4
17	92.6	38.4	32.4	223.0	35.0	45.0	65.2
18	92.8	38.7	39.6	223.0	35.0	45.0	65.9
19	92.9	38.7	33.1	222.0	35.0	45.0	65.3
20	93.4	39.1	30.5	223.0	35.0	45.0	65.1
21	93.2	38.8	27.9	224.0	35.0	45.0	64.7
22	92.9	39.1	34.6	223.0	35.0	45.0	64.2
23	93.1	39.9	33.4	223.0	36.0	46.0	65.3
24	93.1	40.4	29.9	225.0	36.0	46.0	65.4
25	93.0	40.1	34.2	225.0	36.0	46.0	65.3
26	93.5	40.7	30.2	225.0	36.0	46.0	64.2
27	93.2	40.6	29.1	226.0	36.0	46.0	64.4
28	93.2	40.8	29.4	226.0	37.0	47.0	64.1
29	93.0	40.4	34.0	227.0	37.0	47.0	65.2
30	93.3	40.8	29.6	227.0	37.0	47.0	65.9

ตาราง ภาคผนวก ค-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	92.4	40.3	33.4	227.0	37.0	47.0	65.8
32	92.7	40.6	39.6	227.0	37.0	47.0	65.2
33	93.0	40.4	30.5	227.0	37.0	47.0	66.7
34	93.1	40.4	34.3	226.0	38.0	48.0	66.2
35	92.8	40.9	30.7	227.0	38.0	48.0	65.0
36	92.1	40.6	34.9	227.0	38.0	48.0	65.2
37	92.5	41.2	30.1	227.0	38.0	48.0	65.5
38	91.9	41.8	33.1	227.0	38.0	48.0	66.3
39	92.1	41.2	35.2	228.0	38.0	48.0	66.0
40	92.4	41.2	29.2	229.0	38.0	48.0	66.6
41	92.1	40.9	34.0	228.0	38.0	48.0	66.7
42	92.0	40.5	33.2	228.0	38.0	48.0	67.3
43	92.0	41.1	32.6	228.0	38.0	49.0	67.8
44	92.0	41.1	32.6	228.0	38.0	49.0	67.7
45	91.4	40.4	35.0	228.0	39.0	49.0	66.5
46	92.0	41.5	35.8	228.0	39.0	49.0	67.2
47	91.5	42.0	36.0	228.0	39.0	49.0	67.9
48	91.4	42.0	33.7	228.0	39.0	49.0	66.2
49	90.7	41.5	33.7	228.0	39.0	49.0	66.8
50	90.7	41.4	35.0	227.0	39.0	49.0	67.1
51	91.1	41.8	36.7	228.0	39.0	49.0	66.4
52	91.5	42.6	32.0	228.0	39.0	49.0	67.6
53	90.8	42.1	31.2	228.0	39.0	49.0	67.1
54	90.6	41.8	30.5	227.0	39.0	49.0	67.8
55	91.0	41.6	32.7	227.0	39.0	49.0	68.6
56	90.8	41.5	35.7	227.0	39.0	49.0	68.7
57	91.6	42.1	36.7	228.0	40.0	50.0	71.5
58	91.1	42.1	38.9	228.0	40.0	50.0	72.2
59	90.5	41.8	33.8	227.0	40.0	50.0	74.7
60	91.0	41.8	36.2	227.0	40.0	50.0	76.1

ตาราง ภาคผนวก ค-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.4	26.5	27.0	313.0	29.0	39.0	30.1
2	40.5	27.5	28.0	301.0	30.0	42.0	37.5
3	55.7	28.5	26.9	288.0	31.0	43.0	46.3
4	67.0	28.9	29.7	274.0	30.0	43.0	52.4
5	78.6	29.2	29.7	263.0	31.0	42.0	57.3
6	84.7	30.2	27.4	256.0	31.0	42.0	59.1
7	88.8	31.4	31.2	249.0	31.0	42.0	61.2
8	90.5	33.5	32.6	237.0	31.0	42.0	62.0
9	90.5	35.2	31.9	235.0	32.0	42.0	64.3
10	91.5	36.1	25.7	233.0	32.0	42.0	65.7
11	91.5	36.3	26.2	232.0	32.0	42.0	66.8
12	91.9	36.8	28.2	230.0	32.0	42.0	67.1
13	92.1	37.6	29.4	229.0	32.0	42.0	68.6
14	92.4	38.0	32.7	228.0	32.0	43.0	68.7
15	92.7	38.0	31.9	228.0	33.0	43.0	71.5
16	93.1	38.3	29.7	227.0	33.0	43.0	72.2
17	93.5	38.3	34.6	227.0	33.0	43.0	74.7
18	93.7	39.6	32.1	226.0	33.0	43.0	76.1
19	93.6	34.4	31.0	227.0	34.0	44.0	78.6
20	93.5	39.8	30.1	226.0	34.0	44.0	79.5
21	93.5	40.0	34.2	227.0	34.0	44.0	79.5
22	93.6	40.5	32.2	226.0	34.0	44.0	79.4
23	93.7	40.4	32.2	226.0	34.0	44.0	81.0
24	94.1	40.9	34.1	227.0	35.0	45.0	82.4
25	94.2	40.9	33.1	228.0	35.0	45.0	82.0
26	94.2	40.9	30.9	228.0	35.0	45.0	81.8
27	94.6	40.9	33.7	227.0	35.0	45.0	82.3
28	94.5	40.8	33.0	227.0	35.0	45.0	82.2
29	94.6	41.2	33.8	227.0	36.0	45.0	82.3
30	94.6	41.0	29.7	227.0	36.0	45.0	82.2

ตารางภาคผนวก ค-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	94.4	40.7	34.3	227.0	36.0	46.0	82.1
32	94.4	40.6	30.9	226.0	36.0	46.0	82.3
33	94.4	41.1	31.1	227.0	36.0	46.0	82.3
34	94.7	41.2	34.3	227.0	36.0	46.0	82.4
35	94.8	41.7	35.0	228.0	37.0	47.0	82.4
36	94.9	41.7	34.3	228.0	36.0	47.0	82.2
37	94.7	41.6	35.7	229.0	37.0	47.0	82.4
38	94.6	42.8	32.0	229.0	37.0	47.0	82.4
39	94.8	42.4	32.8	229.0	37.0	47.0	82.6
40	94.8	42.5	36.0	229.0	37.0	47.0	82.2
41	95.2	42.7	35.0	229.0	37.0	47.0	82.4
42	95.0	42.7	35.9	229.0	37.0	47.0	82.4
43	94.9	42.7	36.7	230.0	37.0	48.0	82.3
44	95.0	43.0	34.5	229.0	37.0	48.0	82.5
45	95.1	42.9	31.5	229.0	38.0	48.0	82.5
46	94.9	42.9	36.7	229.0	38.0	48.0	82.5
47	95.1	43.2	34.9	229.0	38.0	48.0	82.1
48	95.3	43.4	34.9	229.0	38.0	48.0	82.7
49	95.2	43.1	32.5	229.0	38.0	48.0	82.5
50	95.1	43.2	35.5	229.0	38.0	48.0	82.5
51	95.2	43.7	34.3	228.0	38.0	48.0	82.5
52	95.3	43.5	34.9	229.0	38.0	48.0	82.7
53	95.2	43.8	32.0	229.0	38.0	48.0	82.6
54	95.6	43.9	34.3	229.0	38.0	48.0	83.0
55	95.3	44.1	34.0	229.0	39.0	49.0	82.2
56	95.7	44.2	35.8	229.0	38.0	49.0	83.0
57	95.5	44.2	36.7	230.0	39.0	49.0	83.8
58	95.4	44.3	35.8	229.0	39.0	49.0	82.9
59	95.4	44.4	33.0	230.0	39.0	49.0	82.8
60	95.6	44.3	35.1	229.0	39.0	49.0	83.0

ตาราง ภาคผนวก ค-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	42.0	28.6	29.5	264.0	28.0	38.4	37.2
2	53.4	30.1	29.4	251.0	29.0	42.0	46.5
3	66.0	30.6	29.1	253.0	30.0	42.0	55.4
4	76.2	31.1	29.6	249.0	30.0	42.0	63.6
5	84.2	31.2	29.5	248.0	30.0	42.0	69.8
6	89.9	32.2	30.8	242.0	30.0	42.0	71.2
7	92.5	34.7	33.4	238.0	30.0	42.0	74.5
8	92.8	36.6	35.7	233.0	31.0	42.0	74.4
9	92.9	37.8	29.9	230.0	31.0	42.0	75.3
10	92.8	37.7	34.8	226.0	31.0	42.0	75.0
11	93.1	38.4	29.9	225.0	31.0	42.0	75.8
12	93.2	37.9	32.5	225.0	31.0	43.0	75.9
13	93.4	38.2	35.4	226.0	31.0	43.0	75.6
14	93.7	39.3	34.3	225.0	32.0	43.0	76.2
15	94.1	39.9	34.3	223.0	32.0	43.0	76.5
16	94.4	40.2	34.3	224.0	32.0	43.0	76.9
17	94.6	39.9	32.7	224.0	32.0	43.0	77.5
18	94.8	39.9	35.3	222.0	33.0	44.0	76.9
19	95.1	41.0	37.1	222.0	33.0	44.0	77.3
20	95.4	41.6	36.8	226.0	33.0	44.0	77.1
21	95.5	42.0	36.0	224.0	33.0	44.0	77.2
22	95.6	42.3	36.9	222.0	33.0	44.0	77.3
23	95.7	42.7	37.7	222.0	33.0	45.0	77.5
24	95.7	42.8	36.4	223.0	34.0	45.0	77.8
25	95.8	42.9	37.4	221.0	34.0	45.0	78.0
26	95.9	43.3	38.0	221.0	34.0	45.0	77.7
27	96.0	43.5	37.3	225.0	34.0	45.0	77.8
28	96.1	43.6	36.9	221.0	34.0	45.0	77.7
29	96.3	43.7	37.9	222.0	34.0	46.0	78.2
30	96.2	43.5	37.3	222.0	35.0	46.0	77.9

ตาราง ภาคผนวก ค-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	96.2	43.9	37.4	221.0	35.0	46.0	78.1
32	96.1	43.9	38.1	221.0	35.0	46.0	77.9
33	96.0	43.6	38.0	221.0	35.0	46.0	77.9
34	96.2	44.0	37.7	221.0	35.0	46.0	78.2
35	96.2	44.2	37.4	221.0	35.0	46.0	78.4
36	96.2	44.3	38.5	224.0	36.0	46.0	78.2
37	96.1	44.4	37.7	223.0	35.0	47.0	78.0
38	96.0	44.3	37.4	223.0	36.0	47.0	78.2
39	96.1	44.4	38.4	222.0	36.0	47.0	78.1
40	96.0	44.6	37.0	222.0	36.0	47.0	77.8
41	96.1	44.3	33.3	222.0	36.0	47.0	78.6
42	96.1	43.8	37.2	221.0	36.0	47.0	78.5
43	96.1	43.8	38.3	222.0	36.0	47.0	78.1
44	96.3	44.3	37.9	222.0	36.0	47.0	78.4
45	96.2	43.6	35.5	222.0	36.0	47.0	78.7
46	96.0	43.1	35.1	222.0	36.0	47.0	78.9
47	96.2	43.3	37.6	221.0	36.0	48.0	78.5
48	96.1	43.5	36.7	221.0	36.0	48.0	78.6
49	96.1	43.4	36.5	221.0	36.0	48.0	78.1
50	96.1	44.1	38.8	221.0	37.0	48.0	76.7
51	96.0	44.3	38.1	221.0	36.0	48.0	78.1
52	96.1	44.6	37.5	224.0	37.0	48.0	78.1
53	96.1	44.1	35.5	221.0	36.0	48.0	78.7
54	96.2	43.6	35.3	221.0	37.0	48.0	78.7
55	96.2	43.1	36.8	220.0	37.0	48.0	78.7
56	95.9	42.7	37.2	224.0	37.0	48.0	78.0
57	95.9	43.4	39.1	220.0	37.0	48.0	78.1
58	96.2	44.3	36.9	225.0	37.0	48.0	77.9
59	96.2	44.5	39.7	221.0	37.0	48.0	78.2
60	96.2	44.7	39.4	221.0	37.0	48.0	78.2

ภาคผนวก ง
ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ง-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ไม่ผ่านท่อทองแดง

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	37.6	27.6	29.9	293.0	29.0	43.0	-
2	55.6	27.4	29.9	297.0	30.0	46.0	-
3	72.5	27.4	29.6	292.0	31.0	47.0	-
4	85.5	27.4	30.2	297.0	31.0	46.0	-
5	94.5	27.4	32.8	300.0	32.0	46.0	-
6	98.6	28.0	36.8	300.0	33.0	47.0	-
7	99.2	28.5	36.6	296.0	33.0	47.0	-
8	99.8	28.6	37.0	290.0	33.0	47.0	-
9	100.1	28.9	37.0	297.0	34.0	48.0	-
10	100.9	29.1	36.9	285.0	34.0	48.0	-
11	101.6	29.3	37.2	283.0	34.0	48.0	-
12	102.3	29.4	37.8	284.0	34.0	48.0	-
13	102.9	29.6	38.4	283.0	35.0	48.0	-
14	103.0	29.9	38.8	281.0	35.0	48.0	-
15	103.5	30.0	38.4	282.0	35.0	49.0	-
16	104.4	30.3	39.1	284.0	35.0	50.0	-
17	104.9	30.5	39.3	286.0	36.0	51.0	-
18	104.8	30.7	39.6	289.0	36.0	50.0	-
19	103.3	30.9	39.7	289.0	37.0	50.0	-
20	102.2	31.2	40.8	289.0	37.0	52.0	-
21	107.7	31.2	39.8	290.0	37.0	52.0	-
22	105.5	32.0	41.0	286.0	37.0	51.0	-
23	105.7	32.0	41.0	285.0	38.0	51.0	-
24	106.2	32.0	41.6	286.0	38.0	52.0	-
25	106.4	32.9	42.2	288.0	38.0	52.0	-
26	106.9	33.0	42.9	291.0	38.0	53.0	-
27	106.0	33.1	43.1	291.0	39.0	52.0	-
28	104.5	33.2	43.1	289.0	39.0	52.0	-
29	103.6	32.4	42.9	287.0	39.0	53.0	-
30	103.0	32.6	43.2	287.0	39.0	53.0	-

ตาราง ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	102.6	32.6	43.5	288.0	40.0	53.0	-
32	102.3	32.7	44.4	288.0	40.0	53.0	-
33	105.5	32.9	44.5	296.0	40.0	55.0	-
34	106.8	33.0	44.4	288.0	40.0	54.0	-
35	107.2	33.1	44.3	289.0	40.0	54.0	-
36	107.6	33.2	45.1	288.0	40.0	54.0	-
37	107.6	33.4	45.3	288.0	41.0	55.0	-
38	108.0	33.0	45.0	289.0	41.0	55.0	-
39	108.1	33.1	44.9	289.0	41.0	55.0	-
40	108.1	33.2	44.0	289.0	41.0	55.0	-
41	108.1	33.4	43.9	297.0	42.0	56.0	-
42	107.9	33.0	43.4	291.0	41.0	55.0	-
43	105.9	33.1	43.7	290.0	42.0	55.0	-
44	105.0	33.2	43.6	288.0	41.0	55.0	-
45	104.3	33.4	43.0	287.0	42.0	55.0	-
46	103.8	34.3	43.1	286.0	42.0	55.0	-
47	103.3	34.5	43.5	285.0	42.0	56.0	-
48	102.8	34.6	43.7	286.0	42.0	56.0	-
49	102.6	34.3	73.7	286.0	42.0	56.0	-
50	102.3	34.4	44.1	285.0	42.0	56.0	-
51	102.0	34.7	43.7	286.0	42.0	56.0	-
52	105.2	34.8	43.8	285.0	42.0	56.0	-
53	106.9	34.5	44.4	285.0	43.0	56.0	-
54	107.3	34.6	44.1	285.0	42.0	56.0	-
55	107.4	34.3	44.9	285.0	43.0	57.0	-
56	107.7	34.4	43.7	285.0	43.0	57.0	-
57	107.5	34.7	44.4	286.0	43.0	57.0	-
58	107.7	34.8	44.7	285.0	43.0	57.0	-
59	107.6	34.7	44.0	285.0	43.0	57.0	-
60	107.4	34.9	43.9	285.0	43.0	57.0	-

ตาราง ภาคผนวก ง-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	34.9	26.9	28.8	296.0	30.0	37.0	35.5
2	43.9	26.7	29.6	294.0	31.0	42.0	41.7
3	59.0	26.6	29.5	300.0	33.0	46.0	50.4
4	73.8	26.5	29.0	312.0	34.0	48.0	60.0
5	87.7	26.6	30.0	316.0	34.0	49.0	68.4
6	95.9	26.6	33.1	293.0	33.0	48.0	72.4
7	98.9	26.6	36.6	286.0	34.0	48.0	73.5
8	99.7	25.9	36.9	283.0	34.0	48.0	73.8
9	100.3	25.6	37.1	281.0	35.0	49.0	74.3
10	100.8	25.5	37.2	279.0	35.0	49.0	74.8
11	101.5	25.6	37.3	278.0	35.0	49.0	75.2
12	102.0	25.6	38.4	279.0	35.0	49.0	76.0
13	102.3	25.8	39.0	275.0	36.0	49.0	76.0
14	102.6	26.0	39.3	276.0	36.0	50.0	76.2
15	103.1	26.3	39.2	276.0	36.0	50.0	76.6
16	103.8	26.5	39.4	278.0	36.0	50.0	77.1
17	104.5	26.8	40.3	279.0	37.0	51.0	77.6
18	104.6	27.1	40.1	279.0	37.0	51.0	78.0
19	104.9	27.3	40.6	277.0	37.0	51.0	78.2
20	105.0	27.6	40.6	277.0	38.0	51.0	78.5
21	105.0	27.8	40.5	278.0	39.0	54.0	77.9
22	105.8	28.0	41.8	282.0	38.0	52.0	78.7
23	105.7	28.2	42.0	280.0	38.0	52.0	78.7
24	105.7	28.5	42.3	279.0	38.0	52.0	78.8
25	105.8	28.7	42.5	278.0	39.0	53.0	79.1
26	105.8	28.8	42.1	279.0	39.0	53.0	79.2
27	105.8	29.0	42.7	279.0	39.0	53.0	79.2
28	105.8	29.3	42.9	279.0	39.0	54.0	79.2
29	106.1	29.6	43.0	280.0	40.0	54.0	79.5
30	106.2	29.6	42.9	281.0	40.0	54.0	79.8

ตาราง ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	106.6	29.8	43.2	280.0	40.0	54.0	80.1
32	106.9	29.9	42.8	279.0	40.0	54.0	80.6
33	107.0	30.0	42.6	278.0	40.0	54.0	81.1
34	107.1	30.1	42.3	279.0	40.0	54.0	81.1
35	107.3	30.2	42.4	281.0	41.0	55.0	81.1
36	107.2	30.3	42.2	281.0	41.0	55.0	80.8
37	107.1	30.5	42.4	280.0	41.0	55.0	80.8
38	106.9	30.5	41.4	280.0	41.0	55.0	80.9
39	107.0	30.7	42.9	279.0	41.0	55.0	81.0
40	107.0	30.8	42.9	277.0	41.0	55.0	81.0
41	107.1	30.9	43.0	277.0	41.0	56.0	81.3
42	107.0	31.0	43.8	277.0	41.0	55.0	80.9
43	106.8	31.0	43.9	277.0	42.0	56.0	80.3
44	106.4	31.2	43.8	276.0	42.0	56.0	79.8
45	106.3	31.3	43.8	276.0	42.0	56.0	79.8
46	106.1	31.3	44.1	276.0	42.0	56.0	79.6
47	106.2	31.6	44.0	278.0	42.0	56.0	79.9
48	106.3	31.6	44.1	277.0	42.0	56.0	80.4
49	106.5	31.6	43.6	276.0	42.0	56.0	80.6
50	106.5	31.6	43.6	276.0	42.0	56.0	80.9
51	106.6	31.7	44.1	276.0	43.0	57.0	80.9
52	106.6	31.8	43.6	276.0	42.0	57.0	81.2
53	106.9	31.9	43.3	276.0	43.0	57.0	81.3
54	106.8	32.0	43.2	275.0	43.0	57.0	81.3
55	106.8	32.1	43.5	275.0	43.0	57.0	81.3
56	106.7	32.3	43.5	274.0	43.0	57.0	81.2
57	106.5	32.4	43.4	276.0	43.0	57.0	80.9
58	106.3	32.5	42.9	274.0	43.0	57.0	80.9
59	106.3	32.6	43.5	275.0	43.0	57.0	80.5
60	106.2	32.8	42.8	277.0	43.0	57.0	80.8

ตาราง ภาคผนวก ง-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	41.3	28.1	28.8	301.0	30.0	41.0	35.2
2	58.8	29.5	28.7	294.0	31.0	45.0	44.9
3	70.7	29.9	28.9	296.0	32.0	47.0	52.7
4	84.8	30.2	29.8	293.0	32.0	48.0	60.1
5	93.7	31.6	30.1	289.0	32.0	48.0	64.9
6	97.4	33.7	33.2	285.0	32.0	48.0	66.9
7	98.6	36.7	32.2	277.0	33.0	47.0	67.6
8	98.9	38.3	32.8	273.0	33.0	48.0	67.9
9	99.3	39.3	33.2	271.0	33.0	48.0	68.3
10	99.6	40.2	33.6	272.0	33.0	48.0	68.5
11	100.1	41.0	32.3	268.0	34.0	48.0	69.0
12	100.5	41.4	34.3	268.0	34.0	48.0	69.4
13	100.7	42.1	33.5	267.0	34.0	49.0	69.4
14	101.1	42.5	33.8	267.0	35.0	49.0	69.5
15	101.8	43.0	35.0	269.0	35.0	50.0	70.2
16	102.5	43.6	35.1	269.0	35.0	50.0	70.5
17	102.7	44.0	36.0	268.0	35.0	50.0	70.7
18	103.0	44.4	35.6	267.0	36.0	50.0	71.1
19	103.4	44.8	36.0	267.0	36.0	51.0	71.3
20	103.6	45.0	36.2	265.0	36.0	51.0	71.6
21	104.0	45.2	36.2	266.0	36.0	51.0	72.0
22	104.4	45.5	36.3	266.0	37.0	51.0	72.2
23	104.4	45.8	37.5	266.0	37.0	52.0	72.2
24	104.6	46.0	37.2	265.0	37.0	52.0	72.4
25	104.8	46.2	37.4	266.0	37.0	52.0	72.5
26	104.7	46.3	37.6	267.0	38.0	52.0	72.5
27	104.8	46.5	38.2	267.0	38.0	52.0	72.5
28	104.7	46.7	38.4	265.0	38.0	53.0	72.5
29	104.7	46.9	38.9	266.0	38.0	53.0	72.5
30	104.7	47.0	38.1	265.0	38.0	53.0	72.4

ตาราง ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	104.6	47.1	38.5	263	38.0	53.0	72.4
32	104.6	47.2	38.7	266	38.0	53.0	72.5
33	104.6	47.4	39.9	276	39.0	53.0	72.1
34	104.6	47.4	39.0	270	39.0	53.0	72.1
35	103.4	47.2	39.0	270	39.0	53.0	70.6
36	102.2	47.2	39.4	270	39.0	53.0	70
37	102.3	47.2	39.7	271	40.0	54.0	71.1
38	103.8	47.3	40.3	269	40.0	54.0	71.9
39	103.3	47.5	40.2	271	40.0	54.0	72.1
40	104.0	47.7	39.9	269	40.0	54.0	72.3
41	104.7	47.9	40.3	271	40.0	55.0	72.8
42	105.1	48.1	40.8	271	40.0	55.0	72.8
43	105.1	48.4	42.0	271	41.0	55.0	72.7
44	105.2	48.7	42.3	271	41.0	55.0	72.8
45	105.3	49.0	42.1	272	41.0	55.0	73.0
46	105.3	48.9	41.7	273	41.0	55.0	72.8
47	105.2	48.9	41.9	271	41.0	55.0	72.7
48	105.2	48.9	42.1	270	41.0	55.0	72.8
49	105.3	49.1	42.4	371	41.0	55.0	72.7
50	105.1	49.1	42.6	270	41.0	56.0	72.6
51	105.3	49.3	42.8	270	41.0	56.0	72.9
52	105.3	49.3	42.8	269	41.0	56.0	72.9
53	105.4	49.4	42.8	270	42.0	56.0	73.0
54	105.3	49.4	42.4	272	42.0	56.0	72.7
55	105.2	49.3	42.9	270	42.0	56.0	73.1
56	105.4	49.5	42.8	269	42.0	56.0	73.4
57	105.4	49.5	42.7	270	42.0	56.0	73.3
58	105.6	49.4	42.6	271	42.0	56.0	73.7
59	105.8	49.5	42.5	271	42.0	56.0	73.8
60	105.7	49.5	42.4	269	42.0	56.0	74.0

ตาราง ภาคผนวก ง-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	38.0	27.9	28.8	308.0	30.0	39.0	34.9
2	58.4	29.9	28.9	321.0	32.0	44.0	47.1
3	70.4	30.4	29.1	317.0	32.0	47.0	58.8
4	83.7	30.6	30.2	299.0	32.0	47.0	69.8
5	91.7	31.3	30.3	292.0	32.0	47.0	74.1
6	96.9	33.3	34.0	290.0	32.0	47.0	76.9
7	98.6	36.8	35.7	279.0	32.0	47.0	78.0
8	98.4	38.7	33.2	274.0	33.0	47.0	78.3
9	98.7	39.6	33.1	272.0	33.0	47.0	78.8
10	99.0	40.6	33.2	269.0	33.0	48.0	79.0
11	99.6	41.4	33.4	269.0	34.0	48.0	79.7
12	100.2	42.1	33.5	268.0	34.0	48.0	80.1
13	100.8	42.8	34.1	269.0	34.0	49.0	80.4
14	101.4	43.3	33.7	269.0	35.0	49.0	81.0
15	102.0	43.6	34.5	269.0	35.0	49.0	81.7
16	102.5	44.2	35.4	269.0	35.0	50.0	82.0
17	102.8	44.7	35.8	270.0	35.0	50.0	81.8
18	103.0	75.1	35.6	269.0	36.0	50.0	82.4
19	103.4	45.5	35.6	271.0	36.0	50.0	82.8
20	103.8	45.6	35.9	271.0	36.0	51.0	83.1
21	104.2	45.9	35.8	271.0	37.0	51.0	83.4
22	104.5	46.1	36.0	273.0	37.0	51.0	83.5
23	106.4	46.2	35.8	273.0	38.0	52.0	83.8
24	105.1	46.3	36.2	273.0	38.0	52.0	84.0
25	105.2	46.4	36.4	274.0	38.0	53.0	84.0
26	105.3	46.5	36.3	275.0	39.0	53.0	84.1
27	105.2	46.7	37.0	272.0	39.0	53.0	84.1
28	105.2	46.8	36.6	272.0	39.0	53.0	84.0
29	105.4	46.8	36.0	274.0	39.0	53.0	84.3
30	105.3	46.7	36.7	271.0	39.0	53.0	84.4

ตารางภาคผนวก ง-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	105.4	47.0	37.1	274.0	40.0	54.0	84.4
32	105.3	47.4	37.2	271.0	40.0	54.0	84.4
33	105.3	47.4	37.5	269.0	40.0	54.0	84.3
34	105.3	47.4	37.1	271.0	40.0	54.0	84.3
35	105.3	47.5	37.7	273.0	40.0	54.0	84.4
36	105.2	47.5	37.5	270.0	40.0	54.0	84.4
37	105.4	47.7	38.1	272.0	40.0	54.0	84.5
38	105.4	48.0	38.2	270.0	41.0	54.0	84.6
39	105.4	48.0	38.4	269.0	41.0	55.0	84.4
40	105.2	48.0	38.4	271.0	41.0	55.0	84.4
41	105.3	48.1	38.8	273.0	41.0	55.0	84.2
42	105.4	48.8	39.2	272.0	41.0	55.0	84.3
43	105.4	48.5	38.7	270.0	41.0	55.0	84.3
44	105.5	48.5	39.5	270.0	41.0	55.0	84.2
45	105.5	48.6	40.3	272.0	41.0	56.0	84.3
46	105.6	48.7	40.1	273.0	42.0	56.0	84.2
47	105.6	48.8	39.4	270.0	42.0	56.0	84.3
48	105.7	48.8	40.6	270.0	42.0	56.0	84.3
49	105.7	48.8	40.0	273.0	42.0	56.0	84.4
50	105.8	48.9	41.1	272.0	42.0	56.0	84.3
51	105.8	49.0	40.6	271.0	42.0	56.0	84.1
52	105.8	48.9	36.4	271.0	42.0	56.0	84.7
53	105.8	49.0	40.1	273.0	42.0	56.0	84.2
54	105.8	48.8	39.3	270.0	42.0	56.0	84.6
55	105.7	48.9	38.9	269.0	42.0	57.0	84.7
56	105.9	48.9	38.9	269.0	42.0	57.0	84.9
57	105.8	48.9	38.4	269.0	43.0	57.0	85.1
58	106.0	48.9	38.2	273.0	43.0	57.0	85.3
59	105.9	48.9	38.6	269.0	43.0	57.0	85.3
60	106.0	48.8	38.8	269.0	43.0	5.0	85.2

ตาราง ภาคผนวก ง-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	31.5	26.3	26.8	320.0	28.0	37.0	30.9
2	49.6	28.0	28.3	313.0	30.0	44.0	40.6
3	62.7	28.9	28.1	307.0	31.0	47.0	49.6
4	78.4	29.6	26.0	286.0	30.0	47.0	60.2
5	87.3	29.6	26.9	287.0	31.0	46.0	65.4
6	93.9	30.0	29.5	284.0	31.0	46.0	69.1
7	97.0	34.5	34.3	277.0	32.0	46.0	70.0
8	98.0	37.1	33.0	271.0	32.0	47.0	70.5
9	98.4	38.1	34.9	269.0	33.0	47.0	71.1
10	98.7	38.9	33.9	266.0	32.0	47.0	70.9
11	99.1	39.8	34.8	265.0	33.0	47.0	71.4
12	99.5	40.2	33.1	266.0	33.0	47.0	71.4
13	100.2	40.8	31.8	266.0	34.0	48.0	72.2
14	100.7	41.1	34.2	266.0	34.0	48.0	71.9
15	101.0	41.6	35.0	265.0	34.0	48.0	72.8
16	101.5	42.1	36.3	264.0	34.0	48.0	73.1
17	102.0	42.5	38.2	276.0	35.0	50.0	73.0
18	103.0	42.6	35.1	276.0	35.0	49.0	73.7
19	102.9	43.1	37.5	268.0	35.0	49.0	73.3
20	103.1	43.5	36.6	266.0	35.0	49.0	74.0
21	103.3	43.0	35.0	265.0	36.0	49.0	74.1
22	103.1	43.1	36.3	265.0	36.0	50.0	74.2
23	103.2	43.6	35.7	264.0	36.0	50.0	74.1
24	103.3	43.2	34.5	263.0	36.0	50.0	74.4
25	103.4	43.9	35.0	265.0	37.0	51.0	74.1
26	103.3	43.2	36.0	262.0	37.0	50.0	74.4
27	103.3	43.5	37.0	261.0	37.0	51.0	74.6
28	103.3	43.4	34.5	262.0	37.0	51.0	74.2
29	103.1	43.7	37.4	262.0	37.0	51.0	73.9
30	103.0	44.3	39.9	263.0	37.0	51.0	73.9

ตาราง ภาคผนวก ง-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	103.2	44.5	37.1	265	38.0	52.0	73.9
32	103.4	44.7	37.7	263	38.0	52.0	74.3
33	103.5	45	37.3	264	38.0	52.0	74.2
34	103.6	44.2	33.6	263	38.0	52.0	75.1
35	103.7	43.9	35.9	264	39.0	52.0	74.8
36	103.7	44.4	38.1	263	38.0	52.0	74.5
37	103.7	44.9	38.8	264	39.0	53.0	74.6
38	103.8	45.8	40.6	264	39.0	53.0	74.8
39	104.1	45.8	39.5	267	39.0	53.0	74.9
40	104.2	46.2	39.8	265	39.0	53.0	75.5
41	104.2	46.1	37.3	264	39.0	53.0	75.4
42	104.2	45.5	36.8	264	39.0	53.0	75.4
43	104.2	45.3	36.6	263	40.0	53.0	75.2
44	104.0	45.2	36.0	264	39.0	53.0	75.1
45	103.9	44.9	39.7	264	40.0	54.0	75.1
46	104.0	46.0	39.3	264	40.0	54.0	75.2
47	104.0	46.2	40.2	264	40.0	54.0	75.0
48	104.2	46.3	40.8	264	40.0	54.0	75.4
49	104.3	46.6	39.8	264	40.0	54.0	75.2
50	104.1	46.3	40.6	264	40.0	54.0	75.3
51	104.1	46.3	39.3	264	40.0	54.0	75
52	104.2	46.6	39.5	264	40.0	54.0	75.2
53	104.1	46.3	40.7	265	41.0	55.0	75.4
54	104.6	47.1	41.0	265	41.0	55.0	75.9
55	104.8	47.4	40.6	266	41.0	55.0	76.2
56	104.9	47.5	41.8	265	41.0	55.0	75.7
57	104.8	47.4	41.0	266	41.0	55.0	76.1
58	104.8	47.5	40.2	267	41.0	55.0	75.4
59	104.7	47.1	40.9	267	41.0	55.0	76.0
60	105.0	47.3	39.1	265	41.0	55.0	76.2

ภาคผนวก จ

ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3000 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก จ-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ไม่ผ่านท่อทองแดง

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	30.2	24.4	25.8	398.0	34.0	46.0	-
2	51.9	26.3	25.3	387.0	38.0	56.0	-
3	79.3	26.9	28.8	390.0	40.0	60.0	-
4	96.8	27.5	26.7	385.0	40.0	60.0	-
5	107.4	30.1	34.0	382.0	40.0	60.0	-
6	110.5	33.6	33.8	369.0	40.0	60.0	-
7	112.7	35.5	34.2	373.0	41.0	60.0	-
8	113.9	37.5	37.2	372.0	41.0	59.0	-
9	115.0	39.6	35.7	373.0	41.0	60.0	-
10	115.8	40.3	35.8	355.0	41.0	60.0	-
11	115.9	40.9	35.6	355.0	42.0	60.0	-
12	116.9	41.9	31.2	354.0	42.0	60.0	-
13	117.5	42.9	40.0	356.0	42.0	61.0	-
14	117.9	43.8	37.4	354.0	42.0	61.0	-
15	118.2	44.2	34.0	354.0	42.0	61.0	-
16	118.4	44.3	37.8	354.0	42.0	61.0	-
17	119.1	45.3	40.7	353.0	43.0	61.0	-
18	119.5	46.4	40.7	353.0	43.0	61.0	-
19	119.2	46.8	39.9	352.0	43.0	62.0	-
20	118.9	46.2	33.8	359.0	43.0	62.0	-
21	119.0	46.3	41.9	352.0	43.0	62.0	-
22	118.7	47.0	43.2	351.0	43.0	62.0	-
23	118.7	47.5	39.9	351.0	44.0	62.0	-
24	118.6	47.6	43.9	350.0	44.0	62.0	-
25	118.6	47.9	40.3	350.0	44.0	62.0	-
26	118.9	47.3	33.3	348.0	44.0	62.0	-
27	118.9	46.9	40.3	350.0	45.0	63.0	-
28	119.0	48.1	34.5	347.0	44.0	63.0	-
29	199.4	47.5	40.5	349.0	45.0	63.0	-
30	119.9	48.5	42.5	348.0	45.0	63.0	-

ตาราง ภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	119.1	48.1	41.7	348	45.0	63.0	-
32	119.4	48.6	44.0	348	45.0	63.0	-
33	119.9	49.8	42.9	349	46.0	63.0	-
34	119.7	49.6	34.6	348	45.0	63.0	-
35	119.6	48	36.8	348	46.0	63.0	-
36	120	47.9	41.9	347	45.0	63.0	-
37	119.6	48.5	39.1	347	46.0	63.0	-
38	119.6	48.5	41.8	347	46.0	64.0	-
39	119.6	49.1	43.1	349	46.0	64.0	-
40	119.3	49.2	42.9	347	46.0	64.0	-
41	119.9	49.1	42.8	347	46.0	64.0	-
42	120.2	49.1	35.2	347	46.0	64.0	-
43	120.3	49.2	43.0	346	46.0	64.0	-
44	119.1	49.5	43.3	347	46.0	64.0	-
45	118.7	48.7	41.2	347	47.0	64.0	-
46	118.5	48.7	42	347	47.0	64.0	-
47	118.5	48.7	40.9	347	47.0	55.0	-
48	118.9	49.3	42.6	348	47.0	64.0	-
49	119	49.8	44.3	348	47.0	65.0	-
50	119.3	49.9	44.5	349	47.0	65.0	-
51	199.6	50	43.3	351	47.0	65.0	-
52	119.4	50.0	45	349	47.0	65.0	-
53	119.4	50.4	38.5	348	47.0	65.0	-
54	119.3	49.2	35.5	346	47.0	65.0	-
55	119.3	48.7	42.4	346	47.0	65.0	-
56	119.5	50	43	347	47.0	65.0	-
57	119.2	50	45.3	348	48.0	65.0	-
58	118.9	49.9	36.7	346	47.0	65.0	-
59	119.8	49.9	39.3	346	47.0	65.0	-
60	119.6	49.2	38.3	345	47.0	65.0	-

ตาราง ภาคผนวก จ-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	45.3	24.1	24.9	439.0	32.0	49.0	36.0
2	59.5	24.9	23.9	426.0	34.0	53.0	44.2
3	78.0	25.2	24.5	419.0	35.0	56.0	52.8
4	97.9	26.0	27.5	420.0	35.0	57.0	62.4
5	107.9	29.1	31.8	412.0	36.0	57.0	67.3
6	110.7	33.2	34.1	400.0	36.0	57.0	68.4
7	111.7	35.7	28.4	393.0	37.0	57.0	69.0
8	112.4	37.0	33.6	385.0	37.0	57.0	69.3
9	113.5	38.3	35.5	383.0	37.0	57.0	69.3
10	114.1	39.8	31.5	381.0	37.0	57.0	69.3
11	115.0	40.3	32.6	376.0	38.0	57.0	70.3
12	115.5	41.2	34.4	372.0	38.0	57.0	70.8
13	116.0	42.1	28.6	372.0	38.0	58.0	70.7
14	116.7	43.1	29.8	370.0	38.0	58.0	72.0
15	117.5	43.2	34.8	372.0	39.0	58.0	71.7
16	118.3	44.0	38.9	370.0	39.0	59.0	72.1
17	118.6	45.0	38.6	368.0	40.0	59.0	72.6
18	118.6	44.9	39.2	367.0	40.0	59.0	72.7
19	119.2	45.2	36.6	365.0	41.0	59.0	73.4
20	119.3	45.0	36.3	363.0	41.0	59.0	73.4
21	119.1	45.3	40.1	364.0	41.0	60.0	72.9
22	119.8	46.5	36.9	363.0	41.0	60.0	73.5
23	119.5	46.5	39.8	363.0	42.0	60.0	73.7
24	119.6	47.1	42.0	363.0	42.0	60.0	73.4
25	119.6	47.7	38.6	363.0	42.0	61.0	73.5
26	119.4	47.9	37.8	361.0	42.0	61.0	73.4
27	119.7	47.5	35.3	361.0	43.0	61.0	74.2
28	120.0	47.9	33.6	361.0	43.0	61.0	73.9
29	119.1	47.2	37.5	360.0	43.0	61.0	73.9
30	119.2	46.9	39.1	360.0	43.0	61.0	74.1

ตาราง ภาคผนวก จ-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	119.7	48.2	41.7	360.0	43.0	62.0	74.1
32	120.1	49.0	42.7	361.0	43.0	62.0	74.0
33	120.4	49.3	41.4	359.0	44.0	62.0	74.7
34	120.4	49.4	41.4	361.0	44.0	62.0	75.2
35	120.3	49.8	38.3	361.0	44.0	62.0	74.6
36	120.0	49.4	42.0	360.0	44.0	62.0	74.2
37	120.0	49.7	41.8	360.0	45.0	63.0	74.0
38	120.0	49.2	40.6	359.0	44.0	63.0	74.1
39	119.7	49.1	42.8	360.0	45.0	63.0	73.0
40	119.8	49.7	42.1	360.0	45.0	63.0	74.1
41	119.8	49.0	35.0	358.0	46.0	63.0	74.8
42	119.9	47.9	33.6	357.0	45.0	63.0	74.4
43	119.7	47.8	38.6	357.0	45.0	64.0	74.6
44	119.9	48.4	40.0	357.0	45.0	63.0	74.7
45	119.9	48.5	42.9	358.0	46.0	64.0	75.0
46	119.9	49.0	42.0	358.0	46.0	64.0	74.7
47	119.7	48.7	41.7	359.0	46.0	64.0	74.4
48	120.4	49.5	38.1	358.0	46.0	64.0	74.7
49	120.2	48.8	41.0	357.0	46.0	64.0	74.7
50	120.6	49.3	42.6	360.0	46.0	64.0	75.4
51	120.5	49.7	41.2	359.0	47.0	64.0	74.8
52	120.5	49.8	44.4	359.0	46.0	64.0	75.4
53	120.7	50.4	43.5	360.0	47.0	64.0	75.3
54	120.4	50.4	43.0	358.0	46.0	64.0	75.2
55	120.6	50.6	31.7	357.0	47.0	64.0	75.6
56	120.0	49.4	39.3	356.0	46.0	64.0	75.5
57	120.5	50.0	42.3	358.0	47.0	65.0	76.1
58	120.7	49.7	38.7	356.0	47.0	65.0	75.4
59	119.8	49.4	41.2	356.0	47.0	65.0	75.1
60	119.7	49.6	41.0	356.0	47.0	65.0	75.6

ตาราง ภาคผนวก จ-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	46.4	27.6	26.3	380.0	33.0	50.0	38.1
2	74.4	28.3	27.7	384.0	34.0	54.0	52.3
3	98.7	28.9	28.7	383.0	35.0	54.0	64.8
4	105.6	30.8	29.5	380.0	35.0	54.0	68.5
5	109.7	35.0	30.5	378.0	36.0	55.0	70.2
6	111.0	37.0	30.5	373.0	36.0	55.0	71.1
7	112.5	38.9	31.8	373.0	37.0	56.0	71.7
8	113.4	40.1	32.0	371.0	37.0	56.0	72.2
9	114.4	41.3	32.5	370.0	38.0	57.0	72.4
10	115.1	42.4	32.7	369.0	38.0	57.0	72.9
11	115.7	43.2	33.6	368.0	39.0	58.0	73.2
12	116.5	44.2	34.0	368.0	39.0	58.0	73.4
13	117.2	44.9	34.6	367.0	40.0	58.0	73.6
14	117.5	45.4	35.0	367.0	40.0	58.0	73.9
15	117.9	46.3	35.6	357.0	40.0	58.0	74.6
16	117.2	46.9	36.2	352.0	39.0	58.0	72.8
17	113.7	47.4	35.7	349.0	40.0	59.0	71.3
18	111.4	47.5	36.2	344.0	40.0	59.0	70.3
19	113.7	47.6	36.8	347.0	41.0	59.0	74.1
20	116.5	47.7	36.5	345.0	41.0	60.0	75.0
21	117.0	47.9	36.3	346.0	41.0	60.0	75.1
22	117.2	48.1	36.7	346.0	41.0	60.0	75.1
23	117.2	48.2	37.3	345.0	42.0	60.0	75.4
24	117.3	48.5	37.3	345.0	42.0	61.0	75.6
25	117.3	48.3	37.3	344.0	42.0	61.0	75.8
26	117.3	48.6	37.4	344.0	42.0	61.0	76.0
27	117.5	48.5	37.7	344.0	43.0	61.0	76.4
28	117.6	48.4	37.3	344.0	43.0	62.0	76.5
29	177.6	48.6	37.3	344.0	43.0	62.0	75.4
30	117.3	48.9	37.5	342.0	43.0	62.0	76.4

ตาราง ภาคผนวก จ-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	117.4	48.8	36.6	362.0	44.0	62.0	76.6
32	117.6	48.3	36.6	342.0	44.0	62.0	76.7
33	117.3	48.7	67.6	341.0	44.0	62.0	76.7
34	117.4	49.0	67.5	341.0	44.0	63.0	76.5
35	117.4	49.1	67.5	342.0	45.0	63.0	76.8
36	117.6	48.9	37.3	341.0	44.0	63.0	76.6
37	117.3	48.7	37.6	341.0	45.0	63.0	76.7
38	117.5	48.7	37.8	340.0	45.0	63.0	76.7
39	117.4	49.0	38.9	341.0	45.0	64.0	76.8
40	117.5	49.0	38.3	341.0	45.0	64.0	77.0
41	117.3	49.0	38.3	340.0	45.0	64.0	76.7
42	117.2	49.3	38.2	340.0	45.0	64.0	76.8
43	117.3	49.3	38.4	341.0	46.0	64.0	77.1
44	117.3	49.1	38.2	340.0	46.0	64.0	77.0
45	117.4	49.1	38.8	341.0	46.0	64.0	77.2
46	117.2	49.9	38.4	340.0	46.0	64.0	77.3
47	117.2	49.6	38.0	341.0	46.0	64.0	77.7
48	117.3	49.4	38.5	340.0	46.0	64.0	77.8
49	117.3	49.0	37.0	340.0	47.0	65.0	77.9
50	117.4	48.9	37.8	339.0	46.0	65.0	77.9
51	117.4	49.0	37.8	340.0	47.0	65.0	78.3
52	117.5	49.0	36.9	339.0	46.0	65.0	78.7
53	117.6	49.1	37.9	340.0	47.0	65.0	78.5
54	117.5	49.1	38.2	340.0	47.0	65.0	78.5
55	117.5	49.4	37.9	340.0	47.0	65.0	78.6
56	117.3	49.0	37.4	339.0	47.0	65.0	78.5
57	117.5	49.1	38.2	341.0	47.0	65.0	78.4
58	117.5	49.2	39.1	340.0	47.0	65.0	78.5
59	117.7	49.5	38.8	341.0	47.0	65.0	78.7
60	117.7	49.7	38.8	340.0	47.0	65.0	78.9

ตาราง ภาคผนวก จ-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	55.7	28.5	27.9	367.0	35.0	55.0	34.9
2	77.0	28.8	29.3	370.0	36.0	57.0	58.1
3	95.5	29.5	29.5	367.0	36.0	57.0	71.7
4	105.4	32.0	34.0	362.0	37.0	58.0	72.1
5	107.8	35.3	35.6	357.0	37.0	58.0	73.8
6	109.3	38.0	35.2	351.0	37.0	58.0	74.5
7	110.7	39.6	37.1	349.0	38.0	58.0	73.7
8	111.6	40.8	35.1	346.0	38.0	57.0	74.5
9	112.5	41.9	33.3	345.0	39.0	58.0	74.4
10	113.2	42.8	37.8	342.0	39.0	58.0	74.3
11	113.8	43.8	39.1	341.0	39.0	58.0	74.3
12	114.1	44.6	40.2	338.0	39.0	57.0	74.2
13	114.4	45.3	38.4	339.0	40.0	58.0	74.9
14	114.7	45.7	38.4	336.0	40.0	59.0	74.1
15	115.1	46.0	38.6	336.0	41.0	59.0	73.7
16	115.6	46.4	39.9	335.0	41.0	59.0	74.3
17	116.1	47.1	37.7	335.0	41.0	60.0	73.8
18	116.4	47.3	39.6	335.0	41.0	60.0	74.0
19	116.8	47.4	39.2	333.0	42.0	60.0	74.0
20	116.8	47.5	40.8	332.0	42.0	60.0	74.3
21	116.7	48.0	38.8	331.0	42.0	60.0	73.8
22	116.9	47.7	39.5	330.0	42.0	61.0	74.0
23	116.8	47.6	40.9	331.0	42.0	61.0	74.0
24	116.7	48.1	39.7	330.0	43.0	61.0	75.5
25	116.7	48.1	42.2	331.0	43.0	61.0	74.0
26	116.7	48.7	39.9	330.0	43.0	61.0	75.4
27	116.4	48.6	42.1	331.0	44.0	61.0	74.6
28	116.4	48.7	41.7	331.0	44.0	61.0	76.3
29	116.3	48.7	43.7	331.0	44.0	62.0	75.0
30	116.6	48.8	39.1	330.0	44.0	62.0	75.2

ตารางภาคผนวก จ-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	116.6	48.8	42.6	330.0	44.0	62.0	75.1
32	116.0	49.2	42.1	330.0	44.0	62.0	73.5
33	116.3	49.4	43.0	330.0	45.0	63.0	74.5
34	116.3	49.4	44.2	330.0	44.0	63.0	73.7
35	116.3	49.5	44.0	329.0	45.0	63.0	74.5
36	116.2	49.5	43.0	330.0	45.0	63.0	74.4
37	116.2	49.5	41.9	330.0	45.0	63.0	74.3
38	116.1	49.5	42.3	329.0	45.0	63.0	74.3
39	116.1	49.7	39.8	329.0	45.0	63.0	74.2
40	116.1	49.6	41.3	327.0	45.0	63.0	74.9
41	116.0	49.3	42.4	329.0	46.0	64.0	74.1
42	116.0	49.5	42.5	329.0	46.0	63.0	73.7
43	116.1	49.5	43.7	329.0	46.0	64.0	74.3
44	116.0	49.6	43.7	329.0	46.0	64.0	73.8
45	115.8	49.4	44.1	330.0	46.0	64.0	74.0
46	115.9	49.6	44.0	329.0	46.0	64.0	74.0
47	115.9	49.5	43.5	329.0	46.0	64.0	74.2
48	115.9	49.7	43.7	329.0	46.0	64.0	74.0
49	115.9	49.8	43.0	329.0	46.0	64.0	74.5
50	116.0	49.8	43.8	329.0	46.0	64.0	74.4
51	115.8	49.7	44.0	329.0	46.0	64.0	74.2
52	115.8	49.9	44.2	329.0	46.0	64.0	74.3
53	115.7	50.0	44.9	329.0	46.0	64.0	74.2
54	115.8	49.9	44.1	329.0	47.0	64.0	74.2
55	115.8	49.9	44.4	329.0	47.0	64.0	74.3
56	115.8	49.9	45.3	329.0	47.0	64.0	74.1
57	115.7	49.7	44.9	329.0	47.0	65.0	74.4
58	115.8	49.8	42.7	329.0	47.0	65.0	74.7
59	115.8	49.7	45.1	328.0	47.0	65.0	74.2
60	115.9	49.8	43.0	329.0	47.0	65.0	74.5

ตาราง ภาคผนวก จ-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ผ่านท่อทองแดง Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	35.8	27.7	28.9	411.0	33.0	49.0	35.2
2	59.4	28.6	29.3	377.0	35.0	56.0	46.6
3	78.1	29.2	29.1	368.0	36.0	58.0	58.4
4	92.8	29.5	30.4	361.0	35.0	57.0	67.0
5	102.0	31.0	35.0	356.0	36.0	57.0	72.4
6	106.5	35.0	36.4	353.0	36.0	54.0	75.0
7	107.3	37.9	36.3	356.0	37.0	57.0	75.3
8	109.6	39.3	36.7	354.0	37.0	57.0	76.6
9	110.9	41.0	35.5	351.0	38.0	57.0	77.4
10	112.3	42.2	37.0	350.0	38.0	57.0	77.8
11	113.0	43.4	38.1	349.0	39.0	58.0	78.2
12	113.7	44.3	38.4	349.0	39.0	58.0	78.9
13	114.5	45.4	38.0	347.0	40.0	58.0	79.5
14	115.3	45.6	38.2	346.0	40.0	59.0	80.0
15	115.9	46.4	37.7	347.0	41.0	59.0	80.4
16	116.5	46.7	38.0	345.0	40.0	59.0	80.8
17	116.7	46.9	36.8	345.0	41.0	60.0	80.9
18	117.4	47.1	39.5	344.0	41.0	60.0	81.2
19	117.2	47.2	42.6	343.0	41.0	60.0	81.2
20	117.7	47.3	36.9	343.0	41.0	60.0	82.0
21	117.8	48.1	38.6	344.0	42.0	60.0	81.6
22	117.6	48.6	40.9	342.0	42.0	60.0	82.5
23	118.5	48.7	35.1	341.0	42.0	61.0	82.9
24	118.9	48.3	34.8	340.0	42.0	61.0	83.2
25	119.4	48.3	38.4	341.0	43.0	61.0	83.9
26	120.0	48.6	42.4	341.0	43.0	61.0	84.4
27	120.0	49.3	40.5	340.0	43.0	61.0	83.7
28	119.8	48.7	39.2	341.0	43.0	62.0	83.2
29	119.6	48.2	35.1	339.0	44.0	62.0	83.3
30	119.8	48.3	39.2	339.0	44.0	62.0	84.5

ตาราง ภาคผนวก จ-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	119.8	48.8	41.5	340	44.0	62.0	84.1
32	119.4	49.4	42.4	340	44.0	62.0	83.9
33	119.2	49.8	32.8	340	44.0	62.0	83.4
34	118.9	48.8	34.7	338	44.0	62.0	83.7
35	119.1	48.6	34.8	338	45.0	63.0	83.9
36	119.4	48.5	37.9	338	45.0	63.0	84.3
37	119.5	48.9	42.0	339	45.0	63.0	84.0
38	119.1	49.2	42.6	338	45.0	63.0	84.0
39	119.3	49.3	37.1	336	45.0	63.0	84.4
40	119.6	49.0	36.0	337	45.0	63.0	84.3
41	119.7	49.6	40.3	338	46.0	63.0	84.2
42	119.2	49.2	42.7	337	45.0	63.0	84.7
43	119.3	49.7	42.6	336	46.0	63.0	84.4
44	119.5	49.8	42	338	46.0	64.0	84.1
45	119.0	50.1	42.3	338	46.0	64.0	83.9
46	118.9	50.4	44.4	339	46.0	64.0	83.9
47	119.0	50.6	40.3	338	46.0	64.0	84.2
48	119.1	50.5	43.8	339	46.0	64.0	84.1
49	118.9	50.8	43.6	339	46.0	64.0	83.8
50	118.8	50.5	42.2	338	46.0	64.0	84.0
51	119.1	50.7	44.1	339	47.0	64.0	84.3
52	119.1	51.1	43.4	338	46.0	64.0	83.9
53	118.9	50.8	44.0	339	47.0	65.0	84.0
54	118.6	50.8	44.0	337	47.0	65.0	84.3
55	118.8	51.0	43.6	338	47.0	65.0	84.3
56	118.8	51.0	44.3	338	47.0	65.0	84.2
57	118.6	51.2	44.0	338	47.0	65.0	84.3
58	118.8	51.5	42.2	337	47.0	65.0	84.3
59	118.5	51.0	42.9	336	47.0	65.0	84.5
60	118.9	51.2	41.8	336	47.0	65.0	84.3

ภาคผนวก ฉ

ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ฉ-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ไม่ผ่านท่อทองแดง

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	28.1	28.9	30.0	169.0	31.0	33.0	-
2	32.5	28.9	31.0	166.0	31.0	33.0	-
3	38.4	29.0	31.0	163.0	31.0	34.0	-
4	45.6	29.0	31.0	160.0	31.0	34.0	-
5	58.7	29.1	31.0	158.0	32.0	34.0	-
6	58.1	29.0	31.0	155.0	32.0	34.0	-
7	60.1	29.0	31.0	153.0	32.0	34.0	-
8	61.9	29.0	32.0	151.0	32.0	34.0	-
9	63.3	29.1	32.0	150.0	32.0	34.0	-
10	64.3	29.1	32.0	149.0	32.0	34.0	-
11	65.2	29.2	32.0	149.0	32.0	34.0	-
12	65.8	29.2	32.0	148.0	32.0	34.0	-
13	66.4	29.3	33.0	148.0	32.0	34.0	-
14	67.0	29.2	33.0	147.0	33.0	35.0	-
15	67.7	29.3	33.0	146.0	33.0	35.0	-
16	69.0	29.3	33.0	146.0	33.0	35.0	-
17	69.9	29.4	33.0	146.0	33.0	35.0	-
18	70.8	29.3	33.0	147.0	33.0	35.0	-
19	71.5	29.5	34.0	146.0	33.0	35.0	-
20	72.3	29.5	34.0	147.0	33.0	35.0	-
21	72.7	29.5	34.0	145.0	33.0	35.0	-
22	73.1	29.5	34.0	145.0	33.0	35.0	-
23	73.6	29.5	34.0	145.0	33.0	35.0	-
24	74.1	29.6	34.0	145.0	33.0	35.0	-
25	74.3	29.6	34.0	145.0	33.0	35.0	-
26	74.7	29.7	34.0	145.0	33.0	35.0	-
27	75.0	29.7	34.0	145.0	33.0	35.0	-
28	75.2	29.7	34.0	145.0	33.0	35.0	-
29	75.3	29.7	35.0	145.0	33.0	35.0	-
30	75.3	29.7	35.0	144.0	33.0	35.0	-

ตาราง ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	75.4	35.0	145.0	33.0	35.0	-	-
32	75.7	35.0	145.0	33.0	35.0	-	-
33	75.9	35.0	144.0	33.0	35.0	-	-
34	76.0	35.0	145.0	33.0	35.0	-	-
35	75.9	35.0	145.0	33.0	35.0	-	-
36	76.0	35.0	144.0	33.0	35.0	-	-
37	76.2	35.0	144.0	33.0	35.0	-	-
38	76.3	35.0	145.0	34.0	35.0	-	-
39	76.2	35.0	145.0	34.0	36.0	-	-
40	76.4	35.0	144.0	34.0	36.0	-	-
41	76.6	35.0	145.0	34.0	36.0	-	-
42	76.6	35.0	145.0	34.0	36.0	-	-
43	76.5	35.0	144.0	34.0	36.0	-	-
44	76.4	35.0	144.0	34.0	36.0	-	-
45	76.5	35.0	144.0	34.0	36.0	-	-
46	76.5	35.0	145.0	34.0	36.0	-	-
47	76.6	35.0	144.0	34.0	36.0	-	-
48	76.5	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
49	76.6	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
50	76.5	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
51	76.4	36.0	146.0	34.0	36.0	-	-
52	76.5	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
53	76.6	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
54	76.5	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
55	76.6	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
56	76.9	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
57	76.8	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
58	76.9	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
59	76.9	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-
60	76.9	36.0	145.0	34.0	36.0	-	-

ตาราง ภาคผนวก ฉ-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	30.7	28.4	32.0	117.0	34.0	35.0	49.4
2	33.7	28.4	31.0	118.0	34.0	35.0	50.2
3	40.9	28.5	32.0	120.0	34.0	36.0	51.1
4	48.7	28.5	32.0	122.0	34.0	36.0	52.3
5	56.8	28.5	32.0	125.0	34.0	36.0	53.3
6	57.1	28.5	32.0	128.0	34.0	36.0	54.2
7	58.2	28.7	32.0	130.0	34.0	36.0	55.0
8	59.4	28.7	32.0	132.0	34.0	36.0	56.0
9	60.6	28.8	32.0	133.0	34.0	36.0	57.2
10	61.1	28.9	33.0	135.0	34.0	36.0	58.3
11	62.8	28.8	33.0	136.0	34.0	36.0	59.0
12	63.9	28.9	33.0	138.0	34.0	36.0	60.0
13	65.0	28.9	33.0	139.0	34.0	36.0	60.8
14	66.3	29.0	33.0	140.0	34.0	36.0	61.0
15	67.4	29.0	33.0	140.0	34.0	36.0	62.0
16	68.4	29.1	34.0	141.0	34.0	36.0	62.5
17	69.4	29.1	34.0	142.0	34.0	36.0	63.0
18	70.5	29.2	34.0	142.0	34.0	36.0	63.3
19	71.1	29.3	34.0	142.0	34.0	36.0	63.6
20	71.8	29.2	34.0	142.0	34.0	36.0	63.8
21	72.4	29.3	34.0	143.0	34.0	36.0	64.0
22	73	29.4	34.0	143.0	34.0	36.0	64.2
23	73.3	29.3	34.0	143.0	34.0	36.0	64.2
24	73.7	29.4	34.0	143.0	34.0	36.0	64.5
25	73.9	29.4	35.0	143.0	34.0	36.0	64.0
26	74.2	29.4	35.0	145.0	34.0	36.0	64.2
27	74.5	29.5	35.0	144.0	34.0	36.0	64.5
28	74.6	29.5	35.0	145.0	34.0	36.0	64.8
29	74.6	29.7	35.0	144.0	34.0	36.0	64.4
30	74.6	29.7	35.0	145.0	34.0	36.0	64.7

ตาราง ภาคผนวก ฉ-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิน้ำมัน ออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	74.7	29.7	35.0	145.0	34.0	36.0	64.5
32	74.8	29.8	35.0	145.0	34.0	36.0	64.4
33	75.0	29.7	35.0	145.0	34.0	36.0	64.9
34	75.0	29.8	35.0	145.0	34.0	36.0	64.8
35	75.1	29.8	35.0	145.0	34.0	36.0	64.6
36	75.2	29.9	35.0	145.0	34.0	36.0	64.6
37	75.3	29.9	36.0	145.0	34.0	36.0	64.4
38	75.3	30.0	36.0	145.0	34.0	36.0	64.6
39	75.3	30.0	36.0	145.0	34.0	37.0	65.5
40	75.2	30.1	36.0	145.0	34.0	37.0	65.1
41	75.3	30.1	36.0	145.0	34.0	37.0	64.8
42	75.5	30.2	36.0	145.0	34.0	37.0	65.3
43	75.7	30.3	36.0	145.0	34.0	37.0	65.4
44	75.9	30.4	36.0	145.0	35.0	37.0	65.5
45	75.8	30.4	36.0	145.0	35.0	37.0	65.3
46	75.8	30.4	36.0	145.0	35.0	37.0	64.9
47	75.9	30.5	36.0	145.0	35.0	37.0	65.5
48	75.9	30.5	36.0	145.0	35.0	37.0	65.1
49	75.9	30.7	36.0	145.0	35.0	37.0	65.0
50	75.9	30.7	36.0	145.0	35.0	37.0	65.6
51	75.9	30.7	36.0	145.0	35.0	37.0	65.2
52	75.9	30.7	36.0	145.0	35.0	37.0	64.2
53	75.8	30.8	36.0	145.0	35.0	37.0	65.1
54	75.9	30.9	36.0	145.0	35.0	37.0	65.5
55	75.9	31.0	36.0	144.0	35.0	37.0	65.4
56	75.9	31.0	36.0	145.0	35.0	37.0	65.4
57	75.8	31.0	36.0	144.0	35.0	37.0	65.4
58	75.6	31.1	36.0	144.0	35.0	37.0	65.4
59	75.6	31.1	37.0	145.0	35.0	37.0	65.1
60	75.9	31.1	36.0	144.0	35.0	37.0	65.1

ตาราง ภาคผนวก ฉ-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.8	30.2	34.0	139.0	34.0	36.0	51.9
2	32.2	30.2	34.0	139.0	34.0	36.0	53.7
3	39.1	30.2	34.0	140.0	34.0	36.0	54.4
4	45.9	30.2	35.0	140.0	34.0	36.0	55.4
5	54.8	30.2	35.0	140.0	35.0	36.0	56.5
6	60.0	30.2	35.0	140.0	34.0	36.0	57.1
7	62.2	30.3	35.0	138.0	34.0	36.0	57.6
8	63.3	30.4	35.0	138.0	35.0	36.0	58.1
9	64.2	30.5	35.0	138.0	34.0	36.0	57.7
10	65.0	30.5	35.0	138.0	34.0	36.0	58.6
11	66.0	30.7	35.0	137.0	34.0	36.0	59.1
12	66.7	30.8	35.0	138.0	34.0	37.0	59.0
13	67.3	31.0	36.0	138.0	35.0	36.0	60.0
14	67.9	31.0	36.0	138.0	35.0	37.0	61.6
15	68.2	31.0	36.0	138.0	35.0	36.0	61.5
16	68.6	31.1	36.0	138.0	35.0	36.0	62.2
17	69.0	31.2	36.0	139.0	35.0	37.0	62.4
18	69.7	31.2	36.0	139.0	35.0	37.0	62.9
19	70.6	31.3	36.0	139.0	35.0	37.0	63.4
20	71.1	31.3	36.0	140.0	35.0	36.0	63.4
21	72.2	31.4	36.0	139.0	35.0	36.0	64.3
22	72.6	31.4	36.0	139.0	35.0	36.0	64.4
23	72.7	31.5	36.0	139.0	35.0	36.0	64.5
24	73.2	31.5	36.0	141.0	35.0	37.0	64.6
25	73.5	31.7	36.0	141.0	35.0	37.0	64.9
26	73.8	31.6	36.0	141.0	35.0	37.0	64.9
27	74.2	31.6	36.0	141.0	35.0	36.0	64.9
28	74.3	31.7	36.0	141.0	35.0	36.0	65.0
29	74.4	31.7	36.0	141.0	34.0	36.0	64.9
30	74.7	31.7	36.0	141.0	35.0	37.0	65.8

ตาราง ภาคผนวก ฉ-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	74.8	31.7	36.0	141.0	35.0	37.0	65.5
32	75.0	31.7	36.0	141.0	35.0	37.0	65.7
33	74.9	31.8	37.0	141.0	35.0	37.0	65.7
34	75.3	31.8	37.0	141.0	35.0	36.0	65.6
35	75.3	32.0	37.0	141.0	35.0	37.0	65.7
36	75.6	31.9	37.0	141.0	35.0	37.0	66.0
37	75.7	31.9	37.0	141.0	34.0	37.0	65.7
38	75.8	31.9	37.0	141.0	35.0	37.0	65.5
39	75.6	32.1	37.0	141.0	34.0	36.0	65.3
40	75.7	32.1	37.0	142.0	35.0	37.0	65.6
41	75.9	32.1	37.0	142.0	35.0	37.0	66.1
42	75.9	32.2	37.0	142.0	35.0	37.0	65.0
43	75.8	32.2	37.0	142.0	34.0	36.0	66.0
44	75.9	32.3	37.0	141.0	34.0	37.0	66.1
45	75.7	32.4	37.0	141.0	34.0	36.0	66.1
46	75.8	32.4	37.0	141.0	34.0	36.0	66.0
47	75.8	32.4	37.0	141.0	34.0	37.0	66.3
48	75.8	32.5	37.0	141.0	34.0	37.0	66.2
49	75.8	32.6	37.0	141.0	34.0	37.0	66.4
50	75.9	32.6	37.0	141.0	34.0	36.0	66.3
51	75.9	32.6	37.0	141.0	34.0	36.0	65.8
52	76	32.7	37.0	141.0	34.0	36.0	65.4
53	76	32.7	37.0	141.0	34.0	36.0	65.6
54	76	32.7	37.0	141.0	34.0	36.0	64.9
55	75.9	32.8	37.0	141.0	34.0	36.0	65.4
56	75.7	32.8	37.0	141.0	34.0	36.0	66.0
57	75.5	32.9	37.0	141.0	34.0	36.0	65.4
58	75.6	33.0	37.0	140.0	34.0	36.0	65.2
59	75.6	33.0	37.0	140.0	34.0	36.0	65.6
60	75.6	33.0	37.0	140.0	34.0	36.0	64.0

ตาราง ภาคผนวก ฉ-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	32.8	31.0	35.0	167.0	36.0	38.0	48.2
2	29.8	31.0	35.0	161.0	36.0	38.0	50.5
3	33.5	31.0	35.0	158.0	36.0	38.0	51.8
4	44.7	31.0	35.0	156.0	36.0	38.0	52.7
5	55.6	31.0	35.0	154.0	36.0	38.0	53.9
6	59.1	31.0	35.0	153.0	36.0	38.0	54.4
7	61.7	31.0	36.0	151.0	36.0	38.0	55.1
8	63.7	31.1	36.0	150.0	36.0	37.0	55.6
9	65.0	31.0	36.0	147.0	36.0	38.0	56.2
10	66.1	31.0	36.0	146.0	35.0	37.0	56.4
11	67.1	31.1	36.0	144.0	35.0	37.0	57.1
12	67.8	31.0	36.0	143.0	35.0	37.0	58.1
13	68.5	31.1	36.0	142.0	35.0	37.0	59.0
14	68.9	31.1	36.0	141.0	35.0	37.0	59.3
15	69.2	31.1	36.0	141.0	35.0	37.0	59.9
16	69.2	31.2	36.0	140.0	35.0	37.0	60.3
17	70.5	31.2	36.0	140.0	35.0	37.0	60.9
18	71.4	31.2	36.0	139.0	35.0	37.0	61.1
19	72.1	31.3	36.0	139.0	35.0	37.0	60.8
20	72.6	31.3	36.0	137.0	35.0	37.0	61.1
21	73.0	31.3	36.0	138.0	35.0	37.0	61.4
22	73.4	31.4	36.0	138.0	35.0	37.0	61.8
23	73.7	31.5	36.0	138.0	35.0	37.0	62.1
24	73.8	31.5	36.0	137.0	35.0	37.0	62.3
25	73.9	31.5	36.0	137.0	35.0	37.0	62.3
26	74.2	31.6	37.0	137.0	35.0	37.0	63.1
27	74.5	31.6	37.0	137.0	35.0	37.0	63.0
28	74.6	31.7	37.0	137.0	35.0	37.0	62.6
29	74.7	31.7	37.0	136.0	35.0	37.0	62.3
30	74.5	31.9	37.0	137.0	35.0	37.0	62.4

ตารางภาคผนวก ฉ-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ C_1	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน C_3	อุณหภูมิ อากาศ T_1	อุณหภูมิไอ เสีย T_2	อุณหภูมิ น้ำเข้า T_3	อุณหภูมิ น้ำออก T_5	อุณหภูมิ น้ำมันออก C_4
31	74.3	31.7	37.0	137	35.0	37.0	62.2
32	74.5	31.9	37.0	136	35.0	37.0	62.9
33	74.6	31.9	37.0	136	35.0	37.0	62.6
34	74.5	31.9	37.0	136	35.0	37.0	63
35	74.4	32	37.0	136	35.0	37.0	63.2
36	74.3	32	37.0	136	35.0	37.0	63.9
37	74.4	32.1	37.0	136	35.0	37.0	63.3
38	74.7	32.2	37.0	135	35.0	37.0	62.9
39	74.7	32.2	37.0	136	35.0	37.0	63.5
40	74.4	32.3	37.0	136	35.0	37.0	63.3
41	74.6	32.3	37.0	136	35.0	37.0	63.5
42	74.6	32.4	37.0	135	35.0	37.0	63.7
43	74.7	32.4	37.0	135	34.0	37.0	63.2
44	74.6	32.5	37.0	135	34.0	37.0	63.5
45	74.7	32.5	37.0	135	35.0	37.0	63.6
46	74.8	32.6	37.0	135	34.0	37.0	63.3
47	74.8	32.6	37.0	135	34.0	37.0	62.9
48	74.7	32.7	37.0	135	34.0	37.0	63.5
49	74.7	32.7	37.0	135	34.0	37.0	63.3
50	74.7	32.8	37.0	135	34.0	37.0	63.5
51	74.6	32.8	37.0	135	34.0	37.0	63.4
52	74.5	32.9	37.0	135	34.0	37.0	63.3
53	74.5	32.9	37.0	135	34.0	37.0	63.7
54	74.5	33	37.0	135	34.0	37.0	63.7
55	74.5	33	37.0	135	34.0	37.0	63.6
56	74.4	33.1	37.0	135	34.0	37.0	63.7
57	74.4	33.1	37.0	135	34.0	37.0	63.8
58	74.5	33.2	37.0	135	34.0	37.0	64.5
59	74.4	33.2	37.0	135	34.0	37.0	64.3
60	74.4	33.2	37.0	135	34.0	37.0	64.3

ตาราง ภาคผนวก ฉ-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	31.8	30.7	34.0	122.0	42.0	41.0	44.4
2	33.8	30.7	34.0	124.0	44.0	42.0	47.2
3	36.2	30.7	34.0	126.0	46.0	44.0	49.7
4	40.2	30.7	34.0	126.0	47.0	45.0	51.8
5	42.1	30.6	34.0	127.0	49.0	47.0	53.6
6	43.5	30.7	34.0	128.0	50.0	48.0	54.8
7	46.5	30.7	34.0	128.0	52.0	49.0	55.7
8	49.0	30.8	35.0	128.0	54.0	50.0	57.0
9	51.0	30.8	35.0	129.0	55.0	51.0	57.8
10	52.8	30.8	35.0	129.0	46.0	51.0	58.5
11	53.8	30.8	35.0	130.0	40.0	42.0	59.2
12	54.9	30.9	35.0	132.0	39.0	40.0	59.8
13	55.9	30.9	35.0	133.0	38.0	39.0	60.4
14	56.7	30.9	35.0	133.0	38.0	39.0	60.8
15	57.3	31.0	35.0	134.0	38.0	39.0	61.4
16	58.1	31.1	35.0	135.0	38.0	39.0	62.2
17	58.3	31.2	36.0	135.0	38.0	39.0	62.9
18	59.2	31.3	36.0	135.0	37.0	39.0	63.6
19	59.7	31.3	36.0	135.0	37.0	39.0	64.0
20	60.0	31.4	36.0	135.0	37.0	39.0	64.3
21	60.8	31.4	36.0	134.0	37.0	39.0	64.7
22	61.7	31.5	36.0	134.0	37.0	39.0	64.8
23	62.3	31.6	36.0	134.0	37.0	39.0	64.9
24	62.5	31.7	36.0	134.0	37.0	39.0	65.1
25	62.8	31.8	36.0	133.0	37.0	39.0	65.3
26	63.3	31.9	36.0	134.0	37.0	39.0	65.3
27	63.4	31.9	36.0	133.0	37.0	39.0	65.4
28	63.7	32.0	37.0	133.0	37.0	39.0	65.4
29	63.3	32.0	37.0	133.0	37.0	38.0	65.4
30	63.8	32.1	37.0	133.0	37.0	39.0	65.5

ตาราง ภาคผนวก ฉ-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	64.1	32.1	37.0	133.0	36.0	38.0	65.5
32	64.2	32.2	37.0	133.0	36.0	38.0	65.7
33	64.1	32.3	37.0	132	36.0	38.0	65.7
34	64.0	32.3	37.0	131	36.0	38.0	65.9
35	64.1	32.3	37.0	131	36.0	38.0	66.1
36	64.2	32.4	37.0	132	36.0	38.0	66
37	64.2	32.4	37.0	132	36.0	38.0	66
38	64.5	32.4	37.0	133	36.0	38.0	66
39	64.5	32.5	37.0	132	36.0	38.0	66.1
40	64.7	32.5	37.0	133	36.0	38.0	66
41	64.4	32.6	38	133	36.0	38.0	66
42	64.6	32.6	38	132	36.0	38.0	66.2
43	64.7	32.7	38	132	36.0	38.0	66.4
44	64.7	32.7	38	132	36.0	38.0	66.3
45	64.4	32.8	38	132	36.0	38.0	66.3
46	64.6	32.8	38	132	36.0	38.0	66.3
47	64.8	32.9	38	132	36.0	38.0	66.4
48	64.5	32.9	38	132	36.0	38.0	66.3
49	64.6	32.9	38	131	36.0	38.0	66.4
50	64.9	32.9	38	131	36.0	38.0	66.2
51	64.7	33	38	131	36.0	38.0	66.3
52	64.7	33.0	38	131	36.0	38.0	66.3
53	65	33.1	38	131	36.0	38.0	66.3
54	64.9	33	38	132	36.0	38.0	66.2
55	64.6	33.1	38	131	35.0	37.0	66.2
56	64.8	33.1	38	131	35.0	38.0	66
57	64.7	33.1	38	131	35.0	38.0	66
58	64.9	33.2	38	131	35.0	38.0	66
59	64.9	33.2	38	132	35.0	37.0	65.9
60	64.7	33.2	38	132	35.0	37.0	65.9

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ข -1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ไม่ผ่านท่อ
ทองแดง

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.6	26.7	30.0	278.0	37.0	44.0	-
2	32.9	26.8	30.0	261.0	36.0	43.0	-
3	44.8	26.9	30.0	257.0	36.0	43.0	-
4	55.7	26.9	30.0	249.0	36.0	42.0	-
5	60.2	26.9	30.0	242.0	36.0	42.0	-
6	62.3	27.0	31.0	237.0	37.0	42.0	-
7	66.2	27.0	31.0	232.0	37.0	42.0	-
8	70.9	27.0	31.0	230.0	37.0	42.0	-
9	74.9	27.0	31.0	227.0	37.0	42.0	-
10	78.1	27.0	31.0	226.0	37.0	41.0	-
11	80.8	27.3	32.0	225.0	37.0	42.0	-
12	82.2	27.2	32.0	225.0	37.0	43.0	-
13	83.4	27.3	32.0	224.0	37.0	43.0	-
14	84.3	27.4	32.0	224.0	38.0	43.0	-
15	84.9	24.5	32.0	223.0	38.0	43.0	-
16	85.5	27.6	32.0	222.0	38.0	43.0	-
17	85.9	27.7	33.0	222.0	38.0	43.0	-
18	86.2	27.8	33.0	221.0	38.0	43.0	-
19	86.4	27.8	33.0	221.0	38.0	43.0	-
20	86.6	27.9	33.0	220.0	38.0	44.0	-
21	86.8	28.0	33.0	220.0	38.0	43.0	-
22	86.9	28.1	33.0	219.0	38.0	43.0	-
23	87.1	28.1	34.0	219.0	38.0	44.0	-
24	87.3	28.3	34.0	219.0	38.0	44.0	-
25	87.4	28.3	34.0	219.0	38.0	44.0	-
26	87.6	28.5	34.0	218.0	39.0	44.0	-
27	87.7	28.6	34.0	219.0	39.0	44.0	-
28	87.7	28.7	34.0	218.0	39.0	44.0	-
29	87.8	28.8	34.0	218.0	39.0	44.0	-
30	87.8	28.8	34.0	217.0	39.0	44.0	-

ตาราง ภาคผนวก ข -1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	88.0	29.0	35.0	218.0	39.0	44.0	-
32	88.1	29.1	35.0	218.0	39.0	44.0	-
33	88.1	29.1	35.0	219.0	39.0	44.0	-
34	88.1	29.2	35.0	219.0	39.0	44.0	-
35	88.2	29.3	35.0	219.0	39.0	44.0	-
36	88.2	29.4	35.0	219.0	39.0	44.0	-
37	88.0	29.5	35.0	220.0	39.0	44.0	-
38	88.1	29.6	35.0	219.0	39.0	44.0	-
39	88.1	29.7	35.0	219.0	39.0	44.0	-
40	88.1	29.8	35.0	219.0	39.0	43.0	-
41	88.2	29.9	35.0	219.0	39.0	44.0	-
42	88.2	30.0	35.0	218.0	39.0	43.0	-
43	88.3	30.1	35.0	219.0	39.0	44.0	-
44	88.5	30.1	36.0	218.0	39.0	44.0	-
45	88.5	30.2	36.0	218.0	39.0	44.0	-
46	88.5	30.3	36.0	218.0	39.0	44.0	-
47	88.5	30.4	36.0	219.0	40.0	44.0	-
48	88.5	30.4	36.0	218.0	40.0	44.0	-
49	88.4	30.6	36.0	219.0	40.0	44.0	-
50	88.3	30.7	36.0	219.0	40.0	45.0	-
51	88.4	30.8	36.0	219.0	40.0	44.0	-
52	88.4	30.8	36.0	219.0	40.0	44.0	-
53	88.5	30.9	36.0	219.0	40.0	44.0	-
54	88.4	31.0	36.0	219.0	40.0	44.0	-
55	88.5	31.1	37.0	218.0	40.0	44.0	-
56	88.5	31.2	37.0	219.0	40.0	44.0	-
57	88.4	31.3	37.0	219.0	40.0	44.0	-
58	88.6	31.3	37.0	219.0	40.0	44.0	-
59	88.5	31.5	37.0	219.0	40.0	45.0	-
60	88.3	31.6	37.0	219.0	40.0	45.0	-

ตาราง ภาคผนวก ข -2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	32.5	28.7	30.0	138.0	29.0	30.0	48.2
2	32.7	28.8	30.0	137.0	29.0	30.0	50.2
3	40.1	28.7	30.0	136.0	29.0	30.0	52.2
4	46.8	28.8	30.0	137.0	30.0	30.0	54.7
5	51.7	28.8	31.0	136.0	30.0	31.0	57.0
6	56.8	28.8	31.0	136.0	30.0	31.0	57.7
7	59.8	28.8	31.0	136.0	30.0	31.0	58.8
8	62.4	28.9	31.0	136.0	30.0	31.0	60.0
9	64.7	28.8	31.0	137.0	30.0	31.0	61.0
10	68.4	28.9	32.0	134.0	30.0	31.0	62.2
11	69.3	28.9	32.0	134.0	30.0	32.0	63.0
12	70.6	28.9	32.0	134.0	30.0	31.0	63.5
13	72.3	28.9	32.0	135.0	31.0	32.0	63.3
14	73.5	28.9	32.0	136.0	31.0	32.0	64.2
15	74.8	29.0	32.0	136.0	31.0	32.0	64.5
16	75.6	29.0	33.0	137.0	31.0	32.0	64.8
17	76.3	29.2	32.0	137.0	31.0	32.0	65.0
18	76.8	29.1	33.0	138.0	31.0	32.0	65.1
19	77.2	29.1	33.0	138.0	31.0	32.0	65.2
20	77.6	29.2	33.0	139.0	31.0	33.0	65.3
21	77.8	29.1	33.0	139.0	31.0	33.0	65.5
22	78.1	29.3	33.0	140.0	32.0	33.0	65.5
23	78.3	29.3	33.0	141.0	32.0	33.0	65.7
24	78.5	29.3	33.0	142.0	32.0	33.0	65.7
25	78.7	29.3	34.0	142.0	32.0	33.0	65.8
26	78.7	29.4	34.0	143.0	32.0	33.0	65.8
27	79.0	29.4	34.0	143.0	32.0	33.0	66.0
28	79.1	29.5	34.0	143.0	32.0	33.0	65.9
29	79.2	29.5	34.0	143.0	32.0	34.0	66.0
30	79.4	29.4	34.0	143.0	32.0	34.0	66.2

ตาราง ภาคผนวก ข -2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	79.4	29.6	34.0	143.0	32.0	34.0	66.2
32	79.5	29.6	34.0	144.0	32.0	34.0	66.0
33	79.6	29.6	34.0	143.0	32.0	34.0	66.2
34	79.6	29.7	34.0	144.0	32.0	34.0	66.1
35	79.5	29.7	34.0	144.0	32.0	34.0	66.1
36	79.7	29.7	34.0	145.0	33.0	34.0	66.3
37	79.7	29.8	34.0	144.0	33.0	34.0	66.3
38	79.8	29.9	35.0	145.0	33.0	34.0	66.2
39	79.9	29.9	35.0	145.0	33.0	34.0	66.3
40	79.8	29.9	35.0	145.0	33.0	34.0	66.3
41	79.9	30.0	35.0	146.0	33.0	34.0	66.3
42	80.0	30.0	35.0	145.0	33.0	34.0	66.3
43	80.0	30.0	35.0	146.0	33.0	34.0	66.4
44	80.0	30.0	35.0	145.0	33.0	35.0	65.9
45	79.9	30.1	35.0	146.0	33.0	35.0	66.2
46	80.0	30.2	35.0	146.0	33.0	35.0	66.1
47	80.0	30.1	35.0	146.0	33.0	35.0	66.3
48	80.0	30.2	36.0	146.0	33.0	35.0	66.6
49	79.9	30.3	35.0	146.0	33.0	35.0	66.6
50	80.0	30.4	36.0	146.0	33.0	35.0	66.8
51	80.0	30.4	36.0	147.0	33.0	35.0	66.9
52	80.0	30.5	36.0	147.0	33.0	35.0	67.0
53	80.1	30.4	36.0	147.0	33.0	35.0	67.0
54	80.2	30.6	36.0	147.0	33.0	35.0	67.0
55	80.4	30.6	36.0	147.0	33.0	35.0	66.9
56	80.5	30.6	36.0	147.0	33.0	35.0	66.9
57	80.6	30.7	36.0	146.0	33.0	35.0	66.8
58	80.5	30.8	36.0	145.0	33.0	35.0	67.2
59	80.6	30.8	36.0	145.0	34.0	35.0	66.5
60	80.5	30.9	37.0	145.0	33.0	35.0	66.4

ตาราง ภาคผนวก ข -3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	36.1	26.5	28.0	225.0	33.0	39.0	48.3
2	37.4	26.5	29.0	227.0	33.0	40.0	52.0
3	38.2	26.7	28.0	222.0	34.0	39.0	57.0
4	45.5	26.7	28.0	222.0	34.0	39.0	61.3
5	54.8	26.7	29.0	222.0	34.0	40.0	62.2
6	59.1	26.7	29.0	222.0	34.0	40.0	63.8
7	63.5	26.9	30.0	222.0	34.0	40.0	65.3
8	68.8	26.9	30.0	222.0	35.0	40.0	66.3
9	74.5	27.1	30.0	222.0	35.0	40.0	67.4
10	75.9	27.1	31.0	221.0	35.0	40.0	67.8
11	77.9	27.3	31.0	220.0	35.0	39.0	68.2
12	80.0	27.5	31.0	220.0	35.0	39.0	68.6
13	81.5	27.5	31.0	220.0	35.0	40.0	68.8
14	83.0	27.8	31.0	219.0	36.0	40.0	68.7
15	83.7	27.8	32.0	219.0	35.0	40.0	68.9
16	84.3	28.0	32.0	218.0	36.0	40.0	69.3
17	84.8	28.2	32.0	218.0	36.0	40.0	68.8
18	85.1	28.3	32.0	218.0	36.0	40.0	69.1
19	85.3	28.4	32.0	218.0	36.0	41.0	69.1
20	85.5	28.7	32.0	218.0	36.0	41.0	69.6
21	85.8	28.8	33.0	218.0	36.0	41.0	70.0
22	85.9	29.0	33.0	218.0	37.0	41.0	69.6
23	86.0	29.1	33.0	218.0	37.0	41.0	70.0
24	86.2	29.3	34.0	218.0	37.0	41.0	69.9
25	86.3	29.4	34.0	218.0	37.0	41.0	70.3
26	86.4	29.4	34.0	218.0	37.0	41.0	70.1
27	86.5	29.9	34.0	217.0	37.0	41.0	70.5
28	86.6	30.0	34.0	217.0	37.0	41.0	70.5
29	86.5	30.1	34.0	217.0	37.0	41.0	70.5
30	86.6	30.2	34.0	216.0	37.0	42.0	70.4

ตาราง ภาคผนวก ข -3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	86.7	30.4	35.0	216.0	37.0	42.0	70.3
32	86.8	30.5	35.0	216.0	37.0	42.0	70.3
33	86.9	30.7	35.0	216.0	37.0	42.0	70.3
34	86.9	30.9	35.0	216.0	38.0	42.0	70.6
35	87.1	31.1	35.0	216.0	37.0	42.0	70.2
36	87.1	31.2	35.0	215.0	38.0	42.0	70.7
37	87.1	31.4	36.0	215.0	38.0	42.0	70.0
38	87.1	31.5	35.0	215.0	38.0	42.0	70.9
39	87.1	32.7	36.0	215.0	38.0	42.0	70.6
40	87.1	31.8	36.0	214.0	38.0	42.0	70.5
41	87.2	31.9	36.0	214.0	38.0	42.0	70.9
42	87.2	32.1	36.0	214.0	38.0	42.0	71.1
43	87.3	32.2	36.0	213.0	38.0	42.0	70.2
44	87.2	32.3	36.0	213.0	38.0	43.0	70.9
45	87.2	32.5	36.0	213.0	38.0	42.0	70.3
46	87.2	32.6	36.0	213.0	38.0	42.0	70.5
47	87.3	32.7	37.0	214.0	38.0	43.0	70.1
48	87.3	32.8	37.0	213.0	38.0	43.0	70.5
49	87.1	33.1	37.0	213.0	38.0	43.0	70.2
50	87.1	33.1	37.0	214.0	38.0	43.0	70.4
51	88.1	33.2	37.0	214.0	38.0	43.0	70.1
52	87.1	33.4	37.0	213.0	38.0	43.0	70.5
53	87.1	33.5	37.0	213.0	38.0	43.0	70.6
54	87.2	33.6	37.0	212.0	38.0	43.0	70.5
55	87.3	33.7	37.0	213.0	38.0	43.0	70.8
56	87.2	33.8	37.0	213.0	38.0	43.0	70.7
57	87.1	34.0	37.0	213.0	38.0	43.0	70.5
58	87.0	34.0	37.0	213.0	38.0	43.0	70.3
59	86.8	34.1	37.0	213.0	38.0	43.0	70.1
60	86.9	34.2	37.0	213.0	38.0	43.0	70.9

ตาราง ภาคผนวก ข -4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	28.2	30.1	32.0	132.0	31.0	32.0	42.8
2	29.6	30.1	32.0	133.0	31.0	32.0	44.9
3	33.5	30.1	33.0	133.0	31.0	32.0	47.3
4	39.8	30.1	33.0	133.0	31.0	32.0	49.2
5	45.2	30.1	33.0	135.0	31.0	32.0	51.8
6	48.6	30.2	33.0	136.0	31.0	32.0	55.2
7	52.1	30.2	34.0	137.0	31.0	32.0	58.3
8	54.4	30.3	34.0	137.0	31.0	32.0	59.9
9	58.0	30.5	34.0	138.0	31.0	33.0	61.1
10	61.3	30.5	34.0	139.0	31.0	33.0	61.9
11	63.8	30.6	34.0	140.0	31.0	33.0	63.6
12	66.6	30.6	34.0	140.0	32.0	34.0	64.7
13	68.4	30.7	34.0	140.0	32.0	34.0	65.1
14	70.6	30.8	35.0	140.0	32.0	34.0	66.5
15	72.0	30.9	35.0	140.0	32.0	34.0	67.8
16	73.4	31.0	35.0	140.0	32.0	34.0	68.0
17	74.7	31.1	35.0	140.0	32.0	34.0	68.3
18	75.8	31.1	35.0	141.0	32.0	34.0	68.0
19	76.7	31.3	35.0	142.0	32.0	34.0	68.6
20	77.3	31.3	35.0	142.0	32.0	34.0	68.9
21	77.9	31.3	35.0	142.0	32.0	35.0	69.5
22	78.4	31.4	35.0	143.0	32.0	35.0	69.5
23	78.6	31.5	35.0	143.0	32.0	35.0	69.2
24	78.6	31.6	35.0	143.0	32.0	35.0	69.3
25	79.0	31.6	36.0	144.0	32.0	35.0	68.3
26	79.3	31.6	36.0	144.0	32.0	35.0	69.8
27	79.4	31.7	36.0	145.0	32.0	35.0	69.1
28	79.4	31.9	36.0	145.0	32.0	35.0	69.5
29	79.4	32.0	36.0	145.0	32.0	35.0	69.7
30	79.5	32.0	36.0	145.0	32.0	35.0	70.0

ตารางภาคผนวก ข -4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	79.5	32.1	36.0	145.0	32.0	35.0	69.9
32	79.6	32.1	36.0	145.0	32.0	35.0	69.8
33	79.8	32.2	36.0	146.0	32.0	35.0	69.6
34	80.0	32.3	36.0	146.0	32.0	35.0	70.0
35	80.1	32.4	36.0	146.0	32.0	35.0	70.3
36	80.3	32.5	36.0	146.0	32.0	35.0	70.4
37	80.3	32.5	36.0	146.0	32.0	35.0	70.3
38	80.3	32.7	36.0	146.0	32.0	35.0	70.4
39	80.4	32.9	37.0	146.0	32.0	35.0	70.5
40	80.3	32.8	37.0	147.0	32.0	35.0	70.5
41	80.4	32.9	37.0	147.0	32.0	35.0	70.6
42	80.5	32.9	37.0	147.0	33.0	35.0	70.5
43	80.6	33.1	37.0	147.0	33.0	35.0	70.6
44	80.4	33.1	37.0	147.0	33.0	35.0	70.6
45	80.4	33.3	36.0	147.0	33.0	35.0	70.6
46	80.6	33.3	37.0	147.0	33.0	35.0	70.7
47	80.6	33.4	37.0	147.0	33.0	35.0	70.5
48	80.5	33.5	37.0	147.0	33.0	35.0	70.6
49	80.6	33.5	37.0	147.0	33.0	35.0	70.6
50	80.6	33.7	37.0	147.0	33.0	35.0	70.6
51	80.6	33.7	37.0	147.0	33.0	35.0	70.6
52	80.6	33.7	37.0	150.0	33.0	35.0	70.5
53	80.5	33.8	37.0	150.0	35.0	35.0	70.8
54	80.6	33.9	38.0	159.0	35.0	37.0	70.5
55	80.7	34.0	38.0	180.0	35.0	39.0	70.1
56	80.8	34.0	38.0	188.0	35.0	39.0	70.9
57	81.1	34.1	38.0	190.0	35.0	39.0	71.6
58	81.4	34.1	38.0	192.0	38.0	39.0	71.6
59	81.7	34.1	38.0	192.0	38.0	39.0	71.6
60	82.1	34.2	38.0	192.0	38.0	40.0	71.4

ตาราง ภาคผนวก ข -5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.1	31.5	34.0	222.0	38.0	42.0	49.1
2	32.9	31.5	35.0	222.0	37.0	42.0	52.7
3	36.1	31.4	34.0	217.0	37.0	41.0	56.3
4	40.2	31.4	35.0	217.0	37.0	41.0	58.6
5	46.7	31.4	35.0	211.0	38.0	41.0	63.6
6	48.3	31.5	35.0	211.0	38.0	41.0	65.0
7	52.5	31.5	35.0	212.0	37.0	41.0	67.6
8	55.9	31.5	35.0	213.0	38.0	42.0	68.8
9	58.1	31.6	36.0	213.0	38.0	42.0	69.8
10	63.1	31.7	36.0	212.0	38.0	42.0	70.2
11	66.0	31.8	36.0	209.0	38.0	42.0	70.6
12	67.7	31.8	36.0	209.0	38.0	42.0	71.1
13	68.6	31.9	36.0	205.0	38.0	42.0	71.3
14	69.6	31.9	36.0	204.0	38.0	42.0	71.3
15	70.4	32.1	36.0	204.0	38.0	42.0	71.3
16	70.9	32.1	36.0	205.0	38.0	42.0	71.4
17	71.1	32.2	36.0	205.0	38.0	42.0	71.7
18	71.2	32.3	36.0	205.0	38.0	42.0	71.8
19	71.4	32.3	36.0	204.0	38.0	42.0	72.0
20	71.4	32.4	37.0	205.0	38.0	42.0	72.1
21	71.3	32.5	37.0	205.0	38.0	42.0	72.0
22	71.6	32.5	37.0	204.0	39.0	43.0	71.9
23	71.9	32.5	37.0	205.0	39.0	43.0	72.1
24	71.9	32.6	38.0	205.0	39.0	43.0	72.2
25	71.9	32.7	38.0	205.0	39.0	43.0	72.4
26	71.9	32.7	37.0	205.0	39.0	43.0	72.5
27	72.1	32.8	37.0	206.0	39.0	43.0	72.3
28	72.1	33.0	38.0	206.0	39.0	43.0	72.2
29	72.3	33.0	38.0	206.0	39.0	43.0	72.2
30	71.9	33.0	38.0	205.0	39.0	43.0	72.5

ตารางภาคผนวก ข -5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	71.6	33.1	38.0	205.0	39.0	43.0	72.4
32	71.8	33.1	38.0	205.0	39.0	43.0	72.6
33	71.8	33.2	38.0	205.0	39.0	43.0	72.6
34	71.6	33.2	38.0	204.0	39.0	43.0	72.5
35	71.6	33.4	38.0	205.0	39.0	43.0	72.5
36	71.7	33.5	38.0	205.0	39.0	43.0	72.4
37	71.8	33.6	38.0	204.0	39.0	43.0	72.8
38	72.1	33.6	38.0	203.0	39.0	43.0	72.4
39	72.0	33.7	38.0	204.0	39.0	43.0	72.4
40	71.9	33.7	38.0	205.0	39.0	43.0	72.3
41	71.9	33.8	38.0	205.0	39.0	44.0	72.4
42	71.9	33.8	38.0	205.0	39.0	44.0	72.6
43	71.7	33.8	38.0	205.0	39.0	44.0	72.4
44	72.0	34.0	38.0	206.0	39.0	44.0	72.5
45	72.0	34.0	38.0	206.0	40.0	44.0	72.5
46	72.1	34.0	38.0	206.0	40.0	44.0	72.4
47	72.0	34.1	39.0	206.0	40.0	44.0	72.6
48	72.4	34.2	39.0	206.0	40.0	44.0	72.4
49	72.2	34.2	39.0	206.0	40.0	44.0	72.6
50	72.3	34.5	39.0	206.0	40.0	44.0	72.4
51	72.5	34.4	39.0	206.0	40.0	44.0	72.9
52	72.4	34.5	39.0	206.0	40.0	44.0	72.5
53	72.6	34.6	39.0	206.0	40.0	44.0	72.6
54	72.7	34.6	39.0	206.0	40.0	44.0	72.5
55	72.4	34.6	39.0	204.0	40.0	44.0	72.6
56	72.5	34.7	39.0	204.0	40.0	44.0	72.6
57	72.1	34.8	39.0	204.0	40.0	44.0	72.4
58	72.4	34.8	38.0	206.0	40.0	44.0	72.3
59	72.2	34.9	39.0	206.0	40.0	44.0	72.4
60	72.3	34.9	38.0	205.0	40.0	44.0	

ภาคผนวก ซ

ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ข-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ไม่ผ่านท่อทองแดง

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	32.9	26.1	29.0	283.0	38.0	47.0	-
2	34.2	26.2	29.0	281.0	38.0	46.0	-
3	38.9	26.2	29.0	279.0	39.0	47.0	-
4	46.2	26.2	30.0	277.0	39.0	47.0	-
5	55.4	26.3	30.0	277.0	39.0	48.0	-
6	63.2	26.4	30.0	276.0	39.0	48.0	-
7	70.9	26.5	31.0	276.0	40.0	48.0	-
8	76.5	26.5	31.0	277.0	40.0	48.0	-
9	81.2	26.5	31.0	277.0	40.0	48.0	-
10	85.2	26.5	32.0	277.0	40.0	49.0	-
11	87.9	26.6	32.0	277.0	41.0	49.0	-
12	87.9	26.7	32.0	276.0	41.0	49.0	-
13	91.1	26.8	33.0	277.0	41.0	49.0	-
14	91.9	27.2	33.0	275.0	41.0	49.0	-
15	92.6	27.2	33.0	275.0	41.0	49.0	-
16	93.0	27.5	34.0	275.0	41.0	50.0	-
17	93.2	27.6	34.0	274.0	42.0	50.0	-
18	93.6	27.7	34.0	274.0	42.0	50.0	-
19	94.0	27.9	34.0	274.0	42.0	50.0	-
20	94.2	28.0	35.0	273.0	42.0	50.0	-
21	94.4	28.3	35.0	274.0	42.0	50.0	-
22	94.4	28.3	35.0	273.0	42.0	50.0	-
23	94.5	28.6	35.0	273.0	42.0	50.0	-
24	94.6	28.7	26.0	273.0	42.0	50.0	-
25	94.7	28.9	26.0	273.0	42.0	50.0	-
26	95.1	29.1	26.0	273.0	43.0	50.0	-
27	94.9	29.5	26.0	272.0	42.0	51.0	-
28	94.8	29.5	26.0	272.0	43.0	51.0	-
29	95.0	29.7	26.0	272.0	43.0	51.0	-
30	95.1	30.0	37.0	271.0	42.0	51.0	-

ตาราง ภาคผนวก ช-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	94.9	30.2	37.0	271.0	43.0	51.0	-
32	94.9	30.8	37.0	272.0	43.0	51.0	-
33	95.0	30.8	37.0	271.0	43.0	51.0	-
34	95.1	30.8	37.0	271.0	43.0	51.0	-
35	95.0	31.0	37.0	271.0	43.0	51.0	-
36	95.0	31.2	37.0	272.0	43.0	51.0	-
37	95.0	31.4	38.0	272.0	43.0	51.0	-
38	95.1	31.7	38.0	272.0	43.0	51.0	-
39	95.1	29.9	38.0	273.0	43.0	51.0	-
40	95.1	29.8	38.0	273.0	43.0	51.0	-
41	95.0	29.8	38.0	273.0	43.0	51.0	-
42	95.0	29.9	38.0	272.0	43.0	51.0	-
43	95.3	30.0	39.0	271.0	43.0	51.0	-
44	95.4	30.1	38.0	271.0	45.0	51.0	-
45	95.5	30.2	38.0	271.0	43.0	51.0	-
46	95.4	30.4	39.0	271.0	43.0	51.0	-
47	95.5	30.5	39.0	271.0	43.0	51.0	-
48	95.5	30.6	39.0	270.0	43.0	51.0	-
49	95.5	30.9	39.0	271.0	43.0	51.0	-
50	95.7	30.9	39.0	270.0	43.0	51.0	-
51	95.7	30.9	39.0	270.0	43.0	51.0	-
52	95.5	31.1	39.0	270.0	43.0	51.0	-
53	95.5	31.3	39.0	271.0	44.0	51.0	-
54	95.4	31.3	39.0	271.0	44.0	51.0	-
55	95.4	31.5	39.0	269.0	44.0	51.0	-
56	95.8	31.5	39.0	270.0	44.0	51.0	-
57	95.7	31.8	39.0	270.0	44.0	51.0	-
58	95.7	32.2	39.0	269.0	44.0	52.0	-
59	95.7	31.9	39.0	269.0	44.0	51.0	-
60	95.7	32.1	39.0	269.0	44.0	51.0	-

ตาราง ภาคผนวก ข-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	32.7	26.3	28.0	156.0	28.0	30.0	45.8
2	34.2	26.4	29.0	155.0	29.0	30.0	49.0
3	38.1	26.5	29.0	155.0	29.0	30.0	52.0
4	44.1	26.6	29.0	156.0	29.0	30.0	54.9
5	50.3	26.7	30.0	156.0	29.0	31.0	57.0
6	53.9	26.8	30.0	157.0	29.0	31.0	59.2
7	59.6	26.8	30.0	158.0	30.0	31.0	60.9
8	63.5	26.8	31.0	160.0	30.0	32.0	62.4
9	67.4	26.9	31.0	162.0	30.0	32.0	63.6
10	70.3	27.0	32.0	163.0	30.0	32.0	64.6
11	73.1	27.1	32.0	163.0	30.0	33.0	65.2
12	75.2	27.2	32.0	165.0	31.0	33.0	65.9
13	77.3	27.3	33.0	166.0	31.0	33.0	66.3
14	79.0	27.4	33.0	169.0	31.0	34.0	66.5
15	80.4	27.6	33.0	171.0	32.0	34.0	66.8
16	81.4	27.7	33.0	175.0	32.0	35.0	66.8
17	82.2	27.8	34.0	184.0	32.0	36.0	67.0
18	82.8	27.8	34.0	193.0	33.0	37.0	67.3
19	83.5	28.0	34.0	202.0	34.0	39.0	67.6
20	84.0	28.2	34.0	210.0	34.0	40.0	67.8
21	84.1	28.2	35.0	217.0	35.0	41.0	68.0
22	84.5	28.2	34.0	223.0	35.0	41.0	68.3
23	85.2	28.5	35.0	230.0	36.0	43.0	68.5
24	85.9	28.6	35.0	237.0	37.0	44.0	68.7
25	86.5	28.7	36.0	243.0	37.0	45.0	68.9
26	87.0	28.9	35.0	244.0	38.0	45.0	69.0
27	88.0	28.9	35.0	247.0	38.0	46.0	69.3
28	88.9	29.1	35.0	249.0	38.0	46.0	69.4
29	89.5	29.3	35.0	250.0	39.0	46.0	69.7
30	90.2	29.4	36.0	251.0	39.0	47.0	70.1

ตาราง ภาคผนวก ช-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	90.6	29.6	36.0	251.0	39.0	47.0	70.1
32	91.5	29.7	35.0	252.0	40.0	47.0	70.2
33	92.0	29.9	35.0	252.0	40.0	48.0	70.3
34	92.3	30.0	36.0	253.0	40.0	48.0	70.6
35	92.6	30.0	35.0	252.0	40.0	48.0	70.6
36	92.9	30.1	36.0	253.0	40.0	48.0	70.4
37	92.9	30.2	36.0	254.0	41.0	48.0	70.5
38	93.1	30.3	36.0	253.0	41.0	49.0	70.5
39	93.2	30.4	36.0	253.0	41.0	49.0	70.6
40	93.3	30.5	36.0	253.0	41.0	49.0	70.6
41	93.2	30.7	36.0	253.0	41.0	49.0	70.4
42	93.4	30.8	36.0	254.0	41.0	49.0	70.6
43	93.4	31.1	36.0	254.0	42.0	49.0	70.5
44	93.5	31.0	37.0	255.0	42.0	50.0	70.4
45	93.5	31.1	37.0	256.0	42.0	50.0	70.4
46	93.4	31.2	37.0	255.0	42.0	50.0	70.0
47	93.4	31.4	37.0	256.0	42.0	50.0	70.7
48	93.4	31.4	37.0	255.0	42.0	50.0	70.9
49	93.4	31.6	37.0	256.0	42.0	50.0	70.9
50	93.6	31.7	38.0	258.0	42.0	50.0	70.4
51	93.4	31.9	38.0	258.0	42.0	50.0	70.8
52	93.3	32.0	38.0	257.0	42.0	50.0	70.6
53	93.4	32.2	38.0	257.0	43.0	50.0	70.5
54	93.6	32.3	38.0	258.0	43.0	50.0	70.3
55	93.4	32.6	38.0	257.0	43.0	50.0	70.3
56	93.6	32.7	38.0	258.0	43.0	50.0	70.7
57	93.7	33.0	38.0	258.0	43.0	51.0	70.0
58	93.6	33.1	38.0	259.0	43.0	51.0	70.5
59	93.3	33.2	39.0	258.0	43.0	51.0	70.9
60	93.2	33.3	38.0	258.0	43.0	51.0	70.4

ตาราง ภาคผนวก ข-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	33.7	29.3	31.0	159.0	32.0	34.0	43.1
2	35.4	29.4	32.0	162.0	32.0	34.0	47.5
3	36.9	29.5	32.0	164.0	32.0	34.0	51.6
4	42.8	29.4	32.0	167.0	33.0	35.0	53.6
5	48.3	29.5	33.0	171.0	33.0	35.0	57.7
6	52.6	29.5	33.0	173.0	33.0	35.0	59.2
7	57.9	29.6	34.0	180.0	33.0	36.0	61.4
8	62.8	29.8	34.0	194.0	34.0	38.0	63.4
9	66.9	29.8	34.0	204.0	35.0	39.0	64.6
10	70.5	29.9	35.0	215.0	37.0	40.0	66.2
11	72.7	29.9	35.0	225.0	36.0	41.0	67.2
12	75.3	30.0	35.0	228.0	36.0	42.0	67.6
13	78.0	30.0	34.0	235.0	37.0	42.0	68.1
14	80.3	30.0	34.0	239.0	37.0	43.0	68.5
15	82.3	30.1	35.0	244.0	38.0	43.0	69.5
16	84.3	30.1	35.0	246.0	38.0	44.0	70.6
17	85.3	30.3	35.0	249.0	38.0	44.0	70.7
18	86.5	30.3	35.0	251.0	38.0	44.0	70.9
19	87.6	30.4	35.0	253.0	39.0	45.0	71.6
20	88.6	30.5	35.0	255.0	39.0	45.0	71.6
21	89.4	30.7	35.0	255.0	39.0	45.0	71.7
22	90.0	30.7	35.0	256.0	39.0	46.0	72.6
23	90.8	30.8	36.0	258.0	40.0	46.0	71.6
24	91.4	31.0	36.0	259.0	40.0	46.0	71.6
25	91.8	31.1	36.0	259.0	40.0	46.0	71.6
26	92.2	31.2	36.0	260.0	40.0	46.0	72.4
27	92.5	31.3	36.0	260.0	40.0	46.0	72.1
28	92.7	31.4	36.0	260.0	40.0	47.0	72.6
29	92.8	31.6	36.0	260.0	41.0	47.0	73.0
30	92.8	31.7	36.0	260.0	40.0	47.0	72.9

ตาราง ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	93.3	31.8	36.0	260.0	41.0	47.0	72.8
32	93.5	31.9	36.0	260.0	41.0	47.0	72.9
33	93.5	32.0	36.0	260.0	41.0	47.0	72.6
34	93.7	32.1	37.0	259.0	41.0	47.0	73.6
35	93.8	32.1	36.0	260.0	41.0	47.0	72.4
36	93.9	32.2	36.0	260.0	41.0	47.0	72.5
37	94.0	32.3	37.0	260.0	41.0	47.0	72.4
38	94.0	32.3	37.0	260.0	41.0	47.0	71.8
39	94.0	31.1	37.0	260.0	41.0	47.0	72.0
40	93.9	31.0	37.0	262.0	41.0	47.0	72.2
41	93.8	31.1	37.0	262.0	42.0	48.0	72.2
42	93.9	31.1	37.0	261.0	42.0	49.0	72.7
43	93.9	31.2	34.0	261.0	42.0	48.0	72.1
44	93.9	31.2	37.0	261.0	42.0	48.0	72.7
45	93.7	31.3	37.0	261.0	42.0	48.0	72.4
46	93.9	31.5	37.0	261.0	42.0	48.0	72.0
47	93.9	31.5	38.0	262.0	42.0	48.0	72.6
48	94.2	31.6	38.0	262.0	42.0	48.0	72.2
49	94.0	31.6	38.0	262.0	42.0	48.0	71.9
50	94.1	31.4	38.0	261.0	42.0	48.0	71.8
51	94.1	31.8	38.0	261.0	42.0	48.0	71.7
52	94.0	31.9	38.0	261.0	42.0	48.0	71.8
53	94.0	32.0	38.0	261.0	42.0	49.0	71.9
54	93.6	32.1	39.0	262.0	42.0	48.0	71.8
55	93.4	32.2	39.0	261.0	42.0	49.0	72.2
56	93.4	32.2	39.0	261.0	42.0	49.0	71.8
57	93.4	32.4	39.0	262.0	42.0	49.0	71.6
58	93.4	32.3	39.0	262.0	42.0	49.0	71.2
59	93.2	32.4	39.0	263.0	42.0	49.0	71.7
60	93.3	32.5	39.0	263.0	42.0	49.0	72.5

ตาราง ภาคผนวก ช-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	31.6	29.3	31.0	261.0	35.0	40.0	51.3
2	32.1	29.2	31.0	259.0	36.0	41.0	51.4
3	39.4	29.2	31.0	259.0	36.0	41.0	52.6
4	45.2	29.4	32.0	260.0	36.0	42.0	65.6
5	56.8	29.3	32.0	258.0	36.0	43.0	69.2
6	61.3	29.4	33.0	255.0	36.0	43.0	71.7
7	68.9	29.6	34.0	255.0	37.0	43.0	73.6
8	74.8	29.7	34.0	255.0	37.0	43.0	73.8
9	74.6	29.8	34.0	255.0	37.0	43.0	74.3
10	83.6	29.9	35.0	255.0	37.0	45.0	74.3
11	86.8	30.1	36.0	253.0	38.0	46.0	75.1
12	88.8	30.3	36.0	253.0	38.0	46.0	74.9
13	89.2	30.4	36.0	253.0	38.0	46.0	74.8
14	89.8	30.8	37.0	255.0	39.0	46.0	75.7
15	90.2	31.0	37.0	252.0	39.0	46.0	75.9
16	90.7	31.1	38.0	253.0	39.0	47.0	75.3
17	91.1	31.4	38.0	253.0	39.0	47.0	75.7
18	91.5	31.6	39.0	255.0	39.0	47.0	75.3
19	91.8	31.9	39.0	256.0	40.0	47.0	75.9
20	92.0	32.0	39.0	256.0	40.0	47.0	76.4
21	92.0	32.4	40.0	257.0	40.0	48.0	76.3
22	91.9	32.6	40.0	258.0	40.0	48.0	75.6
23	92.0	32.9	41.0	259.0	41.0	48.0	75.6
24	92.0	33.2	41.0	258.0	41.0	48.0	75.5
25	92.0	33.4	41.0	260.0	41.0	48.0	76.1
26	92.5	33.7	42.0	261.0	41.0	49.0	76.0
27	92.5	33.9	42.0	261.0	41.0	49.0	76.3
28	92.4	34.1	42.0	261.0	42.0	49.0	76.7
29	92.7	34.4	42.0	261.0	42.0	49.0	76.4
30	92.7	34.8	42.0	262.0	42.0	50.0	76.6

ตารางภาคผนวก ซ-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	92.8	35.0	42.0	262.0	42.0	50.0	76.7
32	92.8	35.4	42.0	260.0	42.0	50.0	76.7
33	93.2	35.4	42.0	260.0	42.0	50.0	76.7
34	93.1	35.7	42.0	262.0	42.0	50.0	76.6
35	93.3	35.9	42.0	261.0	42.0	50.0	76.7
36	93.2	36.1	42.0	262.0	42.0	50.0	76.6
37	93.3	36.3	43.0	263.0	43.0	50.0	76.3
38	93.5	36.5	43.0	264.0	43.0	51.0	76.7
39	93.7	36.8	43.0	263.0	43.0	51.0	77.2
40	93.6	37.0	43.0	262.0	43.0	51.0	77.1
41	93.5	37.2	43.0	261.0	43.0	51.0	77.6
42	93.4	37.4	43.0	262.0	43.0	51.0	77.2
43	93.6	37.6	43.0	262.0	43.0	51.0	76.5
44	93.6	37.8	43.0	262.0	43.0	51.0	76.9
45	94.0	38.0	43.0	262.0	43.0	51.0	76.9
46	94.0	38.1	43.0	261.0	43.0	51.0	76.9
47	94.0	38.2	43.0	260.0	43.0	51.0	77.5
48	93.8	38.5	43.0	261.0	43.0	51.0	77.0
49	93.6	38.6	43.0	260.0	43.0	51.0	77.4
50	93.5	38.8	43.0	261.0	43.0	51.0	77.5
51	93.5	38.9	43.0	261.0	43.0	51.0	77.0
52	93.7	39.1	43.0	260.0	43.0	51.0	77.2
53	93.7	39.3	43.0	260.0	43.0	51.0	77.5
54	93.8	39.4	43.0	261.0	44.0	51.0	77.5
55	93.8	39.6	42.0	260.0	44.0	51.0	77.6
56	93.7	39.8	43.0	261.0	44.0	51.0	77.4
57	93.7	39.9	43.0	260.0	44.0	51.0	77.3
58	93.9	40.0	43.0	260.0	44.0	51.0	77.9
59	93.9	40.1	43.0	261.0	44.0	52.0	77.3
60	94.0	40.2	43.0	260.0	44.0	52.0	76.8

ตาราง ภาคผนวก ข-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	32.9	28.0	30.0	234.0	37.0	41.0	47.9
2	36.8	28.1	30.0	236.0	37.0	42.0	56.8
3	37.4	28.1	30.0	236.0	37.0	42.0	60.0
4	42.6	28.1	31.0	242.0	37.0	42.0	63.4
5	48.3	28.1	31.0	244.0	38.0	43.0	65.4
6	51.6	28.2	32.0	246.0	38.0	43.0	68.5
7	57.8	28.3	32.0	248.0	38.0	43.0	70.3
8	60.9	28.3	32.0	248.0	38.0	43.0	71.7
9	64.8	28.3	32.0	249.0	39.0	45.0	71.7
10	67.6	28.4	33.0	250.0	39.0	45.0	72.5
11	69.9	28.5	33.0	251.0	39.0	45.0	72.8
12	71.5	28.6	33.0	251.0	39.0	45.0	73.1
13	72.3	28.7	33.0	251.0	39.0	46.0	73.5
14	72.8	29.0	34.0	252.0	41.0	46.0	74.0
15	73.5	28.9	34.0	252.0	41.0	46.0	74.1
16	73.4	29.0	34.0	252.0	41.0	46.0	74.3
17	73.4	29.1	35.0	253.0	41.0	46.0	74.7
18	73.4	29.3	35.0	254.0	41.0	47.0	74.8
19	74.6	29.5	35.0	256.0	41.0	47.0	75.4
20	74.2	29.6	35.0	256.0	41.0	47.0	75.4
21	74.6	29.8	36.0	258.0	42.0	48.0	75.5
22	75.0	29.8	36.0	259.0	42.0	48.0	75.4
23	74.8	30.1	36.0	259.0	42.0	48.0	75.5
24	75.6	30.4	36.0	259.0	42.0	48.0	75.8
25	75.9	30.6	37.0	258.0	42.0	48.0	75.6
26	75.7	30.5	37.0	259.0	42.0	49.0	75.8
27	74.7	30.9	37.0	259.0	42.0	49.0	76.0
28	75.6	31.2	37.0	260.0	42.0	49.0	75.9
29	75.7	31.4	38.0	259.0	42.0	49.0	76.0
30	75.5	31.7	37.0	259.0	42.0	49.0	76.1

ตาราง ภาคผนวก ซ-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	75.5	31.8	38.0	259.0	42.0	49.0	76.0
32	75.2	32.0	38.0	261.0	42.0	49.0	75.9
33	75.1	33.2	38.0	260.0	43.0	49.0	76.0
34	75.2	32.5	38.0	259.0	43.0	49.0	75.5
35	75.1	32.6	39.0	260.0	43.0	49.0	75.5
36	75.2	32.9	39.0	259.0	43.0	49.0	75.9
37	74.7	33.1	39.0	259.0	43.0	50.0	76.2
38	74.9	33.3	39.0	260.0	43.0	50.0	76.2
39	75.0	33.7	39.0	259.0	43.0	49.0	76.4
40	74.6	33.9	39.0	259.0	43.0	49.0	76.4
41	74.0	34.3	39.0	258.0	43.0	50.0	76.5
42	74.1	34.5	39.0	258.0	43.0	50.0	76.6
43	74.0	34.9	40.0	259.0	43.0	50.0	76.6
44	74.7	35.2	40.0	258.0	43.0	50.0	77.6
45	75.6	35.3	40.0	260.0	43.0	50.0	77.0
46	75.0	35.6	40.0	258.0	43.0	50.0	77.1
47	76.1	35.8	40.0	258.0	43.0	50.0	77.0
48	75.0	36.0	40.0	258.0	43.0	50.0	77.0
49	75.1	36.3	40.0	258.0	43.0	50.0	77.1
50	75.4	36.7	40.0	257.0	43.0	50.0	77.1
51	75.8	37.1	40.0	258.0	43.0	50.0	77.1
52	75.6	37.3	40.0	257.0	43.0	50.0	77.1
53	75.2	37.6	40.0	257.0	43.0	50.0	77.1
54	75.3	37.9	40.0	258.0	44.0	50.0	77.1
55	75.9	38.2	40.0	256.0	44.0	51.0	77.3
56	75.3	38.6	40.0	256.0	44.0	51.0	77.2
57	75.6	38.9	40.0	255.0	44.0	51.0	77.0
58	75.5	39.1	40.0	254.0	44.0	50.0	76.9
59	75.8	39.2	40.0	254.0	44.0	50.0	
60	76.0	39.2	40.0	254.0	44.0	50.0	...

ภาคผนวก ณ

ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ณ-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ไม่ผ่านท่อ
ทองแดง

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	32.7	29.4	32.0	306.0	40.0	48.0	-
2	36.8	29.3	33.0	310.0	41.0	48.0	-
3	45.6	29.4	33.0	310.0	41.0	49.0	-
4	56.9	29.5	33.0	303.0	41.0	49.0	-
5	72.7	20.8	34.0	307.0	41.0	49.0	-
6	81.7	29.9	35.0	309.0	42.0	50.0	-
7	87.9	30.2	36.0	303.0	42.0	50.0	-
8	92.1	30.2	37.0	303.0	42.0	50.0	-
9	94.3	30.4	39.0	303.0	42.0	51.0	-
10	96.0	30.8	38.0	303.0	43.0	51.0	-
11	97.3	31.0	40.0	314.0	44.0	52.0	-
12	98.3	31.4	40.0	322.0	44.0	53.0	-
13	98.4	31.8	42.0	311.0	44.0	53.0	-
14	98.7	32.3	41.0	311.0	45.0	53.0	-
15	99.3	32.6	41.0	328.0	46.0	57.0	-
16	99.6	33.1	42.0	328.0	46.0	57.0	-
17	100.6	33.8	42.0	317.0	46.0	56.0	-
18	101.1	34.0	44.0	315.0	45.0	55.0	-
19	101.0	34.6	43.0	312.0	45.0	56.0	-
20	102.1	34.6	43.0	311.0	46.0	56.0	-
21	102.9	34.6	44.0	311.0	46.0	56.0	-
22	103.1	36.0	45.0	333.0	47.0	59.0	-
23	102.9	36.5	46.0	320.0	47.0	58.0	-
24	102.6	36.9	46.0	316.0	46.0	57.0	-
25	102.4	37.5	45.0	313.0	46.0	57.0	-
26	102.6	38.1	46.0	328.0	47.0	58.0	-
27	103.0	38.5	47.0	314.0	46.0	56.0	-
28	103.8	39.0	47.0	313.0	46.0	57.0	-
29	103.5	39.5	47.0	323.0	47.0	58.0	-
30	103.1	40.0	47.0	314.0	47.0	58.0	-

ตาราง ภาคผนวก ณ-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	102.8	35.2	48.0	314.0	47.0	57.0	-
32	103.4	33.2	47.0	314.0	47.0	57.0	-
33	102.9	33.4	48.0	312.0	47.0	57.0	-
34	102.7	33.8	48.0	312.0	47.0	57.0	-
35	103.2	34.1	47.0	310.0	47.0	57.0	-
36	103.0	34.4	47.0	307.0	47.0	57.0	-
37	102.9	34.8	46.0	307.0	47.0	57.0	-
38	102.8	35.1	46.0	307.0	47.0	57.0	-
39	102.9	35.3	46.0	307.0	47.0	57.0	-
40	102.5	35.6	45.0	307.0	47.0	57.0	-
41	102.6	35.8	45.0	303.0	47.0	57.0	-
42	102.3	36.1	45.0	305.0	47.0	57.0	-
43	102.1	36.3	46.0	305.0	47.0	57.0	-
44	102.3	36.9	46.0	305.0	47.0	57.0	-
45	102.3	36.9	45.0	304.0	48.0	58.0	-
46	102.0	37.1	45.0	304.0	48.0	58.0	-
47	102.0	37.2	45.0	304.0	48.0	58.0	-
48	102.1	37.6	45.0	303.0	48.0	58.0	-
49	101.9	37.7	45.0	303.0	48.0	58.0	-
50	102.0	37.9	45.0	303.0	48.0	58.0	-
51	101.9	38.2	45.0	303.0	48.0	58.0	-
52	101.8	38.4	45.0	303.0	48.0	58.0	-
53	101.9	38.5	44.0	303.0	48.0	58.0	-
54	101.9	38.7	44.0	302.0	48.0	58.0	-
55	101.9	38.9	44.0	302.0	48.0	58.0	-
56	102.0	39.1	44.0	302.0	48.0	58.0	-
57	102.1	39.3	44.0	304.0	48.0	58.0	-
58	102.1	39.4	44.0	304.0	48.0	58.0	-
59	102.2	39.7	44.0	304.0	48.0	58.0	-
60	102.1	39.8	43	304.0	48.0	58.0	-

ตาราง ภาคผนวก ณ-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	33.1	27.0	31.0	309.0	44.0	56.0	54.7
2	34.2	27.2	31.0	308.0	44.0	56.0	59.6
3	46.4	27.2	31.0	297.0	44.0	55.0	62.8
4	55.8	27.3	32.0	296.0	44.0	55.0	65.3
5	64.9	27.3	32.0	294.0	44.0	55.0	66.5
6	75.7	27.6	33.0	294.0	44.0	55.0	67.0
7	83.9	27.7	33.0	295.0	44.0	55.0	68.5
8	89.1	27.7	34.0	294.0	44.0	55.0	68.7
9	92.9	28.0	34.0	293.0	44.0	55.0	69.1
10	95.0	28.3	34.0	291.0	44.0	55.0	69.1
11	96.4	28.5	35.0	291.0	45.0	55.0	70.3
12	97.3	28.8	35.0	292.0	45.0	55.0	70.7
13	97.8	29.0	36.0	292.0	45.0	55.0	70.4
14	98.1	29.4	36.0	292.0	45.0	55.0	70.6
15	98.4	29.6	37.0	293.0	45.0	56.0	70.6
16	98.8	29.9	37.0	293.0	45.0	56.0	70.7
17	99.1	30.2	37.0	293.0	45.0	56.0	71.5
18	98.9	30.5	37.0	293.0	45.0	56.0	71.6
19	99.0	30.9	37.0	293.0	45.0	56.0	71.8
20	99.1	31.1	38.0	292.0	46.0	56.0	71.9
21	99.4	31.5	38.0	292.0	46.0	56.0	72.0
22	99.4	32.2	38.0	292.0	46.0	56.0	72.2
23	99.5	32.2	38.0	292.0	46.0	56.0	72.3
24	99.7	32.6	38.0	292.0	46.0	56.0	72.5
25	99.8	33.0	38.0	292.0	46.0	56.0	72.6
26	100.0	33.4	38.0	294.0	46.0	56.0	73.7
27	100.0	33.8	38.0	292.0	46.0	56.0	72.8
28	100.1	34.2	38.0	291.0	46.0	56.0	73.1
29	100.1	34.4	39.0	291.0	46.0	56.0	73.1
30	100.1	34.8	38.0	291.0	46.0	56.0	73.1

ตาราง ภาคผนวก ณ-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	100.1	35.0	39.0	291.0	46.0	56.0	73.0
32	100.2	35.4	39.0	290.0	47.0	57.0	72.7
33	100.1	35.7	39.0	292.0	47.0	57.0	73.0
34	100.2	35.9	39.0	293.0	47.0	57.0	73.0
35	100.1	36.2	39.0	293.0	47.0	57.0	73.2
36	100.5	36.7	39.0	294.0	47.0	57.0	73.3
37	100.7	36.8	40.0	294.0	47.0	57.0	73.2
38	100.9	33.2	40.0	295.0	47.0	57.0	73.2
39	101.0	32.0	40.0	295.0	47.0	57.0	73.2
40	101.0	32.3	40.0	295.0	47.0	57.0	73.1
41	101.0	32.3	41.0	296.0	47.0	57.0	73.0
42	100.8	32.5	41.0	296.0	47.0	57.0	73.0
43	100.9	32.8	41.0	296.0	47.0	57.0	73.1
44	101.0	33.0	41.0	295.0	47.0	57.0	73.2
45	101.1	33.4	41.0	295.0	47.0	57.0	73.4
46	101.1	33.6	41.0	296.0	47.0	57.0	73.3
47	101.0	33.9	41.0	296.0	47.0	57.0	73.3
48	100.8	34.1	41.0	296.0	47.0	57.0	73.4
49	101.1	34.6	41.0	296.0	47.0	57.0	73.6
50	101.2	34.7	41.0	297.0	47.0	57.0	73.4
51	101.2	34.9	41.0	296.0	47.0	57.0	73.3
52	101.1	35.8	41.0	295.0	47.0	57.0	73.6
53	101.1	35.5	41.0	294.0	47.0	57.0	73.4
54	101.1	35.7	41.0	293.0	47.0	57.0	73.5
55	100.9	36.0	41.0	294.0	47.0	57.0	73.5
56	100.8	36.3	41.0	295.0	47.0	57.0	73.5
57	100.8	36.4	41.0	292.0	47.0	57.0	73.7
58	100.8	36.8	41.0	292.0	47.0	57.0	73.5
59	100.8	36.8	41.0	294.0	47.0	57.0	73.7
60	100.8	37.0	41.0	293.0	47.0	57.0	73.6

ตาราง ภาคผนวก ณ-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	34.8	28.7	31.0	305.0	41.0	51.0	59.7
2	35.2	28.7	31.0	305.0	41.0	51.0	62.4
3	48.3	28.8	32.0	305.0	41.0	51.0	62.6
4	59.2	29.3	34.0	305.0	41.0	51.0	62.0
5	71.2	29.3	34.0	305.0	41.0	49.0	72.0
6	80.4	29.3	34.0	305.0	41.0	49.0	72.6
7	80.9	29.5	34.0	306.0	42.0	50.0	72.8
8	80.9	29.8	34.0	307.0	42.0	50.0	72.5
9	90.9	29.9	34.0	307.0	42.0	50.0	73.0
10	98.0	30.3	34.0	307.0	42.0	50.0	73.3
11	98.7	30.5	34.0	308.0	43.0	51.0	73.3
12	99.0	30.8	35.0	309.0	43.0	51.0	73.3
13	99.8	31.0	35.0	309.0	43.0	51.0	73.1
14	99.6	31.3	35.0	310.0	43.0	51.0	74.0
15	99.9	31.6	35.0	310.0	43.0	51.0	74.5
16	100.3	32.6	35.0	320.0	43.0	51.0	74.3
17	100.6	32.3	36.0	320.0	43.0	52.0	75.5
18	100.8	32.7	38.0	322.0	45.0	53.0	74.5
19	100.8	33.0	38.0	324.0	45.0	54.0	75.0
20	101.5	33.6	39.0	327.0	45.0	55.0	75.0
21	101.5	33.9	39.0	327.0	46.0	55.0	76.1
22	102.5	34.4	39.0	327.0	46.0	55.0	76.2
23	102.4	34.8	39.0	310.0	46.0	56.0	76.2
24	103.0	35.2	39.0	318.0	46.0	56.0	76.0
25	103.6	35.7	40.0	319.0	46.0	57.0	75.5
26	103.8	36.2	40.0	318.0	46.0	57.0	76.0
27	104.1	36.8	40.0	318.0	46.0	57.0	76.0
28	103.9	36.9	40.0	322.0	46.0	56.0	75.8
29	103.7	37.0	41.0	317.0	46.0	56.0	76.7
30	103.7	37.0	41.0	303.0	46.0	56.0	77.3

ตาราง ภาคผนวก ณ-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	103.6	38.1	41.0	300.0	46.0	53.0	76.8
32	103.2	33.9	41.0	297.0	46.0	54.0	75.7
33	103.2	33.2	41.0	298.0	46.0	55.0	76.2
34	104.0	33.3	41.0	298.0	46.0	55.0	75.4
35	104.7	33.5	42.0	296.0	46.0	55.0	76.1
36	102.1	33.6	42.0	296.0	46.0	55.0	75.7
37	101.6	33.8	42.0	295.0	46.0	56.0	76.1
38	101.5	34.2	42.0	296.0	46.0	56.0	75.8
39	101.3	34.3	42.0	296.0	46.0	56.0	75.8
40	101.0	34.6	43.0	295.0	46.0	56.0	75.7
41	100.7	34.7	43.0	295.0	46.0	56.0	75.7
42	100.6	34.9	44.0	296.0	46.0	56.0	75.7
43	100.4	35.0	43.0	295.0	46.0	56.0	74.6
44	100.3	35.2	43.0	294.0	46.0	57.0	75.6
45	100.3	35.4	43.0	294.0	46.0	57.0	75.8
46	100.2	35.6	43.0	294.0	47.0	57.0	74.9
47	100.1	35.6	43.0	295.0	47.0	57.0	75.2
48	100.0	35.9	44.0	295.0	47.0	57.0	75.4
49	100.1	36.1	44.0	295.0	47.0	57.0	75.4
50	100.0	36.3	44.0	294.0	47.0	57.0	74.9
51	100.0	36.6	44.0	294.0	47.0	57.0	75.5
52	99.7	36.7	44.0	295.0	47.0	57.0	75.2
53	100.1	36.9	44.0	295.0	47.0	57.0	75.1
54	100.2	37.0	44.0	295.0	47.0	57.0	75.0
55	99.9	37.0	44.0	294.0	47.0	57.0	75.8
56	100.1	37.0	44.0	295.0	47.0	57.0	75.1
57	100.0	37.7	44.0	295.0	47.0	57.0	75.0
58	100.0	37.8	44.0	295.0	47.0	57.0	75.3
59	99.9	38.0	44.0	295.0	47.0	57.0	75.6
60	100.1	38.2	44.0	295.0	47.0	57.0	75.1

ตาราง ภาคผนวก ณ-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถังน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	33.6	29.0	33.0	279.0	42.0	52.0	55.9
2	35.2	29.2	33.0	282.0	42.0	53.0	62.2
3	44.2	66.8	34.0	297.0	42.0	53.0	67.1
4	52.8	29.5	34.0	295.0	43.0	54.0	70.4
5	61.4	29.4	34.0	295.0	43.0	54.0	72.9
6	67.0	29.6	34.0	298.0	44.0	55.0	74.5
7	79.4	29.7	34.0	300.0	44.0	55.0	75.4
8	85.4	29.9	34.0	300.0	44.0	55.0	76.4
9	90.3	30.3	35.0	300.0	43.0	53.0	77.7
10	93.7	30.7	35.0	289.0	43.0	54.0	77.7
11	95.8	30.6	36.0	289.0	43.0	54.0	78.1
12	97.1	31.0	36.0	289.0	43.0	54.0	78.4
13	98.5	31.6	36.0	284.0	43.0	54.0	78.6
14	98.4	31.4	36.0	284.0	43.0	54.0	78.6
15	99.0	31.7	37.0	284.0	43.0	54.0	79.3
16	99.3	32.2	37.0	285.0	44.0	55.0	78.9
17	99.6	32.4	38.0	285.0	45.0	55.0	79.0
18	99.7	32.8	37.0	285.0	45.0	55.0	79.2
19	99.7	33.1	36.0	300.0	45.0	57.0	79.6
20	99.7	33.4	38.0	295.0	45.0	57.0	79.9
21	99.9	33.8	38.0	298.0	45.0	55.0	80.1
22	100.2	34.4	38.0	295.0	45.0	57.0	80.4
23	100.4	34.6	39.0	288.0	45.0	57.0	80.3
24	100.9	35.1	39.0	286.0	46.0	55.0	80.2
25	100.6	35.4	39.0	286.0	46.0	56.0	80.2
26	100.5	35.8	39.0	287.0	46.0	56.0	80.4
27	100.5	36.0	40.0	289.0	46.0	56.0	80.4
28	100.5	36.4	40.0	288.0	46.0	56.0	80.5
29	100.5	36.9	40.0	288.0	46.0	56.0	80.0
30	100.4	37.2	40.0	290.0	46.0	56.0	80.5

ตารางภาคผนวก ณ-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	100.4	37.5	40.0	292.0	46.0	56.0	80.7
32	100.4	34.1	40.0	290.0	46.0	56.0	80.5
33	100.5	33.4	40.0	288.0	46.0	56.0	80.4
34	100.2	33.4	40.0	289.0	47.0	56.0	79.4
35	100.2	34.0	41.0	289.0	47.0	57.0	79.8
36	100.4	34.2	41.0	290.0	47.0	57.0	79.1
37	100.6	34.3	41.0	290.0	47.0	57.0	79.8
38	100.4	34.8	41.0	291.0	47.0	57.0	80.0
39	100.0	34.9	41.0	291.0	47.0	57.0	79.4
40	100.1	35.2	42.0	291.0	47.0	57.0	80.0
41	99.9	35.4	42.0	291.0	47.0	57.0	80.0
42	100.0	35.7	42.0	291.0	47.0	57.0	79.9
43	100.3	36.0	42.0	291.0	47.0	57.0	79.5
44	100.0	36.4	42.0	291.0	47.0	57.0	79.7
45	100.0	36.4	42.0	291.0	47.0	57.0	80.1
46	100.3	36.4	42.0	290.0	47.0	57.0	79.8
47	100.3	37.1	42.0	291.0	47.0	57.0	79.4
48	100.0	37.2	42.0	291.0	47.0	57.0	79.5
49	100.0	37.6	42.0	291.0	47.0	57.0	80.6
50	100.0	37.8	43.0	292.0	47.0	57.0	80.6
51	100.0	38.2	42.0	292.0	47.0	57.0	80.8
52	99.9	38.6	42.0	291.0	47.0	57.0	80.6
53	100.2	38.7	42.0	291.0	47.0	57.0	80.9
54	100.4	39.0	42.0	291.0	47.0	57.0	80.9
55	100.3	39.2	42.0	291.0	47.0	57.0	80.9
56	100.4	39.5	42.0	291.0	47.0	57.0	80.5
57	100.7	39.9	42.0	291.0	48.0	58.0	79.6
58	100.5	40.1	42.0	291.0	48.0	58.0	79.6
59	100.5	40.3	43.0	291.0	48.0	58.0	79.9
60	100.3	40.4	43	291.0	48.0	58.0	79.8

ตาราง ภาคผนวก ณ-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	29.3	29.8	33.0	165.0	34.0	35.0	60.6
2	33.6	29.9	33.0	194.0	35.0	36.0	64.1
3	42.1	29.9	34.0	196.0	34.0	36.0	66.3
4	50.3	30.1	34.0	196.0	35.0	36.0	68.7
5	53.6	30.1	34.0	194.0	35.0	36.0	60.5
6	56.7	30.2	34.0	191.0	35.0	37.0	71.7
7	60.3	30.5	35.0	190.0	35.0	37.0	72.9
8	63.3	30.7	35.0	183.0	35.0	37.0	73.2
9	65.5	30.6	35.0	183.0	35.0	37.0	73.7
10	67.1	30.8	35.0	181.0	35.0	37.0	74.0
11	67.9	30.9	35.0	183.0	35.0	38.0	74.3
12	68.4	20.9	36.0	187.0	35.0	38.0	74.2
13	69.1	21.1	36.0	194.0	36.0	39.0	74.0
14	69.3	31.4	36.0	194.0	36.0	39.0	74.8
15	69.2	31.4	36.0	194.0	36.0	39.0	74.8
16	69.3	31.7	36.0	195.0	36.0	39.0	74.8
17	68.8	31.8	36.0	199.0	36.0	40.0	74.8
18	69.9	32.0	36.0	200.0	36.0	40.0	74.8
19	69.9	32.2	36.0	212.0	37.0	42.0	74.7
20	70.0	32.2	36.0	223.0	37.0	43.0	75.0
21	70.2	32.5	36.0	230.0	37.0	43.0	74.8
22	69.7	32.6	37.0	244.0	40.0	47.0	75.0
23	70.3	32.8	37.0	254.0	40.0	47.0	75.4
24	71.1	33.0	38.0	261.0	41.0	49.0	75.8
25	71.1	33.1	38.0	268.0	41.0	49.0	75.9
26	70.9	33.2	38.0	270.0	41.0	49.0	76.0
27	70.6	33.3	38.0	272.0	41.0	49.0	76.3
28	71.3	33.4	38.0	270.0	41.0	49.0	76.5
29	72.0	33.4	39.0	276.0	41.0	51.0	76.8
30	71.8	33.7	39.0	279.0	43.0	51.0	77.1

ตาราง ภาคผนวก ฅ-5 (ต่อ)

เวลา (นาทึ)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอล เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	72.0	33.8	39.0	280.0	43.0	51.0	77.5
32	71.8	34.0	39.0	283.0	43.0	51.0	77.7
33	71.6	34.2	40.0	283.0	44.0	52.0	77.8
34	72.0	34.3	40.0	285.0	44.0	52.0	77.8
35	72.9	34.5	40.0	285.0	44.0	52.0	78.0
36	72.9	34.5	41.0	285.0	44.0	52.0	78.2
37	73.8	34.8	41.0	285.0	44.0	53.0	78.3
38	73.4	34.9	41.0	286.0	44.0	53.0	78.5
39	73.6	35.2	41.0	287.0	45.0	54.0	78.6
40	73.2	33.9	41.0	287.0	45.0	54.0	78.6
41	74.0	32.5	41.0	287.0	45.0	55.0	78.1
42	74.7	32.6	41.0	287.0	45.0	55.0	78.8
43	74.8	32.8	41.0	286.0	45.0	54.0	78.8
44	75.0	32.8	40.0	285.0	45.0	54.0	78.8
45	75.3	33.2	40.0	285.0	45.0	54.0	79.1
46	75.2	33.6	41.0	285.0	45.0	54.0	79.4
47	76.1	33.9	40.0	284.0	45.0	54.0	79.6
48	76.5	34.0	40.0	284.0	45.0	54.0	79.8
49	77.8	34.1	40.0	283.0	45.0	54.0	79.6
50	77.8	34.4	40.0	284.0	45.0	54.0	79.7
51	78.0	34.4	40.0	284.0	45.0	54.0	79.9
52	78.2	34.9	40.0	284.0	45.0	54.0	79.5
53	77.8	35.0	39.0	283.0	46.0	55.0	79.5
54	77.9	35.2	39.0	283.0	46.0	55.0	79.2
55	78.2	35.3	39.0	282.0	46.0	55.0	79.4
56	78.7	35.5	39.0	282.0	46.0	55.0	79.4
57	78.7	35.6	39.0	282.0	46.0	55.0	79.1
58	79.0	35.9	39.0	280.0	46.0	55.0	78.9
59	78.8	35.9	39.0	280.0	46.0	55.0	78.9
60	78.1	36.1	39.0	281.0	46.0	55.0	

ภาคผนวก ญ
ตารางผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3000 รอบ/นาที

ตาราง ภาคผนวก ญ-1 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ไม่ผ่านท่อ
ทองแดง

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	42.2	29.0	35.0	374.0	47.0	60.0	-
2	45.2	29.1	35.0	381.0	47.0	61.0	-
3	56.8	29.3	35.0	389.0	48.0	62.0	-
4	68.3	29.6	35.0	385.0	48.0	62.0	-
5	74.6	29.9	35.0	376.0	48.0	62.0	-
6	85.9	30.0	35.0	367.0	48.0	62.0	-
7	90.7	30.2	35.0	370.0	48.0	62.0	-
8	96.3	30.4	36.0	382.0	49.0	63.0	-
9	100.9	30.5	36.0	383.0	49.0	63.0	-
10	103.7	30.8	36.0	384.0	49.0	63.0	-
11	104.8	31.1	37.0	383.0	49.0	63.0	-
12	105.0	31.3	37.0	384.0	49.0	63.0	-
13	107.0	31.8	37.0	385.0	49.0	63.0	-
14	109.9	32.1	37.0	385.0	49.0	63.0	-
15	109.9	32.4	37.0	385.0	50.0	64.0	-
16	109.7	32.9	37.0	385.0	50.0	64.0	-
17	109.4	33.2	38.0	386.0	50.0	64.0	-
18	109.0	33.7	38.0	385.0	50.0	64.0	-
19	108.7	34.1	38.0	385.0	50.0	64.0	-
20	109.4	34.5	39.0	380.0	50.0	64.0	-
21	109.9	35.0	39.0	380.0	50.0	64.0	-
22	109.9	35.4	39.0	380.0	50.0	64.0	-
23	109.7	35.9	39.0	380.0	50.0	64.0	-
24	102.6	36.3	39.0	380.0	50.0	64.0	-
25	102.4	36.9	40.0	386.0	50.0	64.0	-
26	102.6	38.0	40.0	386.0	50.0	64.0	-
27	103.0	38.4	40.0	383.0	50.0	65.0	-
28	103.8	34.6	41.0	383.0	51.0	65.0	-
29	103.5	33.3	41.0	382.0	51.0	65.0	-
30	103.1	33.4	41.0	382.0	52.0	65.0	-

ตาราง ภาคผนวก ญ-1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	109.9	33.8	42.0	381.0	52.0	65.0	-
32	109.9	34.1	41.0	381.0	52.0	65.0	-
33	109.7	34.6	42.0	386.0	52.0	66.0	-
34	109.9	34.8	42.0	387.0	52.0	66.0	-
35	109.8	35.2	42.0	388.0	52.0	66.0	-
36	109.8	35.6	42.0	385.0	52.0	66.0	-
37	109.6	36.0	42.0	385.0	52.0	66.0	-
38	109.7	36.7	43.0	384.0	52.0	66.0	-
39	110.0	36.8	43.0	384.0	52.0	66.0	-
40	110.2	37.3	43.0	384.0	52.0	66.0	-
41	110.3	37.6	43.0	383.0	52.0	66.0	-
42	110.1	38.0	43.0	383.0	52.0	66.0	-
43	110.2	38.4	43.0	383.0	52.0	66.0	-
44	110.2	38.7	43.0	383.0	52.0	66.0	-
45	110.4	39.0	43.0	381.0	52.0	66.0	-
46	110.6	39.3	43.0	381.0	52.0	66.0	-
47	110.6	39.6	43.0	381.0	52.0	66.0	-
48	110.9	39.8	43.0	381.0	52.0	66.0	-
49	110.8	40.1	43.0	381.0	52.0	66.0	-
50	111.0	40.2	43.0	381.0	52.0	66.0	-
51	111.0	40.5	43.0	381.0	52.0	66.0	-
52	111.1	40.5	43.0	381.0	52.0	66.0	-
53	111.1	40.9	43.0	381.0	52.0	66.0	-
54	110.9	41.2	43.0	381.0	52.0	66.0	-
55	110.7	41.5	43.0	381.0	52.0	66.0	-
56	110.9	41.8	37.4	381.0	52.0	66.0	-
57	110.8	42.1	44.0	382.0	52.0	66.0	-
58	110.9	42.5	44.0	382.0	52.0	66.0	-
59	111.0	42.8	44.0	382.0	52.0	66.0	-
60	111.0	43.1	44.0	382.0	52.0	66.0	-

ตาราง ภาคผนวก ญ-2 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.1 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	39.8	28.7	32.0	238.0	30.0	33.0	56.9
2	46.8	28.7	34.0	244.0	31.0	34.0	60.2
3	47.3	28.8	33.0	247.0	32.0	35.0	64.0
4	56.8	28.8	34.0	251.0	32.0	35.0	66.7
5	76.2	29.1	34.0	250.0	33.0	36.0	68.1
6	71.4	29.0	35.0	247.0	32.0	36.0	68.4
7	79.3	29.2	35.0	247.0	32.0	36.0	66.9
8	85.9	29.4	35.0	245.0	34.0	38.0	69.9
9	90.0	29.8	36.0	247.0	34.0	38.0	71.0
10	92.8	29.9	35.0	263.0	35.0	40.0	69.2
11	94.0	30.2	37.0	270.0	35.0	41.0	69.6
12	94.9	30.6	37.0	270.0	35.0	41.0	70.4
13	99.1	30.8	37.0	270.0	35.0	41.0	71.4
14	101.1	31.0	37.0	270.0	35.0	43.0	71.6
15	101.6	31.2	37.0	278.0	37.0	43.0	71.9
16	102.2	31.7	37.0	278.0	37.0	43.0	71.9
17	102.2	31.9	37.0	278.0	37.0	43.0	72.9
18	103.4	32.3	38.0	289.0	37.0	43.0	71.1
19	104.1	32.3	38.0	289.0	37.0	49.0	71.8
20	104.8	33.3	38.0	310.0	41.0	51.0	72.0
21	105.6	33.6	39.0	317.0	42.0	52.0	72.5
22	106.1	33.9	40.0	330.0	43.0	53.0	72.1
23	106.0	34.5	40.0	343.0	44.0	55.0	72.8
24	106.6	34.8	41.0	349.0	44.0	56.0	73.2
25	105.6	35.2	41.0	345.0	44.0	57.0	73.8
26	106.1	35.7	41.0	355.0	44.0	57.0	74.4
27	106.0	35.8	41.0	355.0	47.0	57.0	74.3
28	105.6	36.5	42.0	365.0	47.0	58.0	74.0
29	106.1	37.0	41.0	366.0	47.0	60.0	74.7
30	106.0	37.0	41.0	367.0	47.0	60.0	75.7

ตาราง ภาคผนวก ญ-2 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	105.6	33.7	42.0	369.0	48.0	60.0	75.3
32	106.1	33.9	42.0	369.0	48.0	60.0	75.3
33	106.0	34.0	43.0	369.0	48.0	61.0	75.4
34	106.6	34.2	43.0	370.0	48.0	61.0	74.9
35	107.6	34.8	43.0	370.0	48.0	61.0	75.3
36	108.0	35.3	43.0	370.0	49.0	62.0	74.5
37	108.2	35.7	43.0	370.0	49.0	62.0	74.7
38	108.4	35.7	43.0	370.0	49.0	62.0	75.2
39	108.5	36.0	43.0	365.0	50.0	62.0	74.8
40	108.5	36.3	43.0	365.0	49.0	62.0	74.4
41	108.6	36.7	43.0	365.0	49.0	62.0	75.1
42	108.5	36.9	43.0	362.0	50.0	62.0	74.5
43	108.4	37.3	43.0	361.0	50.0	62.0	74.4
44	108.1	37.6	45.0	362.0	51.0	63.0	74.7
45	107.7	37.9	45.0	362.0	51.0	63.0	74.7
46	107.8	38.2	44.0	362.0	51.0	63.0	74.7
47	107.7	38.5	44.0	362.0	51.0	63.0	74.6
48	107.5	38.7	44.0	370.0	51.0	63.0	74.3
49	107.4	39.0	44.0	370.0	51.0	63.0	74.5
50	107.4	39.4	44.0	378.0	51.0	64.0	74.8
51	107.4	39.6	44.0	378.0	51.0	64.0	74.9
52	107.1	39.6	44.0	377.0	51.0	64.0	75.0
53	107.4	40.1	44.0	377.0	51.0	64.0	75.1
54	108.0	40.4	44.0	375.0	51.0	63.0	75.2
55	108.5	40.7	44.0	375.0	51.0	63.0	75.3
56	108.7	40.9	44.0	375.0	51.0	63.0	75.3
57	108.7	41.1	44.0	378.0	51.0	64.0	75.7
58	108.7	41.6	44.0	378.0	51.0	64.0	75.8
59	108.8	41.7	44.0	378.0	51.0	64.0	76.1
60	108.9	41.9	44.0	378.0	51.0	64.0	76.0

ตาราง ภาคผนวก ญ-3 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.2 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	39.6	26.4	31.0	363.0	45.0	56.0	68.8
2	49.2	26.7	31.0	365.0	46.0	53.0	70.0
3	56.2	27.1	32.0	369.0	46.0	54.0	71.0
4	68.8	27.7	32.0	369.0	46.0	54.0	72.3
5	84.4	27.6	34.0	367.0	46.0	54.0	73.5
6	95.5	27.9	34.0	367.0	46.0	54.0	74.1
7	99.0	28.4	35.0	367.0	46.0	55.0	74.4
8	101.5	28.9	35.0	366.0	46.0	55.0	75.2
9	103.1	29.4	36.0	367.0	47.0	56.0	75.1
10	104.4	29.8	36.0	367.0	47.0	56.0	75.5
11	105.0	30.3	36.0	367.0	47.0	56.0	75.6
12	105.3	30.7	36.0	367.0	47.0	56.0	76.3
13	106.7	31.1	37.0	368	48.0	57.0	76.3
14	107.4	31.8	37.0	370.0	48.0	57.0	76.5
15	107.4	32.3	37.0	371.0	48.0	57.0	76.5
16	108.7	32.8	39.0	369.0	48.0	58.0	76.4
17	109.3	33.5	39.0	368.0	47.0	57.0	77.7
18	109.8	34.4	40.0	369.0	47.0	57.0	78.0
19	110.1	34.6	40.0	372.0	47.0	58.0	77.6
20	110.6	35.0	41.0	380.0	47.0	59.0	77.2
21	110.8	35.6	41.0	390.0	49.0	59.0	77.3
22	110.9	36.1	41.0	392.0	50.0	59.0	77.4
23	111.1	36.7	41.0	392.0	50.0	59.0	78.4
24	111.2	37.3	42.0	394.0	50.0	59.0	78.4
25	110.8	38.0	43.0	392.0	50.0	60.0	79.7
26	110.9	38.6	42.0	391.0	50.0	60.0	79.4
27	111.1	39.1	43.0	392.0	50.0	60.0	79.5
28	110.8	39.8	43.0	393.0	50.0	60.0	79.7
29	110.9	40.5	43.0	393.0	50.0	62.0	79.9
30	111.1	41.0	43.0	392.0	51.0	63.0	80.2

ตาราง ภาคผนวก ญ-3 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	110.8	41.8	44	392	51.0	63.0	80.0
32	110.9	42.3	44	392	51.0	62.0	79.7
33	111.1	42.9	44	392	51.0	63.0	79.4
34	111.2	43.7	44	393	51.0	63.0	79.3
35	111.2	44.4	44	393	51.0	63.0	79.7
36	111.2	45.1	45	392	51.0	62.0	78.8
37	111.1	36.6	45	392	51.0	64.0	77.9
38	111.1	33.3	45	391	51.0	64.0	78
39	111.0	33.8	45	391	51.0	64.0	77.2
40	111.1	34.4	45	393	51.0	64.0	77.3
41	111	34.9	45	393	51.0	64.0	77.2
42	110.9	35.5	46	393	51.0	64.0	77
43	110.9	35.8	46	393	51.0	63.0	77.2
44	110.8	36.2	46	393	51.0	63.0	77.4
45	110.7	36.7	46	393	51.0	63.0	77.3
46	110.8	37.2	46	393	51.0	63.0	77.6
47	110.9	37.7	46	392	51.0	63.0	77.3
48	110.9	38.1	46	392	51.0	63.0	77.4
49	110.7	38.6	46	392	51.0	64.0	77.7
50	110.7	39.2	47	392	51.0	61.0	77.8
51	110.7	39.5	47	392	51.0	64.0	78
52	110.7	40.1	46	391	51.0	64.0	78.9
53	110.6	40.4	47	392	51.0	64.0	78.9
54	110.7	41.2	47	392	51.0	64.0	79.1
55	111	41.5	47	391	52.0	65.0	78.8
56	111.1	41.9	47	392	51.0	64.0	78.6
57	111.7	42.3	46	391	51.0	64.0	78.5
58	112.1	42.3	46	390	51.0	64.0	78.8
59	112.3	43.3	46	390	51.0	64.0	78.6
60	112.3	43.7	46	390	51.0	64.0	78.8

ตาราง ภาคผนวก ญ-4 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.3 เมตร

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	38.8	28.4	30.0	246.0	35.0	37.0	63.0
2	43.8	28.6	30.0	246.0	35.0	37.0	66.7
3	49.1	28.8	32.0	247.0	35.0	38.0	70.0
4	57.2	29.0	32.0	249.0	36.0	39.0	72.5
5	68.8	29.0	32.0	249.0	36.0	39.0	73.0
6	78.9	29.1	33.0	251.0	37.0	40.0	73.9
7	84.3	29.2	33.0	251.0	37.0	40.0	74.2
8	87.9	29.3	33.0	255.0	38.0	42.0	75.2
9	91.0	29.6	34.0	255.0	38.0	43.0	75.3
10	92.7	29.9	34.0	255.0	38.0	43.0	75.6
11	93.8	30.1	34.0	255.0	38.0	43.0	76.1
12	97.4	30.3	34.0	255.0	38.0	43.0	76.9
13	99.9	30.7	34.0	255.0	38.0	43.0	77.2
14	102.1	31.2	35.0	280.0	39.0	45.0	77.7
15	102.5	31.4	36.0	287.0	41.0	48.0	77.5
16	102.9	31.8	37.0	300.0	41.0	49.0	78.4
17	103.8	32.4	37.0	318.0	43.0	50.0	77.8
18	105.4	32.6	38.0	333.0	44.0	53.0	78.2
19	106.1	33.1	38.0	333.0	44.0	53.0	78.0
20	106.5	33.4	38.0	352.0	46.0	56.0	78.3
21	107.2	33.6	38.0	356.0	45.0	56.0	78.3
22	107.6	33.9	38.0	355.0	46.0	57.0	78.6
23	108.1	34.5	38.0	355.0	46.0	57.0	80.7
24	105.2	34.8	39.0	363.0	47.0	58.0	81.0
25	107.2	35.2	39.0	366.0	47.0	59.0	81.2
26	107.6	35.8	40.0	366.0	47.0	60.0	81.2
27	108.1	36.4	39.0	368.0	48.0	60.0	82.2
28	107.2	36.7	40.0	370.0	48.0	60.0	82.3
29	107.6	37.2	40.0	372.0	48.0	61.0	82.4
30	108.1	33.5	40.0	372.0	48.0	61.0	82.9

ตารางภาคผนวก ญ-4 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	107.2	33.0	40.0	365.0	49.0	61.0	82.7
32	100.4	33.3	41.0	364.0	49.0	61.0	82.0
33	100.5	33.7	41.0	360.0	49.0	62.0	81.7
34	100.2	33.9	41.0	372.0	50.0	62.0	81.3
35	100.2	34.3	41.0	375.0	50.0	62.0	80.9
36	100.4	34.6	41.0	376.0	50.0	63.0	81.6
37	100.6	35.0	41.0	373.0	50.0	63.0	81.6
38	100.4	35.4	41.0	385.0	51.0	64.0	81.7
39	100.0	35.7	42.0	388.0	51.0	64.0	81.7
40	100.1	36.2	42.0	389.0	51.0	64.0	82.3
41	99.9	36.7	42.0	390.0	51.0	64.0	82.4
42	100.0	37.0	42.0	389.0	52.0	64.0	83.1
43	100.3	37.4	43.0	390.0	52.0	65.0	83.1
44	100.0	37.9	43.0	389.0	52.0	65.0	84.3
45	100.0	38.2	43.0	389.0	52.0	65.0	84.3
46	100.3	39.0	43.0	390.0	52.0	64.0	84.3
47	100.3	39.2	43.0	390.0	52.0	65.0	84.1
48	100.0	39.7	43.0	391.0	52.0	65.0	83.7
49	100.0	40.2	43.0	390.0	52.0	65.0	84.0
50	100.0	40.5	44.0	390.0	52.0	65.0	84.5
51	100.0	41.0	43.0	391.0	52.0	65.0	85.1
52	99.9	41.4	44.0	390.0	52.0	64.0	83.4
53	100.2	41.9	45.0	390.0	52.0	61.0	83.1
54	100.4	42.2	45.0	391.0	52.0	60.0	82.9
55	100.3	42.7	45.0	391.0	52.0	61.0	83.7
56	100.4	43.0	45.0	390.0	52.0	62.0	84.2
57	100.7	43.4	45.0	389.0	52.0	61.0	83.6
58	100.5	43.8	45.0	390.0	52.0	62.0	83.3
59	100.5	44.1	45.0	389.0	52.0	62.0	83.7
60	100.3	44.4	45.0	389.0	52.0	62.0	83.2

ตาราง ภาคผนวก ญ-5 ตารางบันทึกผลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ผ่านท่อทองแดง
Le 0.4 เมตร

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
1	38.7	30.5	33.0	251.0	37.0	42.0	74.0
2	42.8	30.7	33.0	256.0	38.0	41.0	75.1
3	45.3	30.8	34.0	260.0	38.0	43.0	76.0
4	52.8	30.9	34.0	265.0	39.0	43.0	76.9
5	60.2	31.0	34.0	270.0	39.0	44.0	77.4
6	65.9	31.1	34.0	266.0	39.0	44.0	77.7
7	67.2	31.1	34.0	267.0	39.0	45.0	78.0
8	68.0	31.2	34.0	283.0	40.0	45.0	77.2
9	69.1	31.4	34.0	290.0	41.0	47.0	77.7
10	70.1	31.5	34.0	297.0	42.0	48.0	77.4
11	70.4	31.6	35.0	312.0	43.0	50.0	78.0
12	70.2	31.8	35.0	322.0	43.0	50.0	78.5
13	73.7	32.0	34.0	331.0	44.0	51.0	78.1
14	73.3	32.2	35.0	327.0	44.0	52.0	79.1
15	74.4	32.3	35.0	315.0	44.0	52.0	79.4
16	74.0	32.4	35.0	344.0	46.0	53.0	79.4
17	73.4	32.5	35.0	347.0	46.0	54.0	80.0
18	73.3	32.7	35.0	348.0	46.0	55.0	80.6
19	73.5	32.9	35.0	352.0	47.0	55.0	80.7
20	73.9	33.0	35.0	354.0	47.0	55.0	81.2
21	73.6	33.2	35.0	353.0	47.0	55.0	80.9
22	74.3	33.3	35.0	355.0	47.0	56.0	80.8
23	74.5	33.5	35.0	355.0	48.0	56.0	81.0
24	73.8	33.8	35.0	355.0	48.0	55.0	81.2
25	73.6	34.1	35.0	354.0	48.0	56.0	81.3
26	74.3	34.3	35.0	355.0	48.0	56.0	81.4
27	74.5	34.4	35.0	354.0	48.0	56.0	81.6
28	73.6	34.6	36.0	356.0	48.0	56.0	81.4
29	74.3	34.9	35.0	356.0	48.0	57.0	81.7
30	74.5	35.0	35.0	354.0	48.0	57.0	81.7

ตาราง ภาคผนวก ญ-5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ หม้อน้ำ	อุณหภูมิ ถึงน้ำมัน	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิไอ เสีย	อุณหภูมิ น้ำเข้า	อุณหภูมิ น้ำออก	อุณหภูมิ น้ำมันออก
	C ₁	C ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	C ₄
31	73.6	35.2	35.0	354.0	49.0	56.0	81.8
32	74.3	35.4	35.0	354.0	49.0	57.0	81.7
33	74.5	35.6	35.0	354.0	49.0	57.0	81.6
34	73.8	35.9	35.0	354.0	49.0	57.0	81.4
35	73.9	36.1	35.0	355.0	49.0	56.0	81.6
36	74.4	36.3	35.0	355.0	49.0	56.0	81.9
37	74.2	36.7	35.0	355.0	49.0	56.0	81.8
38	73.8	37.3	35.0	355.0	49.0	56.0	81.8
39	73.6	36.7	35.0	350.0	49.0	56.0	82
40	73.9	33	35.0	349.0	49.0	56.0	82.6
41	73.8	31.1	35.0	351.0	49.0	56.0	81.5
42	73.4	31.1	35.0	349.0	49.0	56.0	81.1
43	74.1	31.4	35.0	349.0	49.0	56.0	81.0
44	74.1	31.5	35.0	357.0	49.0	56.0	80.8
45	73.8	31.6	35.0	359.0	49.0	56.0	81.0
46	73.5	31.9	35.0	359.0	50.0	56.0	81.1
47	73.2	32.2	35.0	360.0	49.0	56.0	81.3
48	73.4	32.5	35.0	359.0	49.0	57.0	81.5
49	73.5	32.7	35.0	359.0	50.0	56.0	81.4
50	73.8	33.0	35.0	359.0	50.0	57.0	81.4
51	73.4	33.4	35.0	358.0	50.0	57.0	81.9
52	73.7	33.5	35.0	358.0	50.0	57.0	82.1
53	74.1	33.9	35.0	357.0	50.0	57.0	83.0
54	73.9	34.4	35.0	357.0	50.0	57.0	81.9
55	73.3	34.6	35.0	357.0	50.0	57.0	82.0
56	73.8	35.2	35.0	357.0	50.0	57.0	82.1
57	74.1	35.3	35.0	357.0	50.0	57.0	82.6
58	74.7	35.7	35.0	357.0	50.0	58.0	82.8
59	74.0	36.0	35.0	358.0	50.0	57.0	82.2
60	74.7	36.1	36.0	358.0	50.0	57.0	82.3

ภาคผนวก ก
ตารางข้อมูลแสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์
และอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์

ตาราง ภาคผนวก ฎ-1 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (kg)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	1.282	1.261	1.145	1.193	1.203
1500	2.700	2.652	2.518	2.572	2.543
2000	3.652	3.61	3.517	3.574	3.443
2500	5.089	4.876	4.760	4.838	4.811
3000	7.138	7.115	7.113	6.805	6.805

ตาราง ภาคผนวก ฎ-2 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) (kg)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	1.050	1.038	1.042	1.021	1.046
1500	2.304	1.287	1.718	1.442	1.834
2000	3.197	2.707	2.926	2.926	3.08
2500	4.553	4.29	4.529	4.266	4.395
3000	6.296	5.198	6.131	5.442	5.473

ตาราง ภาคผนวก ฎ-3 แสดงค่าแรงบิด (Torque) ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าแรงบิด Torque ของเครื่องยนต์ (N-m)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	55.5	66.7	64.0	63.5	64.4
1500	84.4	109.4	107.5	105.4	101.9
2000	123.7	109.4	110.4	123.7	110.9
2500	103.5	103.6	103.6	100.3	105.6
3000	98.1	98.1	99.4	91.3	88.3

ตาราง ภาคผนวก ฎ-4 แสดงค่าแรงบิด (Torque) ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าแรงบิด (Torque) ของเครื่องยนต์ (N-m)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	34.1	39.2	40.0	42.6	53.3
1500	68.9	52.0	61.8	53.1	62.3
2000	99.8	89.0	93.4	88.6	92.1
2500	105.3	96.2	109.5	105.6	107.4
3000	97.5	106.1	107.7	95.6	96.5

ตาราง ภาคผนวก ฎ-5 แสดงกำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power, Pb) เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์(Brake power, Pb) (kW)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	4.649	5.587	5.361	5.319	5.395
1500	13.257	17.184	16.886	16.556	16.006
2000	25.907	22.912	23.122	25.907	23.226
2500	27.096	27.122	27.122	26.258	27.646
3000	30.819	30.819	31.227	28.682	27.740

ตาราง ภาคผนวก ฎ-6 แสดงกำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power, Pb) เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
ไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์(Brake power, Pb) (kW)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	2.857	3.284	3.351	3.569	4.465
1500	10.823	8.168	9.707	8.341	9.786
2000	20.902	18.640	19.562	18.556	19.289
2500	27.567	25.185	28.667	27.646	28.117
3000	30.630	33.332	33.835	30.034	30.316

ตาราง ภาคผนวก ก-7 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก BSFC เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก BSFC (kg/kw-hr)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	0.276	0.226	0.214	0.224	0.223
1500	0.204	0.154	0.149	0.155	0.159
2000	0.141	0.158	0.152	0.138	0.148
2500	0.188	0.180	0.176	0.184	0.174
3000	0.232	0.231	0.228	0.237	0.245

ตาราง ภาคผนวก ก-8 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก BSFC เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก BSFC (kg/kw-hr)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	0.368	0.316	0.311	0.286	0.234
1500	0.213	0.158	0.177	0.173	0.187
2000	0.153	0.145	0.150	0.158	0.160
2500	0.165	0.170	0.158	0.154	0.156
3000	0.206	0.156	0.181	0.181	0.181

ตาราง ภาคผนวก ฎ-9 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย O_2 เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย O_2 เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (เปอร์เซ็นต์)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	15.68	15.78	16.11	16.12	15.72
1500	15.09	15.68	15.20	15.48	15.69
2000	15.06	15.33	15.12	15.33	15.76
2500	12.85	13.03	13.37	13.96	13.61
3000	12.35	12.56	13.34	13.44	13.78

ตาราง ภาคผนวก ฎ-10 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย O_2 เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย O_2 เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) (เปอร์เซ็นต์)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	17.06	17.31	17.54	17.61	17.52
1500	15.88	16.04	15.89	15.92	15.93
2000	14.65	15.32	15.22	15.12	15.23
2500	14.45	14.58	14.57	14.79	15.24
3000	13.43	13.88	13.74	14.21	14.25

ตาราง ภาคผนวก ฎ-11 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (ppm)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	149	136	114.8	118	115
1500	152	134	126	125	117
2000	168	151	164	150	146
2500	192	158	174	159	160
3000	222	198	180	181	172

ตาราง ภาคผนวก ฎ-12 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) (ppm)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	143	123	103	117	122
1500	120	98	93	110	91
2000	117	104	105	117	108
2500	130	126	118	118	116
3000	158	148	142	143	152

ตาราง ภาคผนวก ก-13 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO₂ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO ₂ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (เปอร์เซ็นต์)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	3.45	3.93	3.68	3.67	3.62
1500	4.45	4.76	5.12	4.91	4.75
2000	5.2	5.77	5.93	5.77	5.45
2500	5.63	6.00	6.35	6.15	6.09
3000	6.07	6.49	7.26	7.19	6.94

ตาราง ภาคผนวก ก-14 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO₂ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย CO ₂ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) (เปอร์เซ็นต์)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	2.96	3.08	2.98	2.55	2.86
1500	3.85	3.87	3.85	3.42	3.82
2000	4.78	4.27	4.35	4.42	4.34
2500	4.93	4.83	4.84	4.67	4.98
3000	5.7	5.36	5.47	5.11	5.08

ตาราง ภาคผนวก ฎ-15 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย NO_x เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย NO_x เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (ppm)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	912	177	150	153	171
1500	1017	185	206	201	185
2000	1067	219	239	220	208
2500	1231	319	320	347	326
3000	1027	105	315	292	273

ตาราง ภาคผนวก ฎ-16 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย NO_x เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล
(B20).

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย NO_x เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) (เปอร์เซ็นต์)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	145	149	151	124	146
1500	175	185	178	187	175
2000	222	189	196	213	190
2500	314	297	275	293	257
3000	245	201	196	194	184

ตาราง ภาคผนวก ฎ-17 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซล

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	152.8	147.2	144.4	144.4	144.6
1500	201.8	203.0	195.5	198.0	197.3
2000	234.6	228.3	230.5	234.3	225.9
2500	288.4	280.4	273.2	274.5	268.8
3000	344.1	368.8	350.1	334.9	344.1

ตาราง ภาคผนวก ฎ-18 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ไบโอดีเซล (B20)

ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ (rpm)	แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)				
	Le Standard	Le 0.1 m.	Le 0.2 m.	Le 0.3 m.	Le 0.4 m.
800	147.3	140.8	140.2	139.7	131.6
1500	223.6	141.8	216.8	147.8	206.9
2000	237	223.7	243.9	259.1	254.8
2500	309.6	294.1	304.3	290.5	249.8
3000	382.2	331.4	384.1	344.3	337.9

ภาคผนวก ฅ
คำอธิบายรายการสัญลักษณ์และคำย่อ

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงเชื้อเพลิง
C	คือ องศาเซลเซียส
B_{sf}	คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (kg/kW.hr)
P_b	คือ กำลังเบรก (kW)
m_f	คือ มวลของเชื้อเพลิง (Kg)
hr	คือ เวลาที่เชื้อเพลิงถูกใช้ไป (ชั่วโมง)
A/F	คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
m_f	คือ มวลของเชื้อเพลิง (Kg)
T	คือ แรงบิด (N.m)
F	คือ แรงตามแนวสัมผัส (N)
r	คือ ความยาวของคาน (m)
DI	คือ ตัวเลขดัชนีดีเซล
API	คือ มาตรฐานความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำ
CO	คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)
CO ₂	คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
NO _x	คือ ไนโตรเจนออกไซด์ (ppm)
Le	คือ ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (m)
C ₁	คือ อุณหภูมิหม้อน้ำ
C ₂	คือ อุณหภูมิน้ำมันเข้า
C ₃	คือ อุณหภูมิน้ำมัน
C ₄	คือ อุณหภูมิน้ำมันออก
T ₁	คือ อุณหภูมิอากาศ
T ₂	คือ อุณหภูมิไอเสีย
T ₃	คือ อุณหภูมิน้ำเข้า
T ₅	คือ อุณหภูมิน้ำออก
V-1	คือ วาล์วน้ำมันจากหลอดตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลือง
V-2	คือ วาล์วน้ำมันจาก Fuel Tank
V-3	คือ วาล์วน้ำเข้า Dynamomete
V-4	คือ วาล์วน้ำเข้า Flow meter

ภาคผนวก ฐ
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

จากข้อมูลการทดลอง พิจารณาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบ/นาที กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและกรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง ที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.1 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ประกอบด้วย

กรณีใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel Fuel) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบ/นาที กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เท่ากับ 2.70 kg และให้ค่าแรงบิด (Torque) เท่ากับ 84.4 N-m และกรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เท่ากับ 2.652 kg และให้ค่าแรงบิด (Torque) เท่ากับ 109.4 N-m

โดยกำหนดให้ T = แรงบิด (N.m)
 F = แรงตามแนวสัมผัส (N)
 r = ความยาวของคาน (m)
 P_b = กำลังเบรก (W)
 N = ความเร็วรอบของเพลาช้อเหวี่ยง (rpm)
 m_f = มวลของเชื้อเพลิง (kg)
 hr = หน่วยเวลา (hr)

กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power, P_b) ซึ่งสามารถคำนวณแรงบิดและกำลังเบรก ดังสมการต่อไปนี้

กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60}$$

เมื่อ

$$T = Fr$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$P_b = \frac{2\pi(84.4 \text{ N} \cdot \text{m})(1500 \text{ rpm})}{60 \text{ Sec}} = 13.257 \text{ kW}$$

ดังนั้นจะได้กำลังเบรกของเครื่องยนต์

$$P_b = 13.257 \text{ kW} \quad \#$$

กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60}$$

เมื่อ

$$T = Fr$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$P_b = \frac{2\pi(109.4 \text{ N} \cdot \text{m})(1500 \text{ rpm})}{60 \text{ Sec}}$$

$$= 17.184 \text{ kW}$$

ดังนั้นจะได้กำลังเบรกของเครื่องยนต์

$$P_b = 17.184 \text{ kW} \quad \#$$

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, $bsfc$) คือ สามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้

กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b \times hr}$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$bsfc = \frac{(2.70 \text{ kg})}{(13.257 \text{ kW}) \times (1 \text{ hr})}$$

$$= 0.204 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$$

ดังนั้นจะได้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก $bsfc = 0.204 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$ #

กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b \times hr}$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$bsfc = \frac{(2.652 \text{ kg})}{(13.257 \text{ kW}) \times (1 \text{ hr})}$$

$$= 0.154 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$$

ดังนั้นจะได้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก $bsfc = 0.154 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$ #

กรณีใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล(Biodiesel Fuel,B20) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบ/นาที กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีปริมาณการใช้ เชื้อเพลิง เท่ากับ 2.304 kg และให้ค่าแรงบิด (Torque) เท่ากับ 68.9 N-m และกรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เท่ากับ 1.287 kg และให้ค่าแรงบิด (Torque) เท่ากับ 52.0 N-m

โดยกำหนดให้ T = แรงบิด (N.m)

F = แรงตามแนวสัมผัส (N)

r = ความยาวของคาน (m)

P_b = กำลังเบรก (W)

N = ความเร็วรอบของเพลาช้อเหวี่ยง (rpm)

m_f = มวลของเชื้อเพลิง (kg)

hr = หน่วยเวลา (hr)

กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power, P_b) ซึ่งสามารถคำนวณแรงบิดและกำลังเบรก ดังสมการต่อไปนี้

กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60}$$

เมื่อ

$$T = Fr$$

แทนค่าในสมการจะได้ $P_b = \frac{2\pi(68.9 \text{ N} \cdot \text{m})(1500 \text{ rpm})}{60 \text{ Sec}} = 10.823 \text{ kW}$

ดังนั้นจะได้กำลังเบรกของเครื่องยนต์ $P_b = 10.823 \text{ kW}$ #

กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60}$$

เมื่อ

$$T = Fr$$

แทนค่าในสมการจะได้ $P_b = \frac{2\pi(52.0 \text{ N} \cdot \text{m})(1500 \text{ rpm})}{60 \text{ Sec}}$

$$= 8.168 \text{ kW}$$

ดังนั้นจะได้กำลังเบรกของเครื่องยนต์ $P_b = 8.168 \text{ kW}$ #

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, *bsfc*) คือ สามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้

กรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b \times hr}$$

แทนค่าในสมการจะได้ $bsfc = \frac{(2.304 \text{ kg})}{(10.823 \text{ kW}) \times (1 \text{ hr})}$
 $= 0.213 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$

ดังนั้นจะได้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก $bsfc = 0.213 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$ #

กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b \times hr}$$

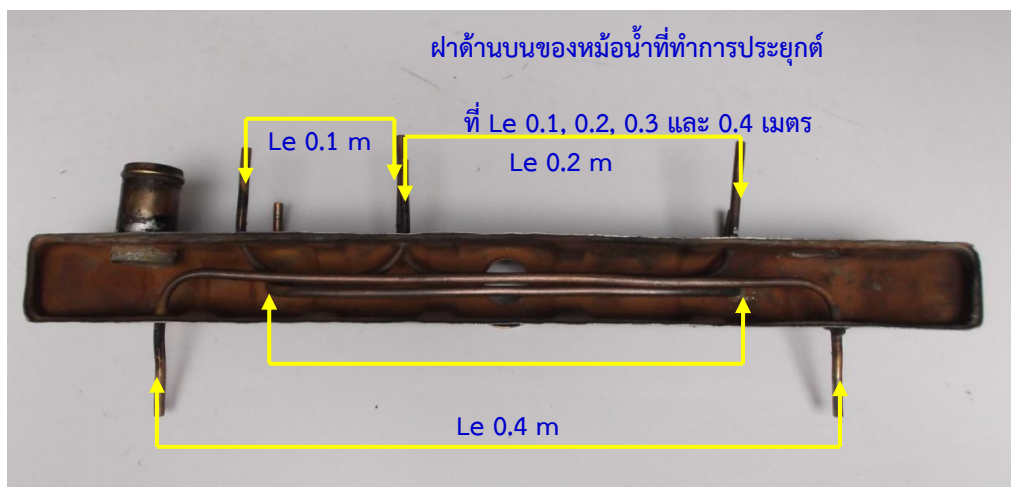
แทนค่าในสมการจะได้ $bsfc = \frac{(1.287 \text{ kg})}{(8.168 \text{ kW}) \times (1 \text{ hr})}$
 $= 0.158 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$

ดังนั้นจะได้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก $bsfc = 0.158 \text{ kg/kW} \cdot \text{hr}$ #

ภาคผนวก ต
หม้อน้ำที่ทำการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ฅม-1 การประกยุกต์หม้อน้ำเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง

โดยประกยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน



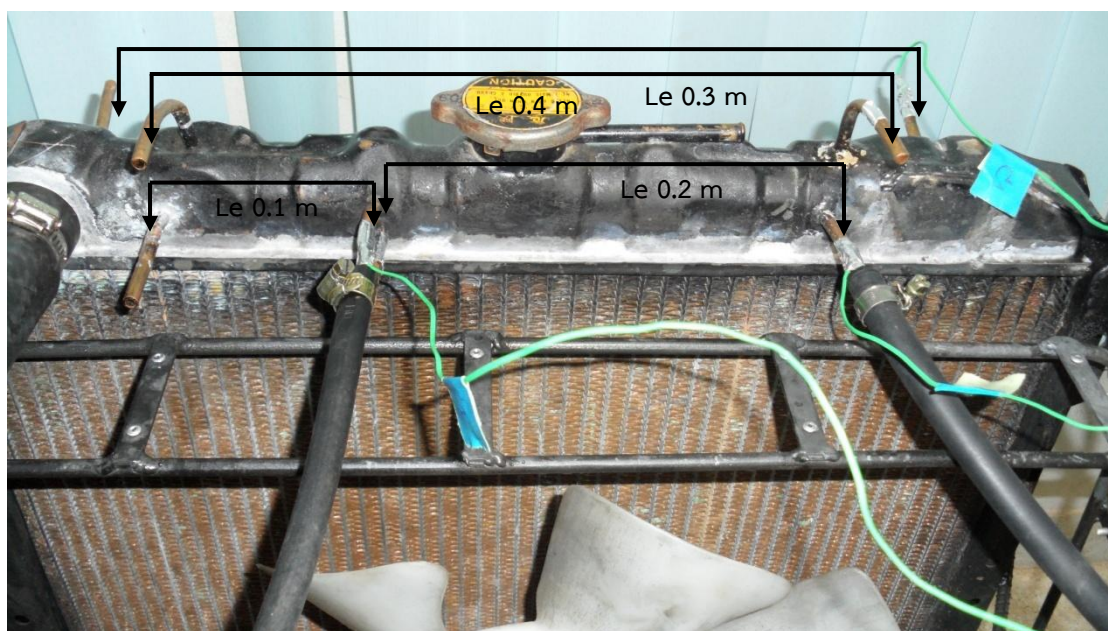
ภาพประกอบ ภาพฉนวนก ฅม-1 การประกยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำในฝาด้านบน



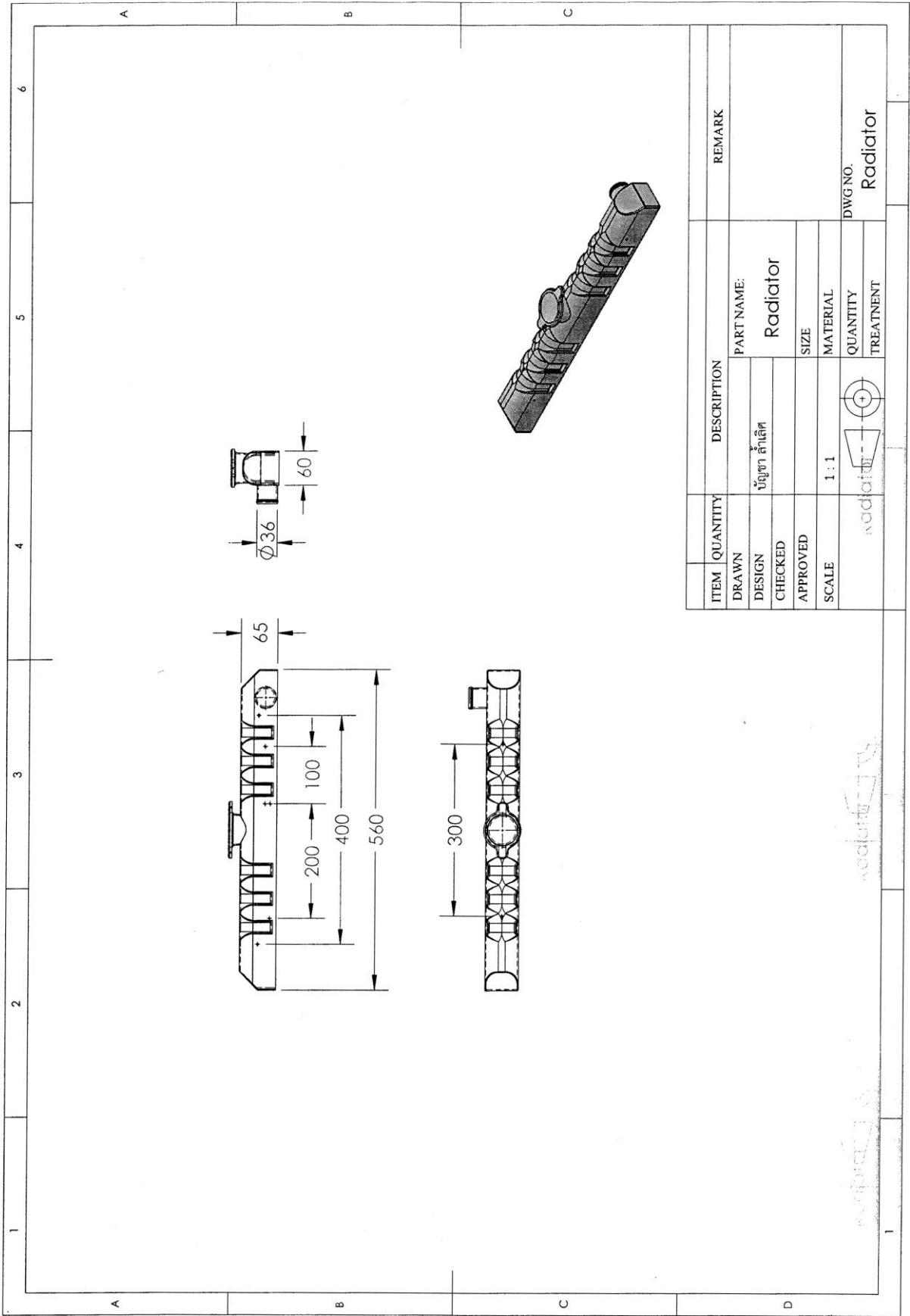
ภาพประกอบ ภาพฉนวนก ฅม-2 การหม้อน้ำที่ทำการและเชื่อมประกอบฝาด้านบน

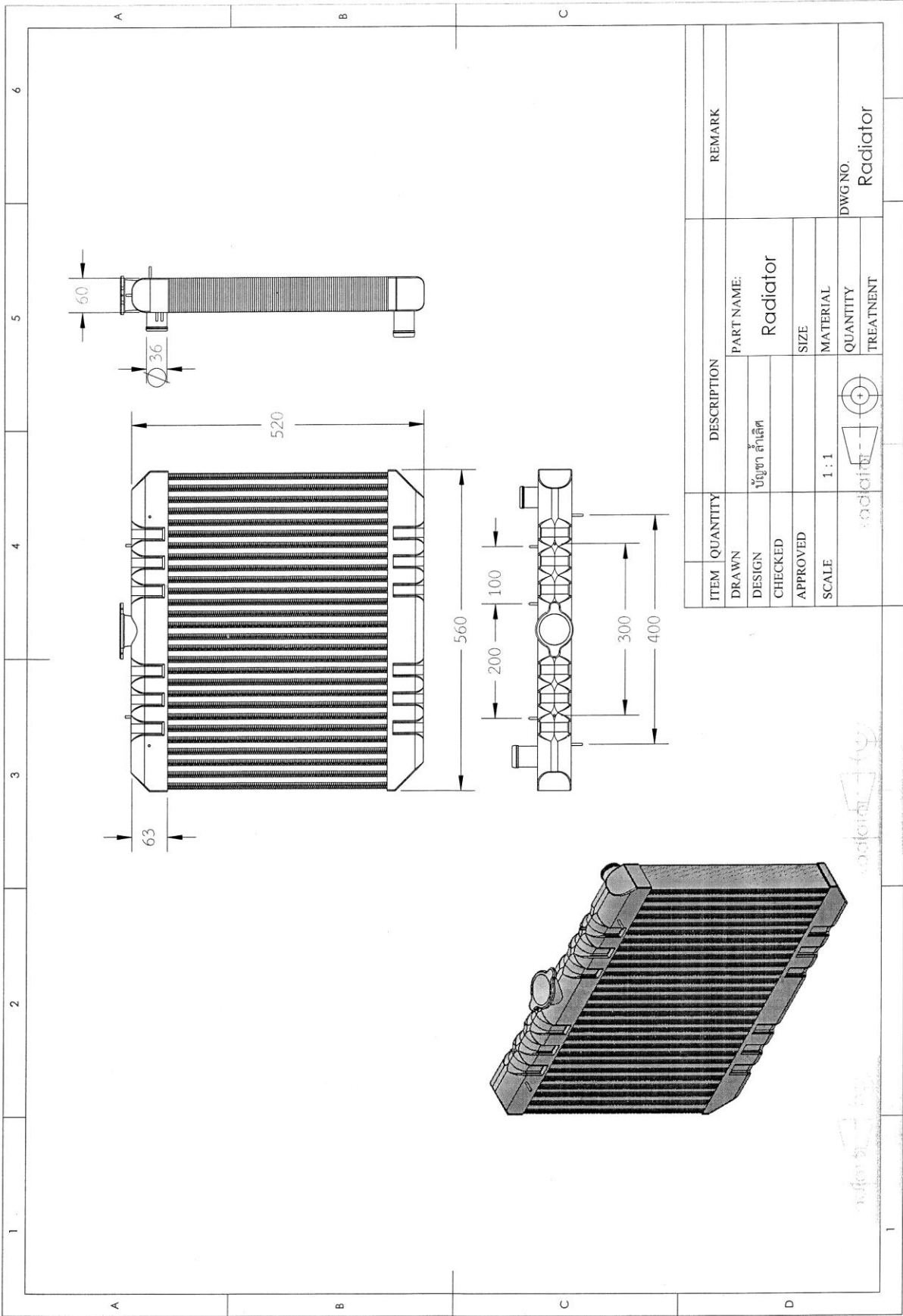
ฅ-2 หม้อน้ำที่ทำการประกุค

การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อน้ำแบบรังผึ้งที่ทำการประกุค ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน ชุดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ ดังภาพประกอบ ฅ-3



ภาพประกอบ ภาพผนวก ฅ-3 หม้อน้ำที่ทำการประกุคใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และติดตั้งกับชุดทดลอง





เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- นภดล กลิ่นทอง. (2546). *สร้างอุปกรณ์อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงใช้ระบบไฟฟ้าควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์และเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิง EPG*. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วรบุตร รพีพันธุ์. (2004). *การออกแบบระบบอุ่นน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์
ดีเซล*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อิทธิพล วรพันธุ์ และคณะ. (2551). ศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของ
เครื่องยนต์ดีเซล. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 10(3), 61-80.
- จักรพงษ์ ไชยบุรี และคณะ. (2553). การทดสอบเครื่องยนต์เกษตรที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ.
วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12(3), 161-168.
- เพททาย ตันธนวัฒน์ และคณะ. (2551). การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน.
วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 18(3), 62-69.
- ธีระพัฒน์ กุวรรณรัตน์, จิตติ พัทธวนิช. (2550). *การทดสอบสมรรถนะเครื่องจักรยานยนต์ 4 จังหวะ
โดยใช้เบนซินและแก๊สโซฮอล์*. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 21; 17-19 ตุลาคม 2550, ชลบุรี. หน้า 1246-1251.
- ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2553). *การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้
ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง*. รายงานการวิจัย เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ดร.ประพันธ์ สันติวรการ. (2549). *เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Bhupendra Singh Chauhan, Naveen Kumar, Yong Du Jun, Kum Bae Lee. (2010).
“Performance and Emission Study of Preheated Jatropha oil on medium
capacity diesel engine,” *Energy*, 35, 2484-2492.
- Marzena Dzida, Piotr Prusakiewicz. (2008). “The Effect of Temperature and Pressure
on the Physicochemical Properties of Petroleum Diesel Oil and Biodiesel
Fuel,” *Fuel*, 87, 1941–1948.
- Murat Karabektas, Gokhan Ergen, Murat Hosoz. (2008). “The Effects of Preheated
Cottonseed Oil Methyl Ester on the Performance and Exhaust Emissions of a
Diesel engine,” *Applied Thermal Engineering*, 28, 2136–2143.
- Nadir Yilmaz, Byron Morton. (2011). “Effects of Preheating Vegetable Oils on
Performance and Emission Characteristics of two Diesel Engines,” *biomass and
bioenergy*, 35, 2028 – 2033.

O.M.I. Nwafor. (2003). "The effect of Elevated Fuel inlet Temperature on Performance of Diesel Engine Running on Neat Vegetable Oil at Constant Speed Conditions," *Renewable Energy*, 28, 171–181.

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและอภิปรายผล

การประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ความเร็วรอบสูง โดยประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น 4D56 ขนาด 2,477 ซีซี และผลการทดลองที่ได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยตามลำดับดังนี้

5.1.1 ผลของอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทดสอบโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล(B20) จากการทดลองพบว่า เมื่อเครื่องยนต์เริ่มทำงานอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะเพิ่มขึ้น และเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที โดยอุณหภูมิภายในหม้อน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงระหว่าง 70-90 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด มีผลให้อุณหภูมิภายในหม้อน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย

5.1.2 ผลของอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด คือเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล(B20) เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ น้ำมันเชื้อเพลิงปกติอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส เมื่อความยาวท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น และความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อุณหภูมิ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทั้ง 4 ความยาวท่อ นั้น มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส

5.1.3 ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ (Brake power, Pb) เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองพบว่าค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล,B20 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วรอบต่ำ ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ต่ำสุด และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อน้ำ ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาว 0.1 เมตร มีค่ามากกว่ากรณีที่ติดตั้งคือ 29.62 และ 8.82 เปอร์เซ็นต์ โดยความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ 0.1 เมตรให้ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์สูงสุด แต่อย่างไรก็ดี เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาวต่างๆ จะให้ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับกรณีที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อน้ำ

5.1.4 ผลของอัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC) เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองเมื่อทดสอบโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล(B20) พิจารณาที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที พบว่ามีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็น 24.22 และ 25.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ยังพบว่ามีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็น 24.13 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล กับ น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) โดยเฉลี่ยแล้วอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลดีเซลสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งการคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีความสัมพันธ์กับกำลังเบรกของเครื่องยนต์ด้วย และผลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรานั้นจะลดลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

5.1.5 ผลของการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ ทดสอบโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล(B20) และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ,B20 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นปริมาณคาบอนมอนนอกไซด์ (CO) จากไอเสียของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้น โดยกรณีที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีค่าปริมาณคาบอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่สูงกว่า แต่กรณีที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อความยาวท่อ(Le)เพิ่มขึ้น ค่าปริมาณคาบอนมอนนอกไซด์ (CO) จะมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 2.38-24.16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กรณีที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่สูงกว่ากรณีที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อยู่ในช่วง 4.81-19.60 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B20) เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่ความยาวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นค่าปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จะมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่มากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจากความเร็วรอบต่ำ-ปานกลาง ค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะมีค่าเพิ่มขึ้น และลดลงที่ความเร็วรอบสูง เมื่อเปรียบเทียบกรณีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล พบว่าค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงกว่า (เพทาย ต้นธนวัฒน์ และคณะ, 2551)

5.1.6 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง ซึ่งในที่นี้จะคิดจากการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.1 และ 0.2 เมตร ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบ/นาที โดย

ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด กรณีใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล หลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 0.21 ปี และกรณีใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) หลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 0.031 ปี ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลง และช่วยลดมลพิษในอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อ

5.2.1 ทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดอื่น เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงและสมรรถนะของเครื่องยนต์

5.2.2 ควรมีการป้องกันความร้อนจากเครื่องยนต์ ที่จะมีผลต่อท่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

5.2.3 ถ้าเป็นไปได้ควรติดตั้งหม้อน้ำที่ประยุกต์ในรถยนต์และมีการทดสอบการใช้งานจริง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

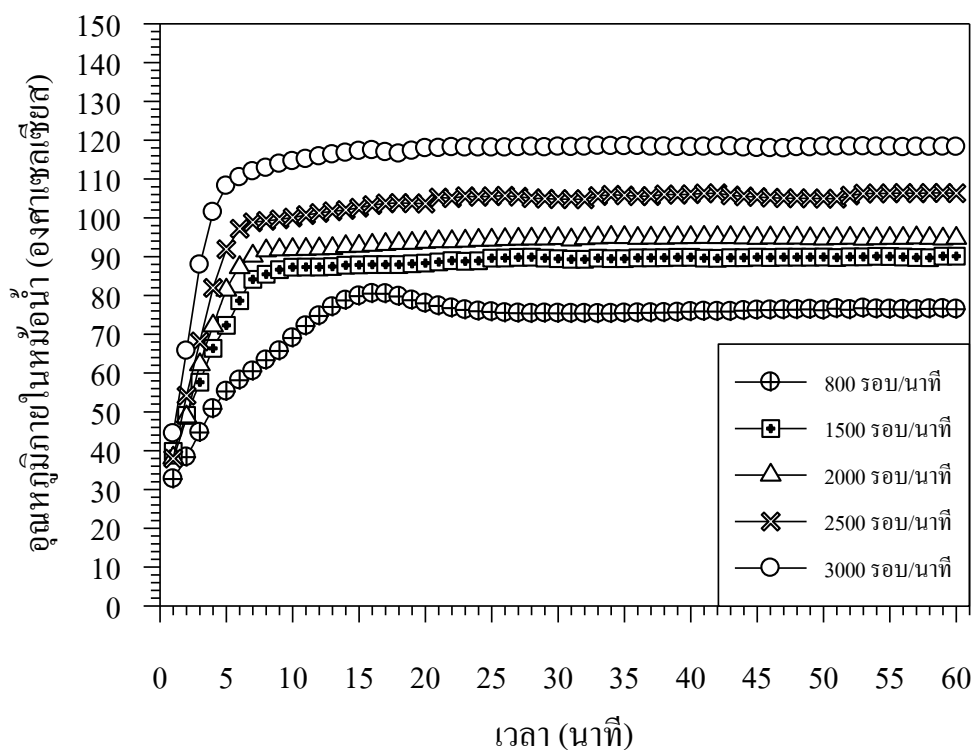
การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง โดยประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น 4D56 ขนาด 2,477 ซีซี ที่ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ ทดสอบที่ความเร็วรอบ 5 ระดับคือ 800, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบ/นาที เพื่อทราบผลของอุณหภูมิภายในหม้อน้ำ อุณหภูมิน้ำมันที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิแก๊สไอเสีย เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ก่อนและหลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงไว้ดังนี้

4.1 ผลของความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีต่ออุณหภูมิภายในหม้อน้ำ

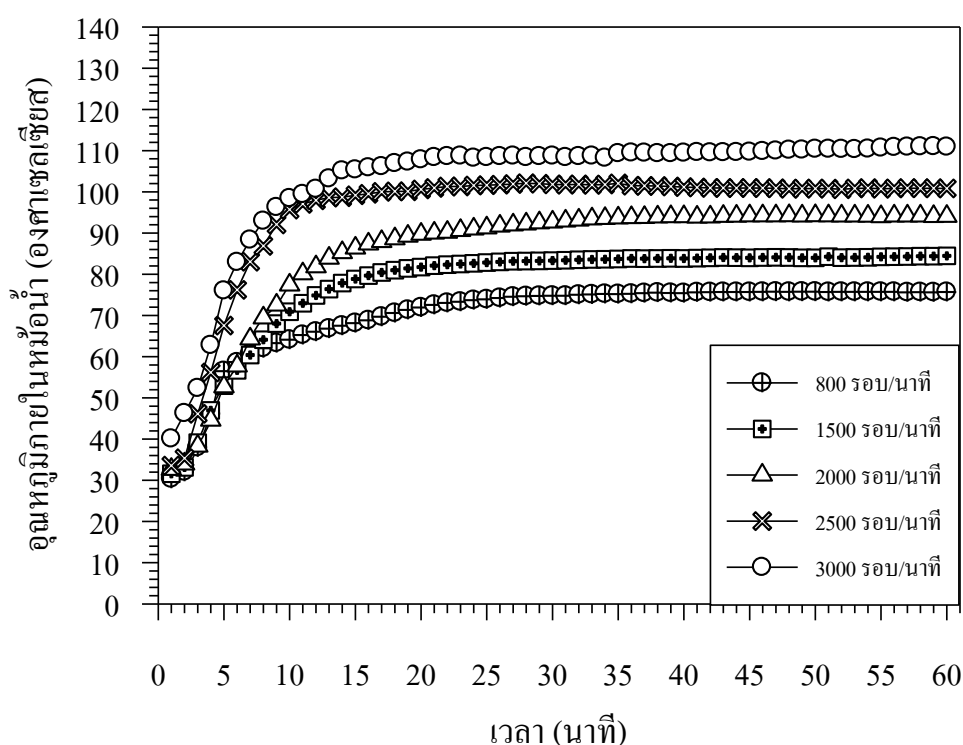
จากภาพประกอบ 4.1 และ 4.2 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทดสอบโดยใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) เพื่อศึกษาอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ใช้ในการทดลอง เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบต่างกัน จากการทดลองพบว่า เมื่อเครื่องยนต์เริ่มทำงานอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะเพิ่มขึ้น และเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ซึ่งอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด มีผลให้อุณหภูมิภายในหม้อน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 800 รอบ/นาที พบว่าอุณหภูมิภายในหม้อน้ำเพิ่มขึ้นและเข้าสู่สภาวะคงที่ อุณหภูมิเฉลี่ย 70 องศาเซลเซียส พิจารณาที่ความเร็วรอบ 1,500 และ 2,000 รอบ/นาที พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และที่ 2 ความเร็วรอบนั้นมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ประมาณ 90 องศาเซลเซียส และพิจารณาที่ความเร็วรอบ 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที พบว่าอุณหภูมิภายในหม้อน้ำเพิ่มขึ้นและเข้าสู่สภาวะคงที่ อุณหภูมิเฉลี่ย 110 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเพิ่มขึ้นจากรอบเดินเบาที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิภายในหม้อน้ำเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการทำงานของเครื่องยนต์ที่มีภาระงานเพิ่มขึ้น โดยความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลกับอุณหภูมิภายในหม้อน้ำเพิ่มขึ้นตามการทดลอง

นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่เพิ่มสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นผลจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ไม่มีอากาศไหลผ่าน ทำให้อุณหภูมิภายในหม้อน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยปกติระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพจะต้องระบายความร้อนออกจากเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิทำงาน ซึ่งอุณหภูมิที่เครื่องยนต์ทำงานมี

ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ในระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ โดยทั่วไป

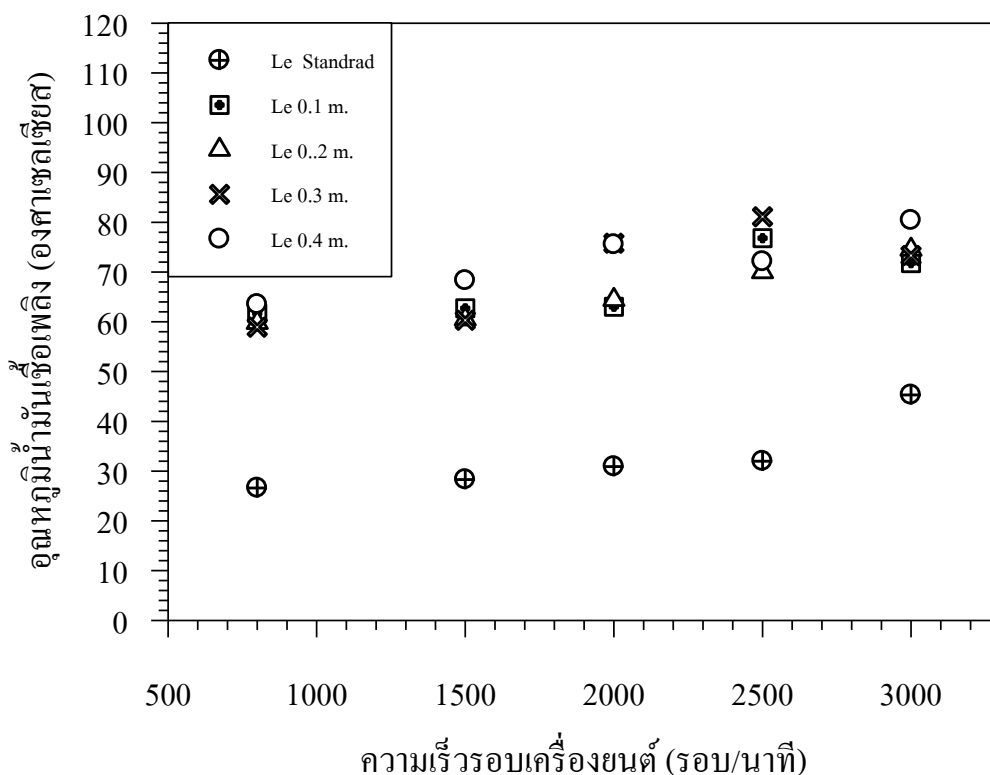


ภาพประกอบ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล



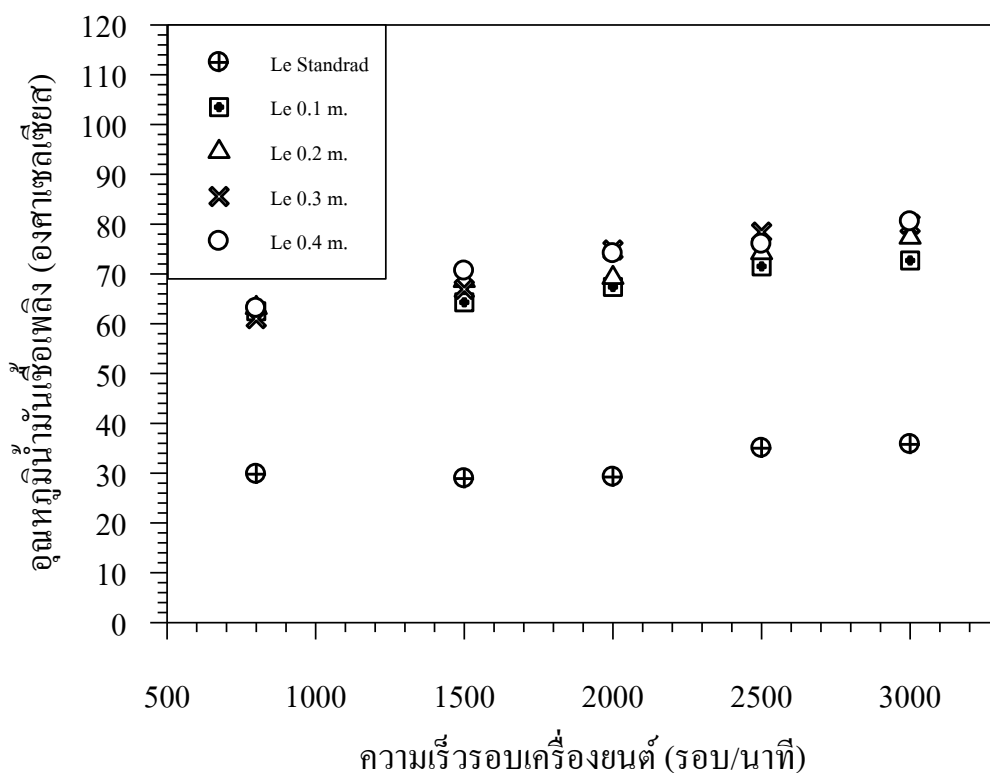
ภาพประกอบ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

4.2 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพประกอบ 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ภาพประกอบ 4.3 แสดงอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาท ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร เปรียบเทียบกับกรณีไม่ได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากทดลองพบว่าจากอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงปกติอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 28 องศาเซลเซียส เมื่อความยาวท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น และความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทั้ง 4 ความยาวท่อ นั้น มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

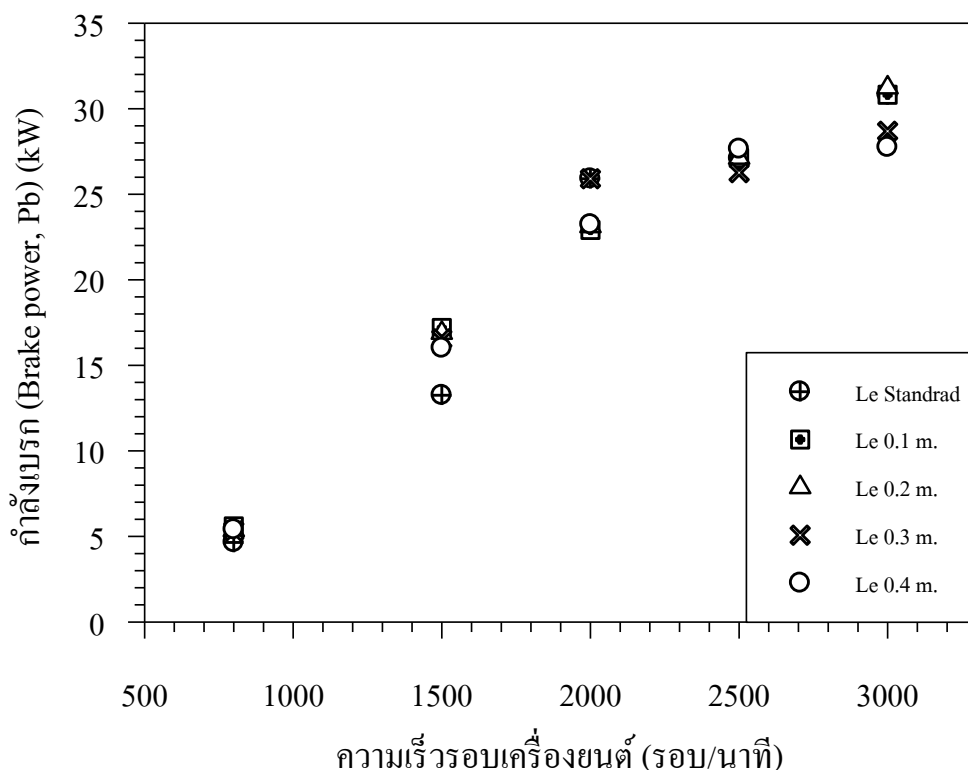
เมื่อเปรียบเทียบจากภาพประกอบ 4.4 แสดงอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงปกติอุณหภูมิเฉลี่ยที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส เมื่อความยาวท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น และความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมีค่าใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในช่วงระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส เช่นกัน

ซึ่งผลอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด คือ เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) มีผลทำให้น้ำมันเกิดการขยายตัว และปริมาตรของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นและช่วยให้คุณสมบัติของน้ำมัน คือ ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และ ความหนืดลดลง ส่งผลให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ขึ้น ซึ่งอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับอุณหภูมิภายในหม้อน้ำเพราะสาเหตุเดียวกัน คือ ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ถูกกำหนดไว้แล้ว เมื่ออุณหภูมิของน้ำภายในหม้อน้ำสูงขึ้นพัดลมระบายความร้อนทำงานและเทอร์โมสแตต ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในเครื่องยนต์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในสภาวะการทำงาน

4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

4.3.1 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power, P_b)

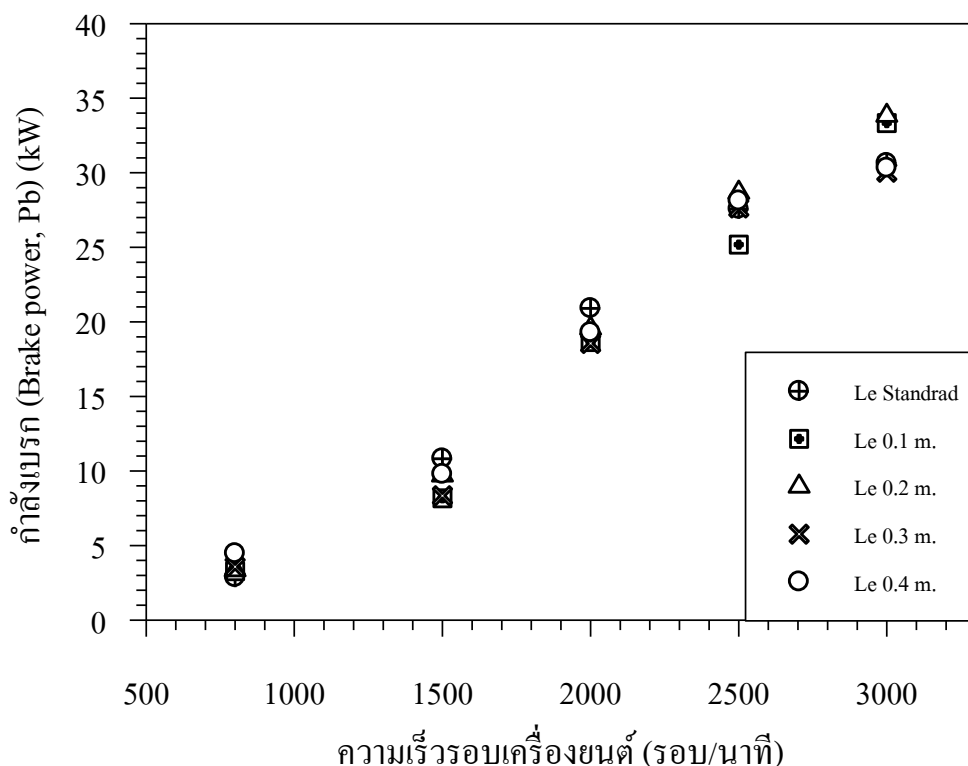
กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาค้อเหวี่ยงหรือที่ล้อต้นกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งาน การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ วัดได้ในรูปของแรงบิดและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาแรงบิดและกำลังเบรก โดยผลการทดลองพบว่า



ภาพประกอบ 4.5 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (P_b) ที่ความท่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

จากภาพประกอบ 4.5 แสดงค่ากำลังเบรก (Brake Power, P_b) ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากทดลองพบว่าค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วรอบต่ำ 800 รอบ/นาที ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกำลังเบรกของเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกัน และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 1500 รอบ/นาที เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อน้ำ ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาว 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร มีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่มีติดตั้งคือ

29.62, 27.34, 24.85 และ 20.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ 0.1 เมตรให้ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาว 0.1 เมตร เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมคือ 60-63 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นที่ลดลงส่งผลต่ออัตราส่วนอากาศ/เชื้อเพลิง (A/F) ทำให้เครื่องยนต์ต้องการส่วนผสมที่เหมาะสม



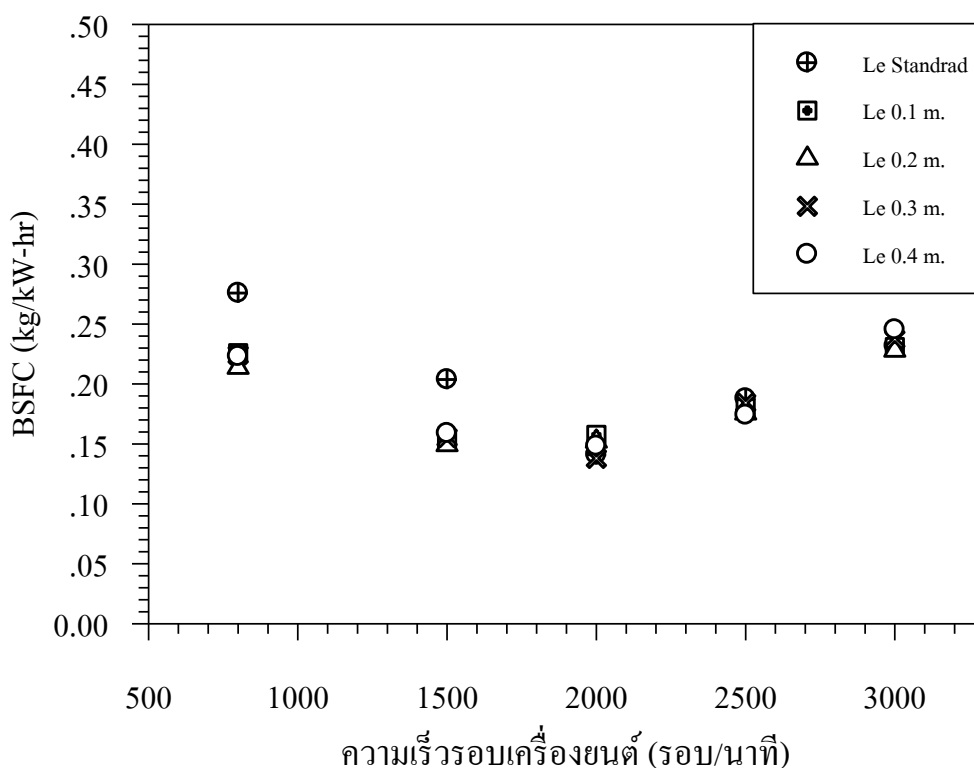
ภาพประกอบ 4.6 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Pb) ที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

จากภาพประกอบ 4.6 แสดงค่ากำลังเบรก (Brake Power, Pb) ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากทดลองพบว่าค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วรอบต่ำ 800 รอบ/นาที ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีติดตั้งและไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกำลังเบรกของเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกัน และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบ/นาที เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีติดตั้ง และไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อน้ำ ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาว 0.1 และ 0.2 เมตร ให้กำลังเบรกของเครื่องยนต์มากกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อน้ำ 8.82 และ 10.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ดี เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาว 0.3 และ 0.4 เมตร

จะทำให้ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากที่ความยาวท่อ 0.3 และ 0.4 เมตร น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) จะมีอุณหภูมิที่สูงคือ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) มีความหนาแน่นลดลงการฉีดยาน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้จะมีปริมาณอากาศมากกว่าทางทฤษฎี (ส่วนผสมบาง) ทำให้กำลังเบรคของเครื่องยนต์ลดลง

จากผลการทดลองค่ากำลังเบรค (Brake Power, P_b) ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลให้ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบ 800, 1500 และ 2000 รอบ/นาที แต่เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าลดลงการฉีดยาน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้จะมีปริมาณอากาศมากกว่าทางทฤษฎี (ส่วนผสมบาง) ทำให้กำลังเบรคของเครื่องยนต์ลดลง และที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังเบรคของเครื่องยนต์ลดลง

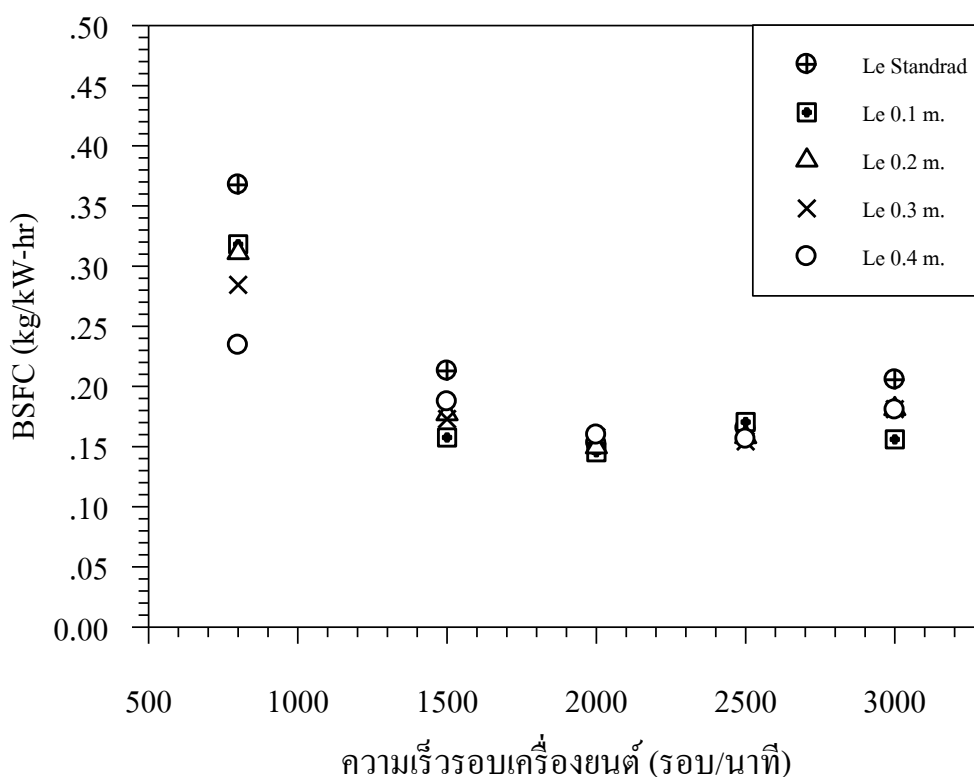
4.3.2 ความสัมพันธ์ของความยาวท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค



ภาพประกอบ 4.7 ความยาวท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

จากภาพประกอบ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากทดลองพบว่ากรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 รอบ/นาที ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมีค่าใกล้เคียงกันทุกความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.214-0.276 kg/kw.hr และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง ที่ 2000, 2500 และ 3000 รอบ/นาที มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.138-0.245 kg/kw.hr แต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร พบว่ามีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็น 24.22, 26.78, 23.72 และ 21.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.8 ความยาวท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

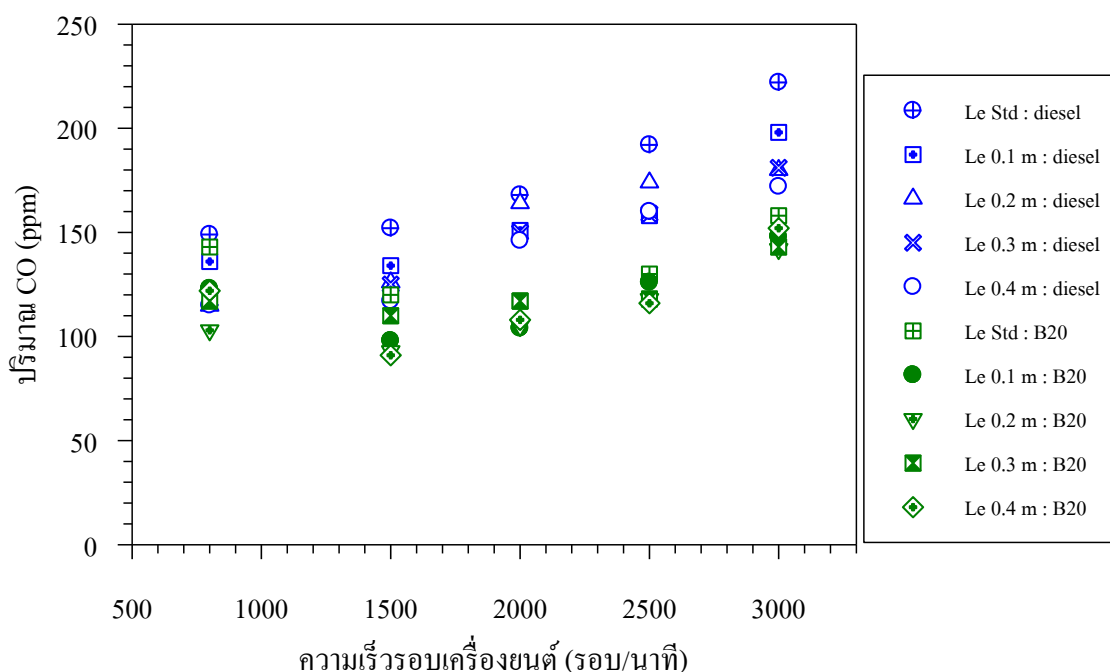
จากภาพประกอบ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 รอบ/นาที ค่าต่างกันเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุกความยาวท่อ โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.234-0.368 kg/kw.hr และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่ 2000 และ 2500 รอบ/

นาที่ มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.145-0.170 kg/kw.hr แต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที่ ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ที่มีผลต่อกำลังเบรกของเครื่องยนต์กับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่ามีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 25.98, 16.86, 18.78 และ 11.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที่ ยังพบว่ามีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 24.13, 11.84, 11.85 และ 12.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล กับน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยเฉลี่ยแล้วอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลดีเซลสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งการคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีความสัมพันธ์กับกำลังเบรกของเครื่องยนต์ด้วย และผลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคนั้นจะลดลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนครั้งในการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยเวลาจะเพิ่มขึ้น อีกทั้งระยะเวลาของการสูญเสียความร้อนสั้นลง แต่เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นกว่าระดับปานกลาง แรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นและอัตราส่วนเชื้อเพลิง/อากาศมากขึ้น ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้น และในช่วงความเร็วรอบต่ำเครื่องยนต์มีภาระมากก็ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

4.3.3 เปรียบเทียบผลการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์

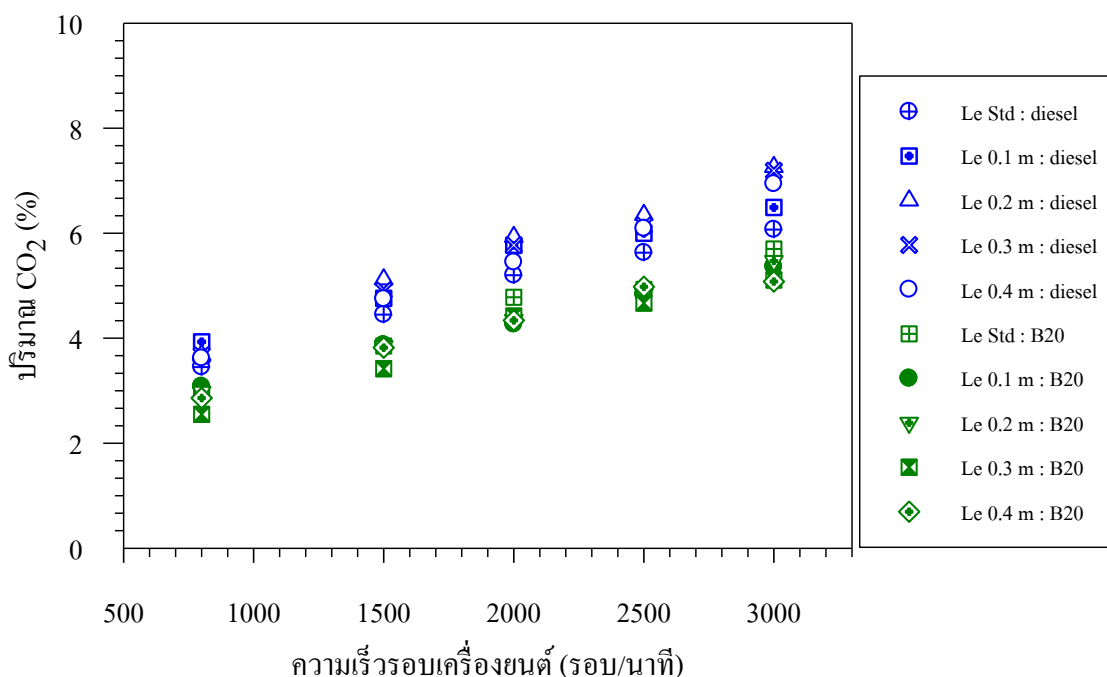
มลพิษในไอเสียเกิดจากกระบวนการสันดาประหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยทั่วไปเชื้อเพลิงจะเป็นส่วนประกอบของไฮโดร-คาร์บอน เป็นพื้นฐาน นอกจากนั้นอาจมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ตะกั่ว กำมะถัน และฟอสฟอรัส หากเชื้อเพลิงกับอากาศมีการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์แล้ว ภายหลังการสันดาปจะได้ น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยไม่มีผลต่อการสันดาป เมื่อประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร มีผลการปล่อยมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งจะแสดงดังนี้



ภาพประกอบ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความถี่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับไบโอดีเซล (B20)

จากภาพประกอบ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความถี่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล กับน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) จากไอเสียของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้น โดยกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) ที่สูงกว่ากรณีที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ค่าปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 2.38-23.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ซึ่งค่าปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าลดลงจากกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในช่วง 3.07-27.97 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาวท่อเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงทำให้อัตราส่วนของอากาศในเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเป็นส่วนผสมบาง (Lean mixture คือปริมาณอากาศมากกว่าความต้องการทางทฤษฎี) จึงทำให้ค่าปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) พบว่าค่าปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) ที่วัดได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ดีเซล (B20) มีค่าน้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) มีองค์ประกอบของออกซิเจนที่มีปริมาณมากจึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

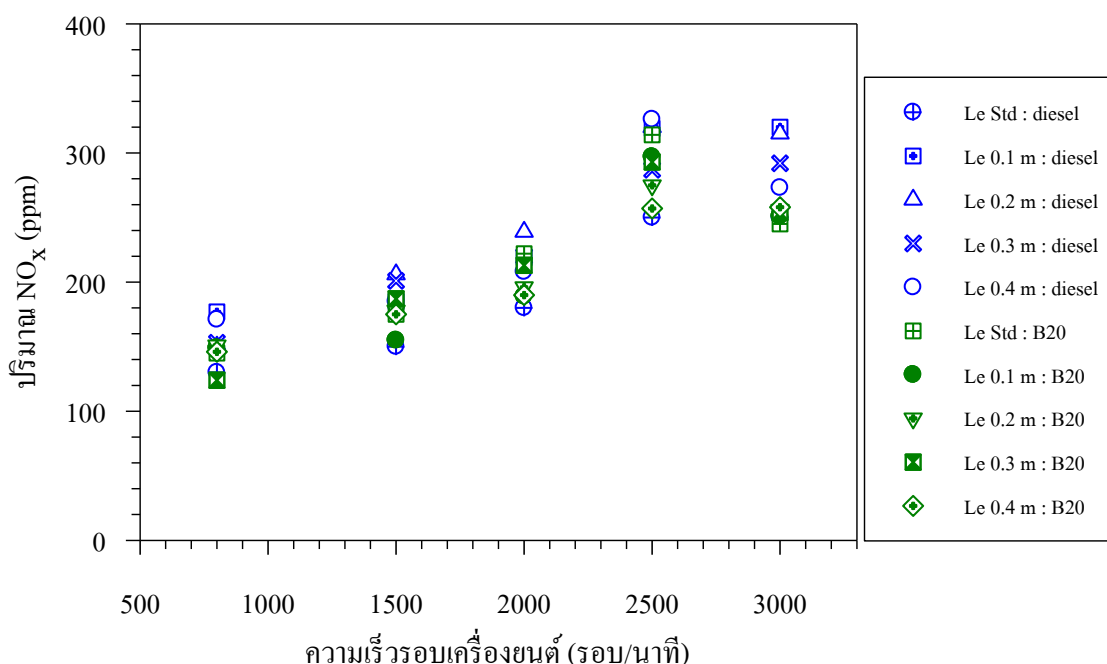


ภาพประกอบ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความท้อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับไบโอดีเซล (B20)

จากภาพประกอบ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความท้อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท้อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จากไอเสียของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้น โดยกรณีที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อความยาวท้อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ค่าปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จะมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.81-19.60 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมีความหนาแน่นลดลงทำให้อากาศเข้าไปในเครื่องยนต์มากขึ้นปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จึงมีค่ามากขึ้น

ในกรณีที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B20) เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่ความยาวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นค่าปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) จะมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO₂) กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าปริมาณ CO₂ ที่มากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีองค์ประกอบของสาร

ไฮโดรคาร์บอนเป็นหลักเมื่อเกิดการเผาไหม้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จึงมีค่ามากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล



ภาพประกอบ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความท้อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับไบโอดีเซล (B20)

จากภาพประกอบ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความท้อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel) กับน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที ทดลองที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร และเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากผลการทดลองพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 800 1,500 2,000 และ 2,500 รอบ/นาที ค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะมีค่าเพิ่มขึ้น และลดลงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที เมื่อเปรียบเทียบกรณีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล พบว่าค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) กรณีที่ใช้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงกว่าเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) มีองค์ประกอบทางเคมีของ ไนโตรเจน (N) น้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลน้อยมาก (เพทาย ตันธนวัฒน์ และคณะ, 2551)

4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ()

ไพบูลย์ แยมเพือน (2003) การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ ในงานวิจัยนี้มีความสำคัญในการช่วยตัดสินใจในการลงทุนและความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งประกอบด้วยการพิจารณาต้นทุนของการ

ประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และระยะเวลาคืนทุน

โดยต้นทุนมูลค่าในการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. ค่าท่อทองแดง = 350 บาท
2. ค่าแรงงานในการสร้างและประกอบ = 2,000 บาท
3. ค่าการออกแบบ = 1,000 บาท

รวมทั้งสิ้น ค่าใช้จ่ายครั้งแรก + ค่าการดำเนินงาน = 3,350 บาท

โดยมีรายละเอียดข้อมูลจากการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงเพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์มีข้อมูลดังนี้

- ก. เครื่องยนต์ดีเซลมิทซูบิชิ รุ่น 4D56 ขนาด 2,500 ซีซี
- ข. เครื่องยนต์ใช้ทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อ 1 วัน
- ค. ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง คือ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล, B20
- ง. ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบ/นาที ที่ความยาวท่อของเครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อน 0.1 เมตร

- จ. ไม่คิดมูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน
- ฉ. ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้รายย่อย MRR ของธนาคารกรุงไทย เฉลี่ยร้อยละ 8.00 ต่อปี
- ช. ราคาน้ำมันดีเซล 30.40 บาท
- ซ. ราคาน้ำมันไบโอดีเซล 29.59 บาท

*หมายเหตุ ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(สนพ.) ข้อมูล ณ วันที่ 1-7 เมษายน 2556

1. มูลค่าเงินปัจจุบันคิดจากค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง : กรณีใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ซึ่งในที่นี้จะคิดจากการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง ที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.2 เมตร ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบ/นาที โดยค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็น 26.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังนั้นเมื่อกำหนดการใช้งานของหม้อน้ำรถยนต์ที่ประยุกต์ ในระยะเวลา 5 ปี และเปรียบเทียบกรณีที่ไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถคำนวณได้ดังนี้

ก่อนการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลองใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล สิ้นเปลืองไป 3.25 ลิตร/ ชั่วโมง

หาค่าน้ำมันที่ใช้/ปี

$$\begin{aligned}
 &= (3.25 \text{ ลิตร/ชั่วโมง}) \times (8 \text{ ชั่วโมง/ วัน}) \\
 &= (26 \text{ ลิตร/วัน}) \times (30.40 \text{ บาท/ ลิตร}) \\
 &= (790.40 \text{ บาท/วัน}) \times (365 \text{ วัน/ ปี}) \\
 &= 288,496.00 \text{ บาท/ ปี}
 \end{aligned}$$

หลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลองใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล
สิ้นเปลืองไป 3.03 ลิตร/ ชั่วโมง

หาค่าน้ำมันที่ใช้/ปี

$$\begin{aligned} &= (3.03 \text{ ลิตร/ชั่วโมง}) \times (8 \text{ ชั่วโมง/ วัน}) \\ &= (24.24 \text{ ลิตร/วัน}) \times (30.40 \text{ บาท /ลิตร}) \\ &= (736.89 \text{ บาท/วัน}) \times (365 \text{ วัน/ ปี}) \\ &= (268,967.04 \text{ บาท/ ปี}) + (3,350 \text{ บาท}) \\ &= 272,314.85 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จะได้ มูลค่าเงินที่สามารถประหยัดสุทธิ หลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} &= 288,496.00 - 272,314.85 \\ &= 16,181.15 \text{ บาท/ ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นมูลค่าปัจจุบันของเงินรายปี เท่ากับ 16,181.15 บาท/ปี

- 1.1 มูลค่าเงินปัจจุบันคิดจากต้นทุนการดำเนินการ
ดังนั้นคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$\begin{aligned} P &= A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\ &= 16,181.15 \left[\frac{(1+0.08)^5 - 1}{0.08(1+0.08)^5} \right] \\ &= 64,606.64 \text{ บาท} \end{aligned}$$

1.2 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่า เท่ากับเงิน
ลงทุน ผลที่ได้จากการประเมินการลงทุนนี้ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็ว ซึ่งวิธีการ
หาระยะเวลาคืนทุนหรือหาจำนวนปีที่จะทำให้ได้รับผลตอบแทนให้คุ้มกับเงินที่ลงทุนนี้ สามารถคำนวณ
ได้ดังนี้

จากสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{เงินลงทุน/มูลค่าเงินที่สามารถประหยัดสุทธิ} \\ &= 3,350/16,181.15 \\ &= 0.21 \text{ ปี} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } n = 0.21 \text{ ปี}$$

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนของการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัด
น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง คือ 0.21 ปี คิดเป็น 2 เดือน 12 วัน เมื่อเครื่องยนต์
ทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง/วัน

2. มูลค่าเงินปัจจุบันคิดจากค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง : กรณีใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)

ซึ่งในที่นี้จะคิดจากการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง ที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.1 เมตร ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบ/นาที โดยค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็น 25.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังนั้นเมื่อกำหนดการใช้งานของหม้อน้ำรถยนต์ที่ประยุกต์ ในระยะเวลา 5 ปี และเปรียบเทียบกรณีที่ไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถคำนวณได้ดังนี้

ก่อนการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลองใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล สิ้นเปลืองไป 2.72 ลิตร/ ชั่วโมง

หาค่าน้ำมันที่ใช้/ปี

$$\begin{aligned}
 &= (2.72 \text{ ลิตร/ชั่วโมง}) \times (8 \text{ ชั่วโมง/ วัน}) \\
 &= (21.76 \text{ ลิตร/วัน}) \\
 &= (80\% \text{ ของดีเซล } 17.41 \text{ ลิตร/วัน} \times (30.40 \text{ บาท/ลิตร}) = 529.26 \text{ บาท} \\
 &= (20\% \text{ ของไบโอดีเซล } 4.35 \text{ ลิตร/วัน}) \times (29.59 \text{ บาท/ลิตร}) = 128.71 \text{ บาท} \\
 &= (657.97 \text{ บาท/วัน}) \times (365 \text{ วัน/ ปี}) \\
 &= 240,159.05 \text{ บาท/ ปี}
 \end{aligned}$$

หลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลองใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล สิ้นเปลืองไป 1.52 ลิตร/ ชั่วโมง

หาค่าน้ำมันที่ใช้/ปี

$$\begin{aligned}
 &= (1.52 \text{ ลิตร/ชั่วโมง}) \times (8 \text{ ชั่วโมง/ วัน}) \\
 &= (12.16 \text{ ลิตร/วัน}) \\
 &= (80\% \text{ ของดีเซล } 9.73 \text{ ลิตร/วัน}) \times (30.40 \text{ บาท/ลิตร}) = 295.79 \text{ บาท} \\
 &= (20\% \text{ ของไบโอดีเซล } 2.43 \text{ ลิตร/วัน}) \times (29.59 \text{ บาท/ลิตร}) = 71.90 \text{ บาท} \\
 &= (367.69 \text{ บาท/วัน}) \times (365 \text{ วัน/ ปี}) \\
 &= (134,206.85 \text{ บาท/ ปี}) + (3,350 \text{ บาท}) \\
 &= 137,556.85 \text{ บาท/ ปี}
 \end{aligned}$$

จะได้ มูลค่าเงินที่สามารถประหยัดสุทธิ หลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 &= 240,159.05 - 137,556.85 \\
 &= 102,602.20 \text{ บาท/ ปี}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นมูลค่าปัจจุบันของเงินรายปี เท่ากับ 102,602.20 บาท/ ปี

2.1 มูลค่าเงินปัจจุบันคิดจากต้นทุนการดำเนินการ

ดังนั้นคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$\begin{aligned}
 P &= A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= 102,602.8 \left[\frac{(1+0.08)^5 - 1}{0.08(1+0.08)^5} \right] \\
 &= 409,660.83 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

2.2 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่า เท่ากับเงินลงทุน ผลที่ได้จากการประเมินการลงทุนนี้ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าจะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็ว ซึ่งวิธีการหาระยะเวลาคืนทุนหรือหาจำนวนปีที่จะทำให้ได้รับผลตอบแทนให้คุ้มกับเงินที่ลงทุนนี้ สามารถคำนวณได้ดังนี้จากสมการจะได้

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{เงินลงทุน} / \text{มูลค่าเงินที่สามารถประหยัดสุทธิ} \\
 &= 3,350 / 102,602.20 \\
 &= 0.031 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

จะได้ $n = 0.031$ ปี

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนของการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง คือ 0.031 ปี คิดเป็น 12 วัน เมื่อเครื่องยนต์ทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง/วัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการประยุกต์หม้อน้ำเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงโดยการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน เพื่อรับความร้อนจากหม้อน้ำ ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ยี่ห้อมิซูบิชิ รุ่น 4D56 ขนาด 2,477 ซีซี ที่ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบไฮโดรลิกไดนาโมมิเตอร์ เพื่อทราบผลของอุณหภูมิภายในหม้อน้ำ อุณหภูมิน้ำมันที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิแก๊สไอเสีย เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนและหลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ชุดทดลองการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์โดยติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน
3. อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง
4. วิธีการติดตั้งการทดลอง
5. ขั้นตอนการทดลอง
6. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาข้อมูลคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยแรงอัด คือ น้ำมันดีเซล (Diesel fuel) ซึ่งได้มีการแบ่งน้ำมันดีเซลออกเป็นหลายชนิด เช่น ในประเทศไทยแบ่งเป็นน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบสูง (ดีเซลหมุนเร็ว) และน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำ (ดีเซลธรรมดา) น้ำมันดีเซลจะประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของคาร์บอนใน 1 โมเลกุล อยู่ในช่วงตั้งแต่ C_{14} - C_{20} และมีจุดเดือดอยู่ในช่วง 170-270 องศาเซลเซียส และไบโอดีเซล (Bio-diesel) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมีให้มีโมเลกุลเล็กลง เรียกว่า “ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน” (Tranesterification) ระหว่างแอลกอฮอล์น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ (ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นไตรกลีเซอไรด์) และศึกษาข้อมูลการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเกือบทั้งหมดทำงานในลักษณะที่ของไหลร้อนและของไหลเย็นถูกกันแยกจากกันด้วยผนังร่วม จะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยกลไกการพาความร้อน และการนำความร้อนร่วมกัน ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลที่เกิดขึ้น การไหลของของไหลที่มีทางเป็นไปได้ 3 ลักษณะ คือ

1. ของไหลทั้งสองมีแกนของการไหลร่วมกัน เมื่อของไหลทั้งคู่ไหลไปในทิศทางเดียวกัน เรียกว่า การไหลตามกัน ถ้าไหลไปในทิศทางตรงข้ามกันเราเรียกว่า การไหลสวนกัน

2. แกนของการไหลของของไหลทั้งสองตั้งฉากกันเรียกว่า การไหลขวาง
3. การไหลของของไหลทั้งสองมีทั้งในส่วนที่ไหลอยู่ในแกนเดียวกัน และส่วนที่ไหลขวางกันเราเรียกว่าการไหลประสม

3.2 ชุดทดลองการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์โดยติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ผู้วิจัยได้ออกแบบการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยเปิดเอาฝาด้านบนของหม้อน้ำเพื่อที่จะทำติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ (ฝาด้านบนของหม้อน้ำ) เพื่อรับความร้อนจากหม้อน้ำโดยตรง และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน จากนั้นก็ทำการเชื่อมปิดฝาหม้อน้ำกลับตามเดิม เพื่อศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิของหม้อน้ำ อุณหภูมิ น้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิของไอเสียรถยนต์ สมรรถนะของเครื่องยนต์ และการปล่อยก๊าซมลพิษจากไอเสีย ดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 การประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ โดยติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องยนต์ในการทดลองนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ รุ่น 4D56 OHC

ตาราง 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์	มิตซูบิชิ (Mitsubishi Diesel Engine)
จำนวนสูบ / รุ่น	4 สูบ / 4D56
กระบอกสูบ x ระยะชัก	91.1 x 95 มม.
ปริมาตรกระบอกสูบ	2,477 ซีซี
อัตราส่วนกำลังอัด	21.0 :1
ห้องเผาไหม้แบบ	สเวิล
แรงม้าสูงสุด (JIS)	90/4,200 รอบ/นาที
แรงบิดสูงสุด (JIS)	17/2,000 รอบ/นาที
ความดันฉีดน้ำมันหัวฉีด	120-130 บาร์



ภาพประกอบ 3.2 เครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer)

ลักษณะทั่วไปของไดนาโมมิเตอร์ มีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

รุ่น	MPX – 5
ชนิด	โรเตอร์เดี่ยว แบบทำงาน 2 หน้า (Double acting)
รอบ	1000 – 7500 รอบ/นาที
ขนาด	120 kW

หลักการทำงาน

ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ แบบ MPX-5 เพลลาของเครื่องทดสอบรองรับด้วยลูกปืน ซึ่งฝังอยู่ในเครื่องทดสอบ ขณะเดียวกันเรือนของเครื่องทดสอบรองรับโดยตับลูกปืนที่มีโครมรองรับอีกทีหนึ่ง ดังนั้นเรือนเครื่องทดสอบจึงเคลื่อนไหวยได้อย่างอิสระในแนวแกนเดียวกับเพลลา เพลลาของเครื่องยนต์ต่อ

ตรงกับเพลารองทดสอบที่เพลามี ROTOR ติดอยู่แต่ละหน้าของ ROTOR จะมีลักษณะเป็นแอ่งเป็นช่อง ๆ เมื่อ ROTOR หมุนจะพัดน้ำให้เกิดการหมุนวนในแอ่งที่แบ่งเป็นช่อง ทำให้เกิดความเสียดทานของน้ำและน้ำนี้จะเป็นตัวพาความร้อนที่เกิดจากความเสียดทานออกไปด้วย

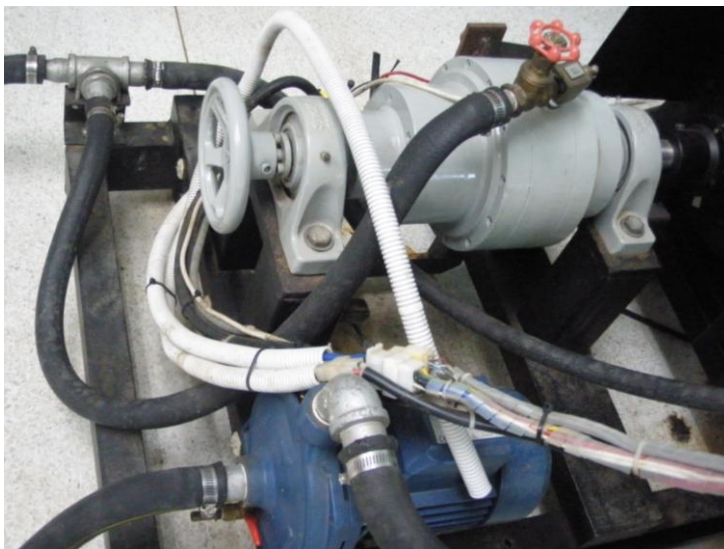
การปรับภาระเครื่องยนต์

สามารถปรับได้ด้วยการควบคุมการไหลของน้ำ โดยมีเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นการลดภาระให้น้อยลง หมุนทวนเข็มนาฬิกาจะเพิ่มภาระให้มากขึ้น การปรับภาระนี้จะทำได้ตลอดเวลาที่เครื่องทำงานเพื่อให้ภาระคงที่ ซึ่งการปรับภาระให้ปรับปริมาณน้ำหล่อเย็นที่วาล์ว ทางเข้า ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นพวงมาลัยอยู่ทางด้านข้างของไดนาโมมิเตอร์ ถ้าปล่อยน้ำเข้ามาภาระก็จะมากตาม การปรับภาระให้ปรับปริมาณน้ำหล่อเย็น ที่วาล์ว ทางเข้า ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นพวงมาลัยอยู่ทางด้านข้างของไดนาโมมิเตอร์ ถ้าปล่อยน้ำเข้ามาภาระก็จะมากตาม และวาล์วทางออกจากไดนาโมมิเตอร์ควรเปิดสุด หรือเกือบสุดเพื่อให้ น้ำไม่ร้อนเกินไป

เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ปรับน้ำที่ทางเข้าให้ไหลประมาณ 10-15 ลิตร/นาทีแล้วเร่งเครื่องให้ได้อัตราที่ต้องการเพิ่มภาระให้เพิ่มปริมาตรน้ำหล่อเย็นของ Dynamometer โดยปรับที่วาล์วทางเข้า ซึ่งขณะเดียวกันรอบจะลดลงด้วย ถ้าเพิ่มน้ำหล่อเย็นเข้าไปอีก ภาระก็จะเพิ่มอีกและรอบลดลงอีก

ฉะนั้นในการทดลองที่แต่ละตำแหน่งของคันเร่งและแต่ละอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นหรือภาระให้บันทึกผลการทดลองควบไปด้วย หากเปิดน้ำเข้าไดนาโมมิเตอร์จนสุดแล้ว ภาระยังสูงไม่พอรอบเครื่อง ยังสูงเกินไป ให้ห้วาล์วทางออกของ Dynamometer เพื่อเพิ่มภาระให้แก่ไดนาโมมิเตอร์ และรอบเครื่องจะลดลง แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิของน้ำก็จะสูงขึ้นด้วย แต่ควรไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนเครื่องทดสอบอย่างน้อยที่สุดต้องไม่น้อยกว่า 25 ลิตร/ชั่วโมง/กิโลวัตต์ หรือต้องมากพอที่จะไม่ให้อุณหภูมิที่ทางน้ำออก สูงเกินกว่า 80 องศาเซลเซียส ความดันของน้ำที่ท่อทางเข้าไม่ควรน้อยกว่า 10 เมตรของน้ำ (ประมาณ 1 กก/ตร.ซม.)

ชุดทดสอบได้ออกแบบให้มีสูบน้ำไฟฟ้าที่สามารถจ่ายน้ำได้พอเพียงกับความต้องการทุกสภาพภาระและความเร็ว ตามขนาดของเครื่องทดสอบคือ 150 กำลังม้า ที่ความเร็ว 6000 รอบ/นาที ดังแสดงในภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.3 ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ แบบ MPX-5

3.3.3 ผู้ควบคุม

การอ่านข้อมูลและควบคุมชุดทดสอบนี้ได้ออกแบบให้สามารถอ่านข้อมูลต่างๆ ได้ที่แผงหน้าปัด ตามรายละเอียดดังนี้

- 1) อุปกรณ์วัดความเร็วรอบแบบตัวเลข
- 2) อุปกรณ์วัดแรงบิดแบบตัวเลข
- 3) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบตัวเลข พร้อมสวิตช์เลือกจุดวัดอุณหภูมิ
 หมายเลข 1 คือ T_1 อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องยนต์
 หมายเลข 2 คือ T_2 อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์
 หมายเลข 3 คือ T_3 อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์
 หมายเลข 4 คือ T_4 อุณหภูมิน้ำออกจากเครื่องยนต์
 หมายเลข 5 คือ T_5 อุณหภูมิน้ำออกจากไดนาโมมิเตอร์
- 4) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลน้ำมัน (อุปกรณ์เพื่อเลือก)
- 5) กระบอกตวงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
- 6) ไฟแสดงความดันน้ำมันหล่อลื่น ไฟจะดับเมื่อความดันน้ำมันหล่อลื่นถึงเกณฑ์ปกติ
- 7) แอมมิเตอร์ วัดกระแสไฟฟ้าในวงจรประจุไฟแบตเตอรี่
- 8) หลอดไฟสัญญาณการประจุไฟของอัลเตอร์เนเตอร์ ไฟจะดับเมื่ออัลเตอร์เนเตอร์

ทำงานเป็นปกติ

9) ไฟสัญญาณแสดงการเปิด ปิดสวิตช์ไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นสวิตช์ควบคุมการจ่ายไฟเข้าเครื่องทดสอบ ไฟสว่างแสดงว่าสวิตช์อยู่ในตำแหน่ง “ON”

10) มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ซึ่งแยกเป็นมาตรสำหรับน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์ และมาตรสำหรับน้ำหล่อเย็นไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งมาตรแต่ละตัวมีวาล์วปรับอัตราการไหล

11) Inclined Manometer ใช้วัดปริมาณลมที่เข้าไปในเครื่องโดยผ่าน Venturi meter



ภาพประกอบ 3.4 แสดงชุดแผงควบคุมชุดทดสอบ

3.3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ Data Logger

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกค่าข้อมูลการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ที่นอกเหนือจากชุดแผงควบคุม โดยมีค่าความละเอียด คือ Type-K Range -100 to 1300 °C (± 0.1 °C)



ภาพประกอบ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิ Temperature Data Logger

3.3.5 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

รายละเอียดองค์ประกอบของระบบ

1) รายละเอียดทั่วไป คอนโทรลยูนิต (Control Unit)

1.1 Control Unit เป็นเครื่องวัดแบบพกพาเหมาะสำหรับการวัดหน้างาน ประกอบด้วยช่องต่อโพรบ และมีโพรบวัดความดันต่างในตัว

1.2 ช่องโพรบสามารถต่อโพรบวัดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความดัน ความเร็วรอบ กระแสและความต่างศักย์ โดยหน้าจอแสดงผลแบบกราฟิกสามารถแสดงค่าพร้อมกันได้ 6 ค่า

1.3 สามารถสั่งการทำงานของ Control Unit ได้ 2 แบบ คือ กดปุ่มและใช้ปากกาสัมผัส และสามารถเซตฟังก์ชันที่ใช้เป็นประจำไว้ที่ฟังก์ชันคีย์ได้ โดยฟังก์ชันคีย์ที่กำหนดทั้ง 4 อัน จะถูกแสดงไว้ที่แถบฟังก์ชันบาร์บนหน้าจอ

1.4 ชีตเติมบาร์จะเป็นส่วนที่บอกรายละเอียดอื่นๆเพิ่มเติม เช่น แสดงระบบการทำงาน location ปัจจุบัน, system configuration และหน้าที่กำลังปรากฏบนหน้าจอ เมื่อเปิดไฟของหน้าจอจะทำให้สามารถใช้งานได้ในที่มืด

1.5 Control Unit สามารถบันทึกข้อมูลได้ถึง 250,000 ค่า และสามารถเลือกพิมพ์ข้อมูลได้ที่ต้องการได้ทันทีผ่านทางเครื่องพิมพ์ในตัว

1.6 สามารถถ่ายโอนข้อมูลจากการวัดในเครื่องเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ได้โดยผ่านทางสายอินเตอร์เฟส ทำให้สามารถวิเคราะห์และจัดการข้อมูลได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ Comsoft 3

1.7 สามารถต่อ Control Unit เข้ากับ logger ได้ โดย logger สามารถต่อโพรบได้ถึง 4 โพรบ พร้อมกันและสามารถบันทึกข้อมูล ในหน่วยความจำเครื่องได้ 250,000 ค่าต่อหนึ่ง logger

1.8 สามารถใช้งาน Control Unit เดียวๆแยกกับ analyser box โดยต่อ Control Unit กับโพรบต่างๆ เพื่อวัดค่าที่ต้องการได้

1.9 สามารถวัดและบันทึกค่า ณ location ที่ต้องการไว้ใน logger หรือ analyser box โดยข้อมูลใน logger หรือ analyser box จะถูกถ่ายโอนมาสู่ Control Unit ผ่านทาง testo data bus ดังนั้น Control Unit ก็คือส่วนที่ควบคุมระบบการวัดนั่นเอง

2) รายละเอียดทั่วไป Analyser box 350 M/XL

2.1 ภายใน analyser box จะมีเซ็นเซอร์วัดแก๊ส ป้อนตัวทำให้แก๊สแห้ง (Peltier gas preparation) ช่องทางเดินของแก๊ส ฟิลเตอร์ แผงอิเล็กทรอนิกส์ ตัวแปลงไฟ และแบตเตอรี่ NIMH (การใช้งานประมาณ 2-3 ชั่วโมงสำหรับใช้แบบต่อเนื่อง)

2.2 การควบคุม analyser unit สามารถใช้ได้ทั้ง testo plug-in card (PCMCIA card) กับ ซอฟต์แวร์ COMFORT 3 โดย analyser unit จะสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองหลังจากโปรแกรมผ่าน Control Unit หรือ testo PCMCIA card ซึ่งจะสามารถโหลดโปรแกรมการทำงาน และทำงานตามโปรแกรมได้เพียงหนึ่งโปรแกรมต่อเนื่อง

2.3 เมื่อป้อนทำงานไม่ว่าจะเป็นจากผู้ใช้งานกดสั่ง หรือแบบอัตโนมัติ flue gas จะถูกดูดผ่าน flue gas probe เข้าสู่ gas preparation ซึ่งที่นี้ แก๊สที่ถูกดูดเข้ามาจะเย็นลงเป็น 4-8 องศาเซลเซียส ทันที ทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำโดยที่ NO_2 และ SO_2 ถูกดูดซับไปน้อยที่สุด โดยน้ำจะผ่านสายยางไปสู่กระบอกเก็บน้ำด้านข้างตัวเครื่อง

2.4 ก๊าซที่แห้งแล้วจะถูกผ่านกระดาศกรองฝุ่นซึ่งจะกรองฝุ่นเอาไว้ โดยฟิลเตอร์นี้จะเป็นตัวทำงานเป็นกับดักไอน้ำด้วย ถ้ากระดาศกรองนี้ถูกน้ำผ่านเข้าไป รูของกระดาศกรองจะปิดเพื่อป้องกันน้ำเข้า ไม่ให้ทำความเสียหายแก่ปั๊มและเซ็นเซอร์ จากนั้นก๊าซจะผ่านปั๊มไปสู่เซ็นเซอร์วัดก๊าซ และมีอัตราส่วนเล็กน้อยที่จะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มของเซ็นเซอร์ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณ แล้วก๊าซส่วนเกินจะถูกปล่อยออกทางท่อระบาย



ภาพประกอบ 3.6 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ รุ่น testo 350 M/XL

3.3.6 ตาชั่งดิจิตอล

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตวง-ชั่ง น้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิง รุ่น SF-4005 Electronic ขนาดความจุที่ชั่งได้ 10,000 กรัม: อุณหภูมิการใช้งาน 0-40 องศาเซลเซียส โดยชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิง ก่อนทำการทดลองและชั่งน้ำหนักน้ำมันเชื้อเพลิงหลังจากการทดลองการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 ตาชั่งแบบดิจิตอล รุ่น SF-4005 (ขนาด 10,000 g)

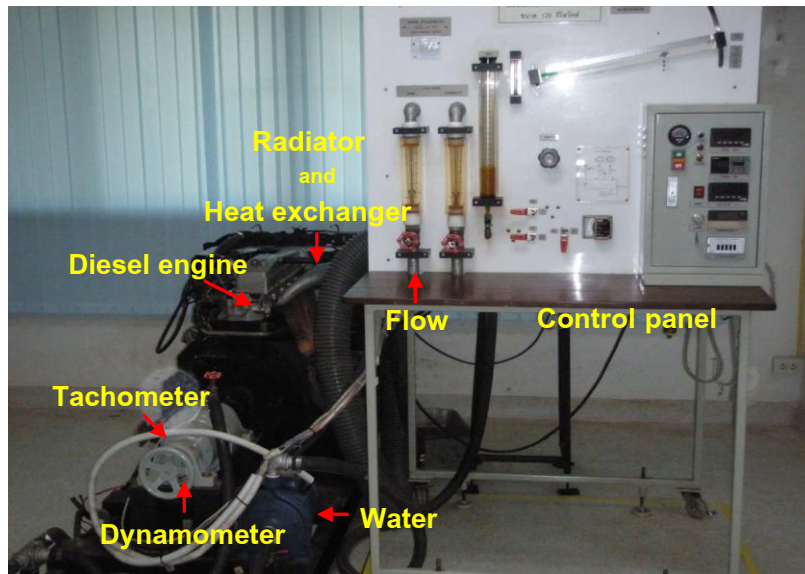


ภาพประกอบ 3.8 กระบอกตวงน้ำมันเชื้อเพลิง

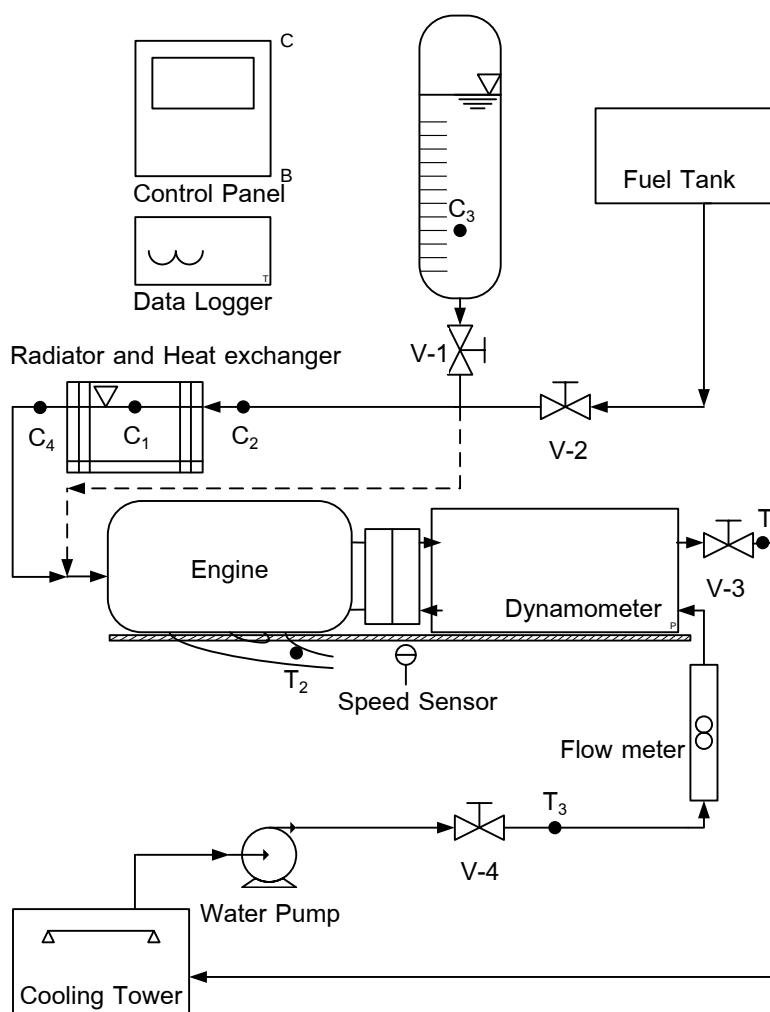
3.4 วิธีการติดตั้งชุดทดลอง

ในการทดลองเครื่องยนต์จะถูกติดตั้งกับแท่นทดสอบ และหม้อน้ำที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนติดตั้งอยู่ โดยหม้อน้ำจะระบายความร้อนจากเครื่องยนต์ด้วยน้ำ ที่มีพัดลมทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากหม้อน้ำตลอดเวลาและเทอร์โมสตัส ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องยนต์ให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยอัตโนมัติ และเพลลาของเครื่องยนต์ จะต่อพ่วงกับไดนาโมมิเตอร์ชนิด Eddy Current (Dynamometer) ที่ต่อเข้ากับหอหล่อเย็น และปรับอัตราการไหลด้วย Flow meter ที่มีความแม่นยำ ± 0.5 สามารถปรับภาระงาน (Load) โดยมีอุปกรณ์วัดแรงบิด และความเร็วรอบ (Strain-gauge load cell and Tachometer) ที่แสดงผลแบบดิจิตอลเป็นตัวเลขค่า โดยความเร็วรอบในการทดสอบของเครื่องยนต์แบ่งออกเป็น 5 ระดับคือ 800 1,500 2,000 2,500 และ 3,000 รอบ/นาที

ที่สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ไม่มีโหลด ซึ่งแต่ละความเร็วรอบใช้เวลาทดสอบ 1 ชั่วโมง และทดสอบครั้งต่อไปเมื่อเครื่องยนต์เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีขั้นตอนในการทดสอบคือ ชั่งน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ และติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ Data logger ที่เชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K ที่มีความแม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะวัดอุณหภูมิของหม้อน้ำ, อุณหภูมิไอเสีย, อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า, อุณหภูมิน้ำมันขาออก, อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิน้ำมันในถังเก็บ สำหรับชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์มีอุปกรณ์ และการติดตั้งดังภาพประกอบ 3.9 และ 3.10



ภาพประกอบ 3.9 ชุดทดลองเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ การติดตั้งการทดลอง และเครื่องมือวัดต่างๆ



ภาพประกอบ 3.10 แผนผังแสดงส่วนต่างๆ ของชุดทดสอบ และจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิต่างๆ

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

การประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง โดยการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ เพื่อรับความร้อนจากหม้อน้ำเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำมัน ซึ่งทำการศึกษาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบ่งออกเป็น 5 ระดับคือ 800, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบ/นาที โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ในสัดส่วน 80:20 และศึกษาความยาวท่อทองแดง (ท่อส่งน้ำมัน) ที่ใช้สำหรับให้น้ำมันเชื้อเพลิงไหลผ่านหม้อน้ำ โดยแบ่งออกเป็นท่อเดิมของเครื่องยนต์และท่อที่ทำการประยุกต์ 4 ท่อ ที่ความยาว 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสมรรถนะของเครื่องยนต์ และศึกษาการปล่อยก๊าซมลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์ (คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) โดยทดลองแต่ละความเร็วรอบใช้เวลา

ทดสอบ 1 ชั่วโมง และเมื่อจะทำการทดลองครั้งต่อไปต้องรอให้เครื่องยนต์เย็นลงให้ได้อุณหภูมิปกติจึงค่อยทำการทดลองครั้งต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. ชั่งน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการทดลอง
2. ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ (3 Channel Temperature Datalogger) เพื่อที่จะวัดอุณหภูมิหม้อน้ำ, อุณหภูมิไอเสีย, อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า, อุณหภูมิน้ำมันขาออก, อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิน้ำมัน
3. นำน้ำมันที่ชั่งไว้แล้วเทลงในกระบอกตวงน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อเตรียมการทดลอง
4. ทำการเปิดวาล์ว V-1, V-3 และ V-4 เพื่อเปิดวาล์วน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์ และวาล์วน้ำเข้าไดนาโมมิเตอร์ เพื่อเตรียมการทดสอบ โดยหมุนมือหมุนพวงมาลัยเพื่อควบคุมการไหลของน้ำเข้าไดนาโมมิเตอร์
5. ติดเครื่องยนต์เพื่อทำการทดลองแล้วตั้งความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้ได้รอบตามที่ต้องการจะทดสอบ ที่ 5 ระดับ คือ 800, 1500 2000, 2500 และ 3000 รอบ/นาที ซึ่งในการทดสอบแบ่งออกเป็นความเร็วรอบละ 5 ครั้ง คือที่ท่อปกติของเครื่องยนต์และท่อที่ทำการประยุกต์ที่ความยาว 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร
6. ทำการวัดค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ flue gas แล้วบันทึกค่า
7. บันทึกค่าอุณหภูมิต่างๆ ลงในตารางในทุกๆ 1 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง แล้วปิดวาล์ว V-1 เปิดวาล์ว V-2 เพื่อทำการทดลองหาค่าแรงบิด (Torque) ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบในการทดลองเสร็จแล้วดับเครื่องยนต์
8. ถ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหลือออกมาชั่งแล้วทำการบันทึกค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง
9. ทำการทดสอบตามขั้นตอนจนครบทุกความเร็วรอบและทุกความยาวท่อ
10. นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการประยุกต์หม้อน้ำเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง โดยการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน เพื่อรับความร้อนจากหม้อน้ำผู้วิจัยได้นำค่าความสัมพันธ์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์และผลของความยาวท่อทองแดงที่ใช้สำหรับให้น้ำมันดีเซลไหลผ่านหม้อน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง นำไปวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับท่อปกติของเครื่องยนต์ ในการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากผลของความยาวท่อทองแดงที่ถูกติดตั้งเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับให้น้ำมันดีเซลไหลผ่านหม้อน้ำ โดยเปรียบเทียบกับท่อปกติของเครื่องยนต์ ว่าค่าใดที่สามารถใช้งานได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์

เพื่อหาผลหรือข้อมูลของเครื่องยนต์จากทฤษฎีการหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบด้วย

3.6.1 กำลังเบรก (Brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาคือเพลาข้อเหวี่ยงหรือที่ล้อต้นกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งาน การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ โดยจะวัดออกในรูปของแรงบิดและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถคำนวณแรงบิดและกำลังเบรก ดังสมการต่อไปนี้

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60}$$

เมื่อ

$$T = Fr$$

โดย T = แรงบิด (N.m)

F = แรงตามแนวสัมผัส (N)

r = ความยาวของคาน (m)

P_b = กำลังเบรก (W)

N = ความเร็วรอบของเพลาคือเพลาข้อเหวี่ยง (rpm)

3.6.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, $bsfc$) คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยกำลังของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b \times hr}$$

โดย $bsfc$ = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (kg/kW.hr)

m_f = มวลของเชื้อเพลิง (kg)

hr = หน่วยเวลา (hr)

3.6.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (ไพบูลย์ แยมเพ็ญ, 2003)

ในการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงเพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าของการลงทุนว่า โครงการนี้มีความเหมาะสมหรือไม่ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, P) ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายรับกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการซึ่งหาได้จากการนำกระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปีตลอดอายุโครงการมาปรับให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งหาได้จากสมการ

$$P = A [((1+i)^n - 1) / (i(1+i)^n)]$$

2. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Method) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่างๆ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเหมาะกับโครงการระยะสั้น เงื่อนไขต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดโครงการ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุน} / \text{มูลค่าเงินที่สามารถประหยัดสุทธิ}$$

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาผลของการประยุกต์หม้อน้ำเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงโดยการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการติดตั้งท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งโดยติดตั้งท่อทองแดงเข้าไปในหม้อน้ำ และเจาะรูหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และท่อน้ำมัน เพื่อรับความร้อนจากหม้อน้ำ ซึ่งเกี่ยวกับการขยายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยอาศัยหลักกระบวนการ Thermal Cracking ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำมัน เพื่อลดพลังงานพันธะของโมเลกุล ทำให้ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และ ความหนืดลดลง ทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ขึ้น และความสัมพันธระหว่างผลของความยาวท่อกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และสมรรถนะเครื่องยนต์ จากหลักกระบวนการ การประยุกต์หม้อน้ำเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงโดยการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง ดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีดังนี้

2.1 น้ำมันดิบ

2.1.1 ชนิดหรือฐานของน้ำมันดิบ (base of crude oil) น้ำมันดิบมีหลายชนิด มีความถ่วงจำเพาะต่างๆ กัน ชื่อเรียกและคุณสมบัติก็แตกต่างกัน โดยทั่วไปนักปิโตรเลียมได้แบ่งชนิดของน้ำมันดิบไว้เป็นฐานใหญ่ 3 ฐานคือ

2.1.1.1 น้ำมันดิบฐานแอสฟัลต์ (แนฟทีน) (asphalt base crude oil หรือ naphthene) เป็นน้ำมันดิบทั่วไปที่ขุดพบในแถบตะวันออกกลาง อ่าวเม็กซิโก เวเนซุเอลา มีลักษณะเหนียวข้น เหมือนยางมะตอย เมื่อนำมากลั่นจะให้ผลผลิตเป็นน้ำมันพวกกาดีบสูงกว่าปกติ เช่น น้ำมันเตา แต่ข้อดีคือขนส่งง่ายไม่จับตัวเป็นไข กากที่เหลือจากการกลั่นแล้วส่วนใหญ่เป็นพวกยางมะตอย สันนิษฐานว่าน้ำมันดิบประเภทนี้มักเกิดมาจากซากสิ่งมีชีวิตที่ทับถมกันในมหาสมุทร

2.1.1.2 น้ำมันดิบฐานพาราฟิน (paraffin base crude oil) หรือน้ำมันดิบฐานไฮเทียโนนี้เป็นน้ำมันดิบชั้นดี มีค่า API สูง เมื่อนำมากลั่นจะให้ผลผลิตน้ำมันตระกูลเบนซินและผลิตภัณฑ์ระดับกลางสูงกว่า กากที่เหลือจากการกลั่นแล้วส่วนใหญ่จะได้พวกขี้ผึ้ง (wax) แต่ข้อเสียอย่างหนึ่งของน้ำมันดิบฐานนี้คือ ขนส่งยาก เพราะมักจับตัวเป็นไขเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ทำให้การสูบถ่ายเป็นไปได้อย่างลำบาก น้ำมันดิบเพชรที่ขุดพบ ณ แหล่งสิริกิติ์ จังหวัดกำแพงเพชรจัดอยู่ในน้ำมันประเภทนี้ นักธรณีวิทยาตั้งสมมติฐานว่า น้ำมันดิบฐานไฮเทียโนนี้มักจะขุดพบบนบก และควรจะมาจากการซากสิ่งมีชีวิตบนบก (พืชบกหรือสัตว์บก)

2.1.1.3 น้ำมันดิบฐานผสม (mixed crude oil) คือน้ำมันดิบที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 (mixed between paraffin asphalt) สันนิษฐานว่าเกิดจากการทับถมกันของ

สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนพื้นดินที่อดีตเคยเป็นทะเลมาก่อน และกากที่เหลือจากการกลั่นของน้ำมันฐานนี้แล้วจะมีทั้งยางมะตอยและไขหรือขี้ผึ้ง

แต่ละฐานดังกล่าวจะมีโครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติต่างกันออกไปอีก เช่น เมื่อน้ำมันดิบฐานแอสฟัลต์ มากล้นจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูง ส่วนน้ำมันดิบฐานพาราฟินเมื่อนำมากล้นจะได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าดัชนีความข้นใสหรือความหนืดสูง (viscosity index) แต่ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมทางด้านน้ำมันมีความก้าวหน้ามาก ไม่น้ำมันดิบจะมีฐานใดก็สามารถจะปรับปรุงให้มีคุณภาพสูงได้โดยใช้สารตัวเติม (additives) ที่ต้องการคุณสมบัติอื่นๆ

2.2 ทฤษฎีของเครื่องยนต์

การทำงานของเครื่องยนต์จำแนกออกเป็น 2 แบบ คือเครื่องยนต์ 4 ช่วงชักต่อกลวัฏ (4 Strokes/Cycle Engine) จะมีลักษณะการทำงาน คือ ใน 1 วงจรการทำงานที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ จังหวะเป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบตลอดความยาวเต็มทีของกระบอกสูบและเนื่องจากการเคลื่อนที่ 1 ครั้งทำให้เพลาค้อเหวี่ยงหมุนไปครึ่งรอบจึงเป็นผลให้เกิด 2 รอบหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง ใน 1 วงจรการทำงานที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

และเครื่องยนต์ 2 ช่วงชักต่อกลวัฏ (2 Strokes/Cycle Engine) ในเครื่องยนต์แบบนี้จะมีเพียง 2 จังหวะหรือ 1 รอบหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงต่อ 1 วงจรการทำงานที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ซึ่งหมายความว่าจำนวนจังหวะทำงานต่อนาทีในเครื่องยนต์ 2 จังหวะมีเป็น 2 เท่าเครื่องยนต์ 4 จังหวะทำงานที่ความเร็วของเครื่องยนต์เท่ากัน ดังนั้น ในทางทฤษฎีของเครื่องยนต์ 2 จังหวะจึงควรให้กำลังเป็น 2 เท่าของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงขอกกล่าวถึงในส่วนของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

2.2.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

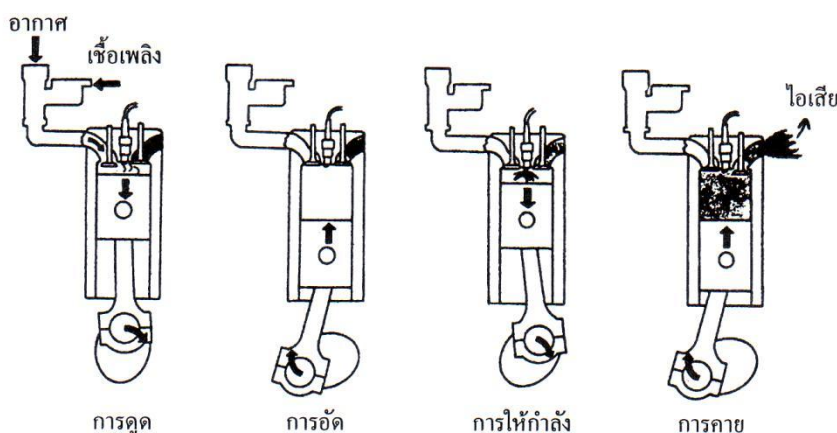
ในเครื่องยนต์ 4 ช่วงชักต่อกลวัฏ ลูกสูบเลื่อนขึ้นลง 4 ช่วงชัก คือเลื่อนขึ้น 2 ครั้งและเลื่อนลง 2 ครั้งในแต่ละกลวัฏ แล้วเริ่มต้นใหม่ในกลวัฏต่อไป 4 ช่วงชักเหมือนเดิม เครื่องยนต์แบบนี้จะมีการทำงานครบลำดับขั้นตอนต่อเนื่องทั้ง 4 ขั้นตอนในกลวัฏเครื่องยนต์ เมื่อเพลาค้อเหวี่ยงหมุนไปครบ 2 รอบพอดี ปัจจุบันนิยมเรียกเครื่องยนต์แบบนี้ว่า เครื่องยนต์ 4 จังหวะ (4 Strokes Engine หรือ 4 Cycles Engine) ซึ่งมีใช้กันมากทั่วไป

ช่วงชักที่ 1 เมื่อลูกสูบเลื่อนลงจากศูนย์ตายบนสู่ศูนย์ตายล่างปริมาณห้องสูบจะเพิ่มขึ้นและความดันลดลงจนกลายเป็นความดันต่ำกว่าบรรยากาศหรือความกดดันต่ำหรือสุญญากาศ ถ้าให้ห้องสูบดีดต่อกับอากาศภายนอกได้ อากาศหรือเชื้อผสมที่เรียกว่า ไอดี (Inlet) จากภายนอกห้องเผาไหม้ก็จะถ่ายเทเข้าไปในห้องเผาไหม้ เป็นการทำงานตรงกับขั้นตอนที่ 1 ของกลวัฏเครื่องยนต์คือ การใส่ (Intake) แต่การใส่โดยวิธีนี้เป็นการทำงานกระทำของลูกสูบที่ดูดเอาอากาศหรือเชื้อเพลิงเข้าไป จึงเรียกจังหวะนี้ว่า จังหวะดูด (Suction Stroke)

ช่วงชักที่ 2 เมื่อลูกสูบถึงศูนย์ตายล่างแล้วก็จะเลื่อนขึ้นสู่ศูนย์ตายบนอีกเป็นช่วงชักที่สองพร้อมกันนั้นจะทำให้ปริมาตรห้องเผาไหม้เล็กลง อากาศ/เชื้อเพลิงจะถูกอัดให้มีความดันและความร้อนสูงขึ้นตรงกับขั้นตอนที่ 2 ของกลวัฏ คือ การอัด (Compression) จึงเรียกจังหวะนี้ว่า จังหวะอัด (Compression Stroke)

ช่วงชักที่ 3 ขณะลูกสูบอัดอากาศเต็มที่ ณ บริเวณศูนย์ตายบนช่วงปลายของจังหวะอัด แล้วทำการจุดระเบิดให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงขึ้นในกระบอกสูบ ความดันที่เกิดจากการเผาไหม้ จะดันให้ลูกสูบเลื่อนลงส่งแรงผ่านก้านสูบ และแรงบิดผ่านเพลาค้อเหวี่ยงออกไปใช้งานช่วงชักนี้ตรงกับขั้นตอนที่ 3 ของกลวัฏจักรเครื่องยนต์คือการใช้งาน (Work) จึงเรียกว่า จังหวะงาน (Working Stroke) หรือจะเรียกว่าจังหวะกำลัง (Power Stroke) ก็ได้

ช่วงชักที่ 4 แก๊สที่เกิดภายหลังจากการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง และขยายตัวเกิดความดันไปดันให้ลูกสูบเลื่อนลงสู่ศูนย์ตายล่างในจังหวะงาน แล้วลูกสูบจะเลื่อนกลับสู่ศูนย์ตายบนทำให้ปริมาตรของห้องเผาไหม้ลดลง เมื่อห้องเผาไหม้ติดต่อกับภายนอกได้แก๊สไอเสียจะถ่ายเทออกจากห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ ตรงกับขั้นตอนที่ 4 ของกลวัฏจักรคือ การคาย (Exhaust) เรียกว่า จังหวะคาย (Exhaust Stroke)



ภาพประกอบ 2.1 การทำงานในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ
ที่มา : จำนง นันทนาวิจิตรกุล (2537)

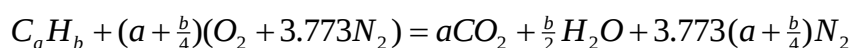
การติดต่อรหว่างห้องเผาไหม้กับภายนอกเครื่องยนต์ จะทำให้เกิดการถ่ายเทปริมาณไอดีและไอเสียในห้องเผาไหม้จะผ่านวาล์ว ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวบังคับปิดเปิดห้องเผาไหม้ให้ติดต่อกับภายนอก วาล์วไอดี สำหรับเป็นทางผ่านของอากาศหรือน้ำมันเชื้อเพลิงผสมจะเปิดในจังหวะดูด วาล์วไอเสีย เป็นทางผ่านของแก๊สไอเสียหลังจากการเผาไหม้จะเปิดในจังหวะคาย การเปิดของวาล์วไอดี และวาล์วไอเสียจะต้องถูกต้องตามกำหนดเวลาสัมพันธ์ กับการเคลื่อนที่ของลูกสูบอันเป็นตัวควบคุมให้เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ทำงานได้ดีเสมอที่เรียกว่า ไหม้วาล์ว

2.3 การเผาไหม้ตามทฤษฎี (Combustion Stoichiometry)

กระบวนการเผาไหม้ของส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศ ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อ กำลัง ประสิทธิภาพ และปริมาณแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ระหว่างการเผาไหม้จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะเข้าใจการทำงานของเครื่องยนต์การเผาไหม้ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน

และเกิดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Combustion) ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนที่สมบูรณ์ผลิตภัณฑ์ (Product) ที่ได้จากปฏิกิริยาจะประกอบด้วยน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกมาด้วย

สมการการเผาไหม้สมบูรณ์



$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_f}{m_a} \quad (2.1)$$

ส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า ค่าตามทฤษฎีก็ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ ถ้าหากส่วนผสมมีอากาศมากกว่าทางทฤษฎี คือมีอากาศส่วนเกินเรียกว่า สารผสมบาง (Fuel lean) อากาศส่วนเกินนี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงและเหลือออกมาเป็นไอเสีย และการเผาไหม้ที่มีส่วนผสมอากาศน้อยกว่าค่าตามทฤษฎีเรียกว่า สารผสมหนา (Fuel rich) โดยปกติแล้วค่า (A/F) ของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีค่าประมาณอยู่ระหว่าง $0.014 \leq F/A \leq 0.056$ เนื่องจากส่วนประกอบของสารที่ได้จากการเผาไหม้ จะแตกต่างกันสำหรับสารผสมบางและสารผสมหนา และเนื่องจากอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศพอดีจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเชื้อเพลิง ดังนั้น จึงมีการกำหนดส่วนประกอบของสารผสมในรูปของอัตราส่วนของ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศจริง/อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศพอดี ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิง / อากาศ (Fuel / air equivalence ratio, ϕ)

$$\phi = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)_{\text{actual}}}{\left(\frac{F}{A}\right)_s} \quad (2.2)$$

สำหรับส่วนสารผสมบาง : $\phi < 1$

สำหรับ Stoichiometric : $\phi = 1$

สำหรับส่วนสารผสมหนา : $\phi > 1$

ตาราง 2.1 องค์ประกอบของอากาศแห้ง (ที่มา : John B. Heywood, 1988)

แก๊ส	ppm โดยปริมาตร	น้ำหนักโมเลกุล	เศษส่วนโมล
ออกซิเจน (O ₂)	209,500	31.998	0.2095
ไนโตรเจน(N ₂)	780,900	28.012	0.7905
อาร์กอน (Ar)	9,300	38.948	-
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	300	44.01	-
อากาศ (Air)	1,000,000	28.976 = M air	1.0000

ช่วงในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้การเผาไหม้จะต้องใช้อากาศ และเชื้อเพลิงมาทำปฏิกิริยาต่อกัน โดยอากาศแห้งประกอบด้วยส่วนผสมของแก๊สหลายชนิดได้แก่ ออกซิเจน (O_2) 21 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน (N_2) 78 เปอร์เซ็นต์, อาร์กอน (Ar) 0.94 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรและแก๊สที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ แต่ในอากาศนั้นตามปกติจะมีไอน้ำอยู่ด้วย ซึ่งปริมาณของไอน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนที่ใช้วัดปริมาณไอน้ำในอากาศ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความดันย่อยของไอน้ำ ที่มีในอากาศขึ้นต่อความดันอิมตัว สามารถที่จะหาปริมาณของไอน้ำในอากาศได้จาก แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Charts), อุณหภูมิอากาศแห้ง (Dry Bulb) และอุณหภูมิ อากาศเปียก (Wet Bulb)

2.4 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

ในการเลือกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซล จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่สำคัญต่อไปนี้

1) ความสามารถในการติดไฟ (Ignition Quality) หมายถึง ความสามารถในการติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าที่ใช้บอกความสามารถในการติดไฟของน้ำมัน เรียกว่า ตัวเลขซีเทนน้ำมันดีเซลในปัจจุบันมีค่าซีเทนนมเบอร์ประมาณ 40 – 60 น้ำมันที่ติดไฟง่ายที่สุด คือ น้ำมันซีเทน ($C_{16}H_{34}$) กำหนดให้มีค่า ตัวเลขซีเทนเท่ากับ 100 และน้ำมันที่ติดไฟยากที่สุด คือแอลฟาเมทิลเนฟทาซีน มีสูตรทางเคมีเป็น $C_{10}H_7 - CH_3$ ให้มีค่า ตัวเลขซีเทน เท่ากับศูนย์ ส่วนค่าตัวเลขซีเทนอื่น ๆ เป็นเปอร์เซ็นต์ของซีเทน โดยปริมาตรในน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันซีเทน ($C_{16}H_{34}$) กับแอลฟาเมทิลเนฟทาซีน ($C_{11}H_{10}$) โดยมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบหาค่าตัวเลขซีเทนเป็นเครื่องยนต์มาตรฐานชนิดสูบเดียว สามารถปรับอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) วิธีทดสอบจะใช้ความล่าช้าในการจุดระเบิดเป็นหลักคือ ความล่าช้าในการจุดระเบิดจะลดลงเมื่ออัตราส่วน การอัดเพิ่มขึ้น ความล่าช้าในการจุดระเบิดนี้วัดจากการฉีดน้ำมันของหัวฉีด จนกระทั่งน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ (กำลังดันในกระบอกสูบสูงขึ้น) การทดลองจะใช้น้ำมันที่มีเปอร์เซ็นต์ตัวเลขซีเทนต่างกัน มาทำให้เกิดการเผาไหม้ในกระบอกสูบที่อัตราส่วนการอัดต่างกัน โดยปรับแต่งเครื่องยนต์ให้มีความล่าช้าใน การจุดระเบิด 13 องศาเซลเซียส ถ้าการเผาไหม้เกิดขึ้นที่อัตราส่วนการอัดต่ำ แสดงว่าน้ำมันมีค่าซีเทนนมเบอร์สูง ถ้าการเผาไหม้เกิดขึ้นที่อัตราส่วนการอัดสูง แสดงว่าน้ำมันมีค่า ตัวเลขซีเทนต่ำ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าตัวเลขซีเทนนมเบอร์สูงความสามารถในการติดไฟจะดีถึงแม้ว่าอุณหภูมิของเครื่องยนต์ต่ำ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าตัวเลขซีเทนนมเบอร์ต่ำกว่า 40 เมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดควันมาก อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังที่ผลิตได้จะน้อยกว่าปกติ ความสามารถในการติดไฟของน้ำมันดีเซลนอกจากจะดูจากตัวเลขซีเทนนมเบอร์แล้วยังสามารถดูจาก ตัวเลขดัชนีดีเซล (Diesel Index Number) ; DI ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$DI = \frac{\text{Anilinopoint} (^{\circ}C) \times \text{Api gravity @}(15.6^{\circ}C)}{100} \quad (2.3)$$

แอนนิไลน์ (Aniline) คือ สารประกอบจำพวกแอโรเมติก (Aromatic Compound) ละลายได้ในน้ำมันจำพวกพาราฟินที่มีอุณหภูมิสูง และละลายได้ในน้ำมันจำพวกแอโรเมติกที่อุณหภูมิต่ำ จุดแอนนิไลน์ (Aniline Point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่สารอนิไลน์ละลายในน้ำมันที่มีปริมาตรเท่ากันได้หมด

น้ำมันดีเซลที่มีคุณภาพดี จุดแอนนิไลน์ จะต้องสูงกว่า 21 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) หมายถึง มวลของน้ำมันในหนึ่งหน่วยปริมาตรต่อ มวลของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน

ความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน API (American Petroleum Institute) จะวัดอุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส (289 K) [Colin R. Ferguson] ทั้งของน้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำ สามารถหาได้จาก

$$API = \frac{141.5}{SG@15.6^{\circ}C / (15.6^{\circ}C)} - 131.5 \quad (2.4)$$

โดยทั่วไปตัวเลขจากสมการนี้จะบอกค่าตัวเลขซีเทนในน้ำมัน ถ้าตัวเลขสูงแสดงว่าน้ำมันมีค่าตัวเลขซีเทนสูง

2) ความหนืด (Viscosity) คือ ความต้านทานในการไหลของน้ำมัน

ความหนืดมีอิทธิพลต่อรูปร่างลักษณะของลำน้ำมันที่ฉีด (Spray) เข้าไปในห้องเผาไหม้ น้ำมันที่มีความหนืดสูงการแตกตัวเป็นละอองเล็กๆ จะเกิดขึ้นยากและน้ำมันจะฉีดทะลุทะลวงไปได้ไกล ส่วนน้ำมันที่มีค่าความหนืดต่ำการฉีดจะแผ่กระจายบริเวณใกล้ ๆ หัวฉีดทำให้น้ำมันกระจายไม่ทั่วห้องเผาไหม้ และน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าความหนืดประมาณ 35-40 SUS (Saybolt Universal Second) เครื่องมือวัด ความหนืดโดยทั่วไป เรียกว่า เซโบลท์ วิสโคมิเตอร์ (Saybolt Viscometer)

3) จุดวาบไฟและจุดติดไฟ (Flash point and Fire point) จุดวาบไฟ หมายถึงจุดที่น้ำมัน มีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เกิดไอระเหยขึ้น และเมื่อนำเปลวไฟเข้าใกล้จะเกิดการลุกไหม้ขึ้นวูบหนึ่งแล้วดับหายไป น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะเป็นอันตรายต่อการเก็บรักษาเนื่องจากติดไฟง่าย น้ำมันดีเซลโดยทั่วไปจะมีจุดวาบไฟประมาณ 650 องศาเซลเซียส และจุดติดไฟ หมายถึง จุดที่น้ำมันมีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เกิดไอระเหยขึ้น และเมื่อนำเปลวไฟเข้าใกล้จะติดไฟขึ้นอย่างต่อเนื่องนานอย่างน้อย 5 วินาที น้ำมันดีเซลปกติ จะมีอุณหภูมิจุดติดไฟประมาณ 70 – 85 องศาเซลเซียส

4) จุดแข็งตัว (Cloud Point) หมายถึง อุณหภูมิสูงสุดที่ขี้ผึ้ง (Wax) แยกตัวออกมาเป็นของแข็ง ของแข็งที่เป็นไขหรือขี้ผึ้งนี้จะไปอุดตันทางเดินในระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

5) จุดไหลเท (Pour Point) หมายถึง จุดที่น้ำมันแข็งตัวหรือหยุดไหลมีความสำคัญมากในขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ที่มีอุณหภูมิต่ำๆ น้ำมันจะไหลจากถังเก็บไปยังเครื่องยนต์ยาก ทำให้สตาร์ทเครื่องยนต์ไม่ติด โดยทั่วไปจุดไหลเทจะต่ำกว่าจุดแข็งตัวประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส

6) ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) เกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ ทางฟิสิกส์หรือกายภาพ เช่น อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมัน ชนิดของห้องเผาไหม้ความดันของน้ำมันที่หัวฉีดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและ การตั้งเวลาการฉีด (Timing) ทางเคมี เกิดจากอุณหภูมิและความดันขณะน้ำมันเพลิงเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน

7) ปริมาณกำมะถัน (Sulfur) เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ ออกไซด์จากการเผาไหม้กำมะถันที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะไปรวมกับความชื้นในอากาศ ทำให้เกิดกรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) กรดนี้จะกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ให้สึกหรอ และเมื่อรวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่น จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพเกิด ยางเหนียว ๆ (Gum) จับตามกระบอกสูบและชิ้นส่วนต่าง ๆ ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ตามมาตรฐานจะกำหนดกำมะถันในน้ำมันดีเซลไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 2.2 คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันสบู่ดำ (Bhupendra Singh Chauhan et. al, 2010)

คุณสมบัติ	น้ำมันดีเซล	น้ำมันสบู่ดำ
ความหนาแน่น (kg/m^3)	830	918
API ความถ่วงจำเพาะ	37.15	22.81
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 ($^{\circ}\text{C}$) (cSt)	2.5	37
จุดแข็งตัว ($^{\circ}\text{C}$)	-12	9
จุดไหลเท ($^{\circ}\text{C}$)	-17	4
จุดวาบไฟ ($^{\circ}\text{C}$)	70	238
ค่าความร้อน (kJ/kg)	42,200	37,500
ปริมาณสารคาร์บอนตกค้าง (% w/w)	0.05	0.8
ปริมาณเถ้า (% w/w)	0.01	0.04
คาร์บอน (% w/w)	86.71	77.21
ไฮโดรเจน (% w/w)	12.98	10.25
ไนโตรเจน (ppm)	5	3
ออกซิเจน (% w/w)	0.31	12.52
กำมะถัน (ppm)	340	8

2.5 น้ำมันไบโอดีเซล และคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล(Biodiesel)

ไบโอดีเซล (Bio-diesel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมีให้โมเลกุลเล็กลง เรียกว่า “ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน” (Tranesterification) ระหว่างแอลกอฮอล์น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ (ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นไตรกลีเซอไรด์) และใช้แอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้น โดยมีด่างพวกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส การทำปฏิกิริยาเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติในเรื่องความหนืด ให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซลโดยทั่วไปแบ่งตามประเภทของน้ำมัน และลักษณะการนำมาใช้งาน ได้เป็น 3 ประเภท

ประเภทที่ 1 ไบโอดีเซลโดยการใช้ไขมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ใส่ไปโดยตรง

ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ น้ำมันพืชแท้ๆ (เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง) หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ (เช่น น้ำมันหมู) ซึ่งเราสามารถเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมีอื่นใด หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน แต่ผู้ใช้ต้องมีความรู้ทางด้านเครื่องยนต์พอสมควร ต้องคอยหมั่นตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเครื่องยนต์ที่ทำการดัดแปลง โดยส่วนใหญ่แล้วถ้าเป็นเครื่องยนต์รอบต่ำไม่ค่อยมีปัญหาในการดัดแปลง

ใช้งานเท่าเครื่องยนต์รอบสูง เพราะการดัดแปลงทำได้ง่าย และการดูแลรักษาไม่ยุ่งยากเท่าที่ควร โดยวิธีการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อให้เหมาะสมกับน้ำมันพืชที่มีอยู่ 3 วิธี

วิธีที่ 1 ติดตั้งอุปกรณ์กรองน้ำมันพืชและอุ่นน้ำมันเครื่องยนต์ให้มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส

วิธีที่ 2 เป็นการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช โดยจะมีถังน้ำมัน 2 ถังใส่น้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชในตอนเริ่มแรกให้ใช้น้ำมันดีเซลก่อนเมื่อเครื่องร้อนแล้วก็เปลี่ยนมาใช้น้ำมันพืช และก่อนดับเครื่องยนต์ให้เปลี่ยนมาใช้น้ำมันดีเซลอีกครั้งหนึ่ง เพื่อล้างโซของน้ำมันพืช ซึ่งอาจติดอยู่ที่ไส้กรอง แต่วิธีนี้ไม่ค่อยนิยมเพราะมีความยุ่งยากแต่ประสิทธิภาพการใช้งานจะดี

วิธีที่ 3 เป็นการผลิตเครื่องยนต์เพื่อใช้สำหรับน้ำมันพืชโดยตรง โดยเน้นการดัดแปลงในส่วนของลูกสูบระบบหัวฉีดและห้องเผาไหม้เพื่อให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันพืชให้มีประสิทธิภาพที่สุด

ประเภทที่ 2 ไบโอดีเซลแบบผสมในเครื่องยนต์

เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือสัตว์) กับน้ำมันก๊าด หรือน้ำมันดีเซลเพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น การผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าดหรือปาล์มดีเซล (Palm-diesel) ซึ่งเป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมในประเทศไทยเนื่องจากต้นทุนต่ำ โดยมีสูตรผสมหลายสูตร เช่น น้ำมันมะพร้าว 20 ส่วน/น้ำมันก๊าด 1 ส่วน หรือน้ำมันปาล์ม 60 ส่วน/น้ำมันก๊าด 7 ส่วน/น้ำมันดีเซล 40 ส่วน แต่วิธีการนี้ต้องระวังเรื่องการกรองน้ำมันพืช หากไม่สะอาดเพียงพออาจทำให้เกิดการอุดตันได้ง่าย และวิธีการผสมจะเป็นไปได้ง่ายเมื่ออากาศเย็น

ประเภทที่ 3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

จะเป็นการดัดแปลงน้ำมันพืชให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า “ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน” (Transesterification) ซึ่งการนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เอสเทอร์ชนิดนี้มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล ใช้แทนดีเซล หรือเติมเป็นส่วนผสมในดีเซลในสัดส่วนต่างๆ สามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แต่อย่างใด แต่ในการใช้ไบโอดีเซลล้วนๆ ต้องมีการดัดแปลงอุปกรณ์ในรถยนต์บางชนิดที่เป็นยางหากสัมผัสกับไบโอดีเซลอาจเสื่อมสภาพได้ไว เพราะไบโอดีเซลมีสมบัติเป็นตัวทำละลาย แต่การใช้ไบโอดีเซลผสมกับดีเซลสามารถนำไปใช้ได้เลย

ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มี คุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ แต่จะมีต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากต้องผ่านกระบวนการทางเคมี โดยสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้

2.5.1 ขั้นตอนการผลิต

2.5.1.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องผลิตไบโอดีเซล

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมีอยู่ 2 ชนิด คือ เมทานอล (Methanol) และด่าง โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการหาปริมาณสารเคมีที่

เหมาะสมโดยการไทเทรตสำหรับการผลิตไบโอดีเซลก่อนทำปฏิกิริยาจะทำให้การเกิดปฏิกิริยามีความสมบูรณ์มากขึ้น โดยการไทเทรตเป็นขั้นตอนที่ทำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันใหม่/น้ำมันเก่าที่ใช้แล้ว คำนวณหาปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วมีความเป็นกลางก่อนที่จะเริ่มทำปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการต้มไล่่น้ำ

นำน้ำมันพืชใช้แล้วทำการระเหยน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ก่อนเริ่มการทำปฏิกิริยาโดยน้ำมันพืชที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นจะต้องไม่มีน้ำ หรือมีน้ำน้อยที่สุดเพื่อให้การเกิดปฏิกิริยามีความสมบูรณ์ การกำจัดน้ำนั้นทำได้โดยการต้มไล่่น้ำ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วให้ทำการลดอุณหภูมิลงประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการผสมสารเคมี

นำสารเคมีที่เตรียมไว้ (Methanol/Catalyst) เมื่อเริ่มการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิของวัตถุดิบ 60 องศาเซลเซียส ให้ปล่อยสารเคมีลงไปผสมกับน้ำมันพืช โดยค่อยๆ ปล่อยลงไปผสมทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว ทิ้งไว้เพื่อแยกชั้น

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการทิ้งให้แยกชั้น

เมื่อกระบวนการทำปฏิกิริยาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งแยกชั้นไว้เป็นเวลา 30 นาที (เป็นอย่างน้อยหากต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรทิ้งทิ้งไว้ค้างคืน) สังเกตการแยกชั้นของกลีเซอรินได้จากกระจกช่องมองด้านข้าง กลีเซอรินที่อยู่ด้านล่างจะมีสีเข้มกว่าไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนอย่างชัดเจนกลีเซอรินที่อยู่ทางด้านล่างของถังจะมีความหนาแน่นมากกว่าไบโอดีเซล ทำให้กลีเซอรินตกตะกอนที่ส่วนล่างของถัง สามารถไขแยกกลีเซอรินออกได้ทางก้นถัง

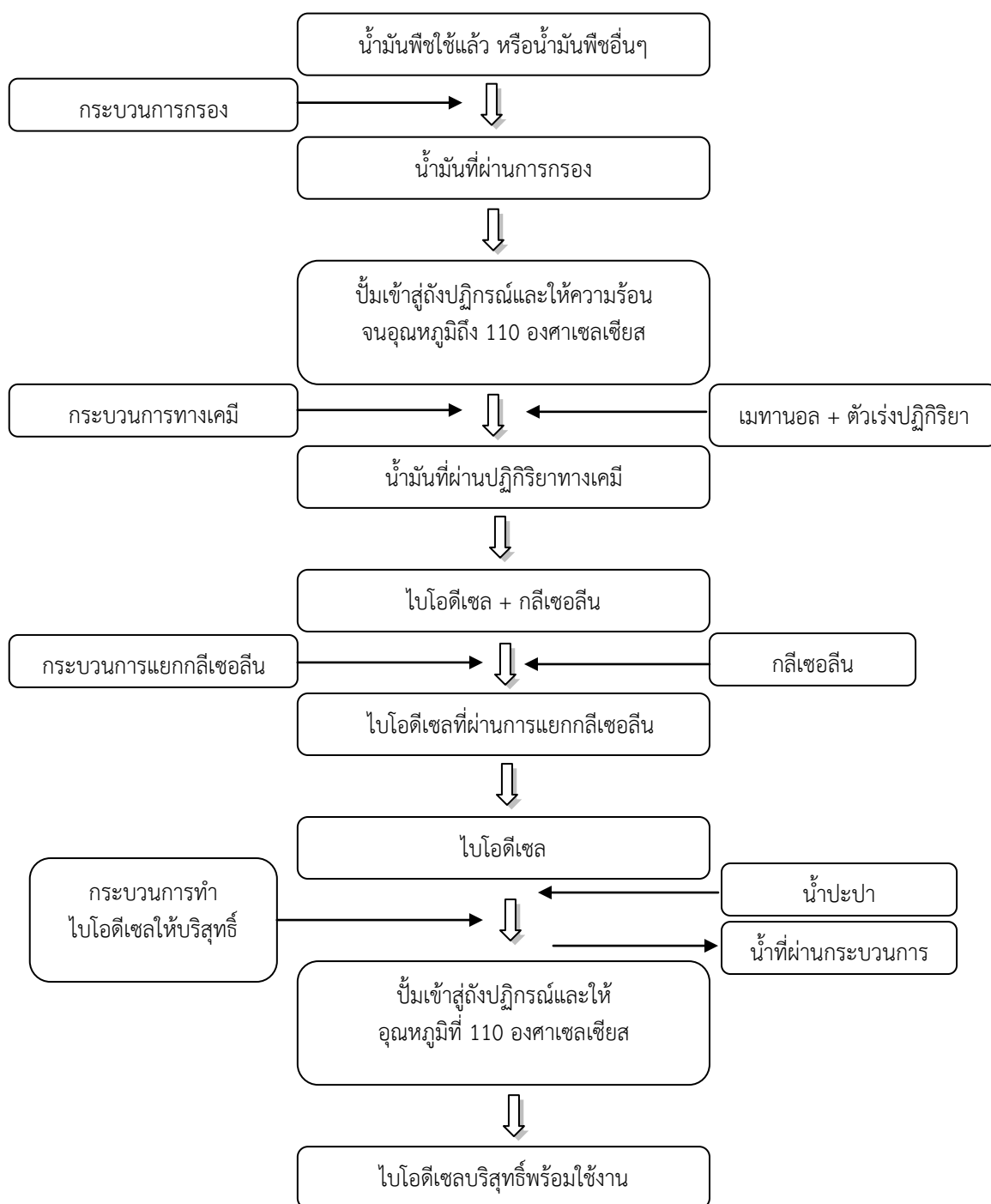
ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

หลังจากที่แยกกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลแล้ว จะมาถึงขั้นตอนการล้างน้ำเพื่อทำให้ไบโอดีเซล มีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้นโดยการล้างน้ำไบโอดีเซลเพื่อกำจัดสารเคมีที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา เมทานอลและสิ่งตกค้างต่างๆ ออกจากไบโอดีเซล โดยการล้างน้ำแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนการต้มไล่่น้ำ

ไบโอดีเซลผ่านขั้นตอนการล้างน้ำแล้ว เพื่อทำการระเหยน้ำประปาที่ใช้ล้างสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล ควบคุมอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส และให้ความร้อน เพื่อใช้ในการต้มไล่่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการ (หากต้องการนำไปใช้ทันทีหรือทำให้เย็น สามารถทำได้โดยการหล่อเย็นด้วยน้ำ)

2.5.2 แผนผังขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล



ภาพประกอบ 2.2 แสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

2.5.3 มาตรฐานไบโอดีเซล

ตาราง 2.3 รายละเอียดแบบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะคุณภาพของ
ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน)

ข้อกำหนด		อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15 °C)	กิโลกรัม ลูกบาศก์เมตร Kg/m ³	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTMD1298
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40 °C)	เซนติสโตกส์ cSt	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.9 5.0	ASTMD445
จุดวาบไฟ (Flash Point)	องศาเซลเซียส °C	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTMD93
กำมะถัน (Sulphur)	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTMD2622
จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	47	ASTMD613
เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash)	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTMD874
น้ำและตะกอน (Water and Sediment)	ร้อยละโดยปริมาตร %wl	ไม่สูงกว่า	0.2	ASTMD2709
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 3	ASTMD130
ค่าความเป็นกรด (Acid Number)	มิลลิกรัมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์/กรัม mgKOH/g	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTMD664
กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin)	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTMD6584
กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin)	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt	ไม่สูงกว่า	1.5	ASTMD6584
สี (Colour)			ม่วง	ตรวจพินิจด้วย สายตา
สารเติมแต่ง (ถ้ามี)		ให้เป็นไปตามความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

2.5.4 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล (B20)

ตาราง 2.4 คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง (Afshin Ghorbani, Bahamin Bazoooyar, 2012)

คุณสมบัติ	ไบโอดีเซลจาก ถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล B20	ไบโอดีเซล B10	ไบโอดีเซล B5	ดีเซล	มาตรฐาน
สูตรทางเคมี	$\text{CH}_{1.82}\text{O}_{0.11}$	$\text{CH}_{2.24}\text{O}_{0.022}$	$\text{CH}_{2.288}\text{O}_{0.011}$	$\text{CH}_{2.31}\text{O}_{0.005}$	$\text{CH}_{2.34}$	Calculation
จุดวาบไฟ ($^{\circ}\text{C}$)	170	98	71	51	44	ASTM D93
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (mm^2/s)	5.8	4.4	4.0	3.8	3.5	ASTM D445
ค่าซีเทน	49	49	49	46	45	ASTM D613
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 60°C	0.8821	0.8480	0.8430	0.8407	0.8367	ASTM D1298
จุดแข็งตัว ($^{\circ}\text{C}$)	2	-1	-3	-4	-6	ASTM D2500
จุดไหลเท ($^{\circ}\text{C}$)	-2	-11	-14	-16	-19	ASTM D97
การกักกร่อนต่อ ทองแดง	3	1	1	1	1	ASTM D130
ปริมาณสารคาร์บอน ตกค้าง	0.038	0.020	0.018	0.019	0.01	ASTM D4530
น้ำและตะกอน	0.002	Trace	Trace	Trace	Trace	ASTM D2709
เถ้าซิลิเกต	0.008	0.002	0.002	0.001	0.001	ASTM D847
ค่าความเป็นกรด	0.34	0.01	0.01	Trace	Trace	ASTM D664
กลีเซอรินทั้งหมด	0.01	Trace	Trace	Trace	Trace	ASTM D6584
กลีเซอรินอิสระ	0.120	0.09	0.06	0.05	Trace	ASTM D6584
ค่าความร้อนต่ำสุด (kJ/kg)	38,745	40,082	40,132	40,254	40,325	ASTM D240

2.6 การแปรรูปหรือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี

เป็นกระบวนการทางเคมีที่ต้องการเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันด้วยการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำมัน เช่น การแปรรูปหรือเปลี่ยนน้ำมันที่หนักให้แตกตัวเป็นน้ำมันที่เบา ซึ่งมีคุณค่าที่ดีกว่า และทำให้คุณภาพของน้ำมันเหมาะสมกับความต้องการในการใช้ประโยชน์ ผลิตรถยนต์ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนอาจจะมีปริมาณไม่เท่ากับปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ต้องการใช้ เช่น น้ำมันแก๊สโซลีนหรือที่เรียกกันว่าน้ำมันเบนซินนั้น อาจได้จากการรวมวิธีการกลั่นลำดับส่วนแต่ปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการ จึงต้องหาทางผลิตน้ำมันเบนซินให้มากขึ้นด้วยกรรมวิธีนี้

หลักพื้นฐานของกรรมวิธีนี้คือ การทำให้โมเลกุลของน้ำมันแตกตัว เรียกว่าวิธีการนี้ว่าวิธีการแตกสลาย (cracking) เช่น วิธีการแตกสลายด้วยความร้อน (thermal cracking) และวิธีการแตกสลาย

ด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) หรือเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำมันเบาให้ได้โมเลกุลที่หนักกว่าและมีคุณสมบัติที่แตกต่างกว่า (polymerization) นอกจากนั้นยังมีวิธีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ อีกหลายวิธี เช่น วิธีอัลคิลเลชัน (alkylation) ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้ให้น้ำมันเบนซินมีค่าออกเทนัมเบอร์สูงขึ้น โดยการใช้สารพวกไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซ (hydrocarbon gases) มาเปลี่ยน และวิธีไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) เป็นกระบวนการที่ทำให้สารไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าออกเทนต่ำกลายเป็นสารที่มีค่าออกเทนสูงได้ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับเปลี่ยนน้ำมันเบนซินและวิธีปฏิรูปด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (catalytic reforming) เป็นวิธีการใช้จัดรูปโมเลกุลของปิโตรเลียมเสียใหม่ให้มีค่าออกเทนสูงขึ้น เป็นต้น หลักการพื้นฐานมีดังต่อไปนี้คือ

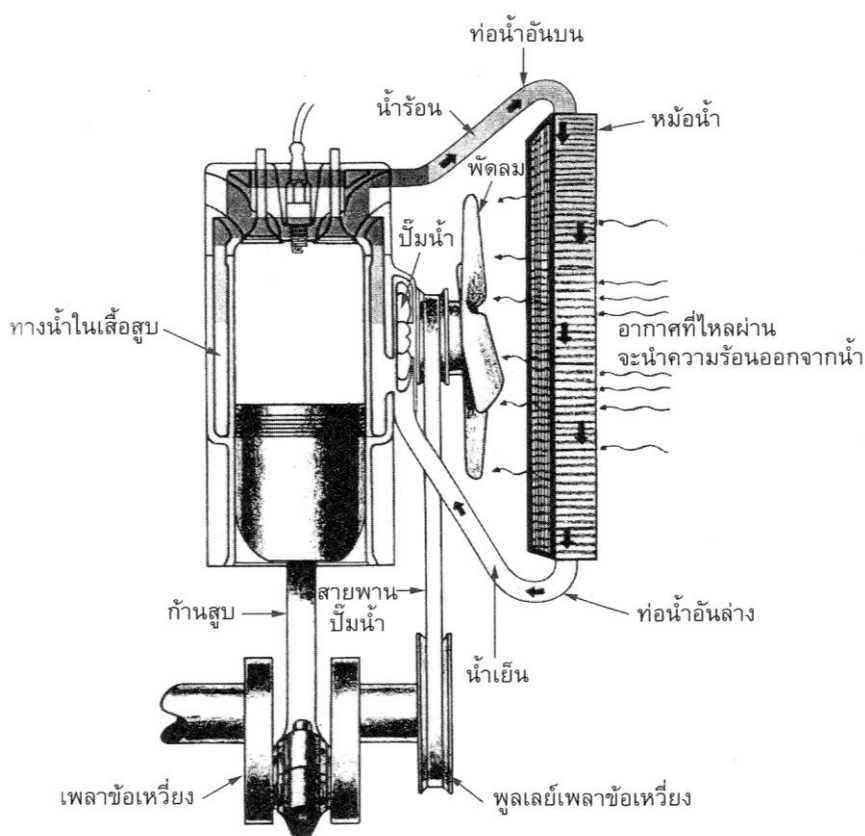
1. วิธีการแยกสลายหรือการแตกตัว (cracking) เป็นวิธีการแยกสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลใหญ่ หนัก และมีคุณภาพต่ำ ให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลเล็กลง เบา และมีคุณภาพสูง เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ปริมาณของน้ำมันแก๊สโซลีนมากขึ้นโดยอาศัยการใช้ความร้อน สารเร่งปฏิกิริยา หรือใช้ไฮโดรเจน

2. การแยกสลายโดยใช้ความร้อน เป็นวิธีที่นิยมใช้ในสมัยแรกๆ ปัจจุบันไม่นิยมใช้ เนื่องจากต้องใช้ความร้อนสูงถึง 1000 องศาฟาเรนไฮต์ และแรงดันประมาณ 350-1000 ปอนด์/นิ้ว วิธีนี้จะใช้สำหรับแยกสลายน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันเตา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะเป็นก๊าซ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทโอลิฟิน น้ำมันเบนซินซึ่งมีพวกละอระโระแมติกสูง สำหรับปริมาณน้ำมันเบนซินที่ได้จะประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และเป็นชนิดที่มีค่าออกเทนัมเบอร์ 65-70 และน้ำมันเตาชนิดชั้นต่ำ

2.7 ระบบระบายความร้อน

2.7.1 หน้าที่ของระบบระบายความร้อน

เครื่องยนต์ทุกชนิด ทำงานได้ดี และมีประสิทธิภาพ ย่อมขึ้นอยู่กับ การนำเอาความร้อนส่วนเกินออกไปจากกระบอกสูบ ลูกสูบและลิ้นในขณะเครื่องยนต์เดินเครื่อง การระบายความร้อนจากระบบ เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ ความร้อนของเครื่องยนต์ จะต้องถูกจำกัดไว้ที่อุณหภูมิการทำงาน ซึ่งต้องมีน้ำมันหล่อลื่นเคลือบอยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันการกระทบกันโดยตรงของลูกสูบ ถ้าอุณหภูมิของกระบอกสูบสูงมากเกินไป น้ำมันหล่อลื่นจะกลายเป็นไอ ลูกสูบจะเสียดสีกับกระบอกสูบ ทำให้เกิดการสึกหรอของลูกสูบและความร้อนเพิ่มสูงขึ้นนอกจากจะทำให้สึกหรอ แล้วยังอาจทำให้ลูกสูบละลายหรือจับแน่นกับกระบอกสูบได้ ความร้อนจะถ่ายเทผ่านผนังกระบอกสูบแล้วจึงเข้าสู่ระบบระบายความร้อน



ภาพประกอบ 2.3 แสดงการไหลเวียนของน้ำภายในเครื่องยนต์
ที่มา : สมปอง คงนิม (2551)

ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ (Cooling System) มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์จะทำงานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิการทำงานอยู่ระหว่าง 80 – 90 องศาเซลเซียส ระบบระบายความร้อนที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องขจัดความร้อนได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ทั้งหมดเพื่อไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนจัดจนเกินไป จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการระบายความร้อน แต่การระบายความร้อนออกนี้เป็นเพียงเพื่อให้ อุณหภูมิการทำงานลดลงมาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องยนต์ได้โดยเร็ว และคงสภาพของอุณหภูมินั้นไว้ตลอดช่วงระยะเวลาการทำงาน

ระบบระบายความร้อน มีหน้าที่สำคัญพอสรุปได้ดังนี้

1. เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนจัดเกินไป ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงสุดที่กำหนด ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงจัดเกินไปก็จะทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์บางชิ้นหลอมละลาย หรือเสื่อมสภาพ และอาจชำรุดได้ ระบบระบายความร้อนจึงทำหน้าที่นำเอาความร้อนส่วนที่เกินออกไป เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้เป็นปกติ

2. เพื่อควบคุมอุณหภูมิของตัวเครื่องให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการทำงาน หากเครื่องยนต์ร้อนเกินไป ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์อาจหลอมละลาย หากเครื่องยนต์เย็นเกินไป ก็จะเป็น

ผลเสียต่อเครื่องยนต์เช่นกัน คือ ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์จะเกิดการสึกหรอ เนื่องจากระบบหล่อลื่นทำงานไม่เต็มที่ และมีส่วนทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงเปลืองอีกด้วย

ข้อแตกต่างของระบบระบายความร้อน

เครื่องยนต์จะมีการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน ตามสภาพการออกแบบของเครื่องยนต์ซึ่งมีข้อแตกต่างกันดังนี้

1. การระบายความร้อนภายใน เกิดขึ้นได้จากการที่น้ำมันเชื้อเพลิง ถูกเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นแก๊ส ซึ่งต้องการความร้อนเพื่อการระเหยตัวเอง ความร้อนนี้ได้จากผนังกระบอกสูบถ้าเชื้อระเบิดบางหรือมีน้ำมันน้อยเกินไป เครื่องยนต์ก็จะร้อน เครื่องยนต์จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพด้วยเชื้อระเบิดที่มีอัตราส่วนถูกต้อง

2. การระบายความร้อนภายนอก เป็นวิธีที่ได้ผลมากที่สุด การระบายความร้อนชนิดนี้ทำได้โดยลมปะทะ ขณะที่รถวิ่งหรือจากพัดลมหรือใช้น้ำหมุนเวียนเป็นตัวช่วย การถ่ายเทความร้อนจากผนังลูกสูบเครื่องยนต์ การถ่ายเทด้วยน้ำ น้ำจะร้อนขึ้นและจะเดือด ในที่สุดจำเป็นจะต้องทำให้น้ำนั้นเย็นลง โดยวิธีการใช้ลมเป่าแล้วหมุนเวียนน้ำที่เย็นนั้นเข้าไประบายความร้อนใหม่ ทำให้น้ำเกิดการหมุนเวียนตลอดเวลาการทำงาน

2.7.2 ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์

ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ โดยทั่วไปมี 2 ระบบคือ

1. ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooling System) เครื่องยนต์จะถูกออกแบบให้เสื้อสูบ และฝาสูบเป็นครีป (fin) เพื่อให้มีพื้นที่ระบายความร้อนได้มากขึ้น หลักการก็คือ เมื่ออากาศพัดผ่านครีป ก็จะช่วยพาเอาความร้อนออกไปด้วย เป็นการช่วยทำให้ความร้อนของเครื่องยนต์ได้ระบายออกไป และเพื่อให้การระบายความร้อนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงต้องมีการติดตั้งกระบังลมเพื่อช่วยบังคับทิศทางลม การระบายความร้อนด้วยอากาศ แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1.1 การระบายความร้อนโดยใช้ลมปะทะพื้นที่ผิวของลูกสูบและฝาสูบ ทำเป็นครีป เพื่อให้มีพื้นที่มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การระบายความร้อนได้ดี ช่วยไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนจัด อุณหภูมิที่ผนังเครื่องยนต์สูงสุดได้ประมาณ 250 องศาเซลเซียส ซึ่งฝาสูบ และเสื้อสูบจะทำด้วยอะลูมิเนียม หรือแมกนีเซียม หรือโลหะผสมจากโลหะทั้งสองชนิด ซึ่งจะช่วยถ่ายเทความร้อนออกได้อย่างรวดเร็วขึ้น

การระบายความร้อนโดยลมปะทะนี้ง่ายต่อการดูแล การระบายความร้อนขึ้นอยู่กับความเร็วของรถและฤดูกาล อากาศเย็นเครื่องยนต์จะระบายความร้อนได้ดีกว่าอากาศร้อน และส่วนหน้าของลูกสูบระบายความร้อนออกได้ดีกว่าส่วนหลัง การระบายความร้อนลักษณะนี้ ส่วนมากจะใช้กับเครื่องยนต์มอเตอร์ไซด์

1.2 การระบายความร้อนโดยใช้พัดลม พัดลมจำเป็นสำหรับเครื่องยนต์ที่ไม่เปิดให้อากาศภายนอกปะทะเข้ามา เครื่องยนต์ประเภทนี้ จะเป็นเครื่องยนต์หลายสูบ เช่น เครื่องยนต์ รถยนต์ เครื่องสก็อตเตอร์บางชนิด พัดลมซึ่งถูกขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์ผ่านสายพานตัววี จะดูดลมเข้ามาในแนวแกนแล้วเป่าออกมาเป็นพัดลมแบบใช้แรงเหวี่ยง ลมจะถูกเป่าออกในแนวรัศมีของพัดลมและถ้าเป็นพัดลมที่เป่าออกในแนวแกนลมที่ผ่านใบพัดออกไปจะพัดผ่านช่องนำลม ซึ่งอยู่กับที่เป็นการบังคับทิศทางลมให้ออกไปในแนวแกนตรง

อากาศที่เข้ามาจะต้องมีที่บังคับให้ผ่านไปยังกระบอกสูบ เพื่อให้การระบายความร้อนของลูกสูบแต่ละลูก ได้ระบายความร้อนได้อย่างเพียงพอ และเท่าๆ กัน โดยใช้ครีป หรือใบ

ป้องกันเพื่อบังคับอากาศให้ผ่านกระบอกสูบต่างๆ การบังคับอากาศที่จะไประบายความร้อนแบบอัตโนมัติ จะให้ประโยชน์มากเมื่อเครื่องยนต์เย็น ลิ้นที่เป็นแบบแหว่งก็จะปิดทางลมเข้า ลมสามารถผ่านได้เพียงเล็กน้อยเครื่องยนต์ก็จะวิ่งถึงอุณหภูมิทำงานได้เร็วขึ้น เมื่ออุณหภูมิเครื่องยนต์สูงขึ้นแล้วลิ้นก็จะเปิดเทอร์โมสตัทโดยอัตโนมัติ

2. ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooling System) เครื่องยนต์ถูกออกแบบโดยให้เสื้อสูบและฝาสูบมีผนัง 2 ชั้นที่ว่างระหว่างผนังจะมีน้ำหล่อเย็นโดยที่ร้อนจะถูกส่งขึ้นไปยังรังผึ้ง (Radiator) ซึ่งใช้ลมปะทะเป็นตัวช่วยระบายความร้อนจากน้ำอีกทีหนึ่ง โดยที่พัดลมจะถูกขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์โดยผ่านสายพานตัววี ซึ่งช่วยให้ลมพัดผ่านได้ดีขึ้น เมื่อรถจอดอยู่กับที่ พัดลมนั้นจะระบายความร้อนจากรังผึ้ง เมื่อน้ำถูกระบายความร้อน จะไหลเวียนกลับไประบายความร้อนของเครื่องยนต์ อาจจัดแบ่งการหมุนเวียนได้ 2 วิธี คือ

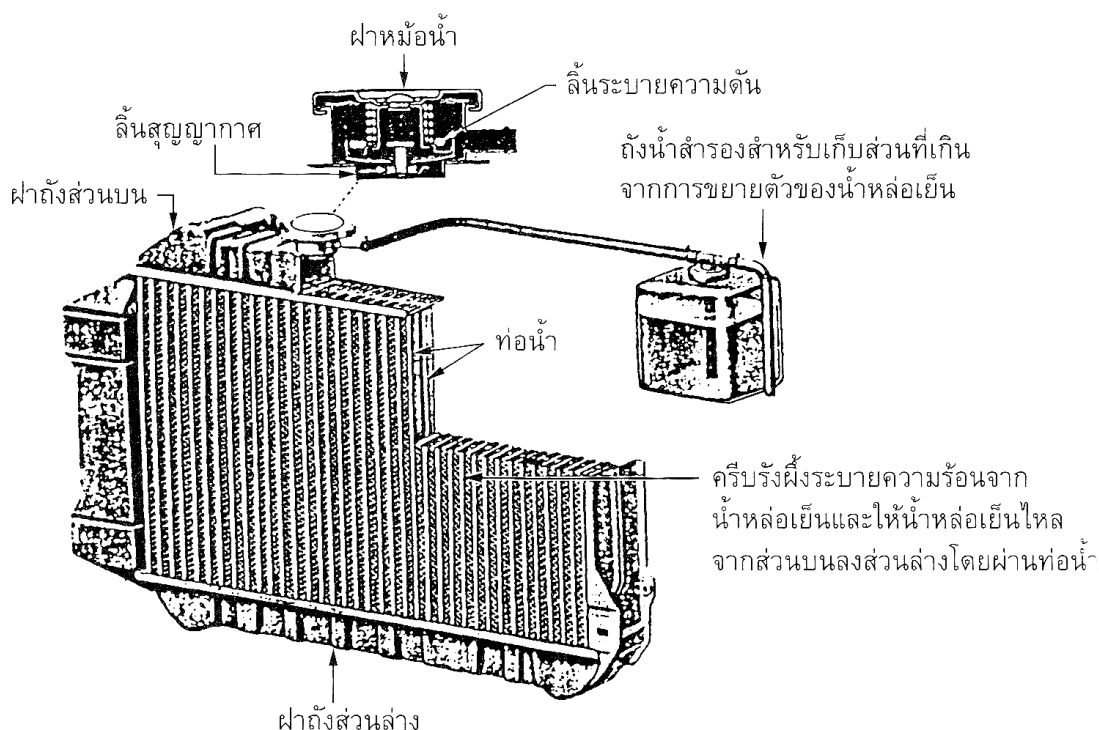
2.1 การหมุนเวียนตัวด้วยแรงถ่วง (Gravity Circulation) การหมุนเวียนน้ำระบายความร้อน วิธีนี้เป็นวิธีการระบายความร้อนที่ง่ายที่สุด โดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำร้อนจะเบากว่าน้ำเย็น ดังนั้น เมื่อน้ำร้อนภายในเครื่องยนต์เกิดความร้อนจะลอยขึ้นสู่ส่วนบนของรังผึ้ง ขณะเดียวกันน้ำที่เย็นลงแล้ว จะไหลลงสู่ตอนล่างของรังผึ้งแล้วจึงเข้าไปในเครื่องยนต์อีก แต่เนื่องจากแรงความถ่วงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย รังผึ้งจึงต้องมีขนาดใหญ่และมีพื้นที่หน้าตัดกว้างและต้องมีน้ำอยู่เพียงพอตลอดการทำงาน เครื่องยนต์ น้ำที่ผ่านการระบายความร้อนออกจากรังผึ้งแล้ว อุณหภูมิควรลดลง 20-30 องศาเซลเซียส การหมุนของน้ำแบบความถ่วงนี้ เรียกว่า เทอร์โมไซฟอน (Thermo syphon) เหมาะที่จะใช้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

2.2 การหมุนเวียนด้วยแรงขับ (Force Circulation) เป็นการหมุนเวียนของน้ำที่อาศัยแรงดันของปั๊มน้ำ นิยมใช้อยู่โดยทั่วไป เพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิการระบายความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยใส่ลิ้นควบคุมไว้ระหว่างปั๊มกับตัวเครื่องยนต์ หรือใส่ลิ้นควบคุมน้ำ ที่ระบายออกจากเสื้อสูบของแต่ละสูบ เพื่อควบคุมให้อยู่ในอุณหภูมิทำงาน ลิ้นควบคุมนี้จะทำงานโดยอัตโนมัติ เรียกว่า เทอร์โมสตัท (Thermostat) อุณหภูมิทำงานเป็นสิ่งสำคัญ ยิ่งเครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่ จำเป็นจะต้องรักษาและควบคุมอุณหภูมิให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะที่คงที่ ปั๊มซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ จะทำให้การหมุนเวียนของน้ำเป็นไปด้วยดี เมื่อน้ำผ่านรังผึ้งและเย็นลงแล้ว ปั๊มจะป้อนน้ำเข้าสู่ระบบระบายความร้อนอีก ทำให้เกิดการหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง ด้วยความเร็วสูงจำนวนน้ำที่ใช้ก็ไม่ต้องมาก ขนาดรังผึ้งก็เล็กลง น้ำที่ผ่านรังผึ้งอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส

2.7.3 ส่วนประกอบของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ได้แก่

1. หม้อน้ำ
2. ฝาปิดหม้อน้ำ
3. ปั๊มน้ำ
4. เทอร์โมสตัท และพัดลม



ภาพประกอบ 2.4 แสดงโครงสร้างส่วนประกอบของหม้อน้ำ
ที่มา : สมปอง คงนิม (2551)

2.7.3.1. หม้อน้ำ (Radiator) หน้าที่สำคัญคือ ทำให้น้ำในหม้อน้ำให้เย็นลงและเป็นที่เก็บน้ำด้วย โดยจะคลายความร้อนไปที่ส่วนของรังผึ้ง ผิวหน้ารังผึ้งจะเป็นตัวระบายความร้อน ผิวหน้ารังผึ้งผ่านการออกแบบเป็นพิเศษ จนผิวหน้าเพิ่มขึ้นประมาณ 40 เท่า ของพื้นที่บนรังผึ้งหม้อน้ำด้านบน ประกอบด้วยคอเติมน้ำ ฝาปิดหม้อน้ำ ท่อน้ำล้นให้น้ำและน้ำที่เกิดความต้องการไหลออกไปได้ ส่วนด้านล่างจะมีก๊อกเปิดน้ำทิ้งและจะมีท่อน้ำร้อน (ท่ออาจมีชั้นผ้าใบ) ต่อระหว่างเครื่องยนต์กับหม้อน้ำ และมีอุปกรณ์ให้ติดแน่นกับท่อน้ำออกและน้ำเข้ารังผึ้ง

ลักษณะโดยทั่วไปของรังผึ้ง มีอยู่ 3 แบบ คือ

1. แบบท่อน้ำ การทำงานของน้ำ น้ำจะไหลผ่านท่อเล็กๆ ซึ่งถูกจัดไว้ให้อยู่ในแนวตั้ง ท่อน้ำจะทำด้วยทองเหลืองและบัดกรีติดกับหม้อน้ำตอนบนและตอนล่าง โดยมีแผ่นทองแดงบางๆ ยึดท่อให้ต่อเนื่องกัน ซึ่งจะช่วยให้มีผิวหน้าระบายความร้อนได้มากขึ้น รังผึ้งชนิดนี้โครงสร้างมีความแข็งแรงเป็นที่นิยมและใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะรถบรรทุกขนาดใหญ่บางชนิดอาจจะเปลี่ยนไส้รังผึ้งได้

2. แบบซ้อนกันเป็นชั้น ท่อน้ำจะมีลักษณะเป็นแบบพิเศษ วิธีการ คือ นำแผ่นโลหะมาซ้อนกันแล้วบัดกรีติดระหว่างกัน ทำให้เกิดเป็นทางเดินของน้ำตรงๆ หรือวนกลับมารังผึ้ง การระบายความร้อน สามารถทำได้ดีกว่าแบบแรก แต่ไม่แข็งแรงเท่ากับแบบแรก นอกจากนี้ทางเดินน้ำมีโอกาสอุดตันได้ง่าย

3. แบบมีท่อลม กระแสลมจะวิ่งผ่านท่อเล็กๆ ในแนวนอนซึ่งปลายท่อเล็ก ทั้ง 2 ข้างเปิดออก และบัดกรียึดกันอยู่ ช่องว่างระหว่างท่อจะให้น้ำไหลผ่านได้ รังผึ้งชนิดนี้ถ้าไม่แข็งแรงน้ำจะรั่วได้ง่ายตรงผิวหน้าที่บัดกรีอยู่ น้ำที่ไหลเข้าปั๊มในแนวแกน จะถูกใบพัดซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูงเหวี่ยงออก ซีลกันน้ำรั่วจากปั๊มมีความสำคัญมาก ปั๊มแบบเก่า มักจะใช้น้ำอัดตัวสดักกันรั่ว (Packing) การใช้แหวนอยู่ อาจทำให้เกิดการสึกหรอแต่ทำให้ซีลทำงานได้เป็นปกติ

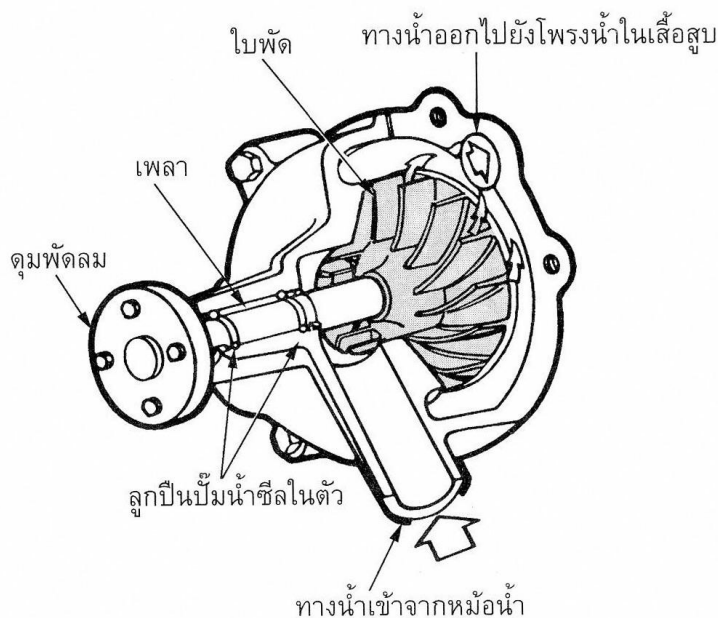
2.7.3.2. ฝาปิดหม้อน้ำ (Radiator Cap) ที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์ทั่วไป จะเป็นฝาปิดแบบรักษาความดัน (Pressure Cap) เพื่อทำหน้าที่เพิ่มแรงดันในระบบให้สูงขึ้นและรักษาแรงดันให้คงสภาพ การเพิ่มแรงดันในระบบจะทำให้จุดเดือดของน้ำสูงขึ้นนั้น หมายความว่าน้ำที่ใช้ในระบบจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส หลักการดังกล่าวจึงทำให้อุณหภูมิทำงานของเครื่องยนต์สูงขึ้น เป็นผลทำให้การเผาไหม้ของเชื้อระเบิดภายในกระบอกสูบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น น้ำและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันเครื่องก็จะระเหิดตัวจึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีขึ้น ฝาปิดหม้อน้ำจะมีลิ้นอยู่ 2 ตัว ได้แก่ ลิ้นระบายไอน้ำ (Blow off Valve) จะทำหน้าที่ระบายไอน้ำภายในระบบออกไปสู่ภายนอก ถ้าแรงดันภายในระบบสูงเกินกำหนด อีกตัวหนึ่ง ได้แก่ ลิ้นสุญญากาศ (Vacuum Valve) ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดสุญญากาศภายในระบบจะเกิดขึ้นเมื่อดับเครื่อง ขณะที่เครื่องยนต์ค่อยๆ เย็นตัวลงลิ้นสุญญากาศ จะเปิดให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่ระบบทำให้แรงดันภายในระบบลดเร็วยิ่งขึ้น

ฝาปิดหม้อน้ำ (Radiator Cap) นอกจากจะปิดหม้อน้ำป้องกันไม่ให้น้ำในระบบสูญหายแล้ว ยังทำหน้าที่สำคัญอีก 2 อย่าง คือ

1. ปรับแรงดันภายในระบบไม่ให้แรงดันลดต่ำลง
2. ป้องกันการเกิดสุญญากาศในระบบ

ฝาปิดหม้อน้ำจะมีลิ้น 2 ลิ้น ได้แก่ ลิ้นระบายไอน้ำและวาล์วสุญญากาศ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานจะเกิดความร้อนขึ้น ฝาปิดหม้อน้ำจะปรับแรงดันภายในระบบให้สูงกว่าแรงดันภายนอกซึ่งจะทำให้ให้น้ำในหม้อน้ำไม่เดือด วาล์วแรงดันจะเป็นตัวทำงาน และเมื่อดับเครื่องยนต์ เครื่องยนต์เย็นลงจะเกิดสุญญากาศขึ้น วาล์วสุญญากาศจะทำงานโดยเปิดอากาศภายนอกเข้ามาในระบบเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อทางเดินเกิดการตีบตันและรังผึ้งหม้อน้ำเสียหายได้ ถ้าวาล์วทั้งสองเสียหรือชำรุด จะทำให้เกิดการสูญเสียในระบบ และเครื่องยนต์ร้อนผิดปกติได้

2.7.3.3. ปั๊มน้ำ (Water Pump) ปั๊มน้ำเป็นหัวใจของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำเย็นจากที่เก็บน้ำ หรือน้ำเย็นจากถังตอนล่างของหม้อน้ำ ส่งผ่านเข้าไปตามท่อทางต่างๆ ภายในตัวเครื่องไปตามจุดที่ต้องการระบายความร้อนเพื่อให้น้ำระบายความร้อนจากส่วนที่ไม่ต้องการให้ออกไปจากเครื่องยนต์ ถ้าปั๊มน้ำไม่ทำงานหรือไม่มีประสิทธิภาพ จะทำให้เครื่องยนต์ร้อนจัด เครื่องยนต์จะเกิดการเสียหายได้ ปั๊มน้ำส่วนใหญ่เป็นแบบหล่อลิ้นในตัว (Self Lubricated) ซึ่งเพลापัมจะหมุนอยู่ในแบริงที่มีซีลสำหรับป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปทำความเสียหาย



ภาพประกอบ 2.5 แสดงโครงสร้างปั้มน้ำแบบใบพัด

ที่มา : สมปอง คงนิม (2551)

ปั้มน้ำที่นิยมนำมาใช้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ได้แก่

1. ปั้มน้ำแบบสไลด์วैन (Sliding Vane Type) ปั้มน้ำแบบนี้จะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรภายในห้องปั้ม ทำให้เกิดการดูด-ส่ง น้ำเข้าไประบายความร้อนภายในตัวเครื่องยนต์ ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เรือนปั้ม (Pump Housing) ลูกเบี้ยว (Cam) และ สไลด์วैन (Sliding Vane) การทำงานของปั้มน้ำแบบนี้ เมื่อลูกเบี้ยวหมุน ปริมาตรภายในห้องปั้มก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ณ ตำแหน่งที่ลูกเบี้ยวจะเปิดช่องทางน้ำเข้า (Water Inlet) น้ำก็จะถูกดูดผ่านช่องดังกล่าว น้ำเข้ามาบรรจุจนเต็มและเมื่อลูกเบี้ยวหมุนต่อไปจนกระทั่งช่องทางน้ำออก (Water Outlet) ซึ่งจะมีท่อต่อเข้ากับช่องทางของน้ำหล่อเย็นที่ตัวเครื่องเข้าสู่ระบบระบายความร้อนให้กับตัวเครื่องยนต์ได้ จากนั้นน้ำร้อนจากตัวเครื่องจะถูกระบายทิ้งต่อไป

สไลด์วैनจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานด้วยความเร็วปานกลาง สไลด์วैनจะทำหน้าที่ปิดกั้นเพื่อบังคับน้ำให้ไหลออกทางช่องทางน้ำออกเพียงทางเดียว และจะปล่อยให้ไหลผ่านหมุนเวียนอยู่ภายในตัวปั้มขณะที่เครื่องยนต์ทำงานด้วยความเร็วสูงจึงทำให้ปั้มสามารถจัดส่งน้ำให้กับเครื่องได้อย่างเพียงพอ ขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วปานกลางหรือต่ำ ปั้มจะช่วยป้องกันมิให้แรงดันของน้ำภายในระบบสูงเกินไป จะทำให้ส่วนประกอบบางส่วนเกิดการเสียหายได้

2. ปั้มน้ำแบบโรเตอร์ (Rotor Type) ปั้มน้ำแบบนี้มีวิธีการทำงานคล้ายๆ กับแบบแรก ในปั้มน้ำแบบนี้จะมีทั้งโรเตอร์และวैन ประกอบเป็นหน่วยเดียวกัน โดยมีลูกเบี้ยวเป็นตัวขับให้โรเตอร์ หมุนทำให้เกิดการหมุนในลักษณะเอียงศูนย์เกิดการดูดน้ำเข้าสู่ตัวปั้มและส่งไปตามช่องทางของน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนให้กับเครื่องยนต์ได้

3. ปั้มน้ำแบบลูกสูบ (Plunger Type) ปั้มน้ำแบบนี้จะประกอบด้วยกระบอกปั้ม (Cylinder) ลูกปั้มหรือลูกสูบ (Plunger) ลูกสูบจะเลื่อนขึ้น - ลงภายในกระบอกปั้มโดยได้รับการ

ทำงานมาจากลูกเบี้ยว (Eccentric) เช่น ติดตั้งอยู่กับเพลาชับ (Propeller Shaft) ส่วนสปริงที่สวมเข้ากับลูกสูบตอนบนช่วยดันให้ลูกสูบสัมผัสอยู่กับลูกเบี้ยวตลอดเวลา

การบรรจุน้ำเข้าสู่กระบอกปั๊มจะเกิดขึ้นได้เมื่อส่วนบนของลูกเบี้ยวได้หมุนผ่านเลยลูกสูบไป แล้วจากนั้นสปริงจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง ทำให้กระบอกปั๊มเกิดเป็นสุญญากาศดึงดูดน้ำที่ช่องทางน้ำเข้า – ออก แรงดูดดังกล่าวจะทำให้ลิ้นที่ช่องทางน้ำเข้าเปิด และลิ้นที่ช่องทางน้ำออกปิดน้ำจะถูกดูดเข้ามาบรรจุภายในกระบอกปั๊มเมื่อส่วนบนของลูกเบี้ยวดันลูกสูบให้เคลื่อนตัวขึ้น แรงดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกปั๊มจะทำให้ลิ้นที่ช่องทางน้ำเข้าถูกปิดและลิ้นที่ช่องทางน้ำออกเปิด น้ำจากตัวปั๊มจะถูกจัดส่งเข้าไปทำการระบายความร้อนให้กับตัวเครื่องยนต์ได้ตามต้องการ

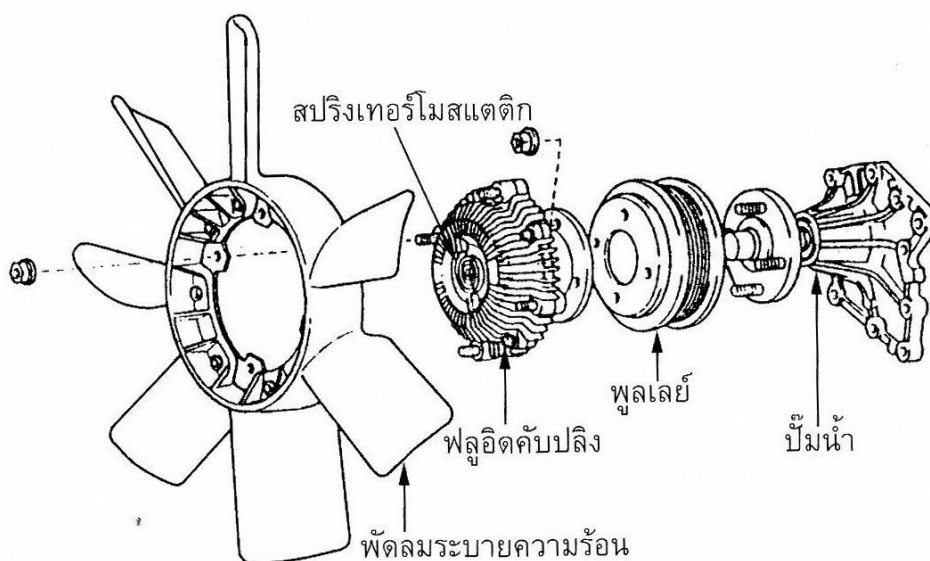
4. ปั๊มแบบปรับปริมาตร (Varie Volume Type) ปั๊มแบบนี้ใบพัดทำด้วยยางสังเคราะห์ตัวเรือนของใบพัดจะต่อเข้ากับเพลาชับในลักษณะเยื้องศูนย์เวลาหมุนส่วนแกนของใบพัดสามารถยืดหยุ่นตัวได้ ทำให้ปริมาตรระหว่างแกนหรือช่องของใบพัดเกิดการเปลี่ยนแปลงตามการยืดหยุ่นตัวของใบพัด

ช่องทางน้ำเข้าของปั๊มแบบนี้จะอยู่ในตำแหน่งที่ห้องปั๊มมีปริมาตรมากที่สุดเป็นการเปิดโอกาสให้น้ำเข้าสู่ปั๊มได้มากช่องทางน้ำออกจะอยู่ในตำแหน่งที่ห้องปั๊มมีปริมาตรน้อยที่สุดเพื่อให้น้ำที่ขับออกมีแรงดันสูง เมื่อปั๊มมีความเร็วสูงขึ้นแรงดันของน้ำจะสูงตามขึ้นไปด้วยจนถึงจุดหนึ่งจะทำให้เกิดแรงดันกลับ (Back Pressure) กดใบพัดให้โค้งเข้าเป็นผลทำให้ปริมาตรและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นลดลง จึงสามารถป้องกันไม่ให้แรงดันในระบบสูงเกินกำหนดได้เป็นการช่วยป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับส่วนประกอบของระบบระบายความร้อน

2.7.3.4. เทอร์โมสแตต (Thermostat) จะติดตั้งอยู่ระหว่างช่องทางของน้ำหล่อเย็นหม้อน้ำ โดยมีท่อน้ำต่อไปยังหม้อน้ำตอนบน เทอร์โมสแตตทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องยนต์ให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยอัตโนมัติ เทอร์โมสแตตจะปิดไม่ให้น้ำหล่อเย็นภายในตัวเครื่องผ่านออกไประบายความร้อนที่หม้อน้ำได้ถ้าเครื่องยนต์ยังเย็นอยู่ จึงทำให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิทำงานเร็วกว่าปกติ และจะเปิดให้น้ำร้อนจากตัวเครื่องผ่านออกไประบายความร้อนที่หม้อน้ำได้ เมื่อเครื่องยंत्रร้อนถึงอุณหภูมิทำงาน

เทอร์โมสแตตประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostatic Device) และลิ้น (Valve) การจัดลิ้นและอุปกรณ์มีหลายแบบแตกต่างกันออกไป เทอร์โมสแตตแบบเบลโลว์ (Bellows) ภายในจะบรรจุของเหลวที่ระเหยตัวเมื่ออุณหภูมิสูงของเหลวระเหยตัวก็จะเกิดแรงดันขึ้นภายในเบลโลว์ทำให้เบลโลว์ขยายตัวดันให้ลิ้นเปิดน้ำร้อนจากตัวเครื่องไหลผ่านไปยังหม้อน้ำได้ ส่วนแบบไบเมทัลลิก (Bimetallic) จะใช้ขดสปริงเป็นตัวควบคุมการทำงานของลิ้นสปริงจะม้วนเข้าหรือยืดตัวออกตามอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เปลี่ยนแปลงไปลิ้นเปิดปิดได้ ควบคุมน้ำหล่อเย็นที่จะไหลไปยังหม้อน้ำได้

2.7.3.5 พัดลมเครื่องยนต์ หม้อน้ำต้องการปริมาณลมที่ไหลผ่านตัวมันเพิ่มขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนจัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะใช้ความเร็วต่ำและความเร็วเดินเบา ขณะที่รถยนต์มีความเร็วสูงขึ้น อากาศจะไหลผ่านหม้อน้ำได้มากขึ้น ทำให้การระบายความร้อนดีขึ้น พัดลมเครื่องยนต์หรือพัดลมระบายความร้อนทำหน้าที่ดูดลมจากภายนอกมาระบายความร้อนให้หม้อน้ำและเครื่องยนต์ส่วนก้านบังลมทำหน้าที่บังคับทิศทางของลมให้ไหลผ่านเครื่องยนต์ได้เต็มที่ พัดลมชนิดเปลี่ยนแปลงความเร็วได้



ภาพประกอบ 2.6 พัดลมระบายความร้อนแบบเชื่อมต่อกับของเหลว
ที่มา : สมปอง คงนิม (2551)

เครื่องยนต์วางตามแนวยาวส่วนมากใช้พัดลมชนิดเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ บางทีเรียกว่าพัดลมแบบใช้ฟลูอิดคัปปลิงหรือ Fan Cutch ทางด้านหน้าของฟลูอิดคัปปลิงจะมีสปริงเทอร์โมสแตติก ติดตั้งอยู่ ภายในจะแบ่งออกเป็น 2 ห้องโดยมีน้ำมันซิลิโคน (silicone oil) บรรจุอยู่ สปริงเทอร์โมสแตติกทำหน้าที่เป็นวาล์วเปิด-ปิดน้ำมันซิลิโคนให้ไหลผ่านระหว่างห้อง 2 ห้อง ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลเข้ามาปะทะ

1. เมื่อเครื่องยนต์เย็น สปริงเทอร์โมสแตติกยังไม่ขยายตัว ทำให้พัดลมหมุนช้า สิ่งนี้ช่วยลดเสียงดังของพัดลม ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงาน
2. เมื่อเครื่องยนต์ร้อน สปริงเทอร์โมสแตติกขยายตัว ทำให้น้ำมันซิลิโคนไหลเข้าไปในอีกห้องหนึ่งมากขึ้น ทำให้พัดลมหมุนเร็วขึ้น

2.8 การผสมเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์สันดาปภายในจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดหรือต่ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง แต่ปัจจัยหนึ่งซึ่งมีความสำคัญมากอันหนึ่ง คือ อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ถูกต้องเหมาะสมซึ่งจากอดีตที่ผ่านมาคาร์บูเรเตอร์ (carburetor) มีบทบาทที่สำคัญมาก เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์มีหน้าที่ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ (ไอติ) ป้อนให้กับเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนส่วนใหญ่เป็นแบบกลไก ทำให้เกิดการล้าช้าในการทำงาน ซึ่งไม่สามารถตอบสนองได้อย่างฉับพลัน คาร์บูเรเตอร์มีหลายวงจรทำให้ยุ่งยากในการควบคุมให้ทำงานสัมพันธ์กัน ในกรณีที่เครื่องยนต์มีท่อร่วมไอดียาวมากๆ จะทำให้อัตราการป้อนไอติในแต่ละสูบได้ไม่เท่ากันหรือขณะแล่นรถบนถนนเอียง การจ่ายส่วนผสมน้ำมันกับอากาศจะเกิดความผิดพลาดขึ้น เป็น

ตัน และหากต้องการให้คาร์บูเรเตอร์ทำงานได้สมบูรณ์มากขึ้นจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ช่วยต่างๆ ทำให้มีความยุ่งยากซับซ้อนมากยิ่งขึ้นเป็นต้น

จากข้อจำกัดดังกล่าวในปัจจุบันจึงแก้ปัญหาโดยการนำระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้ามาทำงานแทนคาร์บูเรเตอร์ เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการ ซึ่งเมื่อใช้ระบบหัวฉีดจะให้กำลังสูงกว่าเมื่อความจุเท่ากัน ให้แรงบิดสูงกว่าที่รอบต่ำกว่า ประหยัดเชื้อเพลิงกว่า เผลาไหม้ได้สมบูรณ์และเกิดมลพิษน้อย การเผาไหม้ในแต่ละสปีมีอัตราการทำงานใกล้เคียงกัน และมีอัตราเร่งที่ดีกว่า เป็นต้น

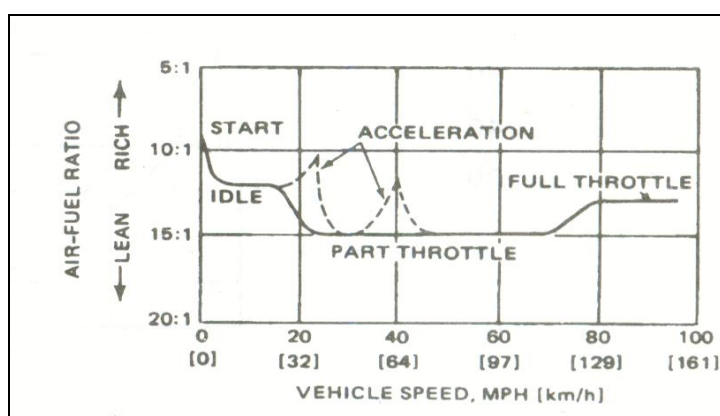
2.8.1 อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง จากการสันดาปเชื้อเพลิงนั้นต้องการออกซิเจนในปริมาณหนึ่งซึ่งออกซิเจนดังกล่าวนี้ได้จากอากาศทั่วไป และในอากาศส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจน คิดเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักประมาณ 4:1 และไนโตรเจนแม้จะเป็นแก๊สเฉื่อยไม่มีส่วนช่วยในการสันดาป แต่มีความสำคัญมากเช่นกันเนื่องจากแก๊สนี้ช่วยลดความเร็วในการเผาไหม้และยังป้องกันไม่ให้ความดันภายในกระบอกสูบสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ สำหรับเครื่องยนต์ที่สภาวะการทำงานจริงนั้น ความต้องการอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นจะไม่คงที่ หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเครื่องยนต์ในเครื่องเดียวกันบางครั้งอาจต้องการส่วนผสมหนา บางครั้งต้องการส่วนผสมบาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะการขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละอัตราส่วน มีผลต่อกำลังเครื่องยนต์ อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการเกิดมลพิษ ดังแสดงในตาราง 2.5

ตาราง 2.5 แสดงลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ (ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล, 2544)

อัตราส่วนอากาศ:เชื้อเพลิง	ลักษณะของส่วนผสม	ความสิ้นเปลือง	กำลังที่ได้	ผลที่ได้รับ	ส่วนผสมในไอเสีย
20-22:1	ส่วนผสมบาง	ต่ำสุด	ต่ำกว่ากำหนดประมาณ 40%	ให้กำลังงานต่ำ อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูง	
16-18:1	ส่วนผสมบาง	ต่ำ	ต่ำกว่ากำหนดประมาณ 10%	อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงให้กำลังงานไม่เต็มที่	
15-15.5:1	พอเหมาะ	ประมาณ 4% ประหยัด	ต่ำกว่ากำหนดประมาณ 4%	ให้กำลังงานดีที่ความเร็วปานกลาง แต่ไม่เหมาะที่อัตราเร่งสูง	
11.5-13:1	ส่วนผสมหนา	ความสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น 25-30%	สูงสุด	ให้กำลังงานสูงสุด สิ้นเปลืองน้ำมัน เชื้อเพลิงมีมลพิษ	
8-10:1	ส่วนผสมหนา	สูงมาก	ต่ำกว่ากำหนด	ให้กำลังงานต่ำ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีมลพิษสูง	

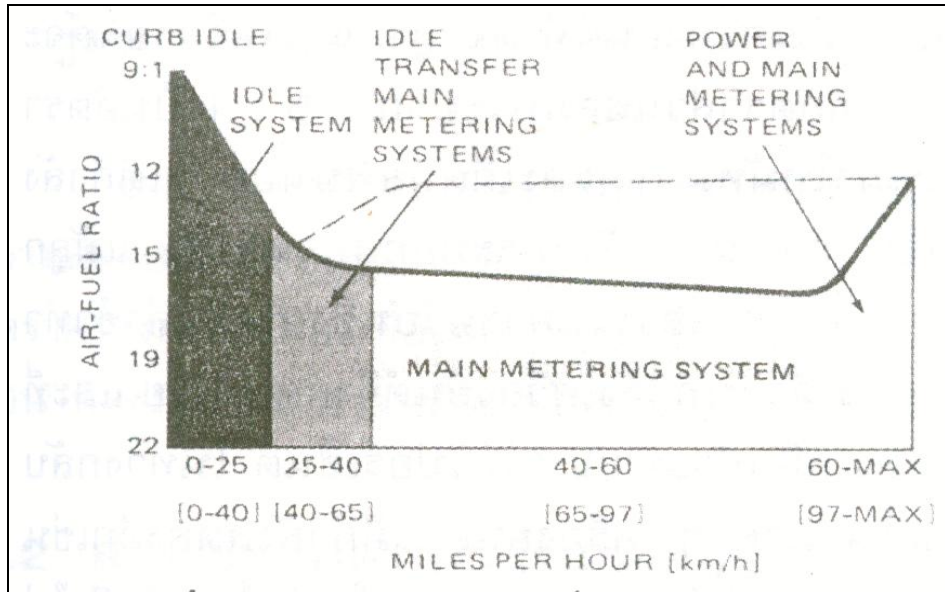
จากตาราง 2.5 จะเห็นว่าเมื่อให้ส่วนผสมบางมากๆ หรือหนามากๆ จะเกิดผลเสียหลายประการคือ ถ้าส่วนผสมบางมากจะมีผลให้เครื่องยนต์ร้อนจุกัด กำลังเครื่องยนต์ลดต่ำลงในขณะเดียวกันหากให้ส่วนผสมหนาหลายๆ จะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง กำลังงานที่ได้ต่ำ และที่สำคัญทำให้เกิดมลพิษสูงมาก ดังนั้นส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่ ประมาณ 11.5-15.5 : 1 (โดยมวล) จึงเป็นอัตราส่วนที่ค่อนข้างเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ สภาพการขับขี่และปัจจัยอื่นๆ ประกอบอีกด้วย

ในทางปฏิบัติเครื่องยนต์มีความต้องการอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงไม่คงที่ เพราะเครื่องยนต์ต้องทำงานในสภาพต่างๆ เช่น เดินเบา ความเร็วต่ำ ความเร็วปานกลาง ความเร็วสูง หรือภาระงานเต็มที่ หรือต้องการเร่งเครื่องอย่างฉับพลัน เป็นต้น เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องทุกสภาพการทำงาน คาร์บูเรเตอร์จะจัดส่วนผสมให้เหมาะสมกับความเร็วยานยนต์ หรือความเร็วการขับขี่ยานยนต์ ดังแสดงภาพประกอบ 2.7



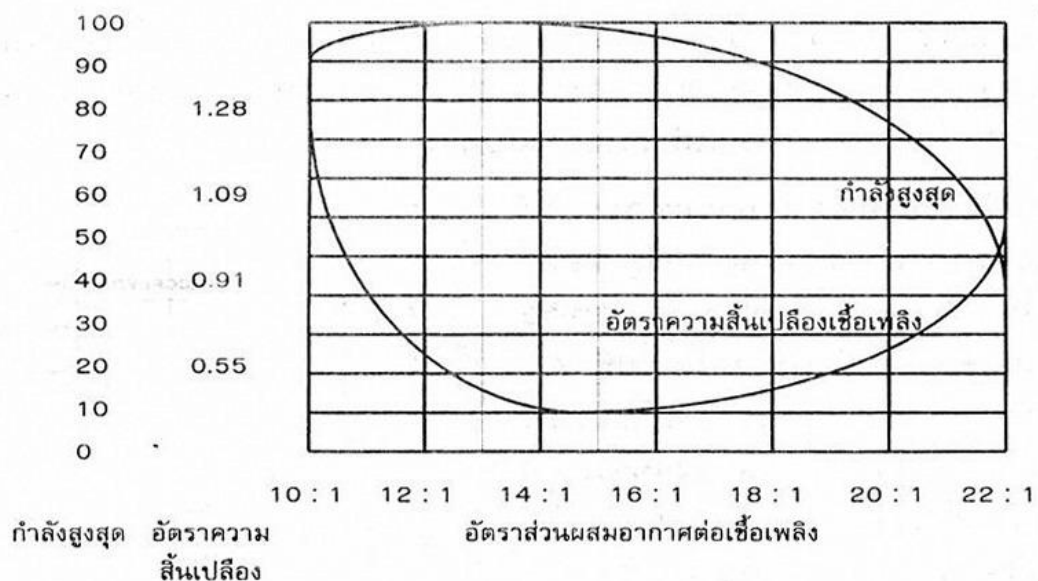
ภาพประกอบ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับความเร็วยานยนต์ที่ขับขี่
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ (เครื่องเย็น) ความต้องการส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงจะประมาณ 9: 1 ในขณะที่ความเร็วรอบเดินเบา (600-750 รอบ/นาที) เครื่องยนต์ต้องการส่วนผสมหนา คือ ประมาณ 12:1 สำหรับเครื่องยนต์ขณะบรรทุกหรือมีภาระที่ความเร็วรอบปานกลาง ความเร็วขับเคลื่อนระหว่าง 25-70 กิโลเมตร/ชั่วโมง อัตราส่วนผสมจะบางลงเหลือประมาณ 15:1 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงประหยัดเชื้อเพลิงต่อจากช่วงนี้ส่วนผสมจะหนาขึ้นเมื่อต้องการเร่งความเร็วขับเคลื่อนหรือความเร็วรอบให้สูงขึ้นคือประมาณ 13:1 เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานด้วยความเร็วรอบสูง โดยไม่เกิดการสะดุด ซึ่งขณะนั้นลิ้นเร่งเปิดกว้างเต็มที่ แต่เมื่อต้องการส่วนผสมหนาจัดเช่น ต้องการแซงรถคันที่อยู่ข้างหน้าหรือเร่งเครื่องอย่างกะทันหัน อัตราส่วนผสมจะหนามากคือประมาณ 12:1 ดังแสดงในภาพประกอบ 2.8



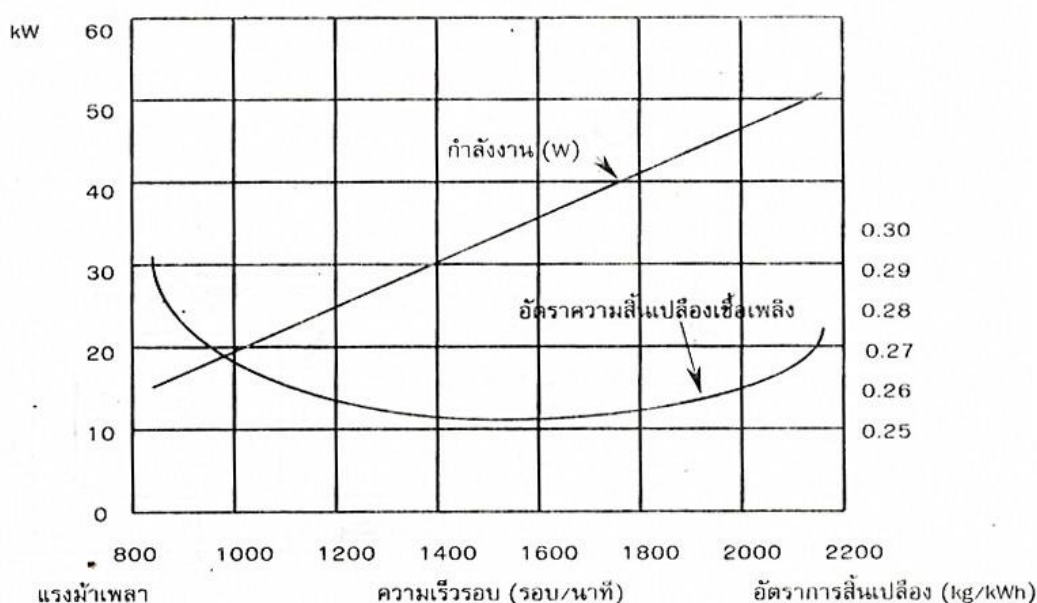
ภาพประกอบ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับความเร็วจับที่
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)

ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงกับความเร็วในการจับที่ จากรูปเส้นโค้งหาความต้องการจับซื้ออย่างประหยัดเชื้อเพลิง ไม่ความจับซื้อด้วยความเร็วสูงเกินไป ซึ่งโดยปกติทั่วไปไม่ควรจับเกินความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นต้น ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงกับกำลังของเครื่องยนต์ และอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับกำลังและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)

จากภาพประกอบ 2.9 จะเห็นว่าเมื่อส่วนผสมหนักกำลังเครื่องยนต์ที่ได้จะสูง และเครื่องยนต์จะให้กำลังสูงสุดที่อัตราส่วนผสมประมาณ 13:1 และที่อัตราส่วนผสมประมาณ 15:1 เป็นอัตราส่วนผสมที่ประหยัดเชื้อเพลิงที่สุด เนื่องจากการเผาไหม้หมดจดและเกิดมลพิษน้อย แต่กำลังเครื่องยนต์จะลดลงเล็กน้อย เมื่อส่วนผสมบางลงอีก การเผาไหม้ในกระบอกสูบจะล่าช้า แม้ลูกสูบจะเลื่อนเลยจังหวะงานไปแล้วแต่การเผาไหม้ยังไม่สิ้นสุด พลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นล่าช้าทำให้การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลลดลง ดังนั้นกำลังเครื่องยนต์จึงลดลงด้วย และที่ส่วนผสมประมาณ 22:1 กำลังเครื่องยนต์จะลดลงเหลือประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ในทางกลับกันที่ส่วนผสมหนามากๆ เครื่องยนต์ที่มีส่วนผสมหนาๆ เครื่องยนต์จะมีกำลังลดลงอีกเช่นกัน เนื่องจากว่าส่วนผสมหนาออกซิเจนที่ใช้ในการสันดาปไม่เพียงพอ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจึงไม่หมดและขณะเดียวกันจะเกิดมลพิษสูงอีกด้วยหากจะพิจารณาในแง่อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะพบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จำนวนครั้งในการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยเวลาจะเพิ่มขึ้นอีกทั้งเวลาในการเผาไหม้จะสั้นลง สำหรับอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบสามารถแสดงดังภาพประกอบ 2.10



ภาพประกอบ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความสิ้นเปลืองและกำลังเครื่องยนต์
กับความเร็วรอบ (รอบ/นาที)
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)

จากภาพประกอบ 2.10 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบระหว่าง 1,400 ถึง 1,500 รอบ/นาที และอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะต่ำสุด แต่เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นประมาณ 2,000 รอบ/นาที อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามเมื่อเครื่องยนต์รอบต่ำกว่า 1,400 รอบ/นาที ลงอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกลับเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2.9 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

จากหลักการเบื้องต้นและกระบวนการต่างๆ ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน อุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเชื้อเพลิง การสันดาปและสมการการสันดาป มลพิษและผลผลิตที่ได้จากการสันดาป สิ่งจำเป็นต้องทราบอีกประการหนึ่งก็คือ การวัดและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ ทั้งนี้ก็เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปปรับปรุงออกแบบเครื่องยนต์ให้มีความเหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่เนื่องจากเครื่องยนต์สันดาปภายในมีตัวแปรหรือความซับซ้อนมากจึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าต่างๆ หรือผลลัพธ์ที่ต้องการทราบจริงแล้วสมรรถนะของเครื่องยนต์อาจมีความหมายหลายประการ เช่น ความสามารถในการแข่งประสิทธิภาพ แรงบิด กำลังงาน ความเร็วหรือความเร็วยรอบ และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งการทดสอบเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อหาผลหรือข้อมูลของเครื่องยนต์จากทฤษฎีการหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบด้วย

2.9.1 กำลังเบรก (Brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาค้อเหวี่ยงหรือที่ล้อต้นกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งาน การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ โดยจะวัดออกในรูปของแรงบิดและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถคำนวณแรงบิดและกำลังเบรก ดังสมการต่อไปนี้

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$T = Fr \quad (2.6)$$

โดย T = แรงบิด (N.m)

F = แรงตามแนวสัมผัส (N)

r = ความยาวของคาน (m)

P_b = กำลังเบรก (W)

N = ความเร็วรอบของเพลาค้อเหวี่ยง (rpm)

2.9.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, $bsfc$) คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยกำลังของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b \times hr} \quad (2.7)$$

โดย $bsfc$ = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (kg/kW.hr)

m_f = มวลของเชื้อเพลิง (kg)

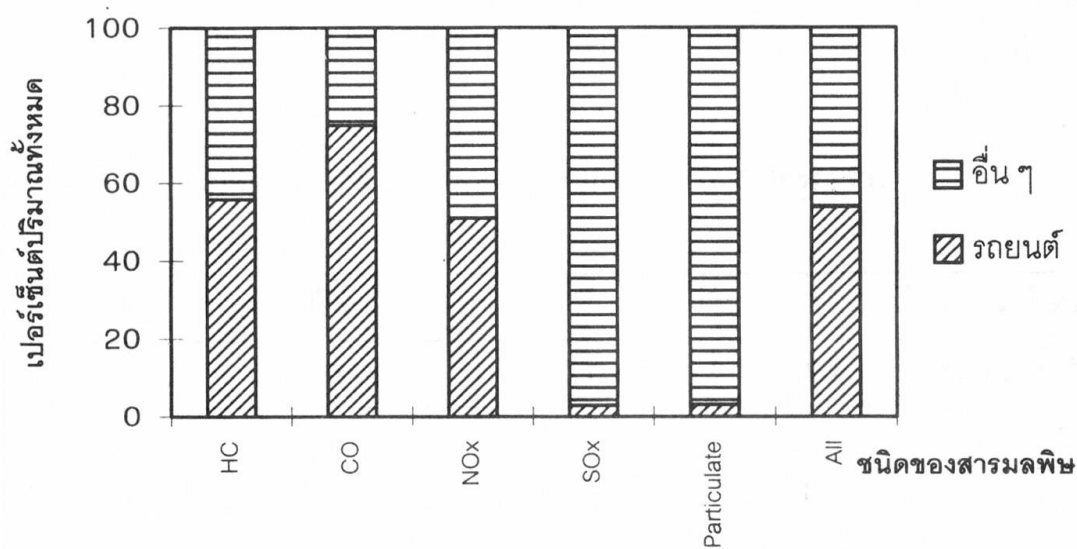
hr = หน่วยเวลา (hr)

2.10 การควบคุมมลพิษที่เกิดจากรถยนต์ (Automotive Emission Control)

การเกิดสารมลพิษขึ้นในบรรยากาศอาจเกิดขึ้นจากธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้นก็ได้ ปกติธรรมชาติจะสร้างสารมลพิษมากกว่ามนุษย์มาก เช่น ธรรมชาติสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณปีละ 315 ล้านตัน ขณะที่มนุษย์สร้างปีละ 270 ล้านตัน สำหรับไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) นั้นธรรมชาติสร้างปีละ 1,100 ล้านตัน แต่มนุษย์สร้างประมาณปีละ 53 ล้านตัน แต่เนื่องจากธรรมชาติได้สร้างมลพิษแล้วธรรมชาติก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้สมดุลตลอดเวลา ในส่วนมลพิษที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้นส่วนใหญ่มาจากเครื่องยนต์ ซึ่งสารพิษดังกล่าวมีผลทำให้มนุษย์ สัตว์ พืช และบรรยากาศถูกทำลาย

2.10.1 มลพิษที่เกิดจากรถยนต์

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าสารมลพิษที่เกิดขึ้นทุกวันนี้มีที่มาจากที่สำคัญ คือ จากเครื่องยนต์นั่นเอง ซึ่งเครื่องยนต์เป็นต้นกำเนิดสารพิษต่าง ๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และ ไนโตรเจนออกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ ส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเขม่ามีปริมาณไม่มากนักหากเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่น

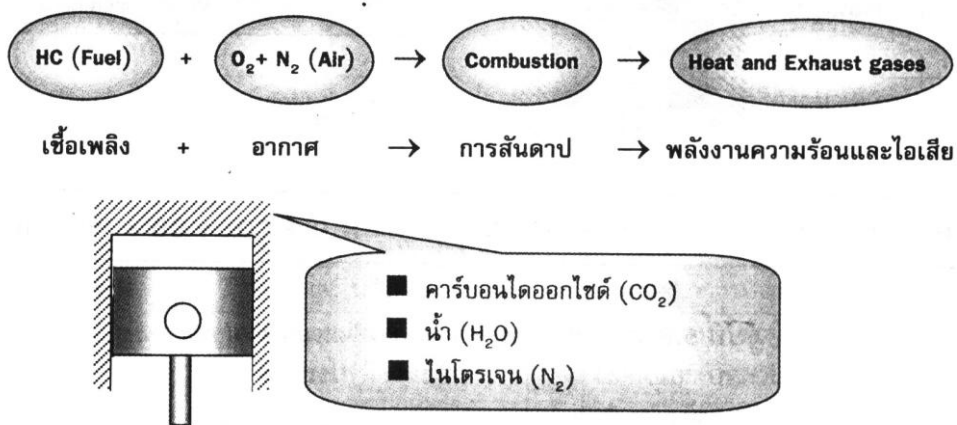


ภาพประกอบ 2.11 สารมลพิษที่เกิดจากรถยนต์และอื่นๆ
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)

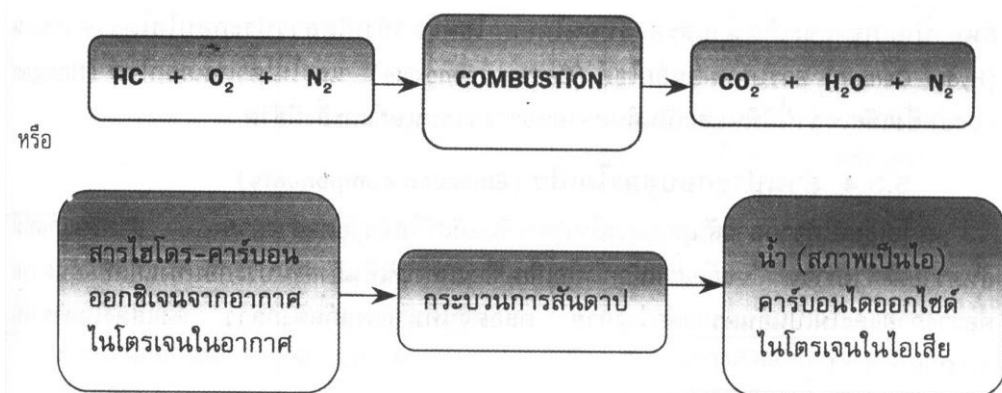
จากภาพประกอบ 2.11 จะเห็นได้ว่ามลพิษที่เกิดขึ้นโดยภาพรวมทั้งหมดมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการใช้ยานพาหนะ (เครื่องยนต์) โดยเฉพาะสารไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์จะมีปริมาณเท่ากับ 55.8, 75.0 และ 51.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากเกินครึ่งของสารมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมด สำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเขม่าที่มีปริมาณเท่ากับ 2.9 และ 3.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งมลพิษที่เกิดจากรถยนต์ เกิดจากแหล่งใหญ่ๆ 3 แหล่ง คือ มลพิษที่บนออกมาจากไอเสียจากท่อไอเสียแก๊สที่รั่วผ่านแหวนลูกสูบลงไปในห้องเพลลาข้อเหวี่ยงและระบายออกที่ท่อระบายแก๊ส (Blow by gas) และไอระเหยที่ระเหยออกมาจากถังน้ำมันและคาร์บูเรเตอร์ (Evaporated fuel) เป็นต้น

2.10.1.1 แก๊สพิษที่ออกทางท่อไอเสีย

มลพิษในไอเสียเกิดจากกระบวนการสันดาประหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยทั่วไปเชื้อเพลิงจะเป็นส่วนประกอบของไฮโดร-คาร์บอน เป็นพื้นฐาน นอกจากนั้นอาจมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ตะกั่ว กำมะถัน และฟอสฟอรัส หากเชื้อเพลิงกับอากาศมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์แล้ว ภายหลังการสันดาปจะได้ น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยไม่มีผลต่อการสันดาป นั่นคือปรากฏก่อนการสันดาปเท่าใดภายหลังการสันดาปจะปรากฏเท่าเดิมเสมอ แต่ในทางปฏิบัติในไอเสียที่เกิดจากการสันดาปอาจจะมีคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ น้ำ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น แต่สัดส่วนของแก๊สหรือสารเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ในกรณีที่การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง จะลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนไดออกไซด์ลง แต่จะเพิ่มปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้น เป็นต้น สำหรับกระบวนการสันดาปเชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์สามารถแสดงเป็นรูปอย่างง่ายได้ดังภาพประกอบ 2.12



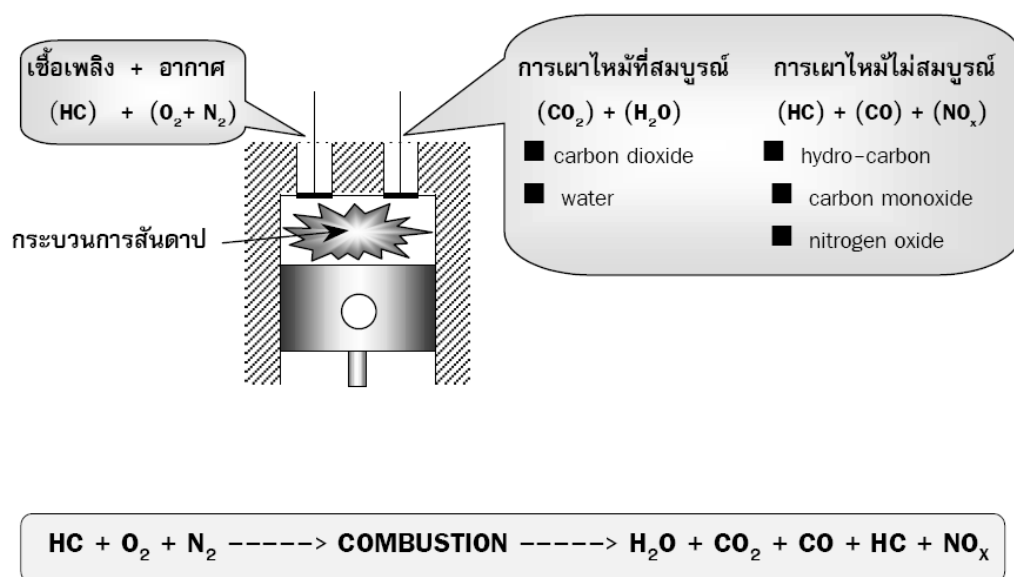
ภาพประกอบ 2.12 แสดงรูปแบบของกระบวนการสันดาปและผลผลิตที่ได้จากการสันดาป
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)



ภาพประกอบ 2.13 แสดงการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศในกระบวนการสันดาป
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)

ซึ่งเราเรียกว่า “ไอดี” นำไปให้ความร้อนโดยการอัดให้มีปริมาตรลดลง จากนั้นใช้หัวเทียนจุดประกายไฟ ทำให้เกิดการเผาไหม้ และภายหลังการเผาไหม้จะให้ความร้อนและไอเสียซึ่งเมื่อมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ไอเสียที่ได้จะประกอบไปด้วยน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน

หมายเหตุ ไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยไม่ติดไฟและไม่ช่วยให้ติดไฟ เนื่องจากไนโตรเจนมีสัดส่วนประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของอากาศ ดังนั้นเมื่อนำอากาศสันดาปกับเชื้อเพลิงจึงปรากฏไนโตรเจนทั้งก่อนและหลังการสันดาป



ภาพประกอบ 2.14 แสดงรูปแบบกระบวนการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล (2544)

ภาพประกอบ 2.14 แสดงให้เห็นว่าการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุหลายๆ สาเหตุ เช่น การเผาไหม้ที่ไม่สม่ำเสมอ การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่หมดจะเห็นได้ว่าภายหลังการสันดาปนอกจากจะเกิดน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วยังเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งแก๊สเหล่านี้มีพิษและอันตรายต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งมีชีวิต

2.10.1.2 ส่วนประกอบของไอเสีย (Emission components)

ไอเสียที่ได้จากการสันดาปส่วนใหญ่จะเป็นแก๊สที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกายสำหรับแก๊สที่มีอันตรายต่อร่างกายจะเป็นแก๊สส่วนน้อยในไอเสีย เพื่อแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบทั้งแก๊สที่มีอันตรายต่อร่างกายและไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายตลอดจนที่มาของแก๊สดังกล่าว ดังแสดงในตาราง 2.6 และ 2.7

ตาราง 2.6 แสดงประเภทและที่มาของแก๊สที่ได้จากไอเสีย (ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล, 2544)

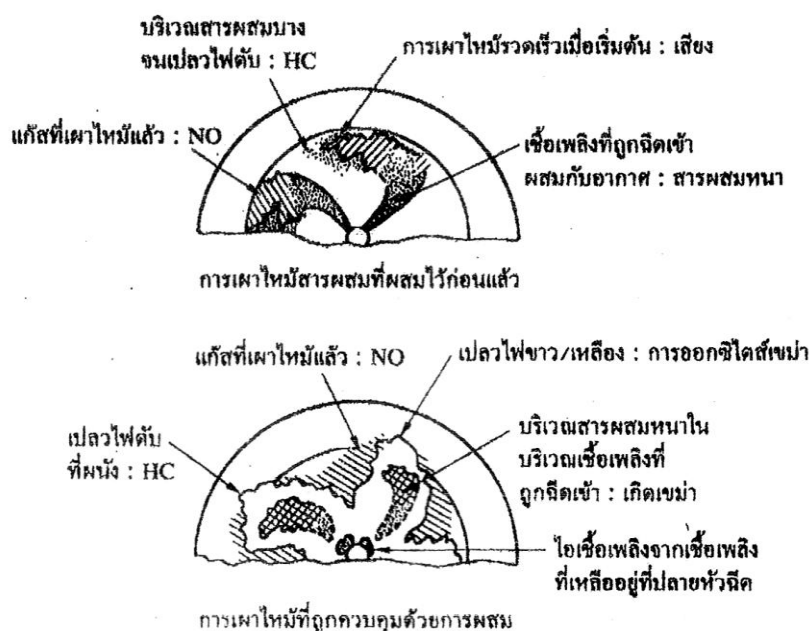
คุณสมบัติของแก๊ส	สัญลักษณ์	ชื่อแก๊ส	ได้จาก
ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย	N ₂	ไนโตรเจน	จากอากาศ
	O ₂	ออกซิเจน	
	CO ₂	คาร์บอนไดออกไซด์	จากปฏิกิริยาเคมีที่ได้จากการ
	H ₂ O	น้ำ (สถานะไอ)	สันดาประหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ
เป็นอันตรายต่อร่างกาย	HC	ไฮโดรคาร์บอน	
	NO _x	ไนโตรเจนออกไซด์	
	SO _x	ซัลเฟอร์ออกไซด์	
	Particulate	เขม่า และตะกั่ว	

ตาราง 2.7 แสดงแหล่งที่มาและอันตรายของแก๊สพิษในไอเสีย (ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล, 2544)

แก๊สพิษ	แหล่งที่ปล่อยแก๊สพิษ	%	ผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	♦ รถยนต์ ♦ โรงไฟฟ้าและอื่น ๆ	93 7	♦ ขัดขวางการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในโลหิต และเป็นสาเหตุของอาการแพ้ ♦ หากมีมากประมาณ 30-40 ส่วน ในล้านส่วนหรือมากกว่าจะทำให้ระบบประสาทอัตโนมัติจะหมดความ รู้สึก หรือเป็นอัมพาต ถ้ามีปริมาณ 500 ส่วนในล้านส่วน
ไฮโดรคาร์บอน (HC)	♦ รถยนต์ ♦ โรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมและการใช้ละลาย	57 43	♦ ทำให้เกิดความระคายเคืองกับ เยื่อจมูก อวัยวะที่ใช้ในการหายใจ
ไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x)	♦ รถยนต์ (ดีเซล) ♦ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม โรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และอื่นๆ		♦ ทำให้ระคายเคืองต่อดวงตา จมูก คอ อาการระคายเคืองมีอาการรุนแรงเป็นเหตุของอาการไอ และปวดศีรษะ ♦ ถ้ามีปริมาณ 3-5 ส่วนในล้านส่วนจะทำให้ระคายเคืองต่อต่อและ จมูกและถ้ามี 10-30 ส่วนในล้านส่วน จะทำให้เกิดอากาศไอและปวดศีรษะ และถ้ามีปริมาณ 30-50 ส่วนในล้านส่วนจะทำให้เป็นลมและหมดสติ
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	♦ รถยนต์ (ดีเซล) ♦ โรงงานอุตสาหกรรม	1 99	♦ ทำให้เกิดความระคายเคืองกับระบบหายใจหรือเนื้อเยื่อ และเป็นสาเหตุของการอักเสบของทางเดินหายใจ

2.10.2 ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล

ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไป ประกอบด้วยสารที่ถือว่าเป็นมลพิษคล้ายๆ กับของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ปริมาณของมลพิษบางตัวจะแตกต่างกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ โดยในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ความเข้มข้นของ NO_x จะใกล้เคียงกับในไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่ออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะต่ำกว่าในไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟประมาณ 5 เท่า ซึ่งไฮโดรคาร์บอนของไอเสียอาจควบแน่นเกิดเป็นควันขาวในช่วงการติดและอุ่นเครื่องได้ นอกจากนี้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิดในไอเสียยังเป็นแหล่งของกลิ่นไอเสียอีกด้วย สำหรับ CO ที่ออกมาจากไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลนั้น น้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลตามปกติแล้วจะทำงานด้วยส่วนผสมบาง แต่ในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีละอองเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ประมาณร้อยละ 0.2-0.5 ของมวลเชื้อเพลิง สารละอองนี้ประกอบด้วยเขม่าเป็นส่วนใหญ่และมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกดูดซับไว้อยู่บ้าง



ภาพประกอบ 2.15 แสดงส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปและเปลวไฟที่มีผลต่อการเกิด NO ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้และเขม่าหรือสารละออง ในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้วและในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมด้วยการผสม
ที่มา : เสมอขวัญ ดันติกุล (2544)

การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลจะขึ้นอยู่กับกระจ่ายเชื้อเพลิง และลักษณะของการกระจ่ายที่แปรผันกับเวลาอันเนื่องมาจากส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจากในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบก่อนการเผาไหม้เล็กน้อย การกระจ่ายของเชื้อเพลิงจึงไม่สม่ำเสมอ ภาพประกอบ 2.15 แสดงส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปและเปลวไฟที่มีผลต่อการเกิด NO ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้และเขม่าหรือสารละออง ในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้วและ

ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมด้วยการผสมในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีการไหลวน ซึ่งจะพบว่า NO เกิดขึ้นในบริเวณก๊าซที่เผาไหม้แล้วที่มีอุณหภูมิเหมือนกับการเกิด NO ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ในเครื่องยนต์ดีเซลการกระจายของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศภายในก๊าซที่เผาไหม้แล้วไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นอัตราการเกิดจะสูงสุดในบริเวณสารผสมที่ใกล้สารผสมพอดี จะมาจะเกิดขึ้นในบริเวณแกนของสเปรย์ที่มีเชื้อเพลิงซึ่งยังไม่เผาไหม้ และจะมาจะถูกออกซิไดส์ในบริเวณเปลวไฟเมื่อไปสัมผัสกับออกซิเจนทำให้เปลวไฟซึ่งมีลักษณะเป็นสีเหลืองสว่าง ส่วนไฮโดรคาร์บอนจะเกิดในบริเวณที่เปลวไฟดับทั้งที่ผนังและบริเวณที่ซึ่งถูกเจือจางด้วยอากาศมากเกินไปจนการเผาไหม้ไม่สามารถเริ่ม หรือเกิดต่อไปจนสมบูรณ์ได้ นอกจากนี้ไอเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ที่ปลายหัวฉีดในช่วงหลังของการเผาไหม้ก็จะเป็นแหล่งของไฮโดรคาร์บอนอีกแหล่งหนึ่ง สำหรับเสียงที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะถูกควบคุมโดยส่วนแรกของกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งมีการปล่อยความร้อนที่รวดเร็วทันทีหลังช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด โดยพยายามไม่ให้มีการเผาไหม้ของสารผสมที่เกิดขึ้นพร้อมกันทันทีในปริมาณที่มากเกินไป

2.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

สามารถจำแนกออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีช่องทางการไหลเพียงช่องเดียว คือ ของไหลร้อนและของไหลเย็นจะไหลผ่านเมตริกซ์สลับกัน ในรูปแบบอย่างง่ายของรีเจนเนอเรเตอร์นั้น จะมีอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดการไหลของของไหลแต่ละตัวให้ไหลผ่านเมตริกซ์สลับกันเป็นจังหวะ

2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีคูเพอเรเตอร์ (Recuperator) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีเส้นทางการไหลสำหรับการไหลแต่ละตัวแยกจากกัน ของไหลจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้พร้อมๆ กันอยู่ในช่องทางการไหลของตัวเอง ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากของไหลที่ร้อนไปสู่ของไหลที่เย็นกว่า ผ่านผนังกันอาจจะใช้ครีป หรือ ตัวกัน เพื่อบังคับทิศทางของการไหล

ปัจจุบันรีเจนเนอเรเตอร์จะถูกประยุกต์ใช้กรณีที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับเครื่องอุ่นอากาศด้วยไอเสีย ในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ในโรงงานเล็ก ในกังหันแก๊สและในกระบวนการผลิตแก๊สอุตสาหกรรม เป็นต้น รีเจนเนอเรเตอร์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในวัฏจักรเครื่องยนต์หลายวัฏจักร เช่น วัฏจักรสเตอร์ลิง และวัฏจักรอริกสัน เป็นต้น ซึ่งในกรณีทั่วไปรีคูเพอเรเตอร์มักจะถูกเรียกใช้งานมากกว่ารีเจนเนอเรเตอร์รีคูเพอเรเตอร์มีมากมายหลายรูปแบบ แต่อาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มคือ แบบที่เป็นแผ่นและแบบที่เป็นท่อ สำหรับเป็นเส้นทางการไหลตัวใดตัวหนึ่งทั้งสองตัว รีคูเพอเรเตอร์แบบเป็นแผ่นประกอบด้วย แผ่นโลหะที่ถูกพิมพ์ขึ้นรูปเรียงซ้อนกันทำให้เกิดเส้นทางการไหลขึ้นระหว่างแผ่นโลหะเหล่านั้น จะพบว่ารีคูเพอเรเตอร์แบบเป็นท่อมักมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายที่สุด ซึ่งความสามารถในการรองรับความดันและอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี

ชนิดของการแลกเปลี่ยนความร้อน การแบ่งประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม แบ่งตามสถานะของของไหลที่ใช้ดังนี้คือ การแบ่งตามสถานะของไหลที่ใช้

- 1). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลวกับของเหลวจะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหลทั้ง 2 ชนิด เช่น น้ำมันก๊าดหกล้นและน้ำมันดิบที่ป้อนเข้าหกล้นเป็นต้น
- 2). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหลทั้ง 2 ชนิด โดยของเหลวชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซหรือระเหยเป็นไอในระหว่างแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องต้มซ้ำ (Reboiler) ของหกล้นน้ำมัน ซึ่งใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงเป็นแหล่งความร้อน
- 3). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซกับก๊าซ ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ไม่เกิดการควบแน่นเป็นของเหลวเช่นเครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ก๊าซทั้งเป็นแหล่งความร้อน
- 4). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซกับก๊าซ เป็นชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยชนิดหนึ่งจะมีการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องกระจายความร้อน (Radiator) สำหรับทำความอบอุ่นในห้องโดยทำอากาศให้อุ่นด้วยไอน้ำ
- 5). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซกับของเหลวชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยชนิดหนึ่งเป็นก๊าซและอีกชนิดหนึ่งเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อน ที่ใช้ก๊าซทั้งจากหม้อไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน
- 6). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซกับของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ เช่น หม้อไอน้ำแบบท่อ ซึ่งระเหยน้ำให้เป็นไอน้ำด้วยก๊าซสันดาป และเครื่องควบแน่น ซึ่งควบแน่นไอให้เป็นของเหลวด้วยน้ำระบายความร้อน

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นภดล กลิ่นทอง (2546) สร้างอุปกรณ์อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงใช้ระบบไฟฟ้าควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์และเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิง EPG สำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะโดยติดตั้งเครื่องยนต์ โตโยต้า รุ่น 2E ความจุกระบอกสูบ 1300 ซีซี ระบบเชื้อเพลิงเป็นแบบคาร์บูเรเตอร์กับเครื่องทดสอบแรงม้าและต่อท่อน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านอุปกรณ์อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้น จากนั้นทำการทดสอบเก็บข้อมูลแรงบิดกำลังและก๊าซไอเสียของน้ำมันเบนซิน 91 และน้ำมันเชื้อเพลิง EPG ที่อุณหภูมิ 30,35,40,45,50,55,60 และ 70 องศาเซลเซียส อุปกรณ์น้ำมันเชื้อเพลิงสามารถใช้งานได้ดีง่ายสะดวกต่อการปรับตั้งอุณหภูมิ ค่าอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง EPG สามารถนำไปใช้งานได้ดี อุณหภูมิระหว่าง 30-50 องศาเซลเซียส ค่าความแรงบิดเฉลี่ยมีค่าลดลง 5.49 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังงานมีค่าลดลง 3.06 เปอร์เซ็นต์ และค่าไอเสียมีค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น 0.005 เปอร์เซ็นต์ และค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น 0.625 PPM เปรียบเทียบน้ำมันเบนซิน 91 ดังนั้น น้ำมันเชื้อเพลิง EPG สามารถนำมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซิน 91 ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์

วรบุตร รพีพันธุ์ (2004) ออกแบบระบบเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพีชเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซล ได้ทำการศึกษหา อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเพิ่มอุณหภูมิแก่น้ำมันพีช โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพีช คือ ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและทำการทดสอบระบบฉีดเชื้อเพลิงของ เครื่องยนต์ดีเซล ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพีชที่ 60,70 และ 80 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การนำน้ำมันพีชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงนั้น

จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันพืชอย่างน้อย 60 องศาเซลเซียส เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง และทำให้น้ำมันพืชมีสถานะเป็นของเหลวที่ไหลได้สะดวกใน ระบบจ่ายเชื้อเพลิง ทำการทดสอบระบบ เพิ่มอุณหภูมิที่ออกแบบและสร้างโดยติดตั้งเข้ากับรถทดสอบ การใช้งานต้องติด เครื่องยนต์ด้วยน้ำมัน ดีเซลประมาณ 15-20 นาที จึงสลับมาใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง เพื่อนำความร้อนจากระบบน้ำหล่อเย็น เครื่องยนต์มา และทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และปริมาณสารมลพิษจากไอเสีย พบว่าน้ำมัน พืชจะให้กำลังเครื่องยนต์น้อยกว่าน้ำมันดีเซลและมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่อกำลังเบรกก สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทุกๆสภาวะการทำงาน โดยน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มมีค่ากำลังเบรกลดต่ำกว่า 10.31 และ 2.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยสูงกว่า 25.57 และ 16.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าระบบเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็น เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลมีความเป็นไปได้ในการนำไปติดตั้งในเครื่องยนต์ดีเซลของรถบรรทุกขนาด เล็ก เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อนและมีราคาไม่แพง ใช้งานได้สะดวก สามารถใช้งานร่วมกับระบบ เชื้อเพลิงดีเซลปกติได้ ด้วยการใช้ น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว หรือสลับมาใช้น้ำมันพืช เป็นการเพิ่ม ทางเลือกของการใช้เชื้อเพลิงทดแทน เหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีผลผลิตทางการเกษตรอยู่แล้ว สามารถ นำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ง่าย แต่จะต้องยอมรับกับกำลังของเครื่องยนต์ที่ตกลงไปบ้าง มีความ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีปริมาณก๊าซไอเสีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและควัน ดำมากกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย

อิทธิพล วรพันธ์ และคณะ (2551) ศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษ ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยเปรียบเทียบกับ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ จาัดความจุระบอ กสูบ 2,369 ซี.ซี โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ในส่วนการทดสอบกับเครื่องยนต์ทำการทดสอบที่ สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ภาระสูงสุด (Full Load) สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ศึกษาได้แก่ แรงบิด, กำลังเบรก, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของ เครื่องยนต์ ส่วนสารมลพิษที่ทำการศึกษา ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), ปริมาณควันดำ และ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย จากผลการทดสอบ สมรรถนะและการปล่อยสารพิษในเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ แสดงให้เห็นว่าการผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในน้ำมันไบโอดีเซล มีผลทำให้แรงบิด กำลังเบรก และ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์มีค่าลดลงตามปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น โดยแรงบิด , กำลังเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 3.41-14.53 เปอร์เซ็นต์ (ที่แรงบิดสูงสุด 1,500 รอบ/นาที), 2.7-12.87 เปอร์เซ็นต์ (ที่กำลังเบรกสูงสุด 2,500 รอบ/นาที) และ 6-23.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จากการที่ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าลดลงตามปริมาณ เอทานอลที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น 18.8-42.7 เปอร์เซ็นต์ (ที่กำลังเบรกสูงสุด 2,500 รอบ/นาที) ส่วนปริมาณการปล่อยสารพิษจากไอเสียพบว่า คาร์บอนไดออกไซด์ (CO) มีค่าลดลง 42.45-48.65 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO₂) ลดลง 3.7- 7.4 เปอร์เซ็นต์ และค่าปริมาณควันดำมีค่าลดลง 38.2-64.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนออกไซด์ไนโตรเจนมีค่า เพิ่มขึ้น 1.37-13.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

จักรพงศ์ ไชยบุรี และคณะ (2553) การทดสอบเครื่องยนต์เกษตรที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ ได้ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากสบู่ดำ โดยใช้ถึงปฏิกิริยาที่ประดิษฐ์ขึ้น ขั้นแรกอัตราส่วนจำนวนโมลของน้ำมันสบู่ดำต่อเมทานอลเป็น 1 : 6 โมล โดยเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นใช้อัตราส่วนจำนวนโมลของน้ำมันสบู่ดำต่อเมทานอลเป็น 1 : 6 โมล โดยเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ประกอบด้วย Oleic acid (C 18 : 1) 33.82 เปอร์เซ็นต์ และ Palmitic acid (C 16 : 0) 26.72 เปอร์เซ็นต์ นำไปทดสอบกับเครื่องยนต์เกษตรโดยวิเคราะห์ผลแต่ละช่วงเวลาจนถึง 2 ชั่วโมง พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ทั้งหมด (NOx) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยเฉลี่ยจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับ 65.00 77.66 12.85 และ 0.55 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เทียบกับค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยเฉลี่ยของน้ำมันดีเซล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.88 62.55 11.63 และ 0.66 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ข้อดีของน้ำมันไบโอดีเซลจะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

Murat Karabektas, Gokhan Ergen, Murat Hosoz (2008) พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลที่กล่าวถึงคือน้ำมันไบโอดีเซลได้จากเมล็ดฝ้าย ภายใต้การอุ่นที่อุณหภูมิต่างกันเพื่อศึกษาค่าของความหนืดที่ลดลง COME โดยใช้ น้ำมันเมล็ดฝ้าย โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดียว แบบฉีดตรงที่สภาวะโหลดทั้งหมด โดยทำการอุ่นน้ำมัน COME ที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือ 30, 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ก่อนนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ ข้อมูลที่ได้นำมาใช้สำหรับการประเมิน กำลังเบรกและประสิทธิภาพ ความร้อนเบรก (BTE) ร่วมกับการปล่อยก๊าซ CO และ NO_x ผลจากการศึกษาพบว่าอุ่นน้ำมัน COME ที่ 90 องศาเซลเซียส ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพความร้อนเบรก (BTE) และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x สูงขึ้น นอกจากนั้น ที่อุณหภูมิอุ่นน้ำมัน COME ขึ้นถึง 90 องศาเซลเซียส ทำให้กำลังเบรกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเป็นอุ่นน้ำมัน COME ถึง 120 องศาเซลเซียส กำลังเบรกลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มากเกินไป ซึ่งเกิดจากความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ลดลง จากผลการวิจัยพบว่าอุ่นน้ำมัน COME ถึง 90 องศาเซลเซียส สามารถใช้แทนเชื้อเพลิงดีเซลโดยไม่มีการดัดแปลงใด ๆ แต่ปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ

O.M.I. Nwafor (2002) ได้มีแนวคิดที่ออกแบบเครื่องยนต์เป็นสิ่งที่สำคัญทั้งหมดในการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงดีเซลได้ถูกชี้ให้เห็นจากงานวิจัยที่หลากหลาย น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืชร้อยละแปดสามารถนำมาใช้ได้อย่างปลอดภัยในเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดทางอ้อม แต่ไม่สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดโดยตรงเนื่องจากเครื่องยนต์ประเภทนี้จำเป็นต้องทำให้เป็นละอองระดับสูงขึ้นไป ปัญหานี้เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับขนาดของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ในการฉีดเข้าไปในกระบอกสูบที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ที่ไม่ดี ในทางตรงกันข้าม ก็จะทำให้เกิดการสะสมค้างในห้องเผาไหม้ พร้อมทั้งทำให้น้ำมันเจือจางเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่มีการเผาไหม้ในห้องเครื่อง วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้คือ การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันเชื้อเพลิงขาเข้ากับความหนืดและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กระบอกสูบเดียวที่ไม่ได้ปรับแต่ง ผลโดยรวมนั้นพบว่าการเพิ่มความร้อนน้ำมันเชื้อเพลิงส่งผล

ต่อความดันในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ความเร็วรอบต่ำและอยู่ภายใต้สภาวะโหลดการทำงาน ซึ่งอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้นจะเป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อการทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งร้อนและไม่ร้อน ก่อนการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

Bhupendra Singh Chauhan, Naveen Kumar, Yong Du Jun, Kum Bae Lee (2010) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิขาเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงในการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้เชื้อเพลิงร่วมกับอุปกรณ์ทดสอบที่มีการออกแบบอย่างเหมาะสมและท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (โดยไหลผ่านไอเสีย) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวสามารถเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงได้ จากผลการทดสอบพบว่า BTE (ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก) ของเครื่องยนต์ต่ำ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สูงขึ้นเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้ำมันสปูดำเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล เมื่ออุณหภูมิขาเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ BTE และ BSEC ลดลง การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จากน้ำมันสปูดำระหว่างช่วงการทดลองต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล และจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิขาเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง (FIT) เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซ CO (คาร์บอนมอนอกไซด์), HC (ไฮโดรคาร์บอน), CO₂ (คาร์บอนไดออกไซด์) ของน้ำมันจากสปูดำ พบว่าสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิขาเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง (FIT) เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอุ่นน้ำมันสปูดำสามารถใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตอันใกล้ อุณหภูมิขาเข้าของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมพบว่าเป็น 80 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อการพิจารณา BTE ,BSEC และการปล่อยก๊าซ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับมนุษย์ อีกทั้งยังเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกัน แต่มีปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ พลังงานหลักที่ใช้คือน้ำมัน ทั้งเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า การคมนาคมขนส่ง ตลอดจนเป็นวัตถุดิบในการผลิตของอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ทุกครั้งที่เกิดวิกฤตการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยรวมของโลก อาทิ ปัญหาความไม่สงบ สงครามในตะวันออกกลาง การลดกำลังการผลิตของประเทศผู้ส่งออกน้ำมัน ความต้องการน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น-ในฤดูหนาวของประเทศแถบตะวันตก (Murat Karabektas et. al, 2008) หรือแม้แต่ความผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลกอย่างในปัจจุบัน ประเทศไทยก็จะต้องประสบผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศในแต่ละปีเพื่อใช้ในการภายในประเทศเป็นจำนวนมาก น้ำมันจึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันเป็นอย่างยิ่ง เนื่องมาจากพลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาประเทศแทบทุกในประเภท ทั้งในภาคการคมนาคมขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม นอกจากนี้พลังงานสำรองภายในประเทศยังสามารถบอกถึงความมั่นคงของประเทศ และเสถียรภาพทางเศรษฐกิจของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

จากปัญหาลังงานที่ขาดเสถียรภาพ ประกอบกับราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มสูงขึ้น และถูกควบคุมโดยประเทศผู้ผลิต และผู้ส่งออกน้ำมัน ส่งผลกระทบไปยังประชาชนผู้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก รวมถึงราคาสินค้าอุปโภคบริโภคก็ปรับตัวสูงขึ้นตามอันเป็นผลสืบเนื่องกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่า และก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งสร้างจิตสำนึกตระหนักถึงการพึ่งพาตนเองให้มากขึ้นการพยายามพึ่งพาตนเองที่ดีที่สุด และสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเองก็คือ การใช้พลังงานจากวัตถุดิบภายในประเทศ มาใช้ทดแทนให้ได้มากที่สุด ซึ่งทำให้มีหลายหน่วยงานได้ทำการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงหลักชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันพืชใช้แล้ว ฯลฯ มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แทนน้ำมันดีเซล เพื่อเป็นการลดต้นทุนจากการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ดีเซล

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์โดยการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อน้ำรถยนต์สำหรับอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง เพื่อหาข้อดีการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง คุณภาพของไอเสีย และอุณหภูมิที่จุดต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยหลักการกระบวนการ Thermal Cracking ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำมันเพื่อลดพลังงานพันธะของโมเลกุล (Marzena Dzida et. al, 2008, Murat Karabektas et. al, 2008) ทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นปริมาตรของน้ำมันก็จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งผู้วิจัยจะใช้หลักการดังกล่าวในการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อน้ำรถยนต์สำหรับอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง โดยศึกษาผล

ของความยาวท่อทองแดงที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับให้น้ำมันดีเซลไหลผ่านเพื่อรับความร้อนจากหม้อน้ำเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำมัน และช่วยให้คุณสมบัติของน้ำมัน คือ ความหนาแน่น ความกว้างจำเพาะ และความหนืดลดลง ส่งผลให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ขึ้นและช่วยประหยัดเชื้อเพลิง เป็นการลดต้นทุนจากการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งในอนาคตนั้นจะทำให้ผู้ใช้เครื่องยนต์นั้นประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลงและสามารถเผยแพร่ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้แก่ผู้ที่สนใจนำไปใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความยาวท่อทองแดง (ท่อส่งน้ำมัน) ที่ใช้สำหรับให้น้ำมันเชื้อเพลิงไหลผ่านหม้อน้ำที่ความยาวแตกต่าง
- 1.2.3 ศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์
- 1.2.4 ศึกษาอุณหภูมิของหม้อน้ำ อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง และอุณหภูมิของไอเสียเครื่องยนต์เปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์
- 1.2.5 ศึกษาอัตราแรงของเครื่องยนต์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์
- 1.2.6 ศึกษาการปล่อยก๊าซมลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์ (คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, และ ไนโตรเจนออกไซด์) เปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น 4D56 ขนาด 2,477 ซีซี
- 1.3.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดง(ท่อส่งน้ำมัน) 4 มม. ความยาวท่อทองแดง (ท่อส่งน้ำมัน) ที่ผ่านภายในหม้อน้ำ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร
- 1.3.3 อัตราแรงเครื่องยนต์ในการทดสอบ 800, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบ/นาที
- 1.3.4 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ น้ำมันดีเซล และ ไบโอดีเซล, B20
- 1.3.5 วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์ใช้งานหม้อน้ำ

1.4 ความสำคัญของการวิจัย

- 1.4.1 ได้หม้อน้ำรถยนต์ที่สามารถช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง
- 1.4.2 ทราบผลของความยาวท่อทองแดง (ท่อส่งน้ำมัน) ที่เหมาะสมสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงไหลผ่านหม้อน้ำ

1.4.3 ทราบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์

1.4.4 ทราบอุณหภูมิของหม้อน้ำ อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง และอุณหภูมิของไอเสียเครื่องยนต์ เปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์

1.4.5 ทราบผลของการศึกษาอัตราเร่งของเครื่องยนต์ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์

1.4.6 ทราบผลการปล่อยก๊าซมลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์ (คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, และ ไนโตรเจนออกไซด์) เปรียบเทียบก่อนและหลังการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์

1.4.7 ทราบถึงผลทางเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้งานหม้อน้ำรถยนต์ในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ความสำคัญของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำมันดิบ	4
2.2 ทฤษฎีของเครื่องยนต์	5
2.3 การเผาไหม้ตามทฤษฎี	6
2.4 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล	8
2.5 น้ำมันไบโอดีเซล และคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล(Bio-diesel)	10
2.6 การปรับปรุงหรือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี	15
2.7 ระบบระบายความร้อน	16
2.8 การผสมเชื้อเพลิง	24
2.9 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	29
2.10 การควบคุมมลพิษที่เกิดจากรถยนต์ (Automotive Emission Control)	30
2.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	35
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	40
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
3.2 ชุดทดลองการประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์โดยติดตั้งท่อทองแดง ที่ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	41
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	41
3.4 วิธีการติดตั้งชุดทดลอง	48
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	50
3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	51

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	54
4.1 ผลของความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีต่ออุณหภูมิภายในหม้อน้ำ	54
4.2 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	54
4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	58
4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	65
บทที่ 5 บทสรุป	70
5.1 สรุปผลและอภิปรายผล	70
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที	77
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที	88
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที	99
ภาคผนวก ง ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที	110
ภาคผนวก จ ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที	121
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที	132
ภาคผนวก ช ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm	143
ภาคผนวก ซ ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที	154
ภาคผนวก ฌ ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที	165
ภาคผนวก ฎ ข้อมูลการทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที	176
ภาคผนวก ฏ ตารางข้อมูลแสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์และอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์	187
ภาคผนวก ฏ คำอธิบายรายการสัญลักษณ์และคำย่อ	197
ภาคผนวก ฐ ตัวอย่างการคำนวณ	199
ภาคผนวก ฌ หม้อน้ำที่ทำการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	203
ประวัติย่อผู้วิจัย	208

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 องค์ประกอบของอากาศแห้ง	7
ตาราง 2.2 คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันสบูดำ	10
ตาราง 2.3 รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน)	14
ตาราง 2.4 คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	15
ตาราง 2.5 แสดงลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ	25
ตาราง 2.6 แสดงประเภทและที่มาของแก๊สที่ได้จากไอเสีย	33
ตาราง 2.7 แสดงแหล่งที่มาและอันตรายของแก๊สพิษในไอเสีย	33
ตาราง 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์	41

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ	2.1	การทำงานในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	6
ภาพประกอบ	2.2	แสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล	13
ภาพประกอบ	2.3	แสดงการไหลเวียนของน้ำภายในเครื่องยนต์	17
ภาพประกอบ	2.4	แสดงโครงสร้างส่วนประกอบของหม้อน้ำ	20
ภาพประกอบ	2.5	แสดงโครงสร้างปั้มน้ำแบบใบพัด	22
ภาพประกอบ	2.6	พัฒนาระบายความร้อนแบบเชื่อมต่อด้วยของเหลว	24
ภาพประกอบ	2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับความเร็วที่ขับซี	26
ภาพประกอบ	2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับความเร็วที่ขับซี	27
ภาพประกอบ	2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับกำลังและอัตราความสิ้นเปลืองฯ	27
ภาพประกอบ	2.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความสิ้นเปลืองและกำลังเครื่องยนต์ กับความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	28
ภาพประกอบ	2.11	สารมลพิษที่เกิดจากรถยนต์และอื่นๆ	30
ภาพประกอบ	2.12	แสดงรูปแบบของกระบวนการสันดาปและผลผลิตที่ได้จากการสันดาป	31
ภาพประกอบ	2.13	แสดงการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศในกระบวนการสันดาป	31
ภาพประกอบ	2.14	แสดงรูปแบบกระบวนการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์	32
ภาพประกอบ	2.15	แสดงส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปและเปลวไฟที่มีผลต่อการเกิด NO ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้และเขม่าหรือสารละออง ในช่วงการเผาไหม้ สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้วและในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมด้วยการผสม	34
ภาพประกอบ	3.1	การประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์ โดยติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	41
ภาพประกอบ	3.2	เครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงที่ใช้ในการทดลอง	41
ภาพประกอบ	3.3	ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ แบบ MPX-5	44
ภาพประกอบ	3.4	แสดงชุดแผงควบคุมชุดทดสอบ	45
ภาพประกอบ	3.5	เครื่องวัดอุณหภูมิ Temperature Data Logger	45
ภาพประกอบ	3.6	เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ รุ่น testo 350 M/XL	47
ภาพประกอบ	3.7	ตาชั่งแบบดิจิตอล รุ่น SF-4005 (ขนาด 10,000 g)	47
ภาพประกอบ	3.8	กระบอกตวงน้ำมันเชื้อเพลิง	48
ภาพประกอบ	3.9	ชุดทดลองเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ การติดตั้งการทดลอง และเครื่องมือวัดต่างๆ	49
ภาพประกอบ	3.10	แผนผังแสดงส่วนต่างๆ ของชุดทดสอบ และจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิต่างๆ	50
ภาพประกอบ	4.1	เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	55
ภาพประกอบ	4.2	เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหม้อน้ำที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)	55

ภาพประกอบ 4.3	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	56
ภาพประกอบ 4.4	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)	57
ภาพประกอบ 4.5	กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Pb) ที่ความท่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	86
ภาพประกอบ 4.6	กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Pb) ที่ความท่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)	59
ภาพประกอบ 4.7	ความยาวท่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	60
ภาพประกอบ 4.8	ความยาวท่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20)	61
ภาพประกอบ 4.9	เปรียบเทียบปริมาณคาบอนมอนอกไซด์ (CO) จากไอเสียของเครื่องยนต์ ที่ความท่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล กับไบโอดีเซล (B20)	63
ภาพประกอบ 4.10	เปรียบเทียบปริมาณคาบอนไดออกไซด์ (CO ₂) จากไอเสียของเครื่องยนต์ ที่ความท่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล กับไบโอดีเซล (B20)	64
ภาพประกอบ 4.11	เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x) จากไอเสียของเครื่องยนต์ ที่ความท่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล กับไบโอดีเซล (B20)	65

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์หม้อน้ำรถยนต์เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง		
ผู้วิจัย	นายบัญชา ลำเลิศ		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
กรรมการควบคุม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บพิตร บุปผาโชติ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธาสคร อินธิเดช		
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2556

บทคัดย่อ

จากปัญหาค่าน้ำมัน ที่มีแนวโน้ม สูงขึ้นส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานพาหนะ เป็นอย่างมาก จำเป็นต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อน้ำรถยนต์ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับ น้ำมันเชื้อเพลิง ก่อนการเผาไหม้ เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง เพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ และช่วยประหยัดพลังงาน

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อน้ำของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ขนาด 2,477 ซีซี ที่ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบไฮโดรลิคไดนาโมมิเตอร์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากท่อทองแดงขดเป็นรูปตัวยู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวคือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ทดลองที่ความเร็วรอบ 5 ระดับคือ 800, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาที โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) จากการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในหม้อน้ำเพิ่มขึ้นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 70-90 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส สำหรับกำลังเบรคของเครื่องยนต์กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้ง โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาวท่อ 0.1 เมตร ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1500 รอบต่อนาที ให้ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ 29.62 และ 8.82 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และทำให้อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) ลดลง เปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็น 24.22 และ 25.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้งยังส่งผลต่อการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากไอเสียของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้น กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 2.38-27.97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กรณีติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้ง แต่เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีค่าใกล้เคียงกันที่ความเร็วรอบ และความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกรณีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล พบว่าค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกรณีติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีค่าใกล้เคียงกัน

โดยสรุปการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อน้ำสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงให้สูงขึ้น ช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลงได้ เพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ และช่วยลดมลพิษในอากาศ

คำสำคัญ : การประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง, เครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูง, เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

TITLE Applications of Engines Radiator for Fuel Economy in High Speed Diesel Engine.

AUTHOR Mr.Bancha Lamlerd

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Mechanical Engineering

ADVISORS Asst Prof Dr.Bopit Bubphachot
and Asst Prof Dr.Sudsakorn Inthidech

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2013

ABSTRACT

Nowadays, the fuel is more expensive, it is important problem for vehicle. Require to technologies for maximum fuel efficiency. Application of heat exchanger in the radiator to preheating the fuel is benefit of improving the efficiency of combustion and performance of engines, improving engine performance and reducing the fuel consumption.

This research aims to study application of heat exchanger in radiator for preheating the fuel to reducing the fuel consumption of high speed diesel engine (2477 cc). The heat exchanger was made by copper U-tube inside diameter of 4 mm, the tube length of 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 m. Experimental test of 4-stroke diesel engine (2477 cc) varying speed of 800 1,500 2,000 2,500 and 3,000 rpm. It was found that the speed of engine was increase with the temperature in radiator was increases. When the diesel and biodiesel (B20) were passed the heat exchanger, the temperature of increased between 60 - 80 °C. In case the radiator installed heat exchanger, the break power was slightly higher than that of without heat exchanger. The maximum break power was obtained of 0.1 m of tube length with the speed engine of 1,500 rpm when using diesel and B20 of 29.62 and 8.82 percent, respectively. On the other hand the break specific fuel consumption was decreased about 24.22 and 25.98 percent, respectively. Moreover, the speed of engine was increases. The CO emission was reducing of 2.38 – 27.97 percent. The CO₂ and NO_x from diesel were higher than B20, when installed the heat exchanger the CO₂ was higher than without heat exchanger. The CO₂ was no significant difference from the speed of engine and tube lengths were increased. In other hand the NO_x was increase. The NO_x was no significant difference when installed the heat exchanger and without heat exchanger.

In conclusion, the applications of engines radiator for fuel economy in high speed diesel engine could be applied as heat exchanger in radiator to preheating the fuel was improving the efficiency of combustion and performance of engines, improving engine performance and reducing the fuel consumption

Key Words : Fuel consumption, High speed diesel engines, Heat exchanger

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บพิธ บุปผโชติ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุตสาคร อินธิเดช กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดทั้งให้คำชี้แนะและแก้ไขปัญหาค้นคว้า จดบกพร่องต่างๆ ทางผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บพิธ บุปผโชติ และคณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำด้านวิชาการและงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดสร้างอุปกรณ์ ในการทดลอง ให้คำปรึกษาในเรื่องวิชาการและคำแนะนำที่ดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สัณห์วัจน์ ทองแดง ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาในเรื่องวิชาการ และคำแนะนำที่ดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ณรงค์ หุชัยภูมิ ที่ให้ความช่วยเหลือในการขอความอนุเคราะห์ยืม เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้คำแนะนำที่ดีในการทดลอง และคำปรึกษาในเรื่องวิชาการ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และอาจารย์ประจำสาขาวิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ และเครื่องยนต์มาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ให้ความช่วยเหลือแก้ไขปัญหามากมาย ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณบุพการีผู้ให้กำเนิด ที่กรุณาอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู ให้โอกาสทางการ ศึกษาและให้กำลังใจตลอดมา พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ ตลอดจนเพื่อนๆ จากมหาวิทยาลัย มหาสารคาม ทุกคนที่เป็นกำลังใจ หากมีข้อผิดพลาดหรือสิ่งที่ขาดตกบกพร่องประการใดผู้จัดทำ ขออภัยในความผิดพลาดนั้น และหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีประโยชน์สำหรับท่านที่สนใจต่อไป

บัญชา ล้าเลิศ