



การออกแบบและสร้างชุดความแน่นเมทานอลสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน
**Design and Fabrication of Methanol Recovery Unit for Community Biodiesel
Production System**

นิโอะ ปูซู

Ni-oh Puzu

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและสร้างชุดควมแน่นเมทานอลสำหรับระบบผลิต
ไบโอดีเซลชุมชน

ผู้เขียน

นายนิโอะ ปู่ชู

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร)

คณะกรรมการสอบ

ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ คุปตานนท์)

กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.พุทธิพงศ์ แสนสบาย)

กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร)

กรรมการ
(ดร.พุทธิพงศ์ แสนสบาย)

กรรมการ
(ดร.บุญรอด สัจกุลนุกิจ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างชุดควบคุมเมทานอลสำหรับระบบผลิต ไบโอดีเซลชุมชน
ผู้เขียน	นายนิโอะ ปุชู
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

การผลิตไบโอดีเซลจากระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนโดยทั่วไป ใช้สัดส่วนโมลของ แอลกอฮอล์ (เมทานอล) ต่อน้ำมันพืชเท่ากับ 6 ต่อ 1 ซึ่งมากกว่าทางทฤษฎี ผลสุทธิของไบโอดีเซลมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เมทานอลส่วนเกินที่มากกว่าทางทฤษฎีสูญเสียไประหว่างกระบวนการล้างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลที่ถ่ายออกไปเป็นของเสีย เนื่องจากการติดตั้งระบบรีโคเวอรี่เมทานอลส่วนเกินกลับมาใช้ใหม่ในระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบระบบควบคุมเมทานอลส่วนเกินจากไบโอดีเซล และกลีเซอรอลของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ผลการทดสอบติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเมทานอลส่วนเกินจากไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียวพบว่ามีระยะเวลาคืนทุน 1.21 ปี อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 3.3 เท่า ผลการทดสอบควบคุมเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยใช้ระบบควบคุมเมทานอลที่ได้ออกแบบและสร้าง และจำกัดอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเมทานอลที่ควบคุมได้จากไบโอดีเซลดิบมีปริมาณ 2.268 ลิตร และจากกลีเซอรอลมีปริมาณ 5.309 ลิตร โดยวัตถุดิบเริ่มต้นของการผลิตไบโอดีเซลเป็นน้ำมันพืชใช้แล้ว 80 ลิตร เมทานอล 18.4 ลิตร จากผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนเมื่อใช้งานร่วมกับระบบควบคุมเมทานอลที่ได้ออกแบบและสร้าง จะมีระยะเวลาคืนทุน 0.96 ปี อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 4.17 เท่า

Thesis Title	Design and Fabrication of Methanol Recovery Unit for Community Biodiesel Production System
Author	Mr.Ni-oh Puzu
Major Program	Mechanical Engineering
Academic Year	2009

ABSTRACT

Biodiesel production from community biodiesel unit is normally used excess methanol in the reaction in order to enhance the complete reaction. The excess methanol remains in crude biodiesel and crude glycerol and it will be washed away during biodiesel washing process because there is no excess methanol recovery unit. The objective of this research is to design, fabricate and test the excess methanol recovery unit from crude biodiesel and crude glycerol from community biodiesel production system. The result shown that 2.268 liters of methanol condensation from crude biodiesel and 5.309 liters of methanol condensation from glycerol can be achieved when the condenser is installed to the crude biodiesel tank and crude glycerol tank in order to vaporize the excess methanol and condense it. In this experiment, biodiesel is produce from 80 liters of waste cooking oil with 18.4 liters of methanol. Simple payback period of community biodiesel production unit couple with the methanol recovery unit is to analyzed and is found to be 0.96 year with net present value of 4.17

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.พุทธิพงษ์ แสนสบาย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนระยะเวลาในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ จนถูกต้องสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ คุปตานนท์ รองศาสตราจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์ ดร.บุญรอด สัจกุลนุกิจ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนแหล่งทุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุเคราะห์ทุนผู้ช่วยวิจัย และครูช่างทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการสร้างชุดทดลองจนสำเร็จลุล่วง

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อแหวคือราแม่ คุณแม่ดีหั้นะ ตลอดจนสมาชิกในครอบครัวที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังใจ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาตลอด รวมทั้งขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย สำหรับคุณงามความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน

นิโอะ ปูชู

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง.....	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 พลังงานทดแทน	1
1.2 ไบโอดีเซลในประเทศไทย	4
1.3 อุปสรรคของไบโอดีเซล	8
1.4 ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน.....	9
1.5 ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล.....	11
1.6 เมทานอล	12
1.7 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	13
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
1.9 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	15
2.1 ไบโอดีเซล.....	15
2.2 การผลิตไบโอดีเซล	16
2.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์รีไฟเคชัน.....	16
2.2.2 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์รีไฟเคชัน	16
2.2.3 คุณสมบัติไบโอดีเซล	18
2.3 ระบบควบแน่นเมทานอล	20
2.3.1 อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser).....	21
2.3.2 ถังโพลีเอทิลีน (Polyethylene).....	28
2.4 ก्लीเซอรอล.....	30
2.5 เมทานอล	31
2.5.1 เมทานอลส่วนเกิน.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 การระเหยเมทานอล	33
2.5.3 การควบแน่นไอเมทานอล.....	34
2.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	35
2.6.1 วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, <i>PP</i>)	36
2.6.2 วิธีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Profitability index, <i>PI</i>).....	36
2.6.3 วิธีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, <i>IRR</i>).....	36
บทที่ 3 การสร้างระบบควบแน่น การเตรียมและวิธีการทดลอง.....	38
3.1 การออกแบบระบบควบแน่นเมทานอล	38
3.2 การสร้างอุปกรณ์ควบแน่น	40
3.2.1 เปลือกนอก (Shell).....	40
3.2.2 กลุ่มท่อ (Tube bundle).....	41
3.2.3 ฝาปิดด้านข้างทั้งสองด้าน	43
3.3 แผงควบคุมวงจรไฟฟ้า.....	46
3.4 ขดลวดความร้อน.....	47
3.5 ป้อนน้ำหล่อเย็น	48
3.6 ถังไอน้ำโอดีเซลและถังกลีเซอรอล.....	49
3.7 การผลิตไอน้ำโอดีเซล	49
3.7.1 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตไอน้ำโอดีเซล.....	50
3.7.2 การไตรเตรต	50
3.7.3 การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว	51
3.7.4 การเตรียมสารเคมี	52
3.7.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์	53
3.7.6 เมทานอล	54
3.7.7 สถานะการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน	55
3.8 การควบแน่นเมทานอล.....	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8.1 การทดลองโดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นเมทานอล กับระบบผลิตไบโอดีเซล	55
3.8.2 การทดลองควบแน่นเมทานอลจากระบบควบแน่นที่ ได้ออกแบบและสร้าง	58
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	64
4.1 ผลของระบบควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซล	64
4.1.1 ผลการระเหยเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล	64
4.1.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ควบแน่น	67
4.1.3 ผลการทดลองหาปริมาณเมทานอลในแต่ละอุณหภูมิ	69
4.1.4 ผลการทดลองหาอัตราการระเหยของเมทานอลในแต่ละอุณหภูมิ	70
4.1.5 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	73
4.1.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, <i>PP</i>)	77
4.1.5.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, <i>IRR</i>)	77
4.1.5.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Profitability index, <i>PI</i>)	78
4.1.6 วิจารณ์ผลการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นกับระบบ ผลิตไบโอดีเซลชุมชน	79
4.2 ผลของระบบควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล	80
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	84
4.2.1.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, <i>PP</i>)	89
4.2.1.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, <i>IRR</i>)	89
4.2.1.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Profitability index, <i>PI</i>)	90
4.2.2 วิจารณ์ผลการทดลองควบแน่นเมทานอลจากระบบควบแน่น ที่ได้ออกแบบและสร้าง	91

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในแต่ละกรณีของการทดลอง.....	92
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	95
5.1 สรุปผล	95
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	96
บรรณานุกรม	97
ภาคผนวก ก การคำนวณหาขนาดของคอนเดนเซอร์.....	100
ภาคผนวก ข รายละเอียดอุปกรณ์ควมแน่น	107
ภาคผนวก ค รายงานผลทดสอบเมทานอล	115
ประวัติผู้เขียน	117

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สารประกอบจากการเผาไหม้ไบโอดีเซลของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล	7
1.2	ราคาปลั๊กน้ำมัน หน้าโรงงาน (บาทต่อกิโลกรัม) ของสำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร 27 มกราคม 2552.....	9
2.1	ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550	18
2.2	คุณสมบัติของโพลีเอทิลีน.....	29
2.3	คุณสมบัติของกลีเซอรอล.....	31
2.4	คุณสมบัติของเมทานอล.....	32
3.1	ส่วนประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	52
3.2	ส่วนประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว	52
4.1	เปรียบเทียบปริมาณเมทานอลสะสมจาก 2 การทดลอง	68
4.2	อุปกรณ์พร้อมกับการราคาที่จัดซื้อสำหรับระบบควบแน่น	74
4.3	ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของระบบควบแน่น	76
4.4	ผลการประเมินระยะเวลาดำเนินทุน	77
4.5	ผลการประเมินอัตราผลตอบแทนการลงทุน	78
4.6	ผลการประเมินอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน.....	79
4.7	อุปกรณ์พร้อมกับการราคาที่จัดซื้อสำหรับระบบควบแน่น	85
4.8	ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของระบบควบแน่น	88
4.9	ผลการประเมินระยะเวลาดำเนินทุน	89
4.10	ผลการประเมินอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน	90
4.11	ผลการประเมินอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน	91

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในปี ค.ศ. 2006	2
1.2	การฝังการนำน้ำมันพืชไปใช้เป็นเชื้อเพลิง	3
1.3	แหล่งพลังงานทดแทนสำหรับยานยนต์	4
1.4	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการคมนาคมขนส่ง แยกตามประเภทการขนส่ง	5
1.5	การใช้พลังงานภาคการขนส่งจำแนกตามชนิดพลังงาน	6
1.6	การใช้พลังงานภาคการเกษตรจำแนกตามชนิดพลังงาน	6
1.7	ปริมาณการใช้ไบโอดีเซลของประเทศไทย	8
1.8	ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน	10
1.9	สัดส่วนของต้นทุนการผลิตของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน	12
2.1	ภาพจำลองของโครงสร้างไบโอดีเซล	15
2.2	การฝังการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน	17
2.3	ฝังการทำงานของระบบควบแน่นเมทานอล	21
2.4	อุปกรณ์ควบแน่นที่ได้จากการออกแบบ	28
2.5	ถังไบโอดีเซล (ก) และถังกลีเซอรอล (ข)	29
2.6	โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล	30
2.7	โครงสร้างจำลองของเมทานอล	32
3.1	ผังของตารางเวลาการทำงานของระบบผลิตไบโอดีเซล ร่วมกับระบบควบแน่นเมทานอล	39
3.2	เปลือกนอกของอุปกรณ์ควบแน่น (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด	41
3.3	บ่าป้องกันการรั่ว	42
3.4	กลุ่มท่อ (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด	43
3.5	ฝาปิดด้านข้างทั้งสองด้าน (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด	44
3.6	ปะเก็นกระดาดป้องกันการรั่ว	45
3.7	อุปกรณ์ควบแน่นที่ได้จากการออกแบบและสร้าง (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด	46
3.8	รูปแผนควบคุมวงจรไฟฟ้า	47
3.9	ขดลวดความร้อนสำหรับไบโอดีเซล (ก) และสำหรับกลีเซอรอล (ข)	48
3.10	ปั้มน้ำหล่อเย็น	48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.11	ถังใบ โอดีเซล(ก) และถังกลีเซอรอล(ข).....	49
3.12	สีของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนไตรต (ซ้าย) และหลังการไตรเตรต (ขวา).....	51
3.13	ถังสารละลายของระบบผลิตใบ โอดีเซลชุมชน	53
3.14	โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการผลิตใบ โอดีเซล	54
3.15	เมทานอลที่ใช้ในการผลิตใบ โอดีเซล.....	54
3.16	การติดตั้งกับระบบผลิตใบ โอดีเซล.....	56
3.17	ผังการทำงานของระบบควบคุม	56
3.18	อุปกรณ์การทดลอง	57
3.19	ผังการทำงานของระบบควบคุมเมทานอล	59
3.20	อุปกรณ์การทดลอง	61
3.21	ถังโพลีเอทิลีนขนาด 35 ลิตร สำหรับกลีเซอรอล	63
4.1	ปริมาณเมทานอลสะสมจากใบ โอดีเซลเมื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่.....	65
4.2	ปริมาณเมทานอลสะสมจากกลีเซอรอลเมื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่.....	66
4.3	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากการควบคุมของไอเมทานอลในแต่ละ อัตราการใช้ของน้ำหล่อเย็น	67
4.4	ความดันตกคร่อมอุปกรณ์ควบคุม.....	69
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทานอลสะสมกับอุณหภูมิของใบ โอดีเซล	70
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราระเหยของเมทานอลกับอุณหภูมิของใบ โอดีเซล..	71
4.7	การเปรียบเทียบมูลค่าเมทานอลกับต้นทุนค่าไฟฟ้าในแต่ละ 3 นาที	72
4.8	อัตราส่วน MR/EC	73
4.9	ปริมาณเมทานอลสะสม	80
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราระเหยของเมทานอลกับอุณหภูมิกลีเซอรอล	81
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราระเหยของเมทานอลกับอุณหภูมิใบ โอดีเซล	80
4.12	อัตราส่วน MR/EC ตลอดการควบคุม	83
4.13	อัตราส่วน MR/EC ในแต่ละช่วงเวลา 3 นาที ของการควบคุม	83

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	ค่า <i>PP</i> ในแต่ละกรณี	92
4.15	ค่า <i>IRR</i> ในแต่ละกรณี	93
4.16	ค่า <i>PI</i> ในแต่ละกรณี	94

บทที่ 1

บทนำ

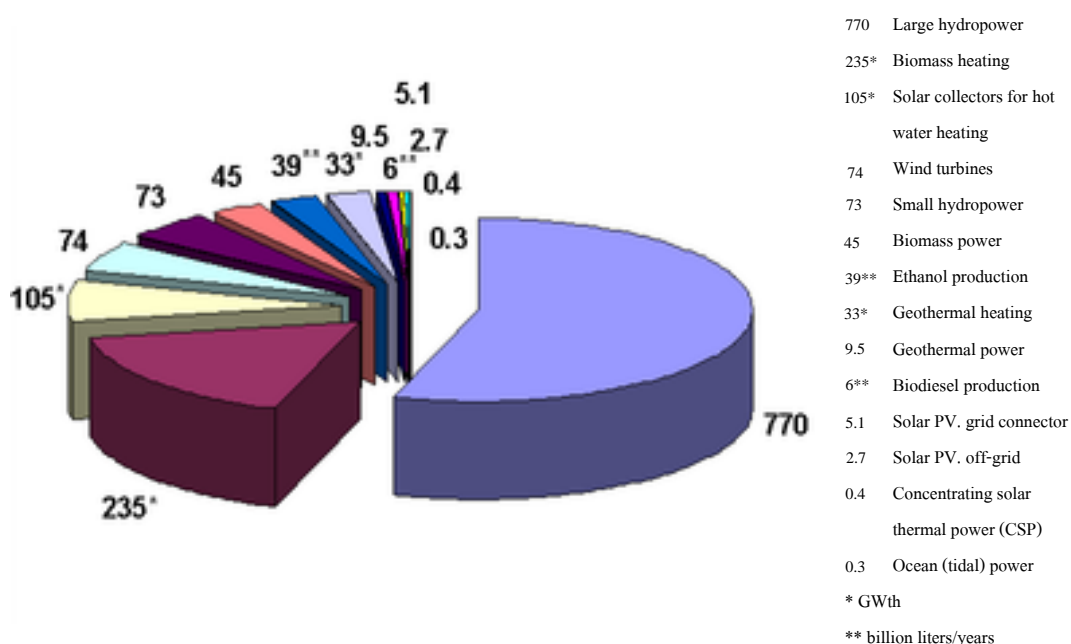
ปัจจุบันอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น จีน อินเดีย ซึ่งมีประชากรมากเป็นอันดับต้นของโลก มีการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ และการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ปัจจัยพื้นฐานของการพัฒนาดังกล่าวก็คือเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งกำลังลดลงเรื่อยๆ จากการประเมินปริมาณเชื้อเพลิงสำรองของโลกกับอัตราการใช้ในปัจจุบัน น้ำมันเชื้อเพลิงจะหมดลงภายใน 41 ปี เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติภายใน 63 ปี และถ่านหินภายใน 218 ปี (Pandey, 2009) ดังนั้นความต้องการใช้เชื้อเพลิงในอนาคตจึงสวนทางกับปริมาณสำรองที่มีอยู่ในโลกนี้ จากสภาวะดังกล่าวทำให้หลายประเทศวิตกเกี่ยวกับวิกฤตพลังงานที่จะเกิดขึ้น จึงพยายามลดการพึ่งพาแหล่งเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด และพยายามคิดค้นเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถพึ่งพาได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

1.1 พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทนโดยทั่วไปหมายถึง พลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ และสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น ความร้อนจากใต้พิภพ และพลังงานจากกระบวนการชีวภาพ ได้แก่ บ่อก๊าซชีวภาพ เป็นต้น พลังงานทดแทนจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการแปลง ปรับปรุง เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุด จำเป็นจะต้องมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการที่เหมาะสม ตลอดจนการส่งเสริมการใช้แก่ประชาชน ให้เกิดการยอมรับและเกิดการใช้อย่างต่อเนื่อง

เนื่องจากวิกฤตพลังงานดังที่ได้กล่าวมา ประเทศต่างๆ ได้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน ลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล และแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ที่ยั่งยืนกว่า เพื่อประกันความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ

สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนของโลกดังแสดงในรูปที่ 1.1 พลังงานจากการกักเก็บน้ำขนาดใหญ่เช่น เขื่อน เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งผลิตพลังงานที่ใช้มากที่สุด รองลงมาเป็นแหล่งพลังงานจากการกักเก็บน้ำขนาดเล็ก แหล่งพลังงานทดแทนสองอันดับแรกเป็นแหล่งพลังงานจากการสร้างเขื่อน ซึ่งในปัจจุบันการสร้างเขื่อนเป็นทางเลือกที่ไม่ยอมรับในด้านของผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศของสัตว์ป่า เนื่องจากพื้นที่ป่าจำนวนมากต้องสูญหายไปเพื่อเป็นพื้นที่กักเก็บน้ำ ดังนั้นปริมาณของพลังงานที่ได้จากพลังงานน้ำทั่วโลกมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น การพิจารณาพลังงานทดแทนจากแหล่งอื่นที่มีศักยภาพในอนาคตเป็นสิ่งสำคัญ กลุ่มของแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้ได้คือกลุ่มของแหล่งพลังงานที่ได้มาจากพืช โดยเฉพาะน้ำมันที่ได้จากพืช โดยมีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 แต่อุปสรรคสำคัญสำหรับกลุ่มพลังงานดังกล่าวก็คือความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาดกับแหล่งเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่สูง จึงทำให้ขาดความน่าสนใจ แต่ในปัจจุบันได้ทำการพัฒนาวิธีการต่างๆ เพื่อลดต้นทุน เช่นการสนับสนุนของรัฐบาลในการปลูกพืช เพื่อจุดประสงค์ทางด้านพลังงาน มีการพัฒนา วิจัย ในการลดต้นทุนกระบวนการผลิต เพื่อให้มีศักยภาพในการแข่งขันกับเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนทางด้านการขนส่ง แหล่งพลังงานที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ (Biofuels) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 แหล่งพลังงานจากชีวมวล มีที่มาจากพืชจึงมีความยั่งยืนกว่า ทำให้เป็นแหล่งพลังงานที่มีความน่าสนใจ

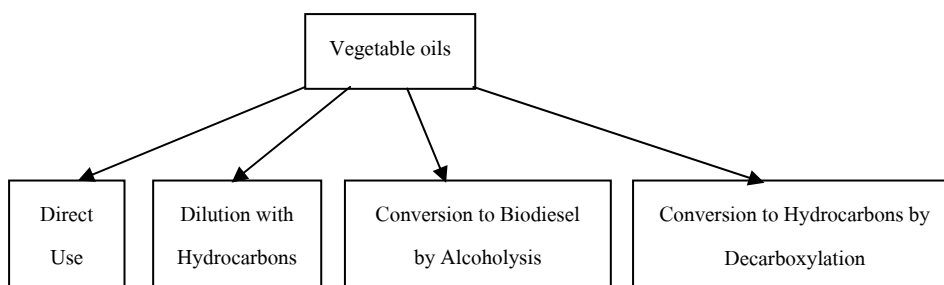


รูปที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในปี ค.ศ. 2006 (<http://www.wikipedia.org>, 2008)

ปัจจุบันแหล่งเชื้อเพลิงทดแทนเหลวที่ได้รับความสนใจ (Pandey, 2009) มีทั้งหมด

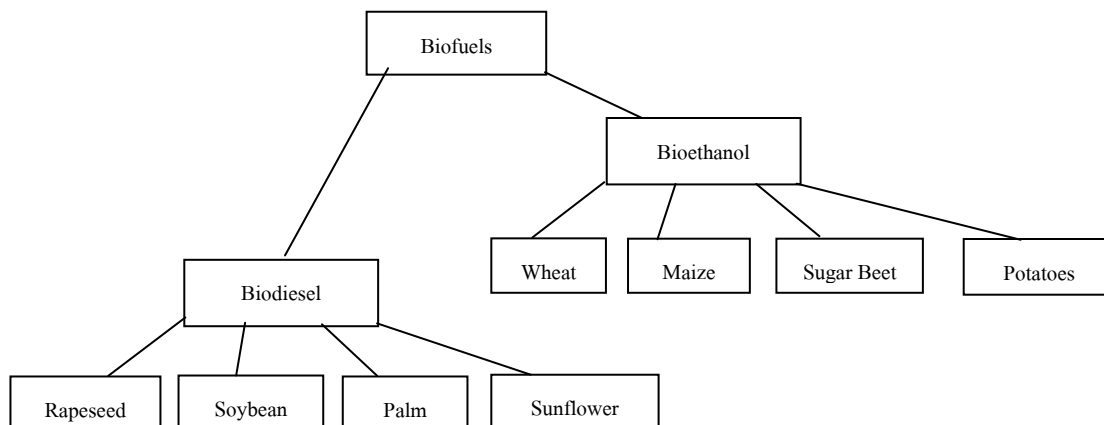
3 ส่วนคือ

1. น้ำมันพืชและไบโอดีเซล
2. แอลกอฮอล์
3. น้ำมันชีวภาพและน้ำมันสังเคราะห์



รูปที่ 1.2 การผันการนำน้ำมันพืชไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

ไบโอดีเซลเป็นหนึ่งในแหล่งเชื้อเพลิงทดแทนเหลวที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากวัตถุดิบในการผลิตเป็นน้ำมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ จึงสามารถจัดหาวัตถุดิบได้ง่าย เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนน้ำมันดีเซล ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ หรือใช้โดยการผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และจากผลการศึกษาไอเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง หรือน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ผสมไบโอดีเซล มลพิษจากไอเสียจะมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (Sharma et al., 2008)

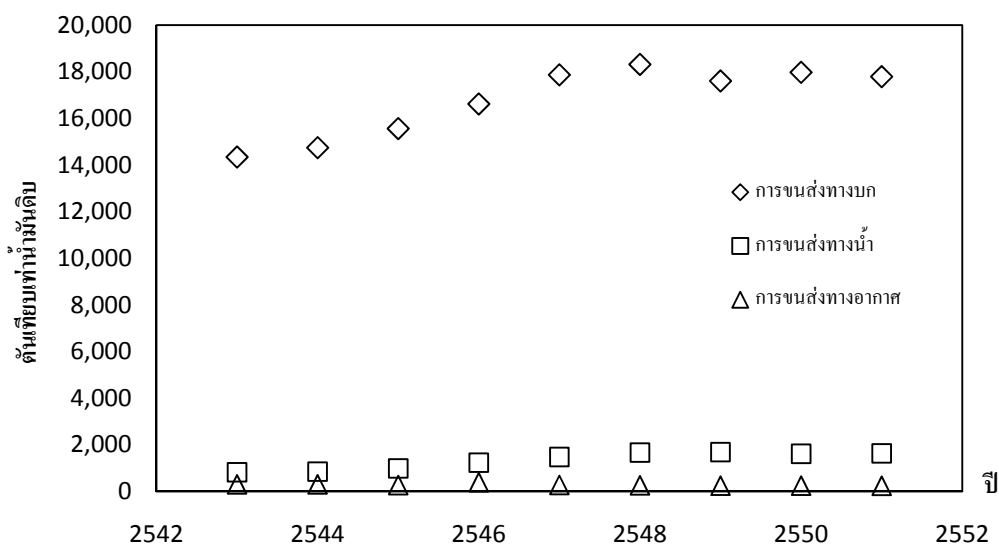


รูปที่ 1.3 แหล่งพลังงานทดแทนสำหรับยานยนต์

1.2 ไบโอดีเซลในประเทศไทย

ประเทศไทยมีความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทดแทน ภายหลังจากเกิดวิกฤตพลังงาน โดยเฉพาะเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา รัฐบาลได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทดแทนของประเทศ ลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิลจากต่างประเทศ จากรูปที่ 1.4 จะเห็นว่าปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ภายในประเทศส่วนใหญ่ใช้ในการขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคมนาคมขนส่งทางถนนมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุด และมีอัตราการใช้เพิ่มมากขึ้นทุกปี ดังนั้นแหล่งพลังงานทดแทนในส่วนแรกที่น่าสนใจจึงเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ในการขนส่งทางถนน เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ

ประเภทการขนส่ง	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551
การขนส่งทางบก	14,342	14,743	15,561	16,617	17,865	18,312	17,602	17,973	17,788
- ทางถนน	14,244	14,638	15,442	16,509	17,767	18,209	17,499	17,868	17,684
- ทางรถไฟ	98	105	119	108	98	103	103	105	104
การขนส่งทางน้ำ	824	851	987	1,236	1,480	1,670	1,689	1,618	1,634
- ภายในประเทศ	60	57	65	70	79	67	63	53	66
- ต่างประเทศ	764	794	922	1,166	1,401	1,603	1,626	1,565	1,579
การขนส่งทางอากาศ	306	307	275	396	281	265	249	253	245
- ภายในประเทศ	2,550	2,731	2,813	2,678	3,186	3,244	3,445	3,778	3,602
- ต่างประเทศ	18,022	18,632	19,636	20,927	22,812	23,491	22,985	23,622	23,280

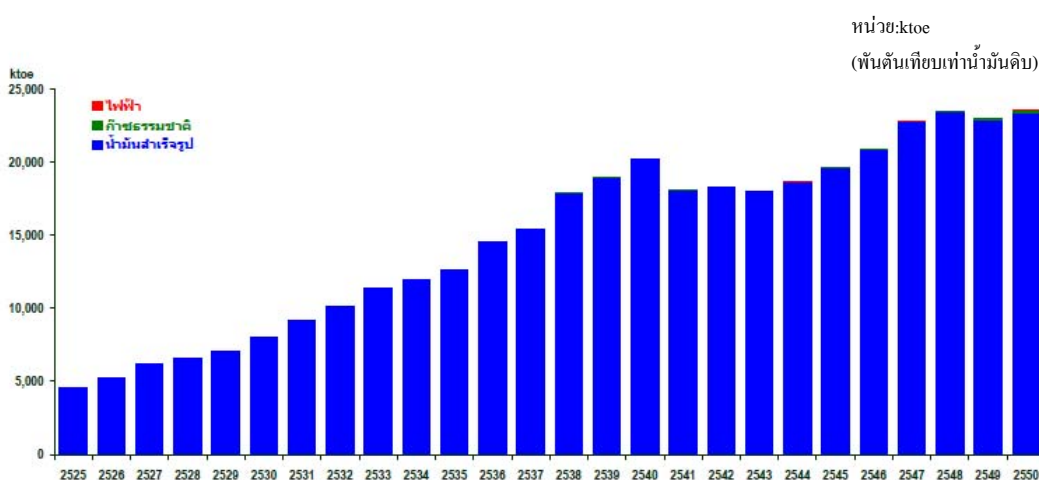


รูปที่ 1.4 ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการคมนาคมขนส่ง แยกตามประเภทการขนส่ง

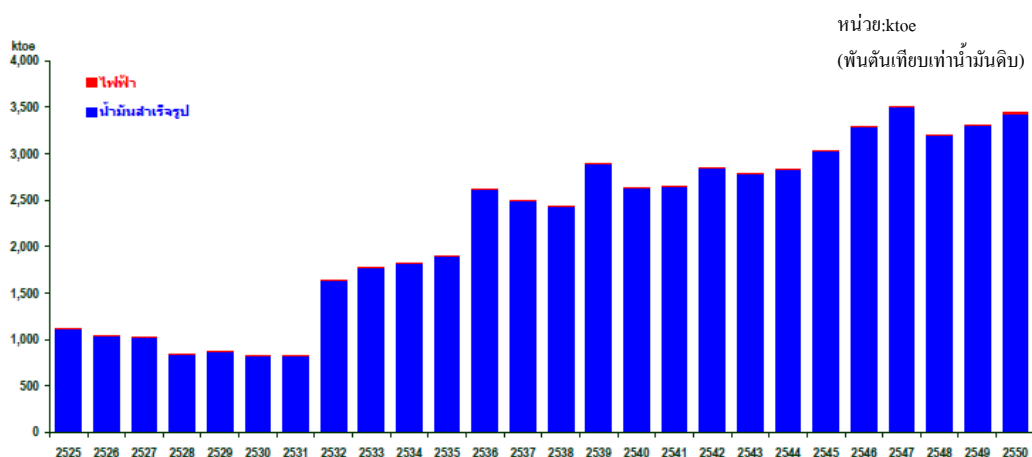
(<http://www.dede.go.th>, 2008)

เชื้อเพลิงหลักในการขนส่งทางถนนคือน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งปัจจุบันราคาก็ได้เพิ่มสูงขึ้น และคาดการณ์ว่าราคาจะเพิ่มสูงต่อไปอีก เนื่องจากความต้องการใช้ที่เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณน้ำมันสำรองของโลกที่ลดลง และจากสถิติการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งที่สูงขึ้นภายในประเทศ ทำให้เชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลได้รับความสนใจเพิ่มเป็นลำดับ

ไบโอดีเซลซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่เป็นเชื้อเพลิงหลักในภาคขนส่งและภาคการเกษตรของประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.6 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเป็นน้ำมันพืช ซึ่งมาจากธรรมชาติโดยตรง มีความสะดวกต่อการจัดหา เกิดการยอมรับในการใช้งานได้ง่าย มีค่าความร้อนสูง มีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำ กลิ่นไม่รุนแรง สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ดังแสดงสารประกอบจากการเผาไหม้ในตารางที่ 1.1 สำหรับประเทศไทยมีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรม สามารถจัดหาวัตถุดิบภายในประเทศได้



รูปที่ 1.5 การใช้พลังงานภาคการขนส่ง (<http://www.dede.go.th>, 2008)



รูปที่ 1.6 การใช้พลังงานภาคการเกษตร (<http://www.dede.go.th>, 2008)

ตารางที่ 1.1 สารประกอบจากการเผาไหม้ไบโอดีเซลของเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล (Freidrich, 2004)

สารประกอบจากการเผาไหม้	B100	B20
Carbon Monoxide	-50%	-10%
Particulate Matter	-70%	-15%
Total Hydrocarbons	-40%	-10%
Sulfate emissions	-100%	-20%
Nitrogen Oxides	+9%	+2%
Methane	No change	No change

รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกต่างๆ โดยเฉพาะไบโอดีเซลที่ได้กำหนดให้มีการส่งเสริม กำหนดเป้าหมายปริมาณการใช้ชัดเจน ซึ่งคาดว่า ในปี พ.ศ. 2554 จะมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น 9.2 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย หรือทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ได้ประมาณ 7,530 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (<http://www.energy.go.th>, 2008) นอกจากนี้ พลังงานทดแทนยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานชีวมวลยังเป็นการนำเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในประเทศมาเพิ่มมูลค่าการใช้ ซึ่งเป็นการเพิ่มผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจให้แก่ชุมชนอีกด้วย โดยมีการส่งเสริมและสนับสนุนทั้งในด้านภาษี และการใช้มาตรการบังคับ รวมทั้งส่งเสริมให้มีการวิจัย และมีการประชาสัมพันธ์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น

ในปัจจุบันเอสเตอร์ (Ester) หรือที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในชื่อ ไบโอดีเซล (Biodiesel, B100) กำลังได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทั้งในภาคขนส่งและภาคการเกษตร (<http://www.energy.go.th>, 2008) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ปัจจุบันที่ผลต่างของราคา ระหว่างไบโอดีเซล กับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลของภาครัฐ และส่งเสริมการวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพของไบโอดีเซลที่มีอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีผู้สนใจมาใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น จากสถิติ เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2551 (<http://www.dede.go.th>, 2008) ดังที่แสดงในรูปที่ 1.7 ปริมาณการใช้ไบโอดีเซล ที่คิดเป็นปริมาณไบโอดีเซล B100 (ไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์) เป็นจำนวน 1,221,777 ล้านลิตรต่อวัน และจากสถิติย้อนหลังที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 เป็นต้นมา อัตราการใช้ไบโอดีเซลมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยกระทรวงพลังงานได้ตั้งเป้าหมายส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซล ให้ได้ 4 ล้าน

พ.ศ. 2550 กำหนดปริมาณเมทานอลจะต้องไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมทานอลมีผลทำให้จุดวาบไฟของไบโอดีเซลลดต่ำลง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าไบโอดีเซลที่มีปริมาณเมทานอลอยู่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถลดจุดวาบไฟจาก 170 องศาเซลเซียสให้น้อยกว่า 40 องศาเซลเซียสได้ (Knothe et al., 2005) ทำให้การจัดเก็บมีความยุ่งยากเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มต้นทุนแก่ผู้ผลิตในการเก็บรักษาให้มีความปลอดภัย การนำเมทานอลส่วนเกินกลับมาใช้ใหม่ทำให้ผู้ผลิตเกิดความมั่นใจเพิ่มขึ้นว่าไบโอดีเซลที่ได้หลังจากกระบวนการล้าง จะมีปริมาณเมทานอลไม่เกินจากข้อกำหนด และจากผลการทดสอบปริมาณเมทานอลที่ผสมในไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิตจากระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งมีการนำเมทานอลส่วนเกินกลับมาใช้ใหม่ โดยศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่ามีปริมาณเมทานอลเหลือเพียง 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 1.2 ราคาปาล์มน้ำมัน หน้าโรงงาน (บาทต่อกิโลกรัม) ของสำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร 27 มกราคม 2552 กับราคาจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในช่วงเวลาเดียวกัน

รายการ	26 ม.ค.52	23 ม.ค.52	ธ.ค.51	ม.ค.51
ปาล์มทะเลาะ คุณภาพ เปอร์เซ็นต์น้ำมัน (17 เปอร์เซ็นต์)	3.60-4.05*	3.60-3.90	3.06	6.05
น้ำมันปาล์มดิบ เกรดเอ ขายส่ง กทม.	24.00-24.25	24.00-24.25	20.32	35.98
น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล**	18.34	18.34	19.34	29.37

* ผลปาล์มมีปริมาณน้อย โรงสกัด บางโรงหยุดรับซื้อด้วยเป็นช่วงเทศกาลตรุษจีน ขณะที่โรงสกัด ที่เปิดรับราคาซื้อเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ

** www.shell.com/home/content2/thailand-th/shell_for_motorists/price_board/historyprice_1118.html

1.4 ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน

รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร และ Professor Michael Allen ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังแสดงในรูปที่ 1.8 ซึ่งเป็นระบบผลิตไบโอดีเซลแบบกะ (Batch) กำลังการผลิต 80 ลิตรต่อครั้ง แต่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 3 กะ มีกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่ยุ่งยาก และวัสดุของชุดผลิตที่มีราคาไม่สูง โดยถังที่ใช้เป็นภาชนะในระบบเป็นถังโพลีเอทิลีน ซึ่งมีราคาถูก หาซื้อได้ง่ายและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี กับไบโอดีเซล (Braton, 1982)

จุดประสงค์ของการสร้างระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เพื่อเป็นต้นแบบของระบบผลิตไบโอดีเซล เพื่อใช้ในชุมชน ส่งเสริมให้มีการผลิตและใช้ เพื่อลดต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ทั้งในภาค การเกษตรและขนส่ง จากข้อดีของการลงทุนสร้างระบบผลิตที่ไม่สูง จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้ ในการผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชน



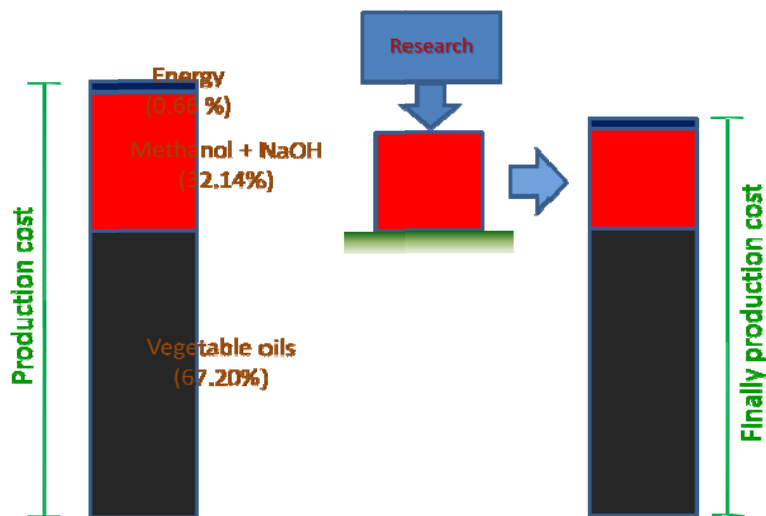
รูปที่ 1.8 ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน

ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ได้รับการพัฒนา วิจัย และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ทั้ง ในส่วนของการปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลที่ได้จากระบบ และในส่วนของการลดต้นทุนการ ดำเนินงาน เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพและไบโอดีเซลที่ผลิตมีคุณภาพสูงสุด สำหรับผลการวิจัย เกี่ยวกับต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนที่ผ่านมา (Suwanmanee, 2006) ต้นทุนหลักมีด้วยกัน 3 ส่วน ได้แก่ น้ำมันพืช สารเคมี และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (เช่น ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 67.20, 32.14 และ 0.66 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนทั้ง สามส่วนดังกล่าว เมทานอลซึ่งรวมอยู่ในส่วนของสารเคมี เป็นส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีเมทานอลส่วนเกิน ผสมอยู่ในไบโอดีเซลและกลีเซอรอล ภายหลังจากขั้นตอนการทำ ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยเมทานอลในส่วนที่ผสมกับไบโอดีเซล จะละลายกับน้ำใน ขั้นตอนของการล้างไบโอดีเซล และในส่วนที่ผสมกับกลีเซอรอลจะถือเป็นของเสียจากระบบ จาก

ผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า สภาพการทำงานที่เหมาะสม ของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน อัตราส่วนโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันพืชเท่ากับ 6:1 และจำนวนแคตตาลิสต์ (โซเดียมไฮดรอกไซด์, NaOH) เท่ากับ 5 กรัมต่อลิตรน้ำมันพืช ซึ่งจะได้ผลสุทธิของไบโอดีเซล (Yield) 99.29 เปอร์เซ็นต์ ตามสภาพที่ได้กล่าวมานี้ ต้นทุนของการผลิตเฉลี่ยต่อลิตรในการผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 18.44 บาท แต่ต้นทุนนี้อาจมีความไม่แน่นอน เนื่องจากราคาวัตถุดิบในท้องตลาดมีการเปลี่ยนแปลง

1.5 ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล

เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ต้นทุนหลักในการผลิตไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ 1. ต้นทุนวัตถุดิบน้ำมันพืชใช้แล้ว หรือน้ำมันพืช 2. สารเคมี ได้แก่ เมทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 3. พลังงานที่ใช้ ได้แก่ ค่า น้ำ ค่าไฟฟ้า การพิจารณาคัดต้นทุนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น ต้นทุนด้านวัตถุดิบ จะขึ้นอยู่กับราคาขายในท้องตลาด ตลอดจนความยากง่ายในการหาวัตถุดิบในแต่ละพื้นที่ ผู้ผลิตไม่สามารถที่จะควบคุมราคาของวัตถุดิบได้ แต่ผู้ผลิตสามารถที่จะเลือกประเภทของน้ำมันที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบได้ โดยทั่วไป สำหรับทางภาคใต้ของไทย วัตถุดิบที่ใช้คือ น้ำมันปาล์มดิบ กับน้ำมันพืชใช้แล้ว แต่น้ำมันปาล์มดิบจะมีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) สูง จึงจำเป็นที่จะต้องทำการลดกรดของน้ำมันปาล์มดิบก่อนที่จะทำปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (กิตติศักดิ์, 2549) จากขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นเช่นกัน จากหลายๆผลการวิจัย พบว่าค่ากรดไขมันอิสระ ควรมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (Liu et al., 2008; Rashid and Anwar, 2008; Kulkarni et al., 2007) ซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ที่โดยส่วนใหญ่จะมีค่ากรดไขมันอิสระน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า ในส่วนของต้นทุนด้านพลังงาน ได้แก่ ค่าน้ำและค่าไฟฟ้า เมื่อเทียบกับต้นทุนทั้งหมดของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน จะเท่า 0.66 เปอร์เซ็นต์ (Suwanmanee, 2006) ซึ่งการลดต้นทุนในส่วนนี้จะไม่ส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตโดยรวมอย่างเห็นได้ชัด ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันวัตถุดิบ เลือกใช้เมทานอลเนื่องจากมีราคาถูกที่สุดในกลุ่มของแอลกอฮอล์ ซึ่งในกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน จำเป็นจะต้องใช้เมทานอลมากกว่าทางทฤษฎี หรือเรียกว่าเมทานอลส่วนเกิน จึงทำให้มีศักยภาพที่จะนำเมทานอลส่วนเกินกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดต้นทุนการผลิต ในส่วนของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะขึ้นอยู่กับค่ากรดไขมันอิสระ กับปริมาณแคตตาลิสต์ สัดส่วนของต้นทุนการผลิตของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ได้แสดงในรูปที่



รูปที่ 1.9 สัดส่วนของต้นทุนการผลิตของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน

1.6 เมทานอล

เมทานอลเป็นสารเคมีที่มีใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสารเคมี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1800 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากก๊าซธรรมชาติ ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคมีต่างๆ รวมทั้งเป็นสารเคมีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์สี พลาสติก และนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ (American Methanol Institute, 1999) เมทานอลเป็นสารเคมีในกลุ่มของแอลกอฮอล์ที่มีราคาถูก จึงนิยมนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืช ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จากผลการศึกษา (Van Gerpen et al., 1996) โดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโมลของแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์หรือน้ำมันพืช ตั้งแต่ 3:1 ซึ่งเท่ากับทฤษฎี จนถึง 30:1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทำปฏิกิริยาและผลสุทธิต่อของไบโอดีเซลที่ได้ (rate of reaction and conversion yield) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดเมื่อสัดส่วน โมลเท่ากับ 6:1 ไบโอดีเซลสุทธิต่อกับ 98.4 เปอร์เซ็นต์ หลังจากช่วงสูงสุดไบโอดีเซลสุทธิมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง และเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่สัดส่วน โมลเท่ากับ 30:1 และจากผลการศึกษาในลักษณะเดียวกันเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล (Issariyakul et al., 2006; Rashid and Anwar, 2008) สัดส่วนโมลระหว่างเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเท่ากับ 6:1 เช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณเมทานอลส่วนเกินเป็นส่วนจำเป็นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่มีการนำเมทานอลส่วนเกินดังกล่าวกลับมาใช้ จะเป็นการสูญเสีย

ผลตอบแทนที่สามารถลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนยังไม่มีเมทานอลส่วนเกินนี้กลับมาใช้

ในส่วนของงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบ และสร้างกระบวนการสำหรับการนำเมทานอลส่วนเกินกลับมาใช้ใหม่ (Methanol recovery) เพื่อเป็นวัตถุดิบอีกครั้ง ตามทฤษฎีที่จะได้กล่าวต่อไป ในขั้นตอนของกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน จะต้องใช้เมทานอลส่วนเกิน จากหลายๆผลการวิจัย พบว่าสัดส่วนโมลระหว่างเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์เท่ากับ 6:1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์เมทานอลส่วนเกินโดยน้ำหนักจากทางทฤษฎี จะได้ผลสุทธิของไบโอดีเซลมากที่สุด (Issariyakul et al., 2006; Rashid and Anwar, 2008) ซึ่งก็สอดคล้องกับสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน มีสองส่วนคือ ไบโอดีเซลดิบ (Crude biodiesel) และ กลีเซอรอล (Glycerol) ทั้งสองส่วนจะมีเมทานอลส่วนเกินผสมอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในขั้นตอนของการผลิตได้ การแยกเมทานอลส่วนเกินที่ละลายผสมอยู่กับไบโอดีเซลดิบและกลีเซอรอล จะใช้วิธีการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ทั้งสอง เพื่อให้เมทานอลเกิดการระเหยกลายเป็นไอ จากนั้นก็จะทำการควบแน่นไอ เพื่อให้กลายเป็นของเหลวอีกครั้ง ระดับอุณหภูมิที่ให้แก่ผลิตภัณฑ์ทั้งสองเป็นสิ่งสำคัญสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากภาชนะที่จะใช้กับระบบควบแน่นเมทานอลทั้งหมดเป็นถึงโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ซึ่งไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงมากได้ รวมถึงการประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินความคุ้มค่าหากมีการนำระบบควบแน่นเมทานอล มาใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน โดยการนำข้อมูลต้นทุนในการสร้างระบบควบแน่น ข้อมูลต้นทุนในการดำเนินการ และมูลค่าของเมทานอลที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการพิจารณา

1.7 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราการควบแน่นของเมทานอล จากอุปกรณ์ควบแน่น แบบ Shell and tube
2. ออกแบบชุดควบแน่นเมทานอลสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน
3. ศึกษาอัตราการให้ความร้อนกับอัตราการระเหยของเมทานอลที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น เพื่อควบแน่นเมทานอลให้ได้มากที่สุด จากชุดควบแน่นที่ได้ทำการออกแบบ
4. ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบ ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนที่มีกับไม่มีเมทานอลกลับมาใช้ใหม่

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล
2. ลดมลพิษ เนื่องจากเมทานอลที่ระเหยออกไปเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
3. ส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน

1.9 ขอบเขตของการวิจัย

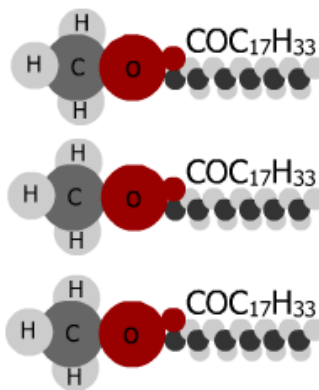
1. ออกแบบอุปกรณ์ควบแน่นแบบ Shell and tube ที่มีความเหมาะสมกับระบบผลิตไบโอดีเซล ชุมชนขนาด 80 ลิตรต่อครั้ง
2. ทำการควบแน่นเมทานอลที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่โดยจะแยกออกเป็น 2 ส่วน ด้วยกัน คือส่วนที่ผสมอยู่กับกลีเซอรอล และส่วนที่ผสมอยู่กับไบโอดีเซลดิบ

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ไบโอดีเซล

สมาคม ASTM (The American Society for Testing and Materials) ได้กำหนดความหมายของไบโอดีเซลคือ เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (monoalkyl Ester) แบบโซ่ยาวของกรดไขมันเช่นที่ได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ การทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอมิลแอลกอฮอล์ โดยส่วนใหญ่จะเลือกใช้เมทานอล เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชที่ต่ำกว่า และมีลักษณะโครงสร้างโซ่สั้นที่สุดในกลุ่มของแอลกอฮอล์ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ก็น้อยกว่า อีกทั้งมีราคาถูกกว่าแอลกอฮอล์ชนิดอื่น (เอทานอล บิวทานอล) การทำปฏิกิริยาจะทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกรดไขมัน ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้มีลักษณะเป็นแบบ โซ่ตรง (straight chain) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียมมาก โดยรูปที่ 2.1 แสดงภาพจำลองของโครงสร้างไบโอดีเซล



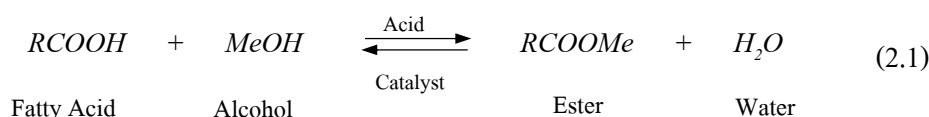
รูปที่ 2.1 ภาพจำลองของ โครงสร้างไบ โอดีเซล (<http://www.biodiesel.com>, 2008)

2.2 การผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซล สามารถแบ่งการปฏิกิริยาทางเคมีได้ 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน และปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

2.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

เป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ ระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด โดยทั่วไปจะใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCL) หรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน ที่ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาไม่เกินอุณหภูมิจุดเดือดของเมทานอล จึงต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานเพื่อให้ได้เอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ซึ่งจะใช้กระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชันในกรณีที่ค่ากรดไขมันอิสระสูงและต้องการลดค่ากรดไขมัน เพื่อช่วยให้การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันให้กลายเป็นเอสเทอร์ได้สมบูรณ์ โดยกระบวนการนี้เป็นการทำปฏิกิริยาของกรดไขมันหรือหมู่ R โดยตรง ผลผลิตที่ได้คือเอสเทอร์ซึ่งไม่มีความสมบูรณ์ (เอสเทอร์ผสมไตรกลีเซอไรด์) กับน้ำ ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

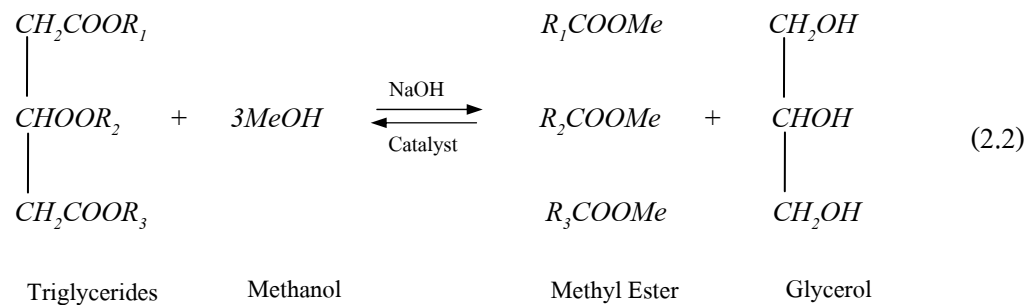


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงต้องมีการดึงน้ำออก เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไปทางด้านขวาเพื่อเพิ่มผลที่ได้ของเอสเทอร์ แต่ส่วนใหญ่จะนำเอสเทอร์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อเพิ่มความสำเร็จของเอสเทอร์ ให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด เพื่อลดผลเสียต่อเครื่องยนต์

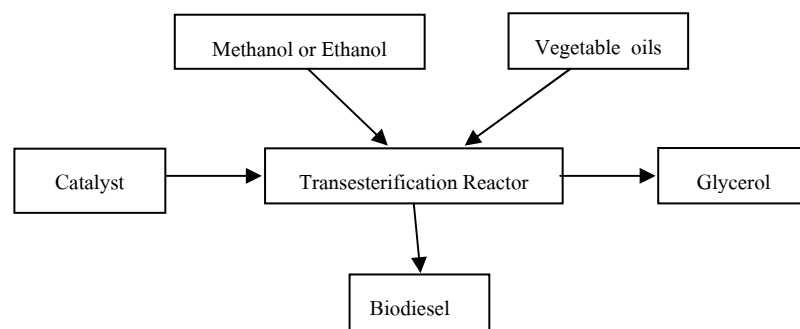
2.2.2 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

เป็นปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ คือการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ เพื่อให้เกิดเป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือที่เรียกว่าการส่งผ่านปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเป็นลำดับโดยเริ่มจากไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นกลีเซอรอลตามลำดับ ซึ่งแต่ละลำดับจะได้เอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ผังการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันดังแสดงในรูปที่ (2.2) ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์จะเรียกตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์ที่ได้นี้มีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมาก ในกรณีที่แอลกอฮอล์เป็นเมทานอล ผลผลิตของปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือ เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลดังแสดงในสมการที่ (2.2)



ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาสมดุล ถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาดำเนินไปทางขวาทำได้โดยใช้แอลกอฮอล์ที่มากกว่าทางทฤษฎี (Suwanmanee, 2006; Issariyakul et al., 2006; Van Kasteren, 2007) ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาข้างต้นจะเป็นปฏิกิริยารวม ซึ่งจะประกอบด้วยการผันกลับต่อเนื่อง คือ จากไตรกลีเซอไรด์เป็นไดกลีเซอไรด์ และต่อมาเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และสุดท้ายได้กลีเซอรอล การใช้เมทานอลที่มากกว่าทางทฤษฎี 100 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลทางทฤษฎี ซึ่งจะให้อัตราการเปลี่ยน (Conversion rate) สูง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง โดยทั่วไปนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงการทำปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อให้เวลาที่เพียงพอปฏิกิริยาจะดำเนินไปจนสมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะอยู่ในช่วง 60-70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.2 การผังการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

2.2.3 คุณสมบัติไบโอดีเซล

เนื่องจากในปัจจุบันมีการจำหน่าย และใช้ไบโอดีเซลอย่างกว้างขวาง เพื่อประโยชน์ในการกำกับดูแลคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับผู้บริโภค กรมธุรกิจพลังงานจึงได้กำหนดมาตรฐานเพื่อประโยชน์ในการกำกับดูแลและตรวจสอบผู้ประกอบการภายในประเทศ ที่มีการจำหน่าย และสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

จากข้อกำหนดตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ปริมาณเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลจะต้องไม่เกิน 0.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเมทานอลที่เหลือดังกล่าวมาจากเมทานอลส่วนเกินที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนเมทานอลที่เหลือจะถูกละลายไปกับน้ำในขั้นตอนของการล้าง หากมีการใช้ปริมาณเมทานอลส่วนเกินจำนวนมาก กระบวนการล้างก็จำเป็นที่จะต้องใช้น้ำในจำนวนที่เพิ่มขึ้น แต่หากระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนมีการนำเมทานอลส่วนเกินไปใช้ก่อนกระบวนการล้าง ก็จะสามารถลดการใช้น้ำในการล้างได้ในส่วนหนึ่ง และเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นให้แก่ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนว่าปริมาณเมทานอลที่เหลืออยู่จะไม่เกินข้อกำหนด

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

พ.ศ. 2550 ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ *
1	เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ (Density at 15 °C,	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ (Viscosity at 40 °C,	เซนติสโตกส์ cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ (Flash Point,	องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน
พ.ศ. 2550 ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 (ต่อ)

5	กำมะถัน (Sulphur,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue , on 10 % distillation residue, %wt)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ (Water,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total Contaminate,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation Stability at 100 °C,	ชั่วโมง hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด กรัม (Acid Value ,	มิลลิกรัม โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์/ กรัม mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน (Iodine Value ,	กรัมไอโอดีน/ 100 กรัม g Iodine / 100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลินolenic เมทิลเอสเตอร์ (Linolenic Acid Methyl Ester ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล (Methanol,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน

พ.ศ. 2550 ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 (ต่อ)

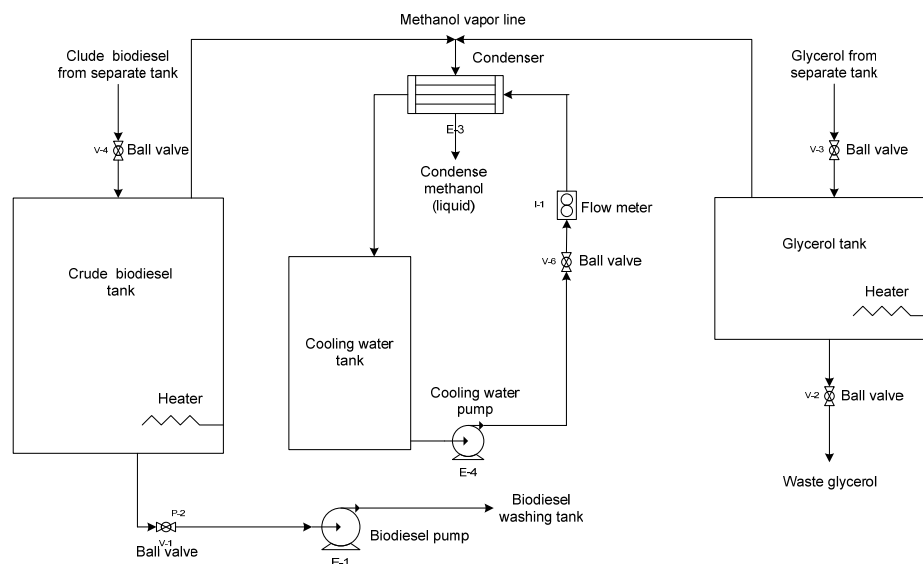
18	ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโปแตสเซียม) (Group I metals (Na+K), mg/kg) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (Group II metals (Ca+Mg), mg/kg)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ไม่สูงกว่า ไม่สูงกว่า	5.0 5.0	EN 14108 และ EN 14109 pr EN 14538
23	ฟอสฟอรัส (Phosphorus,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

*วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้

2.3 ระบบควบแน่นเมทานอล

ระบบผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่จะมีระบบควบแน่นเมทานอล เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยทั่วไปไบโอดีเซลหลังจากการแยกชั้นจะมีเมทานอลผสมอยู่ประมาณ 2 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หรือมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลส่วนเกินที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (Knothe et al., 2005) จากปริมาณของเมทานอลดังกล่าวทำให้คุ้มค่าต่อการลงทุนสร้างระบบเมื่อมีปริมาณการผลิตไบโอดีเซลปริมาณมาก วิธีส่วนใหญ่ในการแยกเมทานอลออกจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอลคือการลดความดัน และเมทานอลที่ยังเหลือในไบโอดีเซลภายหลังการแยกจะถูกกำจัดออกในกระบวนการล้างส่วนในกรีเซอรอลจะถูกกำจัดออกไป หากต้องการทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์

ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนเป็นระบบผลิตขนาดเล็กซึ่งไม่มีระบบควบแน่นเมทานอล และระบบควบแน่นเมทานอลส่วนใหญ่เป็นระบบปิดเพื่อต้องการลดความดัน ให้เมทานอลเกิดการระเหย ต้นทุนที่ใช้รวมถึงอุปกรณ์ของระบบจะต้องมีการลงทุนสูง ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในระดับชุมชนระบบดังกล่าวจึงยังไม่มี ความเหมาะสม ดังนั้นระบบควบแน่นที่ได้ ออกแบบจึงใช้วิธีการให้ความร้อน เพื่อใช้ในการระเหยเมทานอลส่วนเกินที่ผสมในไบโอดีเซลกับ กกลีเซอรอลและควบแน่นภายในอุปกรณ์ควบแน่น และเลือกใช้ถัง โพลีเอทิลีน เป็นถังบรรจุไบโอดีเซลและกกลีเซอรอล เพื่อลดต้นทุนในการสร้างระบบ เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูก โดยแสดงผังการทำงานของระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้ออกแบบในรูปแบบที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผังการทำงานของระบบควบแน่นเมทานอล

2.3.1 อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser)

อุปกรณ์ที่มีลักษณะการจัดวางท่อทั้งหมดอย่างเป็นระเบียบ สำหรับการแลกเปลี่ยน ความร้อนเพื่อให้เกิดการควบแน่นของไอหรือเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลว เรียกว่า อุปกรณ์ควบแน่น ไอมะทานอลที่ระเหยจากไบโอดีเซลและกกลีเซอรอล จะต้องทำให้เกิดการ ควบแน่นกลายเป็นของเหลว เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ต่อไป หน้าที่ของอุปกรณ์ควบแน่นจะต้อง สามารถถ่ายเทความร้อนแฝงจากการควบแน่นของไอได้ในอัตราที่ต้องการ รูปแบบการระบายความ ร้อนเพื่อให้เกิดการควบแน่นโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ การใช้ของเหลวและการใช้อากาศในการ

ระบายความร้อน ข้อดีของการระบายความร้อนด้วยของเหลวคือสามารถถ่ายความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ควบคุมอัตราการไหลได้ง่าย ดังนั้นระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบจึงเลือกใช้ของเหลวในการพาความร้อนจากการควบแน่น โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง

การออกแบบอุปกรณ์ควบแน่น เป็นสิ่งที่ละเอียดอ่อน อุปกรณ์จะต้องสามารถถ่ายความร้อนในอัตราที่ต้องการได้ ในกรณีนี้คือสามารถถ่ายเทความร้อนจากการควบแน่นของไอที่ไหลเข้าอุปกรณ์ได้อย่างเพียงพอ เพื่อให้เกิดการควบแน่นทั้งหมด ผลกระทบในกรณีที่มีการถ่ายเทความร้อนไม่เพียงพอ อุณหภูมิของพื้นผิวที่ไอสัมผัสเพื่อให้เกิดการควบแน่นจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของไอที่ไหลเข้ามา ทำให้มีไอบางส่วนที่ไม่เกิดการควบแน่นออกมาสู่บรรยากาศพร้อมกับส่วนที่เกิดการควบแน่น ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือสารพิษจากไอเมทานอลต่อผู้ปฏิบัติงาน และสูญเสียเมทานอลที่สามารถนำกลับไปใช้และค่าที่ได้จากการออกแบบจะมีผลต่อเนื่องถึงต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์ การดำเนินงาน การบำรุงรักษา เป็นต้น การพิจารณาสามารถแบ่งปัญหาในการออกแบบอุปกรณ์ควบแน่น ได้ 2 ส่วน คือปัญหาในส่วนของของไหลไหลภายในท่อ และปัญหาของของไหลไหลภายในเปลือกนอก (shell)

ปัญหาของของไหลไหลภายในท่อ เนื่องจากของไหลหล่อเย็นในการควบแน่นเมทานอลนั้น จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการหล่อเย็น รูปร่างของท่อที่ใช้มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม การคำนวณหาค่าความดันตกคร่อม สัมประสิทธิ์การถ่ายความร้อน ไม่มีความยุ่งยากมากนัก สามารถใช้สมการที่แนะนำจากหนังสือการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Kern, 1965) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ (2.3)

$$\Delta P_t = \frac{\rho_t v_t^2}{2} \left(\frac{L}{d_i} f_t + p \right) \cdot n \quad (2.3)$$

โดยที่	ΔP_t	คือ	Tube side pressure drop
	ρ_t	คือ	Fluid density
	v_t	คือ	Fluid velocity tube side
	L	คือ	Tubes length
	d_i	คือ	Tube inside diameter
	f_t	คือ	Darcy friction factor tube side
	p	คือ	Pumping power
	n	คือ	Number of tube passage

หรือสมการจาก *Heat exchanger design handbook* (Fraas, 1989) ดังแสดงในสมการที่ (2.4)

$$\Delta P_t = \frac{2f_t G_t^2 L \eta}{d_i \rho_t \left(\frac{\mu_t}{\mu_{tw}}\right)^{0.14}} \quad (2.4)$$

โดยที่	G_t	คือ	Tube side mass flow rate per unit cross section area
	μ_t	คือ	Tube inside fluid viscosity
	μ_{tw}	คือ	Tube inside fluid density

ความดันตกคร่อมอุปกรณ์ควบแน่น ในส่วนของของไหลที่ไหลภายในท่อนั้น จะขึ้นอยู่กับมิติของท่อและคุณสมบัติของของไหลเป็นสำคัญ รวมถึงของไหลในท่อนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อน ผลที่ได้จากการคำนวณตามสมการข้างต้นจึงมีความแม่นยำพอที่จะสามารถนำไปเป็นค่าสำหรับการออกแบบได้

ปัญหาของของไหลไหลภายในเปลือกนอก ของไหลจะประกอบด้วยสองสถานะ คือสถานะก๊าซกับของเหลว เริ่มต้นของไหลที่อยู่ในสถานะก๊าซไหลเข้ามา เมื่อสัมผัสกับผิวท่อที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดควบแน่น ก๊าซก็จะเกิดการควบแน่นกลายเป็นฟิล์มของเหลวที่เคลือบผิวท่อไว้ เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น ของเหลวก็จะหยดลงมาด้านล่างตามแรงโน้มถ่วง ปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกไป เพื่อให้เกิดการควบแน่นนั้น อย่างน้อยที่สุดจะต้องเท่ากับความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวของเมทานอล ค่าความร้อนดังกล่าวสามารถหาได้จากคุณสมบัติของเมทานอล โดยกำหนดให้การระเหยของเมทานอลเกิดที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 64.7 องศาเซลเซียส เท่ากับอุณหภูมิจุดเดือดของเมทานอล เมื่อทราบอัตราความร้อนที่ต้องการนำออกไป เพื่อให้เกิดการควบแน่นของไอทั้งหมด คำถามก็คือจะต้องใช้อุปกรณ์ควบแน่นขนาดพื้นที่เท่าไร เพื่อที่จะสามารถนำความร้อนออกได้ในอัตราที่ต้องการ ลักษณะของอุปกรณ์ควบแน่นที่ออกแบบจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะหากสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนสูงพื้นที่ที่ต้องการสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะลดลง

ขนาดของพื้นที่ผิวท่อสำหรับการถ่ายเทความร้อนเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้เพียงพอกับอัตราการไหลของไอที่ไหลมาควบแน่น ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนระหว่างไอกับพื้นผิวท่อภายในอุปกรณ์ควบแน่นจะเป็นลักษณะการพา (Convection) ความร้อนที่เกิดการแลกเปลี่ยนสามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)

$$Q = h_{avg} A \Delta T_{LMD} \quad (2.5)$$

โดยที่	Q	คือ	ความร้อนที่เกิดแลกเปลี่ยน
	h_{avg}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การพาเฉลี่ยทั้งอุปกรณ์ควบแน่น
	A	คือ	พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน
	ΔT_{LMD}	คือ	ผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิทึมระหว่างอุณหภูมิเข้า-ออกของน้ำหล่อเย็นเมทานอล

อุปสรรคสำคัญในการหาปริมาณความร้อนจากสมการที่ (2.5) ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การพาเฉลี่ยทั้งอุปกรณ์ควบแน่น เนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร รวมถึงลักษณะรูปร่างของอุปกรณ์ควบแน่น วิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการหาสัมประสิทธิ์การพา คือ Bell Delaware Method (Thome, 2004-2006) ดังแสดงในสมการที่ (2.6)

$$h_o = h_{ideal} J_c J_l J_b J_s J_r J_\mu \quad (2.6)$$

โดยที่	h_o	คือ	สัมประสิทธิ์การพาจริง
	h_{ideal}	คือ	สัมประสิทธิ์การพาในอุดมคติ
	J_c	คือ	Baffle cut correction factor
	J_l	คือ	Baffle leakage correction factor
	J_b	คือ	Bundle bypass correction factor
	J_s	คือ	Unequal baffle spacing correction factor
	J_r	คือ	Laminar flow correction factor
	J_μ	คือ	Wall viscosity correction factor

ผลคูณของแฟกเตอร์ทั้งหมด จะเป็นค่าแสดงถึงสัมประสิทธิ์การพาจริง ที่เบี่ยงเบนไปจากสัมประสิทธิ์การพาในอุดมคติน้อยเพียงใด ในกรณีที่ข้อมูลทางด้านรูปร่างของอุปกรณ์ควบแน่นมีจำกัด วิธีที่ยอมรับในการหาปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายเทภายในอุปกรณ์ควบแน่น คือ Kern Method (Kern, 1965) แต่ค่าความถูกต้องจะน้อยกว่า Bell Delaware Method

การออกแบบอุปกรณ์ควบแน่นแบบ shell and tube ที่มีการควบแน่นภายในเปลือกนอกนั้น จำเป็นที่จะต้องมีส่วนกั้น (Baffle) เพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน หากไม่มีแผ่น

กัน ไอที่เข้ามาภายในเปลือกจะไหลตามแนวยาวของท่อน้ำหล่อเย็น การไหลในลักษณะนี้ จะทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าการไหลแนวขวางกลุ่มท่อ (Kern, 1965) และเพื่อบังคับให้ไอเกิดการไหลขวางกลุ่มท่อน้ำหล่อเย็นดังกล่าว จึงจำเป็นจะต้องติดตั้งแผ่นกั้นเพื่อบังคับทิศทางการไหล หากมีการติดตั้งแผ่นกั้นที่มีความถี่มาก ก็จะยิ่งลดลักษณะการไหลตามยาวของกลุ่มท่อ และจะยิ่งเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน แต่ผลกระทบที่ตามมาเนื่องจากการติดตั้งแผ่นกั้นที่มีความถี่มากก็คือ เป็นการเพิ่มความดันตกคร่อมที่อุปกรณ์ควบแน่น เป็นอุปสรรคในการไหลของไอ และเป็นการเพิ่มต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์ควบแน่น ดังนั้นระยะห่างแผ่นกั้นที่พอเหมาะเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบ

การออกแบบอุปกรณ์ควบแน่นโดยทั่วไป จะอ้างอิงคำแนะนำระยะห่างของแผ่นกั้นจาก *Heat Exchanger Design Handbook*, HEDH (Kuppan, 2000) เพื่อใช้ในการออกแบบ ซึ่งอ้างอิงจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกนอก (D_s) ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $0.2D_s - D_s$ และจากการแนะนำของ Mukherjee (Mukherjee, 1998) ระยะห่างของแผ่นกั้นที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $0.3D_s - 0.6 D_s$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่แนะนำทั้งสอง เป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ห่างกันพอสมควร ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ได้แนะนำวิธีในการหาระยะห่างของแผ่นกั้นให้มีความเหมาะสมที่สุด

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา (Khalifeh et al., 2004) ได้เสนอวิธีในการหาค่าระยะห่างของแผ่นกั้นที่เหมาะสม โดยมีการกำหนด Objective function, F ดังแสดงในสมการที่ (2.7)

$$F = W_1 a_1 + W_2 a_2 \quad (2.7)$$

และกำหนด Weight factor, W_1 และ W_2 ดังแสดงในสมการที่ (2.8) ถึง (2.10)

$$W_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} \quad (2.8)$$

และ

$$W_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} \quad (2.9)$$

ในขณะที่

$$W_1 + W_2 = 1 \quad (2.10)$$

โดยที่	W_1 และ W_2	คือ	Weight factor
	a_1	คือ	ค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน

a_2 คือ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกำลังงานของปั๊ม

ค่า a_1 และ a_2 ดังกล่าวนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพื้นที่ โดยขึ้นอยู่กับ การสร้างและค่ากระแสไฟฟ้า ในส่วนของค่า W_1 ที่ใช้ในการออกแบบจะอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 และ สำหรับค่าที่เหมาะสมนั้น ค่าของ F จะมีค่าน้อยที่สุด ในการออกแบบอุปกรณ์ควบแน่นในการควบแน่นไอเมทานอลได้กำหนดค่า W_1 เท่ากับ 0.5

จากผลการศึกษาเดียวกันโดยใช้โปรแกรม Downhill Simplex Method in Multi-dimensions ได้สรุปถึงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติ $Re_s Pr_s exp(D_r/D_t)$ ที่สัมพันธ์กับค่า W_1 โดยจำกัดฟังก์ชันของค่า W_1 ที่กำลัง 3 จะได้ความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ควบแน่น type E ซึ่งเป็นแบบที่เลือกใช้ดังแสดงในสมการที่ (2.11)

$$Re_s Pr_s exp\left(\frac{D_r}{D_t}\right) = 185.12W_1^3 - 254.78 + 121.21W_1 + 788 \quad (2.11)$$

โดยที่	Re_s	คือ	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ของไอเมทานอล
	Pr_s	คือ	แฟลงคัมเบอร์
	D_r	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางอ้างอิง (reference diameter)
	D_t	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

เมื่อทราบค่าของกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เหมาะสมกับค่า W_1 ข้างต้นแล้ว ก็สามารถที่จะหาค่า Cross flow area, S_m จากสมการที่ (2.12)

$$Re_s = \frac{\dot{m}D_t}{\mu_s S_m} \quad (2.12)$$

โดยที่	\dot{m}	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของไอ
	μ_s	คือ	ค่าความหนืดจลน์ของไอ

และระยะห่างของแผ่นกั้น หาได้จากสมการที่ (2.13) และ (2.14)

$$L_{bc} = \frac{S_m}{L_{bb} + D_{cti}(1 - D_t/L_{tp})} \quad (2.13)$$

เมื่อ

$$D_{ctl} = D_s + L_{bb} + D_t \quad (2.14)$$

โดยที่	L_{bc}	คือ	ระยะห่างของแผ่นกั้น
	D_{ctl}	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมที่ผ่านจุดศูนย์กลางท่อวงนอกสุด
	L_{bb}	คือ	ระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางถึงภายในกับกลุ่มท่อ
	L_{tp}	คือ	ระยะพิทช์ของกลุ่มท่อ

จากเนื้อหาที่ผ่านมาสามารถสรุปวิธีการหาระยะห่างจากของแผ่นกั้นที่เหมาะสม ดังนี้

1. กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (tube diameter) เปลือกนอก (shell diameter) ระยะพิทช์ของท่อ (tube pitch) ระยะห่างภายในของเปลือกนอก กับกลุ่มท่อ (inside shell diameter to bundle clearance) ใช้ค่าที่กำหนด หรือแนะนำจาก HEDH

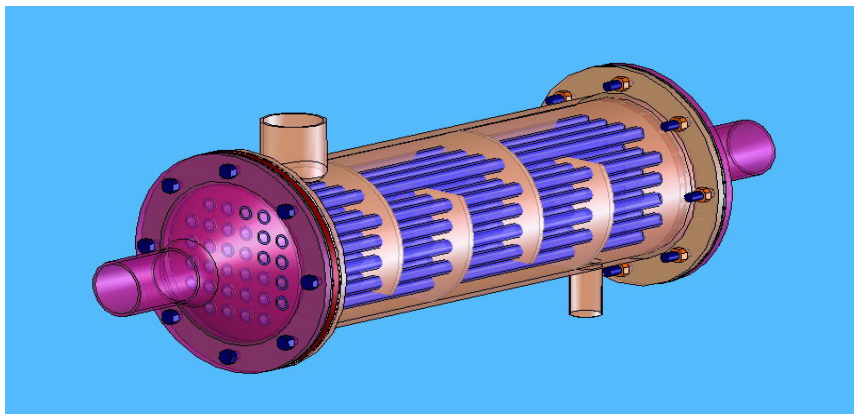
2. พิจารณาค่าที่เหมาะสมของ a_1 และ a_2 จากขั้นตอนของการสร้างอุปกรณ์ควบแน่น ต้นทุนของพลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ควบแน่น ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล และการตัดสินใจเพื่อความเหมาะสมตามหลักวิศวกรรม

3. หาค่าที่เหมาะสมของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ $Re_s Pr_s \exp(D_r/D_t)$

4. คำนวณหาค่า S_m จากสมการที่ (2.12)

5. คำนวณหาค่าระยะห่างที่เหมาะสมของแผ่นกั้น จากสมการที่ (2.13)

รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวกจากผลการคำนวณ พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.1185 m^2 ระยะห่างแผ่นกั้นเท่ากับ 29.8 mm อุปกรณ์ควบแน่นที่ได้จากการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ควบแน่นที่ได้จากการออกแบบ

2.3.2 ถังโพลีเอทิลีน (Polyethylene)

ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนใช้ถังโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นภาชนะทั้งหมด เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ทำให้ต้นทุนในการสร้างระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนต่ำ และจากเหตุผลของต้นทุนในการสร้างระบบควบแน่นเมทานอล ทำให้เลือกใช้ถังโพลีเอทิลีนเพื่อบรรจุไบโอดีเซลและกลีเซอรอลของระบบควบแน่น จากคุณสมบัติของโพลีเอทิลีนในตารางที่ 2.2 อุณหภูมิอ่อนตัวของโพลีเอทิลีนอยู่ในช่วง 112 ถึง 132 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงพอเมื่อเทียบกับอุณหภูมิจุดเดือดของเมทานอล

คุณสมบัติโพลีเอทิลีน มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอสมควร เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ ถัง ขวด แท่นรองรับสินค้า โพลีเอทิลีน เป็นสารที่ขุ่นขาวโปร่งแสงซึ่งได้จากเอทิลีน โพลีเอทิลีน มีการผลิตขึ้นทั้งในรูปที่มีความหนาแน่นต่ำและสูง

ถังที่ใช้บรรจุไบโอดีเซลและกลีเซอรอลของระบบควบแน่นเป็นโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งมีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.95 ถึง 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ HDPE จะมีแบ็กโบนคาร์บอนที่ยาวมากแต่ไม่มีไซด์กรุป ผลก็คือ โมเลกุลเหล่านี้เชื่อมกันอย่างแน่นหนามากขึ้น ทำให้มีความ แข็งแรงกว่า แข็งกว่า และโปร่งใสน้อยกว่าโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ใช้ทำถัง ถังน้ำมันรถ หีบห่อและท่อน้ำ

ภาชนะบรรจุไบโอดีเซลและกลีเซอรอลของระบบควบแน่น เป็นถังโพลีเอทิลีนที่ผ่านการใช้งานมาก่อน ซึ่งมีราคาถูก และหาซื้อได้จากร้านผลิตภัณฑ์พลาสติกทั่วไป ถังบรรจุไบโอดีเซลมีขนาดความจุ 95 ลิตร โดยดัดแปลงจากถังขนาด 120 ลิตร ถังกลีเซอรอลมีขนาดความจุ 35 ลิตร ทำการติดตั้งขดลวดความร้อนบริเวณด้านล่างของถัง การติดตั้งขดลวดความร้อนเข้ากับถังจะต้องแน่น เพื่อป้องกันการรั่วซึมของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง เนื่องจาก

ความหนืดจะลดลง ทำให้เกิดการรั่วซึมได้ง่าย โดยรูปที่ 2.5 แสดงถังไปโอดีเซลและถังกลีเซอรอลของระบบความดัน



ก



ข

รูปที่ 2.5 ถังไปโอดีเซล(ก) และถังกลีเซอรอล(ข) ที่ใช้ระบบความดัน

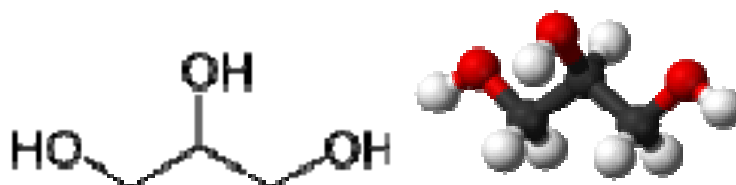
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของโพลีเอทิลีน (Matra Plast Industries Inc, 2008)

PROPERTY	TEST SI Units	Polyethylene	
		Eng. Units	SI Units
Melt Index	ASTM D1238	-	0.4 dg
Density	ASTM D1505	-	3 0.955 gm/cm ³
Tensile @ Yield	ASTM D638	4,100 psi	28 MPa
Elongation @ Yield	ASTM D638	800%	800%
Flexural Modules	ASTM D790	177,000 psi	1,220 MPa
ESCR, F50	ASTM D1639	25 hr	25 hr
Izod Impact	ASTM 256	3.93 Ft•lb/in	2.1 J/cm
Softening Pt. (Vicat)	ASTM D1525	263 °F	128 °C
Softening Temp. (range)	-	234 °F - 270 °F	112 °C - 132 °C
Melting Temp. (range)	-	257 °F - 275 °F	25 °C - 135 °C
Low Temp. Brittleness	ASTM D746	<-94 °F	<-70 °C
Hardness	D785/D2240		69 (Shore D Scale)
Chemical Reactivity			Acid Free

2.4 กลิเซอรอล

เป็นสารประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.3 วิธีการแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนจะอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น กลีเซอรอลที่มีความหนาแน่นมากกว่าเมื่อวางทิ้งไว้จะตกสู่ด้านล่างของภาชนะ ซึ่งเป็นวิธีการแยกที่ง่าย แต่จะต้องใช้นานเพื่อให้เกิดการแยกชั้น หรือใช้วิธีการเหวี่ยงในการแยก ซึ่งจะต้องมีเครื่องมือเพิ่มเติม และต้องมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการวางพักเพื่อให้เกิดการแยกชั้นมาก วิธีการของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนจะทำการพักน้ำมันหลังจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันในการแยกกลีเซอรอลจากไบโอดีเซล ซึ่งใช้เวลาประมาณ 45 นาที ในทางทฤษฎีปริมาณของกลีเซอรอลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้ แต่ในทางปฏิบัติปริมาณของกลีเซอรอลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะมากกว่า เนื่องจากมีเมทานอลส่วนเกินผสมอยู่ ซึ่งมีปริมาณประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลส่วนเกินทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับปริมาณของกลีเซอรอล

การแยกกลีเซอรอลแม้ว่าจะมีการพักเพื่อให้เกิดการแยกชั้นกับไบโอดีเซล แต่ก็ยังคงมีกลีเซอรอลจำนวนหนึ่งที่ละลายผสมอยู่กับไบโอดีเซล ซึ่งในส่วนนี้จะถูกแยกออกไปในขั้นตอนของการล้างไบโอดีเซล แต่ก็ยังคงมีกลีเซอรอลจำนวนหนึ่งที่หลงเหลืออยู่ โดยมาตรฐาน (ASTM D7651) จะต้องมีปริมาณกลีเซอรอลน้อยกว่า 0.24 เปอร์เซ็นต์ในไบโอดีเซล เนื่องจากกลีเซอรอลมีผลต่อระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ทำให้เกิดการอุดตันของปั๊มเชื้อเพลิง ใต้กรองน้ำมัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล (<http://www.wikipedia.org>, 2008)

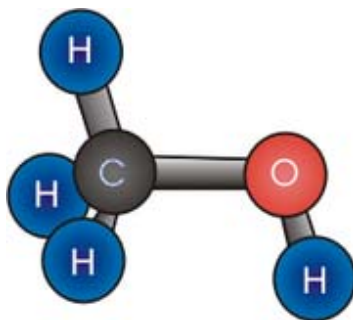
การนำเมทานอลที่ผสมอยู่ในกลีเซอรอล เป็นส่วนที่น่าสนใจการแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรอลสำหรับระบบผลิตเชิงพาณิชย์ จะใช้วิธีการลดความดันเพื่อให้เมทานอลเกิดการระเหย และควบแน่นไอน้ำเพื่อให้เกิดเป็นของเหลวอีกครั้ง ดังนั้นระบบที่ใช้จะต้องเป็นระบบปิดมีอุปกรณ์ในการลดความดัน ซึ่งต้องมีการลงทุนสูง ทำให้เป็นข้อจำกัดสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วิธีการให้ความร้อนซึ่งมีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำกว่า และเนื่องจากสัดส่วนระหว่างปริมาณของกลีเซอรอลกับเมทานอลที่ผสมอยู่นั้น ไม่ห่างมากนัก ทำให้สามารถระเหยเมทานอลให้เกิดความคุ้มทุนได้ที่อุณหภูมิไม่สูงมาก เมื่อพฤติกรรมการระเหยของเมทานอลเป็นไปตามทฤษฎีของ Raoult's law

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของกลีเซอรอล

Molecular formula	C ₃ H ₅ (OH) ₃
Molar mass	92.09382 g/mol
Density	1.261 g/cm ³
Melting point	18 °C (64.4°F)
Boiling point	290 °C (554°F)
Viscosity	1.5 Pa·s

2.5 เมทานอล

เมทานอลเป็นสารเคมีในกลุ่มของแอลกอฮอล์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ส่วนใหญ่ได้มาจากก๊าซธรรมชาติ มีสูตรทางเคมีคือ CH₃OH โดยรูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างจำลองของเมทานอล และตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของเมทานอล ลักษณะทางกายภาพที่อุณหภูมิห้องความดันบรรยากาศ มีสถานะเป็นของเหลว ระเหยได้ ไม่มีสี ไร้ไฟ ไอน้ำเป็นอันตรายต่อร่างกาย สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับเมทานอลจะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันไอ และอุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสโดยตรง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างจำลองของเมทานอล (<http://www.wikipedia.org>, 2008)

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เมทานอลจะถูกนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืช เรียกว่าปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของเมทานอล (engineeringtoolbox.com, 2008)

Temperature (°C)	Latent Heat (kJ/kg)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Thermal Conductivity (W/m°C)	Liquid Viscosity (cP)	Vapor Viscosity 10 ² (cP)	Vapor Pressure (bars)	Vapor Specific Heat (kJ/kg°C)	Liquid Surface Tension 10 ² (N/m)
-50	1194	844	0.01	0.210	1.700	0.72	0.01	1.20	3.26
-30	1187	834	0.01	0.208	1.300	0.78	0.02	1.27	2.95
-10	1182	819	0.04	0.206	0.945	0.85	0.04	1.34	2.63
10	1175	801	0.12	0.204	0.701	0.91	0.10	1.40	2.36
30	1155	782	0.31	0.203	0.521	0.98	0.25	1.47	2.18
50	1125	764	0.77	0.202	0.399	1.04	0.55	1.54	2.01
70	1085	746	1.47	0.201	0.314	1.11	1.31	1.61	1.85
90	1035	724	3.01	0.199	0.259	1.19	2.69	1.79	1.66
110	980	704	5.64	0.197	0.211	1.26	4.98	1.92	1.46
130	920	685	9.81	0.195	0.166	1.31	7.86	1.92	1.25
150	850	653	15.9	0.193	0.138	1.38	8.94	1.92	1.04

2.5.1 เมทานอลส่วนเกิน

ปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน สามารถหาได้จากสมการทางเคมี ซึ่งในทางทฤษฎี อัตราส่วนโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันพืช(ไตรกรีเซอร์ไรด์) เท่ากับ 3 ต่อ 1 ดังแสดงในสมการที่ (2.2) แต่เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับ

ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติ จำเป็นที่จะต้องใช้เมทานอลมากกว่าทางทฤษฎี ซึ่งเรียกว่าเมทานอลส่วนเกิน เพื่อให้ได้ผลสุทธิของไบโอดีเซลมากที่สุด จากผลการวิจัย (Suwanmanee, 2006) ได้แนะนำปริมาณของเมทานอลส่วนเกิน สำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลทางทฤษฎี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น (Issariyakul et al., 2006; Rashid and Anwar, 2008) ต้นทุนของเมทานอลของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนทั้งหมดเท่ากับ 28.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งครึ่งหนึ่งเป็นต้นทุนสำหรับเมทานอลส่วนเกิน ปริมาณของเมทานอลส่วนเกินนี้หลังจากการทำปฏิกิริยา จะผสมอยู่ในไบโอดีเซลประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์และกลีเซอรอลประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลส่วนเกิน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา ส่วนที่ผสมอยู่ในไบโอดีเซลจะละลายไปกับน้ำในระหว่างขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล ส่วนที่ผสมกับกลีเซอรอลจะกลายเป็นของเสีย เนื่องจากระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนถือว่ากลีเซอรอลเป็นของเสียที่ได้จากกระบวนการ ซึ่งไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จะเห็นได้ว่าปริมาณของเมทานอลส่วนเกินทั้งหมดไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ ผลของการที่ต้องใช้เมทานอลส่วนเกิน นอกจากต้นทุนที่ต้องสูงขึ้น ไขมันของเมทานอลยังเป็นอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงาน หากมีการสูดดมจะมีอาการปวดศีรษะ ตาพร่ามัว หรือมีอาการแสบตา ในกรณีที่ไอน้ำมีความเข้มข้นสูง จะทำให้ระบบประสาททำงานช้าลง หากความเข้มข้นสูงถึง 50,000 ppm อาจทำให้เสียชีวิตในเวลา 1 ถึง 2 ชั่วโมง และไขมันของเมทานอลยังสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ (American Methanol Institute, 1999) การใช้ระบบควบแน่นเมทานอลจะสามารถลดการระเหยของไขมันเมทานอลออกสู่บรรยากาศ เนื่องจากสามารถทำการควบแน่น และลดเมทานอลที่ผสมอยู่กับกลีเซอรอลที่เป็นของเสียจากระบบ ทำให้ง่ายต่อการกำจัด ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการจัดเก็บกลีเซอรอลสามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากลดอันตรายจากการติดไฟของไขมันเมทานอลซึ่งเป็นสารที่สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้องความดันบรรยากาศ ทั้งยังเป็นผลดีในด้านความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เมื่อสามารถนำเมทานอลส่วนเกินกลับไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอีกครั้ง

2.5.2 การระเหยเมทานอล

เมทานอลบริสุทธิ์มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 64.7 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ในขณะที่ไบโอดีเซลจุดเดือดที่อุณหภูมิ 340 – 375 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ผลิต (Goodrum, 2002) การที่ไบโอดีเซลมีจุดเดือดสูง ก็หมายความว่า ไบโอดีเซลมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง เมทานอลที่ผสมอยู่กับไบโอดีเซลจะเป็นลักษณะสารผสม การให้ความร้อนเพื่อให้เมทานอลเกิดการระเหยนั้น ในทางทฤษฎีเป็นไปตาม Raoult's law (Andrews, 1970) การ

ผสมกับไบโอดีเซล จะทำให้จุดเดือดของเมทานอลเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสอง ทำให้จุดเดือดของเมทานอลสูงขึ้น ปริมาณของเมทานอลที่ระเหยได้ในแต่ละอุณหภูมิ จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนมวลโมลของเมทานอลในไบโอดีเซลที่อุณหภูมินั้นๆ เนื่องจากว่าเมื่อถึงจุดสมดุลระหว่างสถานะ อัตราการระเหยออกของไอเมทานอลที่ออกจากผิวไบโอดีเซลจะเท่ากับอัตราการไหลเข้าในผิวของไบโอดีเซลอีกครั้ง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของเมทานอลที่ได้จากการระเหยนั้น จะต้องเพิ่มอุณหภูมิของไบโอดีเซล เพื่อเป็นแรงขับให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างสถานะดังกล่าว

2.5.3 การควบแน่นไอเมทานอล

เมื่อเมทานอลเกิดการระเหยกลายเป็นไอ การควบแน่นสามารถทำได้โดยการนำความร้อนแฝงออก เมทานอลเหลวที่ได้ก็จะมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของสารนั้น หรือเรียกว่าของเหลวอิ่มตัว

เริ่มต้นไอเมทานอลไหลเข้ามาในอุปกรณ์ควบแน่น เมื่อสัมผัสกับผิวท่อที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของไอเริ่มควบแน่น ไอของเมทานอลก็จะควบแน่นกลายเป็นฟิล์มของเหลวที่เคลือบผิวท่อไว้ หรือเรียกว่า แบบ Film-wise เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น ของเหลวจะหยดลงด้านล่างตามแรงโน้มถ่วง ในกรณีของไอเกิดการควบแน่นที่ผิวของกลุ่มท่ออุปกรณ์ควบแน่น ของเหลวที่ควบแน่นจากท่อแถวบนจะหยดลงมาท่วมท่อที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งเป็นผลให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ท่อแถวล่างลดลง (Murase et al., 2006) ปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกไป เพื่อให้เกิดการควบแน่นนั้นอย่างน้อยที่สุดจะต้องเท่ากับความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวของเมทานอล ค่าความร้อนดังกล่าวนี้สามารถหาได้จากสมการที่ (2.15)

$$Q_m = \dot{m}L_m \quad (2.15)$$

โดยที่	Q_m	คือ	ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวของเมทานอล
	\dot{m}	คือ	อัตราการระเหยของเมทานอล
	L_m	คือ	ค่าความร้อนแฝงในการควบแน่นของไอเมทานอล

ในทางปฏิบัติความร้อนที่ถ่ายเทจะต้องมากกว่าความร้อนที่ได้จากสมการที่ (2.15) โดยจะต้องพิจารณาความร้อนสัมผัสด้วยแต่ก็มีค่าไม่มาก เมื่อเทียบกับความร้อนแฝง แต่เหตุผลที่ต้องการลดอุณหภูมิของเมทานอลเหลวจากการควบแน่นให้ต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวก็คือ เพื่อป้องกันเมทานอลเหลวในส่วนนี้ระเหยกลายเป็นไออีกครั้ง เนื่องจากการรับความร้อนจากไอที่ไหลเข้ามาควบแน่นภายในอุปกรณ์

2.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การแข่งขันด้านการตลาดกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลคือปัจจัยสำคัญต่อการกำหนดความนิยมต่อผู้ใช้ไบโอดีเซล เพราะในช่วงที่ราคาของเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากในปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2551) อัตรากาบริโภคไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก หน่วยงานของรัฐมีการส่งเสริมและประชาชนมีความตื่นตัวในการใช้ เนื่องจากผลต่างของราคากับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมาก ถึงแม้ว่าราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะไม่มีแนวโน้ม แต่ถ้ามารักษาผลต่างของราคาให้มีความน่าสนใจ ไบโอดีเซลก็จะเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจที่สุด ที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ความสามารถในการจัดหาแหล่งวัตถุดิบในแต่ละพื้นที่ ต้นทุนสารเคมี และพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการ เป็นต้น เนื่องจากไบโอดีเซลจะต้องสามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงดีเซล โดยราคาจำหน่ายจะต้องต่ำกว่าราคาน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการผลิต เพื่อให้สามารถกำหนดราคาให้มีความเหมาะสม และทราบถึงความเป็นไปได้ในการแข่งขันด้านการตลาด

สำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ได้มีการศึกษาถึงต้นทุนในการผลิต (Suwanmanee, 2006) และวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยไม่มีการควบแน่นเมทานอลส่วนเกินจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล จากผลการศึกษาดังกล่าวได้แสดงให้เห็นสัดส่วนต้นทุนของเมทานอลที่ใช้ในการผลิต ครั้งหนึ่งเป็นต้นทุนของเมทานอลส่วนเกิน ซึ่งสามารถที่จะลดต้นทุนในส่วนดังกล่าวนี้ได้โดยการนำเมทานอลส่วนเกินกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ความสนใจของงานวิจัยคือนำระบบควบแน่นเมทานอลส่วนเกินมาใช้กับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เพื่อต้องการลดต้นทุนในการผลิตโดยการนำระบบควบแน่นมาใช้ แต่การนำระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้างมาใช้ร่วม จำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการดำเนินงาน เพื่อประเมินความคุ้มค่าและความสามารถในการลดต้นทุนต่อการผลิตไบโอดีเซล รวมถึงความสนใจในการลงทุนใช้ระบบควบแน่น การวิเคราะห์ดังกล่าวจำเป็นจะใช้เครื่องมือทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ โดยอาศัยข้อมูลต้นทุนการดำเนินงานจากการทดลองมาพิจารณา

วิธีทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีหลายวิธี เพื่อให้สามารถประเมินได้อย่างครอบคลุมถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลสำคัญของแต่ละวิธี โดยวิธีที่นำมาวิเคราะห์มีดังนี้

2.6.1 วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, *PP*)

เป็นวิธีในการประเมินระยะเวลาคืนทุนของระบบควบคุม หากมีระยะเวลาของการคืนทุนสั้นย่อมจะได้รับความสนใจว่าระยะเวลาคืนทุนยาว ซึ่งระยะเวลาคืนทุนหาได้จากสมการที่ (2.16)

$$PP = \frac{\text{first cost}}{\text{net annual saving}} \quad (2.16)$$

2.6.2 วิธีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Profitability index, *PI*)

เป็นการแสดงถึงกำไรสัมพัทธ์ของระบบควบคุม หรืออัตราส่วนของกำไรของระบบควบคุมตลอดอายุของโครงการ ต่อต้นทุนในการสร้างระบบ การยอมรับในการลงทุนสร้างระบบควบคุมค่า *PI* ควรมีค่ามากกว่า 1 วิธีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนหาได้จากสมการที่ (2.17)

$$PI = \frac{PV_{benefits}}{PV_{costs}} = \frac{\sum_{t=1}^0 \frac{CIF_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^0 \frac{COF_t}{(1+k)^t}} \quad (2.17)$$

โดยที่ CIF_t คือ ผลกำไรที่ได้ตลอดระยะเวลาโครงการของระบบควบคุม
 COF_t คือ ต้นทุนสำหรับระบบควบคุม
 k คือ ผลตอบแทนที่ต้องการ (Required Rate of Return)

2.6.3 วิธีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, *IRR*)

เป็นอัตราส่วนลด (Discount Rate) ที่ทำให้ค่า *NPV* ของระบบควบคุม มีค่าเท่ากับศูนย์ภายในระยะเวลาการทำงานของระบบควบคุม เกณฑ์การตัดสินใจควรยอมรับการลงทุนสร้างระบบควบคุมเมทานอลมาใช้งาน ถ้าค่า *IRR* มีค่าเกินกว่าต้นทุนของเงินทุนในการสร้างระบบควบคุม ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.18)

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (2.18)$$

โดยที่ CF_t คือ ผลกำไรสุทธิในช่วงเวลาของระบบ
 t คือ ระยะเวลาของระบบควมแน่น

บทที่ 3

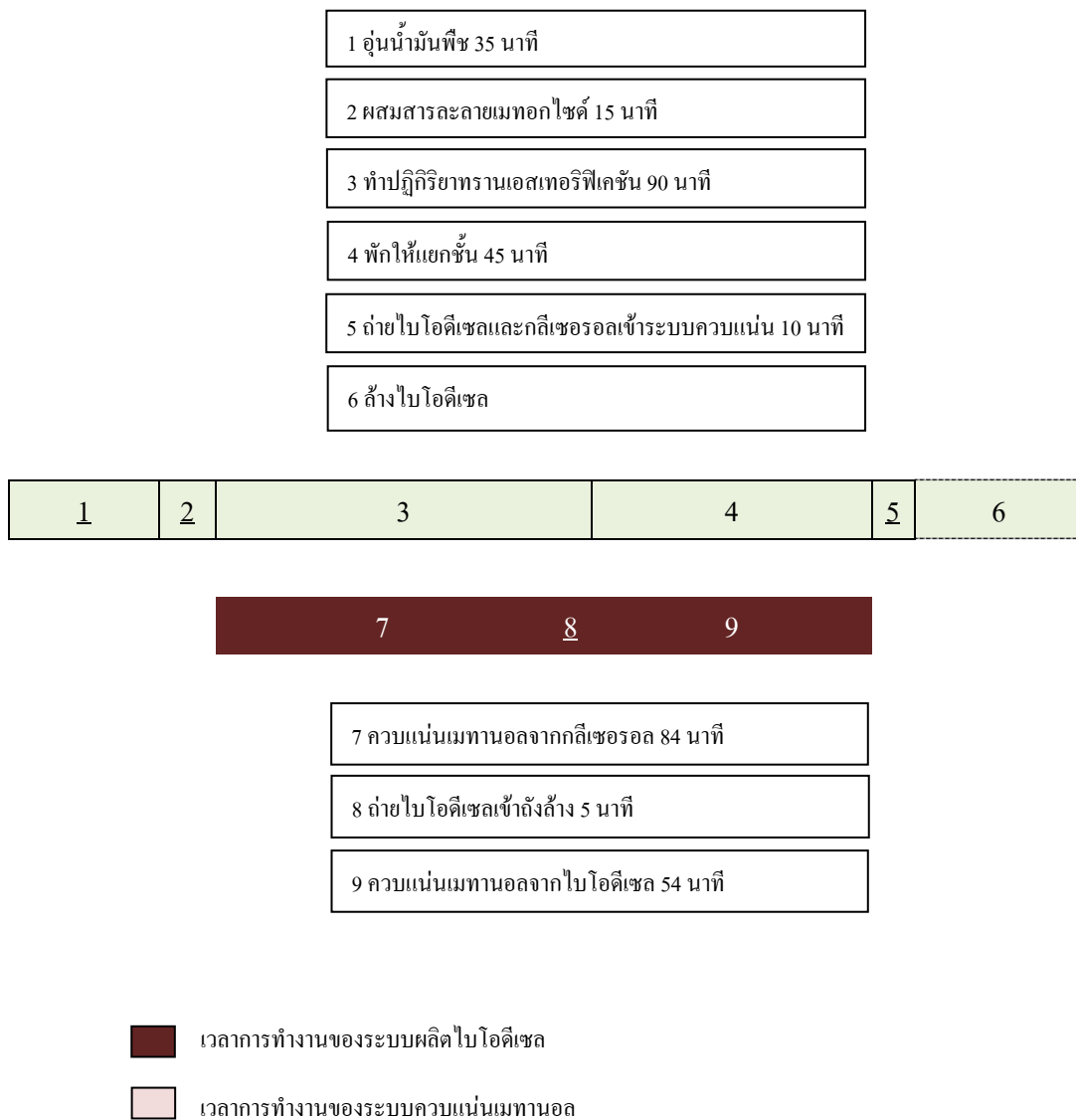
การสร้างระบบควบคุม การเตรียมและวิธีการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการสร้างระบบควบคุม การเตรียมและวิธีการทดลอง เริ่มต้นโดยการกล่าวถึงรายละเอียดการสร้างอุปกรณ์ควบคุม เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบเฉพาะเพื่อใช้ในการควบคุมเมทานอล รายละเอียดขั้นตอนการสร้าง รวมถึงรายละเอียดแต่ละอุปกรณ์ของระบบควบคุม ต่อไปเป็นขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการทดลองควบคุมเมทานอล รายละเอียดการเตรียมวัตถุดิบ สารเคมีที่ใช้ในการผลิต สภาพะของการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลที่ใช้สำหรับการทดลอง ตลอดจนรายละเอียดในการทดลอง การเก็บข้อมูล และแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 การออกแบบระบบควบคุมเมทานอล

การออกแบบระบบควบคุมเมทานอล เน้นความสำคัญเพื่อใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งพิจารณาถึงระยะเวลาในการปฏิบัติงานสำหรับระบบควบคุม ให้มีความสอดคล้องกับช่วงเวลาในการผลิตไบโอดีเซล โดยอาศัยผู้ปฏิบัติงานจำนวน 2 คนเหมือนเดิม ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการทำงาน และไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต เนื่องจากการเพิ่มผู้ปฏิบัติงาน รูปที่ 3.1 แสดงผังของตารางเวลาการทำงานของระบบผลิตไบโอดีเซล ร่วมกับระบบควบคุมเมทานอล หมายเลข 1 ถึง 6 แสดงระยะเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน ของการผลิตไบโอดีเซล หมายเลข 7 ถึง 9 แสดงระยะเวลาแต่ละขั้นตอนของระบบควบคุมเมทานอล จากตารางเวลาแสดงให้เห็นว่า การทำงานของระบบควบคุมสามารถทำงานได้ในเวลาเดียวกันกับการทำงานของระบบผลิตไบโอดีเซล ขั้นตอนและผู้ปฏิบัติงานจะต้องดูแลอย่างใกล้ชิด คือขั้นตอนที่ฉีดเส้นใต้ได้แก่ 1, 2, 5 และ 8 ส่วนขั้นตอน 3, 4 และ 6 นั้นเป็นขั้นตอนทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน พักให้แยกชั้น และล้างไบโอดีเซล ซึ่งไม่จำเป็นต้องดูแลอย่างใกล้ชิด ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถปฏิบัติงานในส่วนของการควบคุมเมทานอลได้ จากตารางเวลาขั้นตอนที่ 7, 8 และ 9 มีระยะเวลาที่เท่ากับขั้น 3 และ 4 ในส่วนของขั้นตอนที่ 6 การล้างไบโอดีเซลนั้นสามารถทำเพียงครั้งเดียวในแต่ละวันเมื่อมีการผลิตไบโอดีเซลครบ 3 แบทช์แล้ว หรือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการปฏิบัติงานในแต่ละวัน ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจำนวน 2 คน ก็สามารถปฏิบัติงานได้ ซึ่งเท่ากับจำนวน

คณงานของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนในกรณีที่ไม่มีระบบควบแน่นเมทานอล ในส่วนของ
รายละเอียดแต่อุปกรณ์ของระบบควบแน่น วิธีการสร้างอุปกรณ์ควบแน่นจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



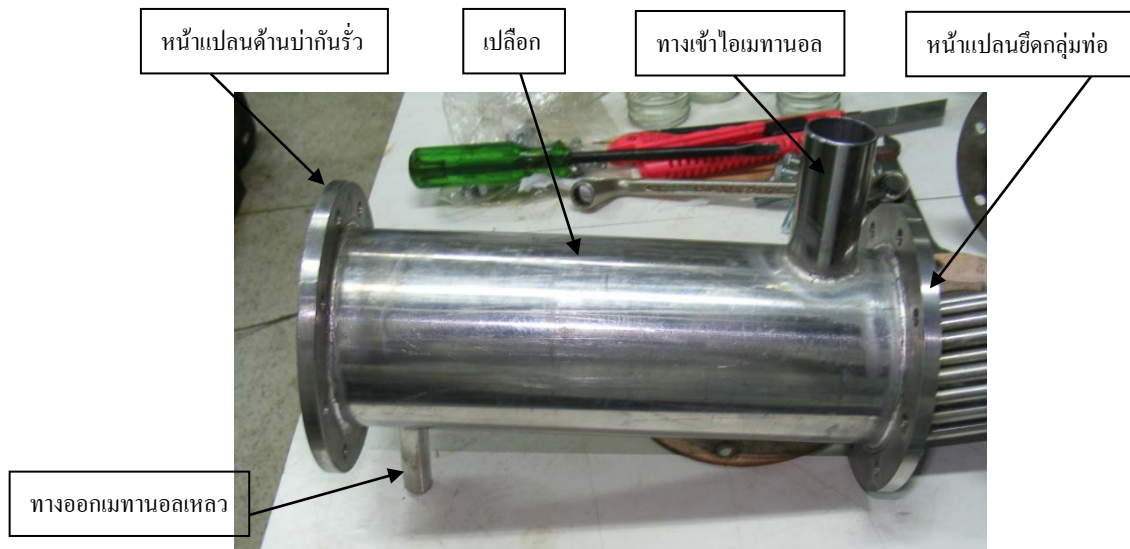
รูปที่ 3.1 ผังของตารางเวลาการทำงานของระบบผลิตไบโอดีเซล ร่วมกับระบบควบแน่น
เมทานอล

3.2 การสร้างอุปกรณ์ควมแน่น

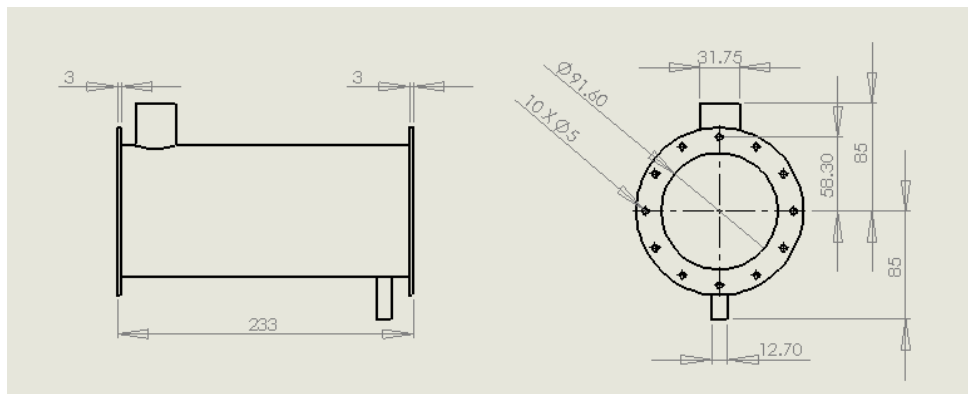
อุปกรณ์ควมแน่นที่ออกแบบได้คำนึงถึงเฉพาะการนำมาใช้ในการควมแน่นไอเมทานอล ในอัตราการไหลของไอที่ได้จากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล จึงจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ดังกล่าวเองซึ่งไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด และต้องการสร้างเพื่อให้ตรงกับข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้เพื่อประโยชน์ด้านการถ่ายเทความร้อนที่ดี โดยได้ทำการสร้างที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การควมแน่นไอเมทานอลจำเป็นจะต้องมีการถ่ายเทความร้อนออกจากไอ ดังนั้นอุปกรณ์ควมแน่นจะต้องสามารถระบายความร้อนออกได้ในอัตราที่ต้องการ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก การสร้างอุปกรณ์ควมแน่นได้เลือกวัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลส เพื่อไม่ให้มีสนิมปะปนกับเมทานอลที่ได้จากการควมแน่น พร้อมทั้งป้องกันการปะปนของสนิมในไบโอดีเซลที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง และเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ รายละเอียดในการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนของอุปกรณ์ควมแน่นได้แสดงไว้ในภาคผนวก

3.2.1 เปลือกนอก (Shell)

วัสดุเป็นสแตนเลส ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 63.5 มิลลิเมตร (2.5 นิ้ว) พร้อมกับเชื่อมหน้าแปลนหนา 6 มิลลิเมตรทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยหน้าแปลนทางด้านซ้ายมือของรูป จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเปลือกนอก ทำให้ส่วนของหน้าแปลนโผล่เข้าไปในท่อของเปลือกนอก เพื่อเป็นบารองรับซิลป้องกันการรั่วของกลุ่มท่อดังแสดงในรูปที่ 3.3 พร้อมกับเชื่อมประกอบท่อทางเข้าของไอเมทานอลขนาด 1 นิ้วและท่อทางออกสำหรับเมทานอลที่ควมแน่นขนาด 1/4 นิ้ว การออกแบบท่อทางเข้าไอเมทานอลจะต้องอยู่ด้านตรงกันข้ามกับซิลป้องกันการรั่ว เนื่องจากไอเมทานอลที่ไหลเข้ามาในอุปกรณ์ควมแน่นมีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำให้ซิลเกิดความเสียหาย และกำหนดให้การไหลของน้ำหล่อเย็นไหลสวนทิศทางการไหลของไอ หรือน้ำหล่อเย็นเข้าทางด้านที่มีซิลป้องกันการรั่วหรือด้านซ้ายและออกทางด้านขวามือ

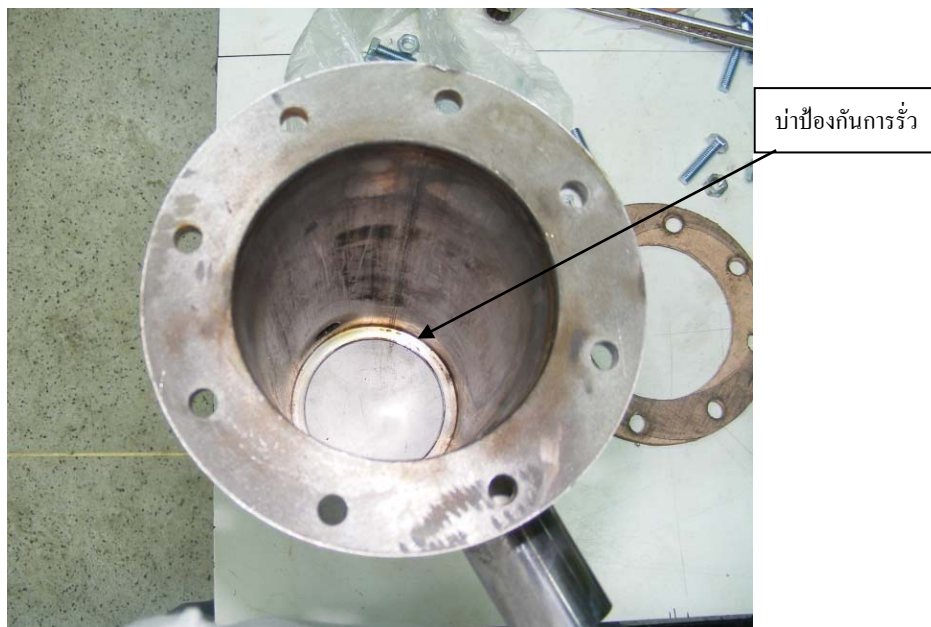


(ก)



(ข)

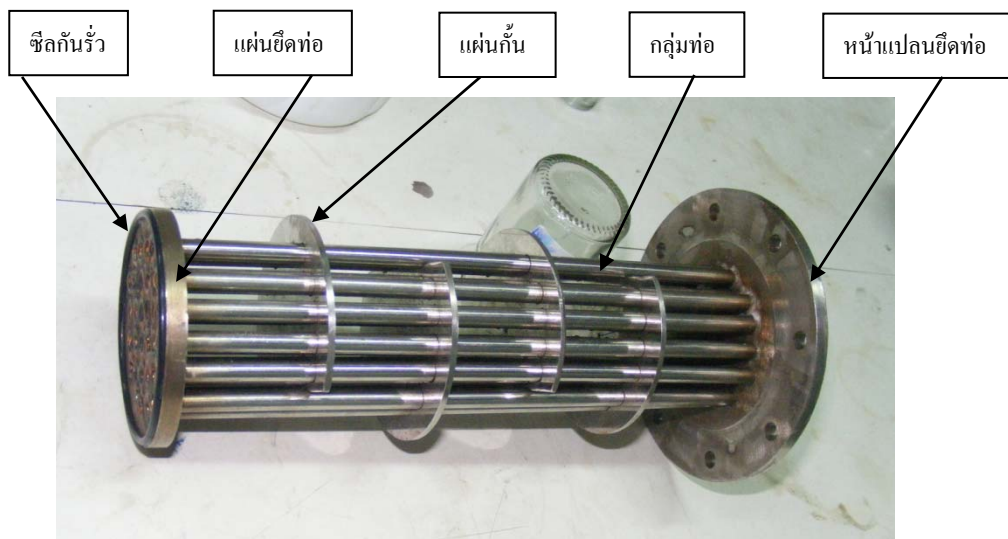
รูปที่ 3.2 เปลือกนอกของอุปกรณ์ความดัน (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด



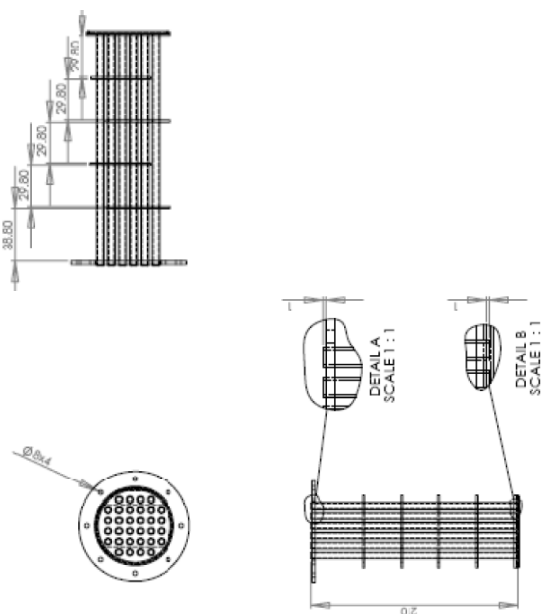
รูปที่ 3.3 บ่าป้องกันการรั่ว

3.2.2 กลุ่มท่อ (Tube bundle)

กลุ่มท่อเป็นพื้นผิวสำหรับการควบคุมของไอเมทานอล วัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลส ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.175 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ยาวเส้นละ 210 มิลลิเมตร จำนวน 32 เส้น พร้อมกับแผ่นกั้นจำนวน 4 แผ่น โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นเท่ากับ 29.8 มิลลิเมตร ผลต่างระหว่างความยาวของท่อ กับช่องว่างระหว่างแผ่นกั้นจะเป็นความยาวที่เผื่อสำหรับความหนาของแผ่นกั้น กับหน้าแปลนทั้งสองด้าน หน้าแปลนทั้งสองด้านของกลุ่มท่อจะถูกเชื่อมติดกับแผ่นยึดท่อ การเชื่อมยึดท่อจะต้องตั้งฉากกับแนวของกลุ่ม เพื่อให้ซีลกันรั่วแนบสนิทกับบ่าป้องกันการรั่ว เนื่องจากหากมีรอยรั่วน้ำหล่อเย็นจะเข้ามาภายในส่วนของเมทานอลที่ควบคุม ทำให้เกิดผลเสียไม่สามารถนำเมทานอลไปใช้งานได้ ดังนั้นหลังจากการเชื่อมต่อทั้งหมดจะต้องทำการทดสอบการรั่วซึมของน้ำหล่อเย็น ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง แผ่นยึดท่อด้านซีลกันรั่วจะมีขนาดพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกนอก เมื่อประกอบกลุ่มท่อเข้ากับเปลือกนอกจะสอดด้านดังกล่าวเข้าข้างใน โดยที่ซีลป้องกันการรั่วจะถูกประกบแน่นกับบ่าป้องกันการรั่วที่โผล่เข้าด้านในของรูปที่ 3.3 รายละเอียดของกลุ่มท่อดังแสดงในรูปที่ 3.4



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 กลุ่มท่อ (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด

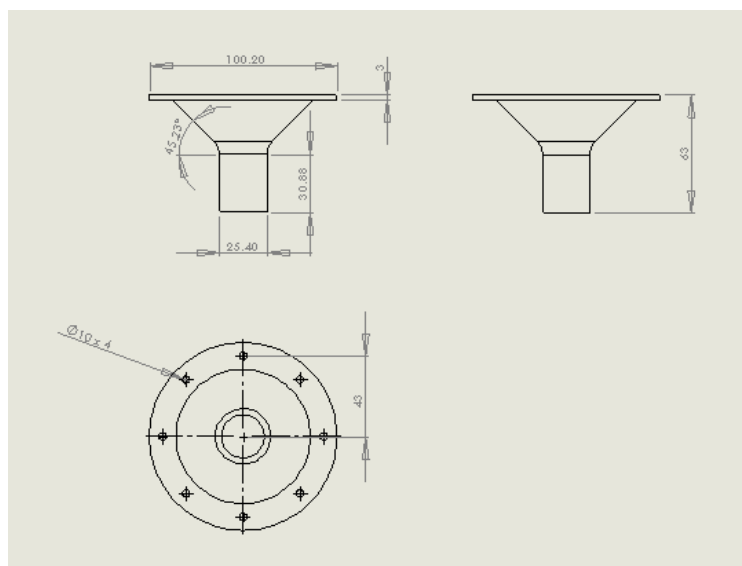
3.2.3 ฝาปิดด้านข้างทั้งสองด้าน

วัสดุเป็นสแตนเลส เป็นทางเข้า-ออกของน้ำหล่อเย็น มีลักษณะรูปกรวยเพื่อลดเสดที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานของน้ำหล่อเย็น และลดความแตกต่างของความดันระหว่างท่อแถวล่างกับแถวบนของกลุ่มท่อ ช่วยให้อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น กรวย

ดังกล่าวจะเชื่อมติดกับหน้าแปลนหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อใช้สำหรับยึดกับหน้าแปลนของเปลือกนอก พร้อมกับเชื่อมเข้ากับท่อขนาด 1 นิ้ว สำหรับยึดเข้ากับท่อทางเข้าและท่อทางออกของน้ำหล่อเย็น การยึดฝาปิดเข้ากับเปลือกนอกจำเป็นต้องมีปะเก็นเพื่อป้องกันการรั่ว จำนวนของน็อตยึดจะต้องไม่น้อยเกินไป เนื่องจากอาจทำให้น้ำหล่อเย็นรั่วซึมในตำแหน่งช่องว่างระหว่างน็อต โดยรูปของฝาปิดด้านข้างทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3.5

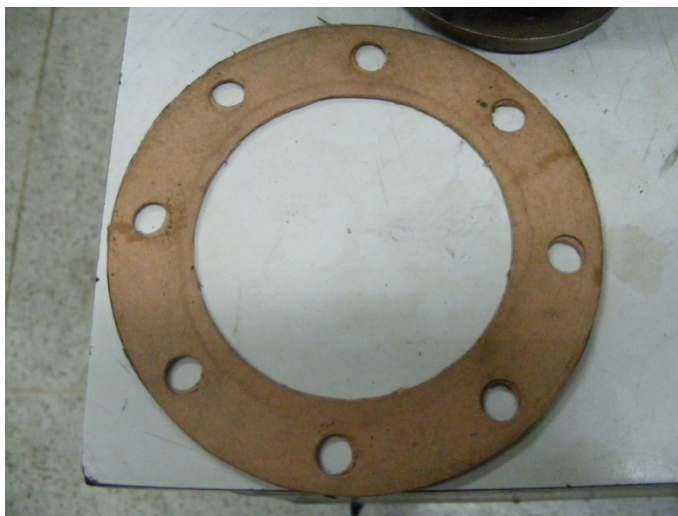


(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 ฝาปิดด้านข้างทั้งสองด้าน (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด

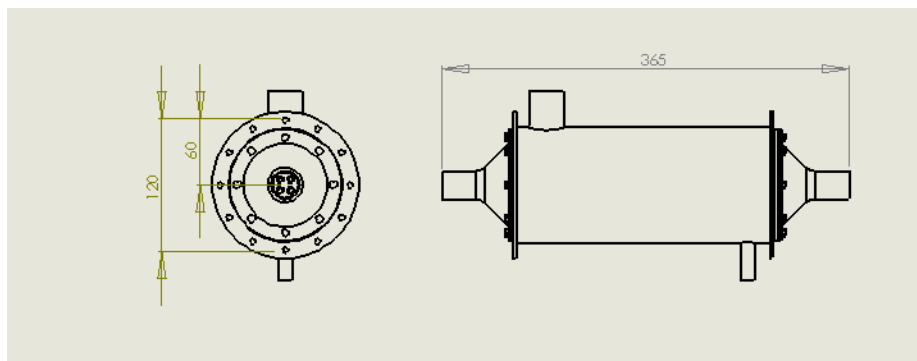


รูปที่ 3.6 ปะเก็นกระดาษป้องกันการรั่ว

ส่วนประกอบหลักของอุปกรณ์ควบแน่นที่ได้ออกแบบ มีทั้งหมด 3 ส่วน คือ 1. เปลือกนอก 2. กลุ่มท่อหล่อเย็น และ 3. ฝาปิดทั้งสองด้าน โดยได้แสดงรายละเอียดดังที่ผ่านมา การประกอบสามารถทำได้โดยง่ายคือสวมกลุ่มท่อเข้าไปในเปลือกนอก การประกอบจะต้องให้ส่วนตัดของแผ่นกั้น (Baffle cut) อยู่ด้านบนและล่าง เมื่อวางอุปกรณ์ควบแน่นในแนวราบ ซึ่งทำให้ไอเมทานอลเกิดการไหลแบบขึ้นและลง ระหว่างหน้าแปลนของกลุ่มท่อกับเปลือกนอกจะต้องมีปะเก็นรองเพื่อป้องกันการรั่วของไอเมทานอลและน้ำหล่อเย็น ยึดปิดฝาดังทั้งสองด้าน การประกอบกันระหว่างชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจำเป็นจะต้องมีปะเก็น ในกรณีนี้เลือกใช้ปะเก็นกระดาษ เนื่องจากสามารถตัดได้ตามรูปร่างที่ต้องการ และสามารถใช้ในการตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำหล่อเย็นในตำแหน่ง ฝาปิดได้ หลังจากการใช้งานอุปกรณ์ควบแน่นในครั้งแรก เมื่อถอดฝาดังออกมามีปะเก็นจะต้องไม่มีรอยเปียกที่ต่อเนื่องจากด้านในมายังด้านนอก ลักษณะของปะเก็นที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อป้องกันการรั่วของเมทานอลเหลว ไอเมทานอล และน้ำหล่อเย็น ซึ่งหากมีน้ำหล่อเย็นรั่วเข้าไปในส่วนของเมทานอลที่ควบแน่นแล้ว เมทานอลเหลวที่ได้จะมีลักษณะขุ่น ซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยสายตา และไม่สามารถนำเมทานอลที่เจือปนกับน้ำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยรูปของอุปกรณ์ควบแน่นที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วแสดงในรูปที่ 3.7



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันที่ได้จากการออกแบบและสร้าง (ก) รูปจริง (ข) รูปวาด

3.3 แผงควบคุมวงจรไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้าทั้งหมด พร้อมทั้งสัญญาณไฟแสดงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า สัญญาณไฟเตือนเมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าแผงควบคุม สัญญาณไฟเตือนขดลวดความร้อนสำหรับไบโอโอติเซล และกลีเซอรอลทำงาน สัญญาณไฟเตือนปั้มน้ำหล่อเย็นทำงาน โดยแสดงในรูปที่ 3.8 ภายในของแผงควบคุมวงจรไฟฟ้า จะมีเบรกเกอร์หลักตัดต่อไฟเข้าแผงวงจรทั้งหมด การตัดต่อขดลวดความร้อน และปั้มน้ำหล่อเย็นใช้สวิทช์แม่เหล็ก (magnetic contactor) โดยสวิทช์แม่เหล็กของขดลวดความร้อนจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ นอกเหนือจากสวิทช์ปิด-เปิด ขั้นตอนวิธีการทำงานมีดังนี้

1. ตรวจสอบเบรกเกอร์หลักให้อยู่ในตำแหน่ง OFF ก่อนที่จะเสียบปลั๊กเข้ากับแหล่งจ่าย เมื่อเสียบปลั๊กสัญญาณไฟที่แสดงว่ามีไฟฟ้าเข้าสู่แผงควบคุมสว่าง
2. เปิดสวิตช์ขดลวดความร้อน ตั้งค่าอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ หากอุณหภูมิของของเหลวมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งค่า ขดลวดความร้อนจะทำงาน และไฟสัญญาณจะสว่าง ข้อควรระวังก่อนจะเปิดขดลวดความร้อนต้องแน่ใจว่าปริมาณของเหลวท่วมขดลวดความร้อน เพื่อป้องกันความเสียหาย
3. เปิดสวิตช์ปั้มน้ำหล่อเย็น และไฟสัญญาณจะสว่าง ตรวจสอบมาตรวัดอัตราการไหลว่าน้ำหล่อเย็นมีการหมุนวน เพื่อป้องกันปั้มน้ำทำงานโดยไม่มีภาระ ซึ่งอาจเกิดความเสียหายต่อมอเตอร์



รูปที่ 3.8 รูปแผงควบคุมวงจรไฟฟ้า

3.4 ขดลวดความร้อน

เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนแก่ไบโอดีเซล และกลีเซอรอล เป็นขดลวดความร้อนแบบจุ่มในของเหลว ยี่ห้อ SANGI ขนาดกำลังไฟฟ้า 3,000 วัตต์ สำหรับไบโอดีเซล และ 1,500 วัตต์ สำหรับกลีเซอรอล ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดความร้อน จะต้องแน่ใจว่ามีของเหลวภายในถัง เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดความร้อนร้อนจัด และเกิดความเสียหาย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 ขดลวดความร้อนสำหรับไบโอดีเซล (ก) และสำหรับกลีเซอรอล (ข)

3.5 ปั๊มน้ำหล่อเย็น

เป็นอุปกรณ์เพื่อหมุนวนน้ำหล่อเย็น ปั๊มน้ำที่ใช้เป็นแบบแรงเหวี่ยง ขนาด 0.5 แรงม้า (373 วัตต์) เหนือสูงสุด 20 เมตร อัตราการไหลสูงสุด 85 ลิตรต่อนาที ข้อควรระวังสำหรับปั๊มที่ไบโพลัดทำจากเหล็กคือเกิดสนิมของพัด ทำให้สนิมปะปนกับน้ำหล่อเย็น เมื่อใช้งานเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดตะกอนสะสมภายในกลุ่มท่อ ซึ่งทำให้ลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ระหว่างผิวท่อกับน้ำหล่อเย็น แต่ข้อดีของปั๊มไบโพลัดเหล็กคือมีราคาถูก รูปของปั๊มน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในระบบควบแน่นเมทานอล ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ปั๊มน้ำหล่อเย็น

3.6 ถังไบโอดีเซลและถังกลีเซอรอล

ภาชนะบรรจุไบโอดีเซลและกลีเซอรอลของระบบควบแน่น เป็นถังโพลีเอทิลีนที่ผ่านการใช้งานมาก่อน ซึ่งมีราคาถูก และหาซื้อได้จากร้านผลิตภัณฑ์พลาสติกทั่วไป ถังบรรจุไบโอดีเซลมีขนาดความจุ 95 ลิตร โดยดัดแปลงจากถังขนาด 120 ลิตร ถังกลีเซอรอลมีขนาดความจุ 35 ลิตร ทำการติดตั้งขดลวดความร้อนบริเวณด้านล่างของถัง การติดตั้งขดลวดความร้อนเข้ากับถังจะต้องแน่น เพื่อป้องกันการรั่วซึมของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากความหนืดจะลดลง ทำให้เกิดการรั่วซึมได้ง่าย โดยรูปที่ 3.11 แสดงถังไบโอดีเซลและถังกลีเซอรอลของระบบควบแน่น



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 ถังไบโอดีเซล (ก) และถังกลีเซอรอล (ข)

3.7 การผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลที่ใช้ในการทดลองควบแน่นเมทานอล ได้จากการผลิตจากระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน โดยน้ำมันวัตถุดิบที่ใช้เป็นน้ำมันพืชใช้แล้ว การเตรียมสารเคมีและสภาวะการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้อ้างอิงจากผลการศึกษาที่ผ่านมา (Suwanmanee, 2006) เนื่องจากเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินงาน สำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน โดยมีสภาวะการทำงานของระบบดังนี้

- ปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล แต่ละครั้งจำนวน 80 ลิตร
- อัตราส่วน โมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้วเท่ากับ 6 ต่อ 1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์เมทานอลส่วนเกินจากทางทฤษฎี
- เมทานอลความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์
- ปริมาณแคตตาลิสเท่ากับ 5 กรัมต่อลิตรน้ำมันพืช
- อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส
- ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเท่ากับ 90 นาที
- ความเร็วของใบกวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- พักน้ำมัน 45 นาที ภายในถังแยก หลังจากการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอล

3.7.1 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล มี 2 ส่วนคือ สารเคมีที่ใช้สำหรับกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน และสารเคมีที่ใช้ในส่วนของการไตรเตรต ซึ่งมีทั้งหมด ดังนี้

- เมทานอล (CH_3OH) ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์
- ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)
- ไอโซโพรพานอล (Iso-propanol)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 M
- เอทานอลบริสุทธิ์

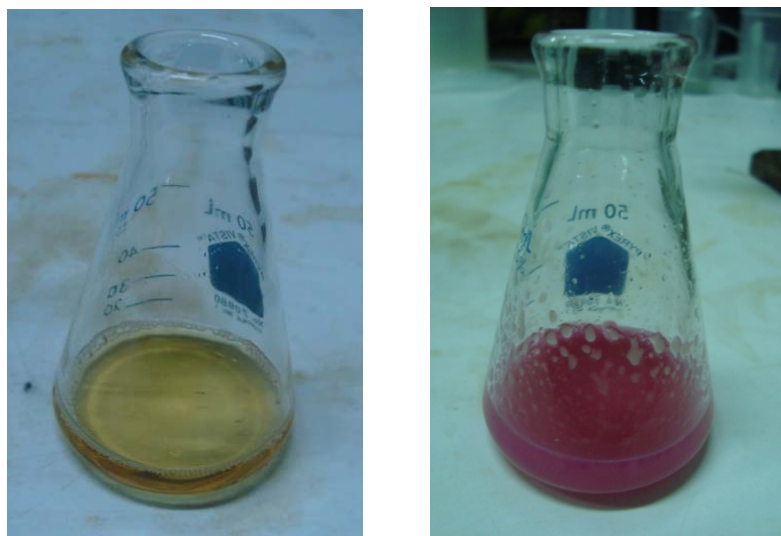
3.7.2 การไตรเตรต

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันวัตถุดิบ จะเป็นตัวกำหนดปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะต้องใส่เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีค่าเป็นกลาง โดยปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งหมด จะเท่ากับปริมาณที่ต้องใช้ปรับสภาพของน้ำมัน ให้มีค่าเป็นกลางรวมปริมาณที่ต้องใช้เป็นตัวช่วยในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ซึ่งขั้นตอนในการไตรเตรตมีดังนี้

1. เตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณ 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด

3. เดิมไอโซโพรพานอลพอประมาณ

4. หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งละลายในเอทานอลบริสุทธิ์ความเข้มข้น 0.1 M สังเกตจนกระทั่งน้ำมันเริ่มเปลี่ยนสีม่วง ดังแสดงในรูปที่ 3.12 หาปริมาณสารละลายที่ใช้ทั้งหมด โดยปริมาณของสารละลายที่ใช้จะเท่ากับน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อลิตรของน้ำมันพืชใช้แล้ว (กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อลิตรของน้ำมันพืชใช้แล้ว) เพื่อให้ไบโอดีเซลจากการผลิตค่าเป็นกลาง



รูปที่ 3.12 สีของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนไตเตรต (ซ้าย) และหลังการไตเตรต (ขวา)

3.7.3 การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

น้ำมันวัตถุดิบที่ใช้เป็นน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้ในการทอดอาหารทะเล จัดซื้อจากบริษัท ซีเวล โปรเซนฟู้ด จำกัด เป็นน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีลักษณะใส ตะกอนน้อยไม่จำเป็นต้องผ่านกรองตะกอน มีความเป็นกรดต่ำ จากการไตเตรตค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5-1.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณที่ใช้ในแต่ละครั้งการผลิตเท่ากับ 80 ลิตร ส่วนประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เครื่อง TLC ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของน้ำมันใช้แล้วจำนวน 3 ตัวอย่าง และในตารางที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เครื่อง GC

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว (Suwanmanee, 2006)

Triglyceride (% wt.)	Fatty acid (% wt.)	Diglyceride (% wt.)	Monoglyceride (% wt.)
89.56	2.95	6.05	1.45

3.7.4 การเตรียมสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน มี 2 อย่างคือ แคตตาลิสต์ กับ แอลกอฮอล์ โดยเลือกใช้เบสแคตตาลิสต์ซึ่งเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของแคตตาลิสต์ที่เป็นเบสจะเร็วกว่าแคตตาลิสต์ที่เป็นกรด ในส่วนของแอลกอฮอล์ เลือกใช้เมทานอล (CH₃OH) ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืช เนื่องจากมีราคาถูกที่สุดในกลุ่มของแอลกอฮอล์ ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูปของสารละลาย โดยจะทำการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล ภายในถังสารละลายของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน โดยการหมุนวนเมทานอลผ่านโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่บนตะแกรงภายในถังสารละลายดังแสดงในรูปที่ 3.13 หลังจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมดก็จะได้สารละลาย ที่พร้อมสำหรับป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ โดยขั้นตอนของการเตรียมสารเคมีจะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันในการทำงานสำหรับผู้ปฏิบัติงานได้แก่ หน้ากากป้องกันไอระเหยของเมทานอลกับละอองของโซเดียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับสวมใส่ถุงมือป้องกันสารเคมีเพื่อไม่ให้เกิดการสัมผัสโดยตรงกับสารเคมี

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว (Suwanmanee, 2006)

Fatty acids	Structure (xx:y)	Fatty acid composition, (% wt.) UCO
Lauric	C12 : 0	0.31
Myristic	C14 : 0	1.05
Palmitic	C16 : 0	40.93
Stearic	C18 : 0	4.45
Arachidic	C20 : 0	0.41
Palmitoleic	C16 : 1	0.19
Oleic	C18 : 1c	45.20
Linoleic	C18 : 2c	7.46



รูปที่ 3.13 ถังสารละลายของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน

3.7.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์

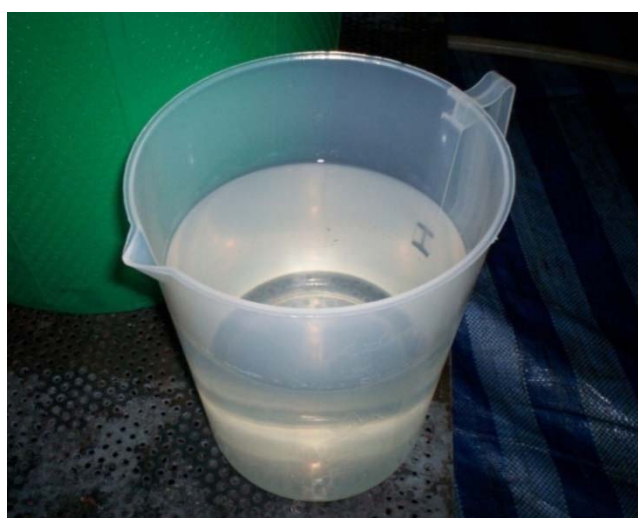
มีลักษณะเป็นของแข็ง ความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 เพื่อให้
 ง่ายต่อการป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และให้เกิดการทำปฏิกิริยาที่ดี จึงจำเป็นต้องทำการละลาย โดยทำ
 การละลายกับเมทานอลและเรียกว่าสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่
 ต้องใช้ทั้งหมดมาจาก 2 ส่วนคือ ในส่วนที่เป็นแคตตาลิส กับในส่วนของเบสที่ใช้เพื่อให้ไบโอดีเซล
 ที่ได้มีความเป็นกลางหรือปรับสภาพของน้ำมันวัตถุดิบให้มีค่าเป็นกลาง ปริมาณของแคตตาลิสที่ใช้
 ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเท่ากับ 5 กรัมต่อลิตรน้ำมันใช้แล้ว (Suwanmanee, 2006)
 ส่วนปริมาณที่ต้องใช้เพื่อให้ น้ำมันเป็นกลางนั้น ได้มาจากการไตเตรต ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 3.14 โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

3.7.6 เมทานอล

ความบริสุทธิ์ที่ใช้สำหรับการทดลองเท่ากับ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ในทางทฤษฎี สัดส่วนโมลของปริมาณเมทานอลที่ใช้ต่อปริมาณของน้ำมันพืชเท่ากับ 3 ต่อ 1 แต่ในทางปฏิบัติจะต้องมีเมทานอลส่วนเกินเพื่อช่วยให้การทำปฏิกิริยาได้ดี ซึ่งปริมาณของเมทานอลส่วนเกินดังกล่าว ได้มาจากผลการทดลอง สำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน สัดส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้วเท่ากับ 6 ต่อ 1 หรือเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์เมทานอลส่วนเกินจากทางทฤษฎี โดยปริมาณเมทานอลที่ใช้ในแต่ละครั้งการผลิตเท่ากับ 18.6 ลิตร



รูปที่ 3.15 เมทานอลที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

3.7.7 สถานะการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

หลังป้อนน้ำมันพีซีใช้แล้วเข้าถังปฏิกรณ์ เพื่อให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเริ่มป้อนสารละลายโซเดียมเมทอริกไซด์ เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ช้าๆ พร้อมกับการกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที พร้อมกับควบคุมอุณหภูมิตลอดการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หลังจากการทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้น ถายน้ำมันเข้าถังแยก เพื่อให้กลีเซอรอลเกิดการแยกชั้นกับไบโอดีเซล เป็นเวลา 45 นาที กลีเซอรอลซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าไบโอดีเซล จะอยู่ชั้นล่างของถังแยก โดยสามารถถ่ายกลีเซอรอลออกจากถังแยกจากทางด้านล่าง

3.8 การควบแน่นเมทานอล

การควบแน่นเมทานอลจะแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ การทดลองโดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นเมทานอลกับระบบผลิตไบโอดีเซล เพื่อต้องการศึกษาลักษณะการระเหยของเมทานอลจากไบโอดีเซล และหาความเหมาะสมทางด้านการลงทุน หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นกับระบบผลิตไบโอดีเซลโดยตรง และควบแน่นเมทานอลเฉพาะจากไบโอดีเซล ข้อมูลต้นทุนจากการทดลองและต้นทุนในการสร้างระบบจะถูกนำมาใช้ประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ การทดลองชุดที่ 2 คือ การทดลองควบแน่นเมทานอลจากระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง โดยการทดลองจะทำการควบแน่นเมทานอลจากส่วนที่ผสมอยู่ในไบโอดีเซล และในส่วนที่ผสมอยู่ในกลีเซอรอล เพื่อหาปริมาณของเมทานอลที่ได้จากการควบแน่น และอุณหภูมิสูงสุดที่ความเหมาะสมสำหรับถังภาชนะโพลีเอทิลีนที่ใช้ ข้อมูลต้นทุนจากการทดลองและต้นทุนในการสร้างระบบควบแน่นจะถูกนำมาใช้ประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อศึกษาถึงความน่าสนใจหากมีการนำระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง มาใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน

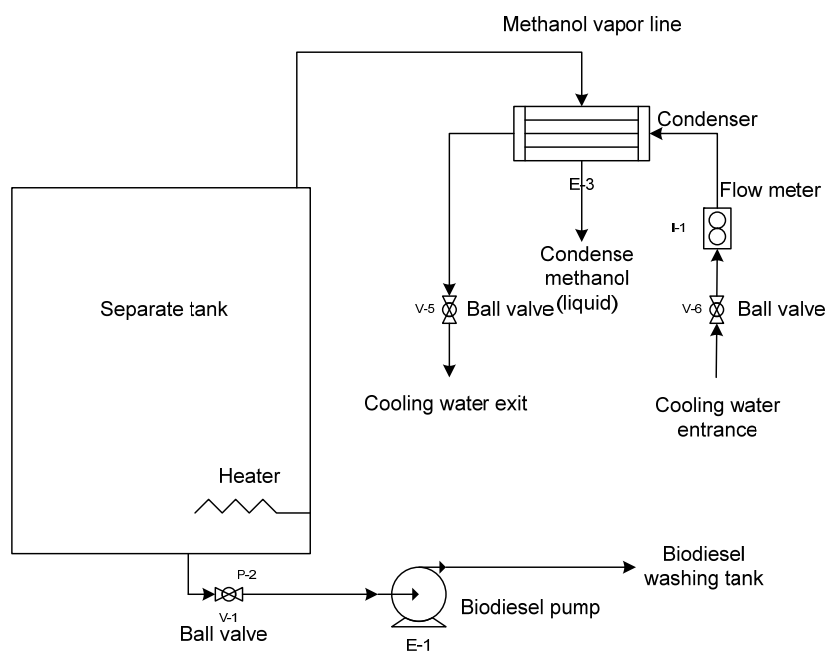
3.8.1 การทดลองโดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นเมทานอลกับระบบผลิตไบโอดีเซล

การทดลองควบแน่นเมทานอล โดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นกับถังแยกของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งจะควบแน่นเมทานอลจากจากไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียว ในส่วนด้านบนของถังแยกจะเป็นทางออกของไอเมทานอลจากการระเหย และไอจะไหลผ่านท่ออย่างเสริมหลอดเข้าสู่อุปกรณ์ควบแน่น ซึ่งอุปกรณ์ควบแน่นจะอยู่สูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้ปั๊มน้ำหล่อเย็นแบบใบพัด (centrifugal pump) เนื่องจากเสดที่ต้องการไม่สูงมาก หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด และมีให้อัตราการไหลให้เลือกหลายระดับ ขดลวดความร้อนที่ใช้ในการให้ความร้อน

กับไบโอดีเซลมีขนาด 2,500 วัตต์ การติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นดังแสดงในรูปที่ 3.16 ในส่วนของรูปที่ 3.17 ได้แสดงผังการทำงานของระบบควบแน่น อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองได้แสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 การติดตั้งกับระบบผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 3.17 ผังการทำงานของระบบควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลอย่างเดี่ยว



A



B



C



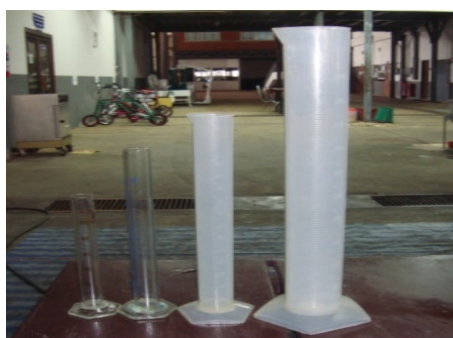
D



E



F



G



H

รูปที่ 3.18 อุปกรณ์การทดลอง

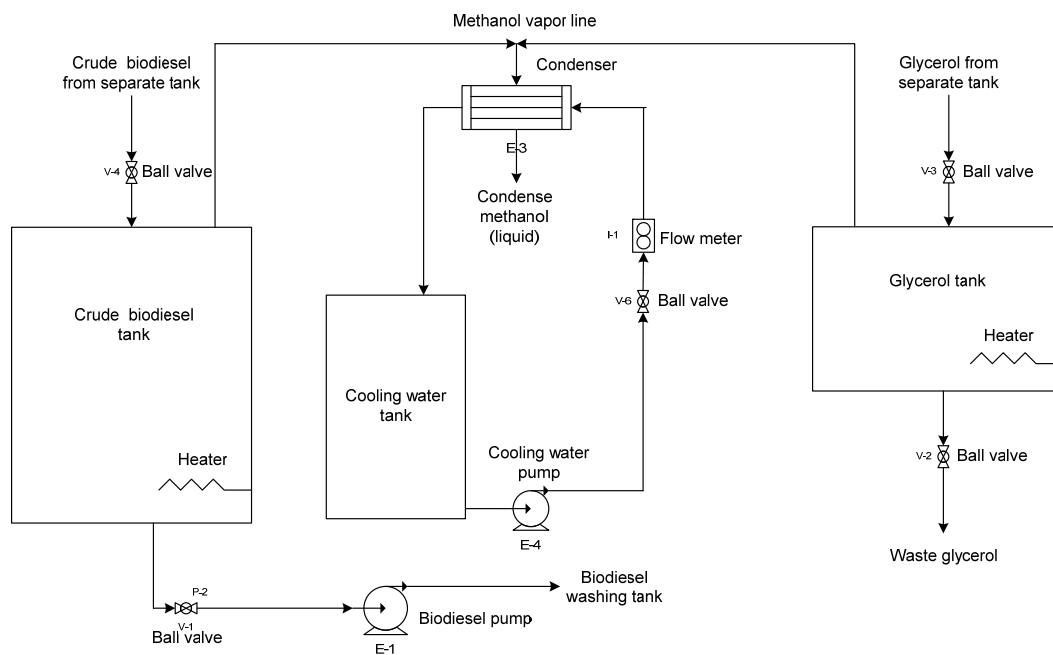
- อุปกรณ์ควมแน่นที่ออกแบบและสร้าง ดังแสดงในรูป A
- ถังแยกของระบบผลิตไอบีโอดีเซลชุมชน ดังแสดงในรูป B
- ขดลวดความร้อนขนาด 2,500 วัตต์ ยี่ห้อ SANGI ดังแสดงในรูป C
- มาตรการลดการไหลน้ำหล่อเย็น ดังแสดงในรูป D
- เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 51II ดังแสดงในรูป E
- เทอร์โมคัปเปิล Type K ดังแสดงในรูป F
- นาฬิกาจับเวลา ดังแสดงในรูป G
- กระจกบดวง ดังแสดงในรูป H

ขั้นตอนการทดลอง

น้ำมันจะถูกถ่ายเข้าไปในถังแยกหลังจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไอบีโอดีเซลกับกลีเซอรอล เป็นเวลา 45 นาที เมื่อถึงกำหนดเวลากลีเซอรอลที่อยู่ด้านล่างของถังแยกจะถูกถ่ายออกไป เหลือไว้เฉพาะไอบีโอดีเซล ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นจะเริ่มให้ความร้อนแก่ไอบีโอดีเซล โดยใช้ขดลวดความร้อนขนาด 2,500 วัตต์ พร้อมกับหมุนวนน้ำหล่อเย็นผ่านอุปกรณ์ควมแน่นเพื่อให้เกิดการควมแน่นของไอเมทานอล เมื่อไหลเข้าในอุปกรณ์ ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณเมทานอลที่ควมแน่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของไอบีโอดีเซล โดยตั้งค่าอุปกรณ์ควมคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดในการทดลอง

3.8.2 การทดลองควมแน่นเมทานอลจากระบบควมแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง

การทดลองควมแน่นเมทานอล โดยใช้ระบบควมแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง ซึ่งทำการควมแน่นเมทานอลที่ผสมอยู่ในไอบีโอดีเซลและกลีเซอรอล หลังจากไอบีโอดีเซลและกลีเซอรอลแยกชั้นภายในถังพัก จะถูกถ่ายเข้าถังโพลีอีทีนของระบบควมแน่น ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 45 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิเริ่มต้นให้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่าที่สามารถทำได้ จะเป็นการประหยัดต้นทุนในการดำเนินงาน เนื่องจากสามารถลดค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนในช่วงเริ่มต้นก่อนที่จะถึงอุณหภูมิที่เมทานอลเริ่มระเหยออกมา โดยรูปที่ 3.19 ผังแสดงการทำงานของระบบควมแน่นเมทานอล และอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 ผังการทำงานของระบบควบแน่นเมทานอล

การทดลองควบแน่นเมทานอล จากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เพื่อใช้สำหรับการทดลอง ซึ่งมีความสามารถในการผลิตครั้งละ 80 ลิตร โดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน จากผลการศึกษาของ (Suwanmanee, 2006) อุณหภูมิสำหรับการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90 นาที อัตราส่วนโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันวัตถุดิบ 6 ต่อ 1 (18.4 ลิตร, 100 เปอร์เซ็นต์เมทานอลส่วนเกิน) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.05 w/w ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้แต่ละครั้ง 77.5 ถึง 77.8 ลิตร กลีเซอรอล 17.5 ถึง 17.8 ลิตร

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซล และจากกลีเซอรอล หลังจากกระบวนการ ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ก็จะถ่ายน้ำมันเข้าถังพักของระบบผลิตทิ้งไว้เป็นเวลา 45 นาทีเพื่อให้ไบโอดีเซลแยกกับกลีเซอรอล และถ่ายไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลเข้าไปในถังโพลีเอทิลีน ของระบบควบแน่น เพื่อให้ความร้อน อุณหภูมิเริ่มต้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส โดยจะขึ้นอยู่กับกำบังการสูญเสียความร้อน ในช่วงการพักน้ำมันเพื่อให้เกิดการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ทั้งสอง อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่สูง จะทำให้ประหยัดพลังงานในช่วงให้ความร้อนก่อนถึงอุณหภูมิควบแน่น

หลังจากการพื้กน้ำมันและแยกกลีเซอรอลภายในถังพื้กของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ไบโอดีเซลจะถูกถ่ายเข้าถังของระบบควบแน่น หลังจากถ่ายไบโอดีเซลเสร็จสิ้นประกอบต่อระบบไฮเมทานอลจากการระเหยเข้ากับอุปกรณ์ควบแน่น พร้อมกับพื้กฝาถังอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันไม่ให้ไฮเมทานอลรั่วไหลออกมา หลังจากนั้นจ่ายไฟฟ้าเข้าขลวดความร้อน เมื่อเริ่มคั่นให้ความร้อน อุณหภูมิของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลประมาณ 40 องศาเซลเซียส ขลวดความร้อนของไบโอดีเซลเท่ากับ 3,000 วัตต์ และของกลีเซอรอลเท่ากับ 1,500 วัตต์ โดยปรับตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้จำกัดอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส พร้อมกับเปิดปั้มหมนวนน้ำหล่อเย็นเข้าอุปกรณ์ควบแน่น เก็บข้อมูลอุณหภูมิที่เมทานอลเริ่มควบแน่น ปริมาณของเมทานอลที่สามารถควบแน่นได้ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของไบโอดีเซล เวลาที่ใช้ในการควบแน่นจนถึงอุณหภูมิสุดท้าย 95 องศาเซลเซียส



A



B



C



D



E



F



G



H

รูปที่ 3.20 อุปกรณ์การทดลอง

- อุปกรณ์ควมแน่นที่ออกแบบและสร้าง ดังแสดงในรูป A
- อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล ดังแสดงในรูป B
- ถังโพลีเอทิลีนขนาด 95 ลิตร สำหรับไบโอดีเซล ดังแสดงในรูป C
- ถังโพลีเอทิลีนสำหรับน้ำหล่อเย็น ขนาด 200 ลิตร ดังแสดงในรูป D
- ขดลวดความร้อนขนาด 3,000 วัตต์ ยี่ห้อ SANGI ดังแสดงในรูป E
- เทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 51II ดังแสดงในรูป 3.13 F
- กระจกบดวาง ดังแสดงในรูป F
- ป้อนน้ำหล่อเย็นขนาด 0.5 แรงม้า ดังแสดงในรูป G
- นาฬิกาจับเวลา ดังแสดงในรูป H

การทดลองควมแน่นเมทานอลที่ผสมอยู่ในกลีเซอรอล จะทำการถ่ายกลีเซอรอลจากถังแยกเข้าไปยังถังกลีเซอรอลของระบบควมแน่น ซึ่งเป็นถังโพลีเอทิลีนขนาด 35 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.21 และประกอบท่อระบายไอเมทานอลจากการระเหยเข้ากับอุปกรณ์ควมแน่น พร้อมกับฉนีกฝาถังอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันไม่ให้ไอเมทานอลรั่วไหลออกมา ในส่วนของอุปกรณ์ในการทดลอง และลักษณะการเก็บข้อมูลจากการทดลองจะเหมือนกับการทดลองควมแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลที่ผ่านมา ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองคือถ่ายกลีเซอรอลออกจากถังแยกเข้าถังกลีเซอรอลของระบบควมแน่น อุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 45 องศาเซลเซียส ฉนีกฝาปิด และประกอบท่อจ่ายไอเมทานอลเข้าอุปกรณ์ควมแน่น จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดความร้อน โดยการปรับตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้จำกัดอุณหภูมิสูงสุด 95 องศาเซลเซียส เก็บข้อมูลอุณหภูมิที่เมทานอลเริ่มควมแน่น อุณหภูมิของกลีเซอรอล เวลาที่ใช้ในการควมแน่นจนถึงอุณหภูมิสุดท้าย 95 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.21 ถังโพลีเอทิลีนขนาด 35 ลิตร สำหรับก๊อเจอรอล

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

บทนี้จะแสดงผลที่ได้จากการทดลอง และผลจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดและวิธีการทดลองได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา

4.1 ผลของระบบควบคุมเมทานอลจากไบโอดีเซล

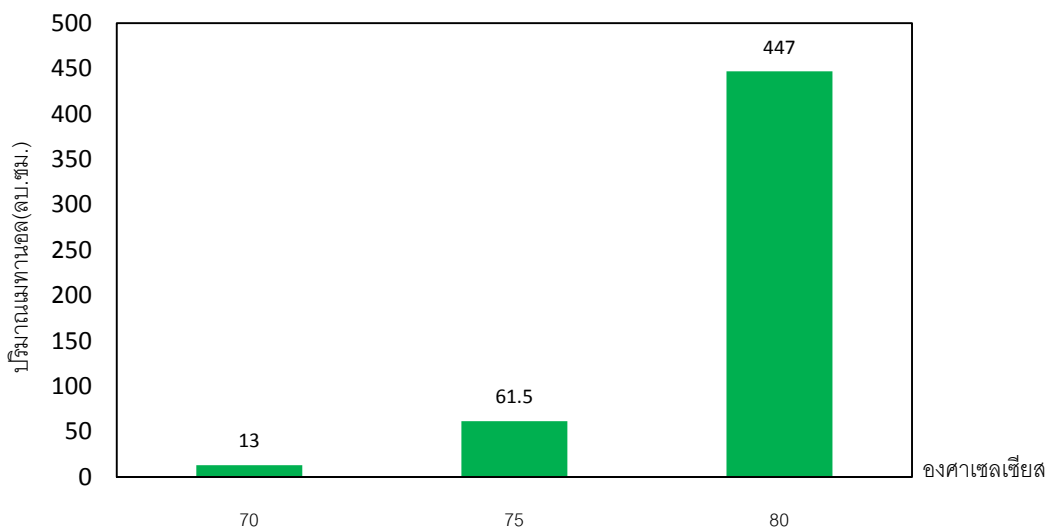
การทดลองควบคุมเมทานอลจากไบโอดีเซล เพื่อทดสอบลักษณะการระเหยของเมทานอล ปริมาณเมทานอลที่ควบคุมได้ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ รวมถึงการทดสอบอุปกรณ์ ความดันคร่อมของอุปกรณ์ควบคุมที่ได้ออกแบบและสร้างว่าสามารถควบคุมไอของเมทานอลได้หมด

4.1.1 ผลการระเหยเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล

ในการทดลองนี้ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมกับถังพักของระบบผลิตไบโอดีเซลโดยตรงซึ่งติดตั้งได้ง่าย โดยลงทุนเริ่มต้นไม่สูง แต่สามารถควบคุมเมทานอลที่ผสมในไบโอดีเซลเท่านั้น เนื่องจากกลีเซอรอลที่แยกชั้นจากไบโอดีเซลที่อยู่ด้านล่างของถังจะถูกถ่ายออกไปกลายเป็นของเสียจากระบบผลิตไบโอดีเซล

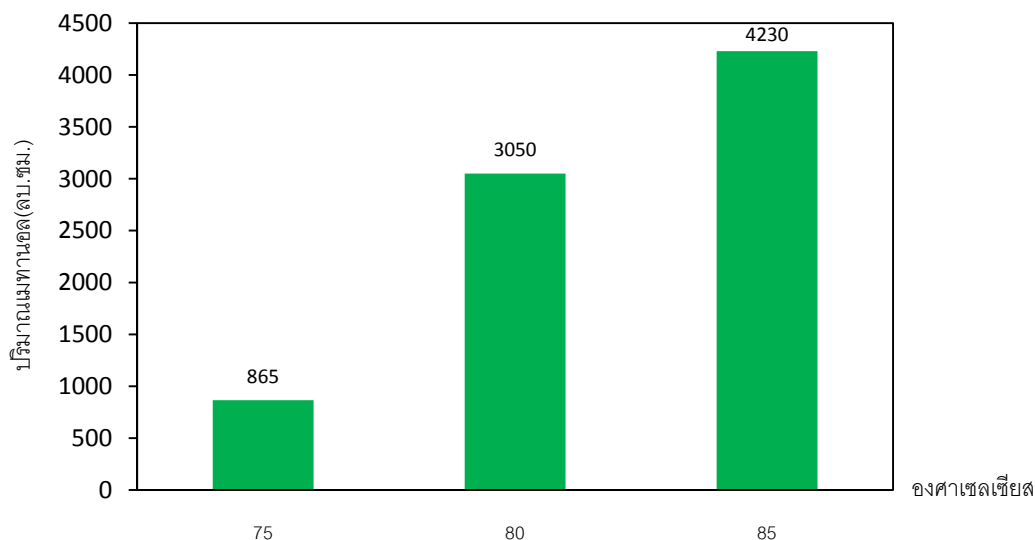
จากการทดลองที่อุณหภูมิของไบโอดีเซล 3 ระดับ ได้แก่ 70 75 และ 80 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาถึงปริมาณเมทานอลที่ควบคุมได้ในแต่ละอุณหภูมิ ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าปริมาณเมทานอลสะสมที่ได้คงที่ เมื่อรักษาอุณหภูมิของไบโอดีเซลให้คงที่ เนื่องจากเกิดการสมดุลระหว่างสถานะของไอเมทานอลที่ระเหยออกจากผิวไบโอดีเซลกับเมทานอลที่เมทานอลที่ควบคุมกลับเข้าไปภายในไบโอดีเซลอีกครั้ง การสมดุลสถานะทำให้ไม่มีเมทานอลไหลเข้าอุปกรณ์ควบคุม ส่งผลให้เมทานอลสะสมที่ได้เมื่อรักษาอุณหภูมิของไบโอดีเซลให้คงที่จะมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง จากผลการทดลอง เมื่ออุณหภูมิของไบโอดีเซลเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส และรักษาอุณหภูมิให้คงที่โดยตลอด ปริมาณเมทานอลสะสมที่ได้เท่ากับ 13 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของไบโอดีเซลเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส และรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ปริมาณเมทานอลสะสมที่ได้จะเพิ่มขึ้น โดยเท่ากับ 61.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าจุด

สมดุลของสถานะที่อุณหภูมิสูงกว่าจะให้ปริมาณเมทานอลสะสมที่มากกว่า การเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิเริ่มต้นเป็นการทำลายการสมดุลสถานะของของอุณหภูมิเริ่มต้นดังกล่าว ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทานอลสะสมเท่ากับ 447 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 ปริมาณเมทานอลสะสมจากไบโออีเธลเมื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่

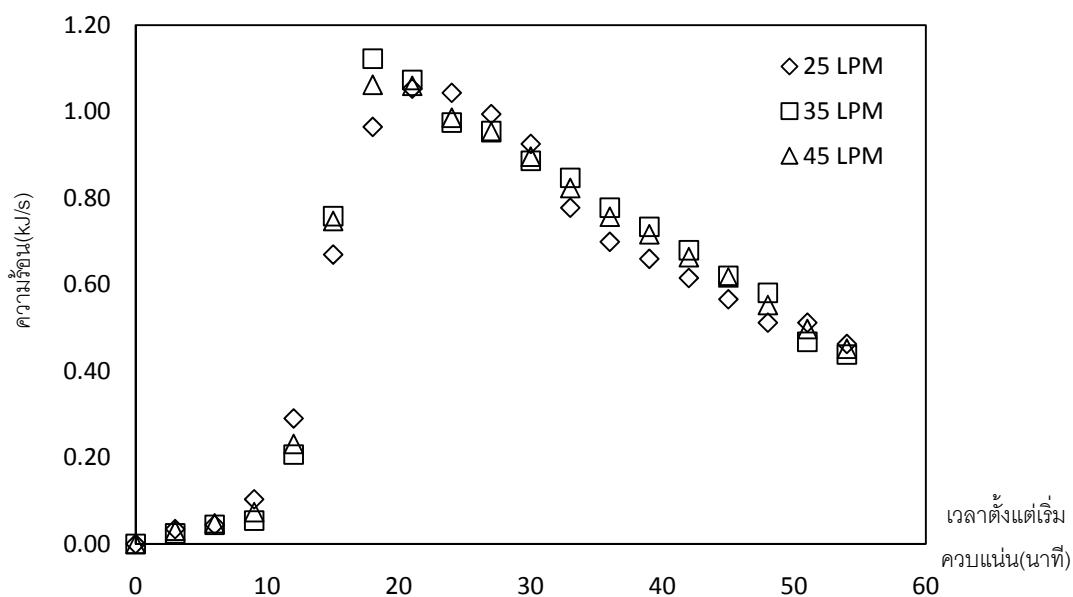
ผลการทดลองควบแน่นเมทานอลในรูปที่ 4.2 โดยควบคุมอุณหภูมิของกลีเซอรอลให้คงที่ จากการทดลองที่อุณหภูมิของกลีเซอรอล 3 ระดับ ได้แก่ 75 80 และ 85 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณ เมทานอลสะสมที่ได้มีค่าคงที่เมื่อรักษาอุณหภูมิของกลีเซอรอลให้คงที่เช่นเดียวกับไบโออีเธล ที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่าปริมาณเมทานอลสะสมที่ได้จะมากกว่า กลีเซอรอลซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าไบโออีเธลมากและมีสัดส่วนของเมทานอลส่วนเกินที่ผสมประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิเท่ากับไบโออีเธล เมทานอลที่ได้จากกลีเซอรอลจะมีปริมาณมากกว่าหลายเท่า



รูปที่ 4.2 ปริมาณเมทานอลสะสมจากกลีเซอรอลเมื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่

จากผลการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น พบว่าอัตราการควบแน่นของเมทานอลมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถกำหนดสภาวะการทำงานของระบบควบแน่น ซึ่งที่อัตราการไหล 25 LPM มีความเพียงพอต่อการหล่อเย็นเพื่อให้ไอเกิดการควบแน่นได้หมด

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากการควบแน่นของไอเมทานอล จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ช่วงของความร้อนที่มีการถ่ายเทมากที่สุดจะสัมพันธ์กับช่วงเวลาการควบแน่นมากที่สุด และทั้ง 3 การทดลองปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมีปริมาณความร้อนและลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน โดยปริมาณเฉลี่ยของเมทานอลที่ควบแน่นเท่ากับ 2,257 ลิตร หรือสามารถควบแน่นได้เท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์ ของเมทานอลส่วนเกิน คงเหลือในไบโอดีเซลเท่ากับ 1.443 ลิตร



รูปที่ 4.3 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากการควบแน่นของไอเมทานอลในแต่ละอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

ผลการทดลองการควบแน่นเมทานอล โดยการเติมเมทานอลในไบโอดีเซลจำนวน 2 เท่า (7.4 ลิตร) และ 3 เท่า (11.1 ลิตร) ของเมทานอลส่วนเกิน (จำนวน 3.7 ลิตร) ลักษณะของอัตราการควบแน่นมีความใกล้เคียงกัน แต่การทดลองที่มีการเติมเมทานอลเท่ากับ 3 เท่า อัตราการเพิ่มขึ้นของเมทานอลที่สามารถควบแน่นได้จะเร็วกว่าการเติมเมทานอลเท่ากับ 2 เท่า และอุณหภูมิเริ่มควบแน่นก็จะต่ำกว่าเช่นเดียวกัน

4.1.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ควบแน่น

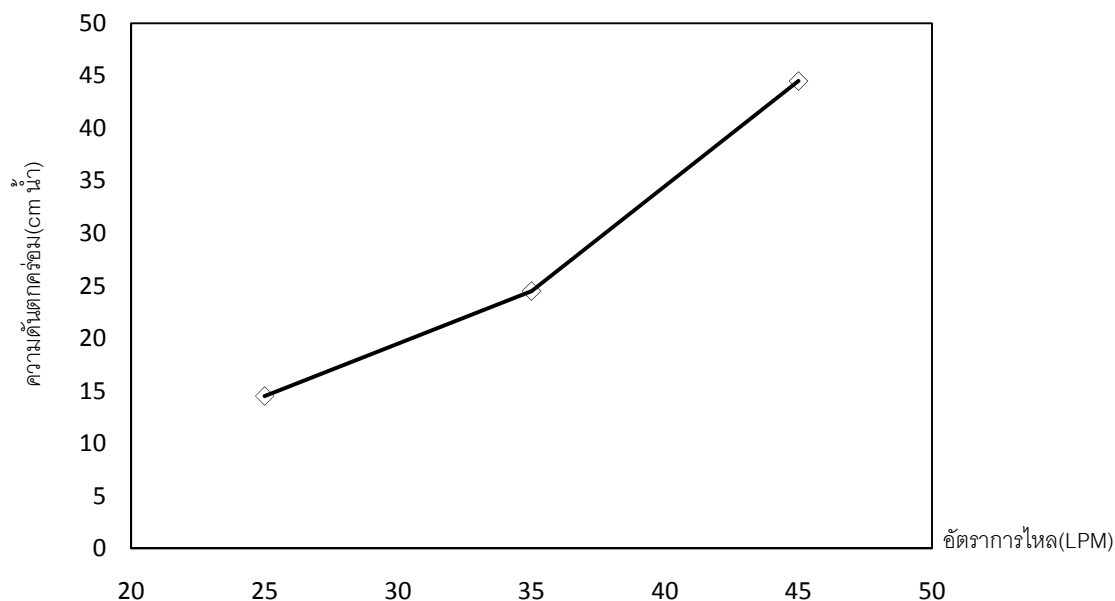
การทดสอบจะดำเนินการจาก 2 การทดลอง เริ่มต้น โดยการควบแน่นเมทานอลจากกลีเซอรอลในครั้งที่หนึ่ง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เมทานอลที่ควบแน่นได้จะถูกนำไปผสมกับกลีเซอรอลเดิมอีกครั้ง และให้ความร้อนกับกลีเซอรอลเพื่อควบแน่นเมทานอลอีกครั้ง เรียกว่า การทดลองครั้งที่สอง ปริมาณเมทานอลสะสมที่ได้จากการทดลองครั้งที่สองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณสะสมในครั้งแรก จากผลของปริมาณเมทานอลสะสมที่แสดงในตารางที่ 4.1 ความแตกต่างของปริมาณเมทานอลสะสมในครั้งที่สอง กับการทดลองครั้งแรก มีค่าน้อยมาก สามารถสรุปได้ว่า ไม่มีการสูญเสียไอเมทานอลในการทดลองในครั้งแรก หรือกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ควบแน่นสามารถควบแน่นไอเมทานอลได้หมด ทำให้สามารถเชื่อมโยงระหว่างอัตราการควบแน่นของไอกับอัตราการระเหยที่ไอเมทานอลออกจากผิวของกลีเซอรอลได้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณเมทานอลสะสมจาก 2 การทดลอง

เวลาดั้งแต่เริ่มควบแน่น (นาที)	ปริมาณเมทานอล(ลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
0	0	0
9	384	411
18	1076	1094
27	1763	1776
36	2426	2432
45	3069	3072
54	3675	3682
63	4243	4222
72	4745	4706
81	5178	5150

การทดสอบหาความดันตกคร่อมอุปกรณ์ควบแน่น โดยใช้การเปรียบเทียบความดันที่ปากทางเข้าและออกของอุปกรณ์ควบแน่น การวัดความดันตกคร่อมดังกล่าวจะวัดที่อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 25 LPM 35 LPM และที่ 45 LPM ผลของความดันที่ตกคร่อมเท่ากับ 14.5 เซนติเมตรน้ำ 24.5 เซนติเมตรน้ำ และ 44.5 เซนติเมตรน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ตามลำดับ

ผลของการตรวจวัดความดันตกคร่อม ที่อัตราการไหลสูงกว่าจะมีค่าความดันตกคร่อมอุปกรณ์ควบแน่นมากกว่า ซึ่งเป็นผลจากสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของน้ำหล่อเย็นผ่านกลุ่มท่อเพิ่มมากขึ้น แต่จากผลของความดันตกคร่อมที่ตรวจวัด ค่าที่ได้มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเฮดของปั้มน้ำหล่อเย็น ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20 เมตรน้ำ

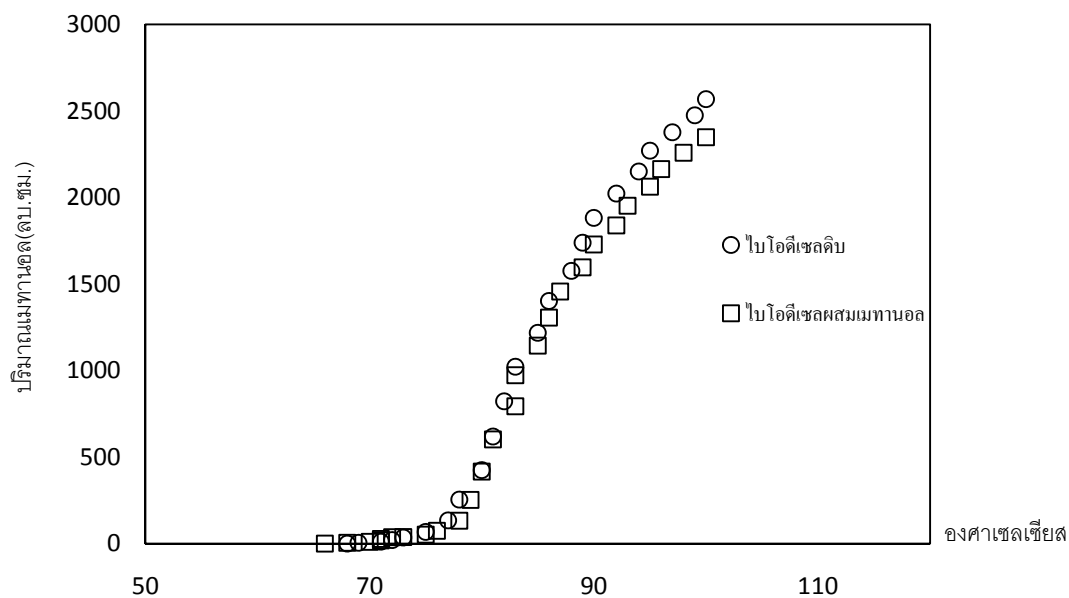


รูปที่ 4.4 ความดันตกคร่อมอุปกรณ์ควบแน่น

4.1.3 ผลการทดลองหาปริมาณเมทานอลในแต่ละอุณหภูมิ

จากการทดลองที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าปริมาณเมทานอลสะสมที่ควบแน่นได้ที่แต่ละอุณหภูมิ มีปริมาณเมทานอลคงที่ หากต้องการเพิ่มปริมาณเมทานอลสะสมจำเป็นจะต้องเพิ่มอุณหภูมิของของเหลว สำหรับการทดลองนี้ ได้ทำการให้ความร้อนแก่ไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิไบโอดีเซลถึง 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบปริมาณเมทานอลสะสมกับไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการล้างแล้วผสมกับเมทานอล

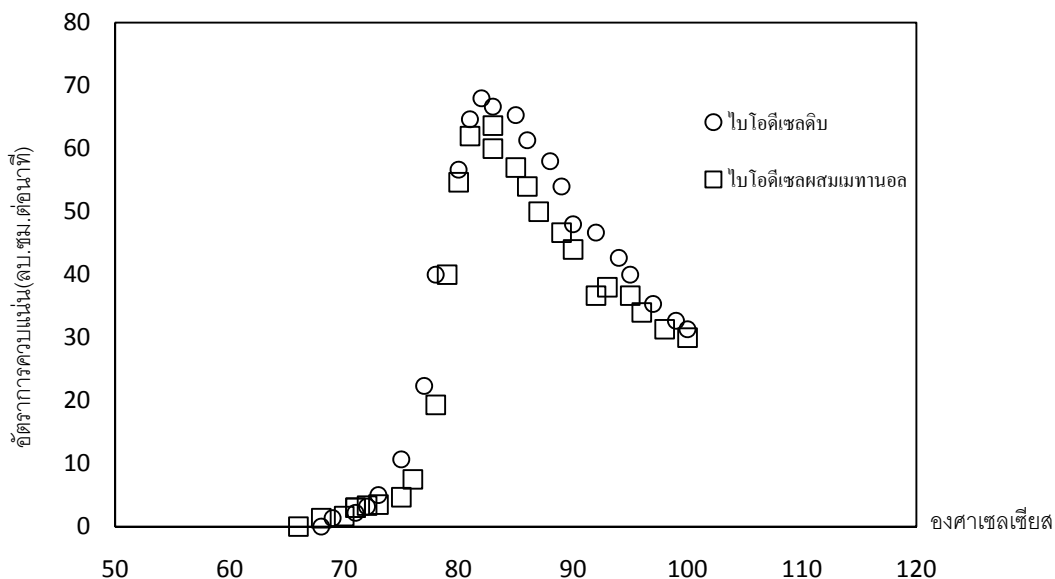
ผลการทดลองการควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลดิบ และจากไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการล้างแล้วผสมกับเมทานอล ปริมาณเมทานอลสะสมที่ควบแน่นได้ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทานอลสะสมกับอุณหภูมิของไบโอดีเซล

4.1.4 ผลการทดลองหาอัตราการระเหยของเมทานอลในแต่ละอุณหภูมิ

การทดลองนี้เพื่อศึกษาถึงลักษณะ และอัตราการระเหยของเมทานอล เปรียบเทียบระหว่างไบโอดีเซลดิบกับไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการล้างแล้วผสมกับเมทานอล จำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลส่วนเกิน ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6

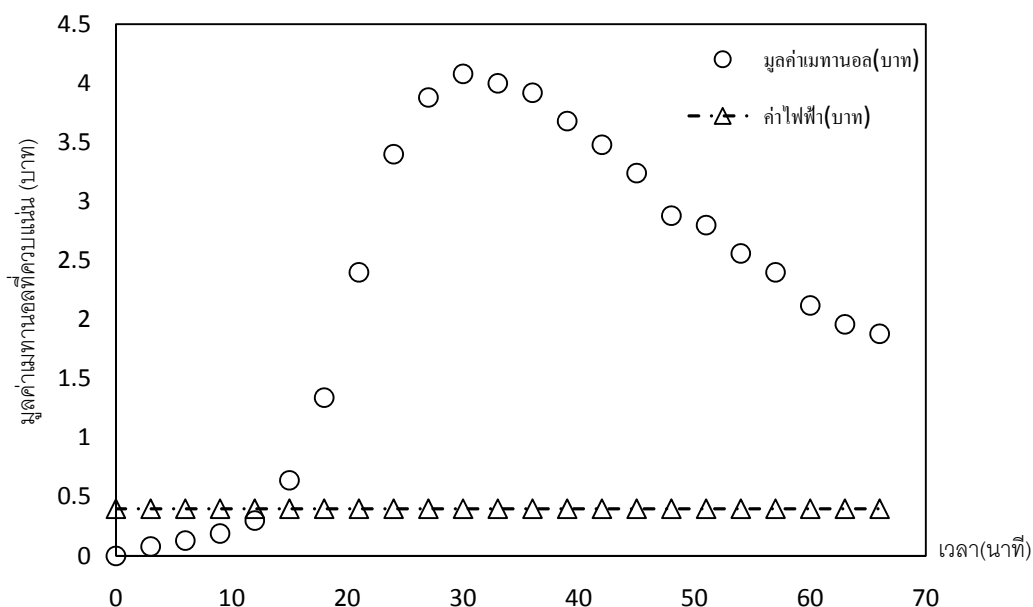


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยของเมทานอลกับอุณหภูมิของไบโอดีเซล

การทดลองควบแน่นเมทานอลโดยการผสมเมทานอล ปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลส่วนเกิน (3.7 ลิตร) ลงไปในไบโอดีเซลที่ล้างแล้ว ซึ่งมีแคตตาลิสต์และเมทานอลผสมอยู่น้อยมาก เมทานอลที่มีจุดเดือด 64.7 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ จะเริ่มควบแน่นที่อุณหภูมิของไบโอดีเซล 67 องศาเซลเซียส ในช่วง 20 นาทีแรก (อุณหภูมิของไบโอดีเซล 67 ถึง 78 องศาเซลเซียส) อัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.8 แต่หลังจากช่วงนี้ อัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อถึงอุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของเมทานอลจะมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นอัตราการระเหยจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่ออุณหภูมิของไบโอดีเซลเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ปริมาณของเมทานอลที่ควบแน่นได้ทั้งหมดเท่ากับ 2,347 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ใช้เวลา 75 นาที

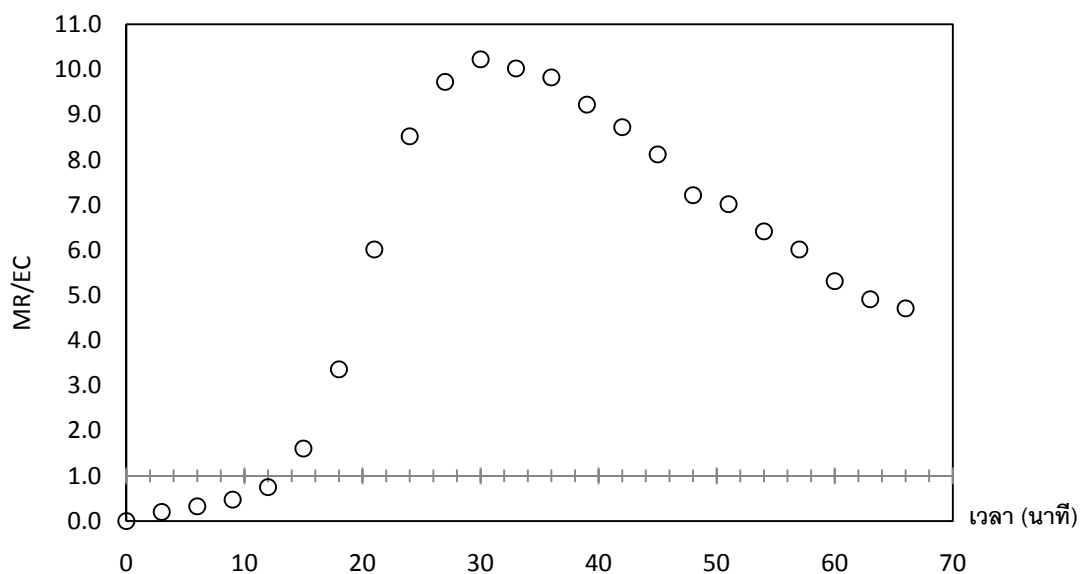
ในส่วนของการทดลองควบแน่นเมทานอลจากการผลิตไบโอดีเซลหรือไบโอดีเซลดิบ เมทานอลเริ่มควบแน่นที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิไบโอดีเซลเท่ากับ 82 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของเมทานอลจะมีค่าสูงสุด และหลังจากนี้ อัตราการระเหยจะลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และเมื่อถึงอุณหภูมิของไบโอดีเซลเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ปริมาณของเมทานอลที่ควบแน่นได้ทั้งหมด 2,568 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้เวลา 66 นาที จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยกับปริมาณของเมทานอลที่ควบแน่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิไบโอดีเซล ของการทดลองทั้งสองที่กล่าวมา ลักษณะของเส้นความสัมพันธ์จะมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งสรุปได้ว่า ปริมาณเมทานอลสะสมกับอัตราการระเหยของ

เมทานอลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของไบโอดีเซล โดยช่วงอุณหภูมิ 78 ถึง 83 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะถึงจุดสูงสุดในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบมูลค่าเมทานอลกับต้นทุนค่าไฟฟ้าในแต่ละ 3 นาที

ต้นทุนในการดำเนินงานจะพิจารณาเฉพาะค่าไฟฟ้า โดยมีต้นทุนค่าไฟฟ้าหน่วยละ $(2.7781+0.80)$ บาท (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2552) จากรูปที่ 4.7 ได้แสดงมูลค่าของเมทานอลที่ได้จากการควบแน่นในแต่ละช่วงเวลา 3 นาที เปรียบเทียบกับต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียไป จากรูปในช่วง 12 นาทีแรกของการควบแน่น จะเป็นช่วงที่ไม่คุ้มทุน แต่หลังจากผ่านจุดตัดนี้แล้ว มูลค่าของเมทานอลก็จะสูงกว่าค่าไฟฟ้าโดยตลอด จนถึงอุณหภูมิของไบโอดีเซล 100 องศาเซลเซียส รูปที่ 4.8 แสดงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นต่อค่าไฟฟ้า (MR/EC) ค่าดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าหลังจากช่วง 12 นาทีแรก ค่า MR/EC จะมีค่ามากกว่า 1 ตลอด และที่จุดสูงจะมีค่าเท่ากับ 10 ซึ่งหมายถึงผลตอบแทนจากเมทานอลที่ได้มาจะมีค่าเป็น 10 เท่าของต้นทุนค่าไฟฟ้าที่เสียไป ส่วนค่าเฉลี่ยจะเท่ากับ 5.8



รูปที่ 4.8 อัตราส่วน MR/EC

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ต้นทุนในการสร้างของระบบควบคุม และข้อมูลในการดำเนินงานจากการทดลอง ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินถึงความเหมาะสม หากมีการนำระบบควบคุมจากการทดลองที่ผ่านมา ทำงานร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน จากตารางที่ 4.2 ได้แสดงอุปกรณ์พร้อมกับราคาที่ใช้สร้างระบบควบคุมซึ่งเป็นต้นทุนเริ่มต้น และในตารางที่ 4.3 ได้แสดงรายละเอียดของค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนขอระบบควบคุม

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์พร้อมทั้งราคาที่จัดซื้อสำหรับระบบควบแน่น

รายการอุปกรณ์	จำนวน	ราคา (บาท)
อุปกรณ์ควบแน่น	1 ตัว	5,500
ถัง PE สำหรับน้ำหล่อเย็น	1 ถัง	500
ปั้มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า	1 ตัว	1,100
มาตรวัดอัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	1 ตัว	4,258
ฮีตเตอร์ 2,500 วัตต์	1 ตัว	2,637
อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	1 ตัว	4,093
เทอร์โมคัปเปิล type K	1 ตัว	291
อุปกรณ์อื่นๆ	-	1,000
รวม		19,379

จากข้อมูลผลการทดลอง ปริมาณเมทานอลที่ควบแน่นเท่ากับ 2.568 ลิตร สามารถเปลี่ยนเป็นผลตอบแทน เพื่อให้สามารถประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ควบคู่กับต้นทุนที่ต้องจ่ายในการดำเนินงานเป็นเวลา 1.6 ชั่วโมง ซึ่งได้แก่ค่าไฟฟ้าของขดลวดความร้อนขนาด 2.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง กับปั้มน้ำหล่อเย็นขนาด 0.373 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง โดยราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.5781 บาท และต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบควบแน่น จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณหาต้นทุนในการดำเนินงานและผลตอบแทนจากมูลค่าของเมทานอลที่ได้รับดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ค่าไฟฟ้า)

ขดลวดความร้อนของไบโอดีเซล 1.6 ชั่วโมง x 2.5 กิโลวัตต์ x 3.5781 บาทต่อหน่วย = 14.31 บาท

ปั้มน้ำหล่อเย็น 1.6 ชั่วโมง x 0.373 กิโลวัตต์ x 3.5781 บาทต่อหน่วย = 2.14 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ค่าไฟฟ้า) ต่อวัน (3 batch) 3 x (14.31 + 2.14) = 49.35 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ค่าไฟฟ้า) ต่อปี 49.35 x 300 = 14,805 บาท

ปริมาณเมทานอลที่ควบแน่นได้ในแต่ละวัน (3 batch) $2.568 \times 3 = 7.704$ ลิตร

ราคาเมทานอลต่อลิตร 20.00 บาท

มูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ต่อวัน $7.704 \times 20.00 = 154.08$ บาท

มูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ต่อปี $154.08 \times 300 = 46,224$ บาท

ตารางที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของระบบควบแน่น

	ผลตอบแทนปีที่ 0	ผลตอบแทนปีที่ 1	ผลตอบแทนปีที่ 2	ผลตอบแทนปีที่ 3	ผลตอบแทนปีที่ 4	ผลตอบแทนปีที่ 5
ต้นทุนเริ่มต้น	19,379					
ผลตอบแทนต่อปี		46,224	46,224	46,224	46,224	46,224
ต้นทุนการดำเนินงาน		14,805	14,805	14,805	14,805	14,805
ค่าเสื่อมราคา		1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
ค่าบำรุงรักษา		1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
ต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมด		18,605	18,605	18,605	18,605	18,605
กำไรสุทธิ		27,619	27,619	27,619	27,619	27,619

4.1.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, *PP*)

ในการประเมินระยะเวลาคืนทุนของระบบควบแน่น หากระยะเวลาของการคืนทุนสั้น ก็จะเป็นผลดีต่อการลงทุน และหากเป็นการเปรียบเทียบระหว่างโครงการ โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่าก็จะได้รับความน่าสนใจมากกว่า ซึ่งในตารางที่ 4.3 ได้แสดงต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบควบแน่น และผลตอบแทนในแต่ละปี โดยได้ทำการพิจารณาใน 3 กรณี คือ ระยะเวลาคืนทุนของระบบควบแน่น ระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน (Suwanmanee, 2006) และระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน

ระยะเวลาคืนทุนดังแสดงในตาราง ระบบควบแน่นเมทานอลมีระยะเวลาที่คืนทุนที่สั้นกว่าระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ดังนั้นหากมีการนำระบบควบแน่นเมทานอลมาใช้งานร่วม ก็จะสามารถลดระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนได้ จากระยะเวลา 1.30 ปี เป็น 1.21 ปี

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุน

ปี	ระบบควบแน่น	ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน	ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ทำงานร่วมกับระบบควบแน่น
ต้นทุนเริ่มต้น	-19,379.00	-200,000.00	-219,379.00
ผลตอบแทนแต่ละปี	27,619.00	153,900.00	181,519.00
<i>PP</i>	0.70	1.30	1.21

4.1.5.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, *IRR*)

เป็นอัตราส่วนลด (Discount Rate) ที่ทำให้ค่า *NPV* ของระบบควบแน่น มีค่าเท่ากับศูนย์ภายในระยะเวลาของอายุการทำงาน of ระบบควบแน่น ซึ่งในตารางที่ 4.4 ได้แสดงต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบควบแน่น และผลตอบแทนในแต่ละปีตลอดอายุการทำงาน โดยได้ทำการพิจารณาใน 3 กรณี คืออัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบควบแน่น อัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน (Suwanmanee, 2006) และอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เมื่อมีการนำระบบควบแน่นเมทานอลมาใช้ร่วม จากค่า *IRR* ของระบบควบแน่นซึ่งมีค่าสูงถึง 140.76 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นทำให้ผู้ที่มีความสนใจในการลงทุนเริ่มต้นเกิดความมั่นใจ แม้ว่าจะต้องจ่ายเงินกู้ในการลงทุนเริ่มต้น เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ผลตอบแทนมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้มาก และผลที่แสดงเมื่อมีการนำระบบควบแน่นเมทา

นอลมาใช้ร่วม สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์ผลตอบแทนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 79.76 เปอร์เซ็นต์ จาก 71.81 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ระบบควบแน่น	ระบบผลิตไอน้ำโอดีเซล ชุมชน	ระบบผลิตไอน้ำโอดีเซลชุมชน ทำงานร่วมกับระบบควบแน่น
ต้นทุนเริ่มต้น	-19,379.00	-200,000.00	-219,379.00
ผลตอบแทนปีที่ 1	27,619.00	153,900.00	181,519.00
ผลตอบแทนปีที่ 2	27,619.00	153,900.00	181,519.00
ผลตอบแทนปีที่ 3	27,619.00	153,900.00	181,519.00
ผลตอบแทนปีที่ 4	27,619.00	153,900.00	181,519.00
ผลตอบแทนปีที่ 5	27,619.00	153,900.00	181,519.00
<i>IRR</i>	140.76	71.81	78.13

4.1.5.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Profitability index, *PI*)

เป็นการแสดงถึงกำไรสัมพัทธ์ของระบบควบแน่น หรืออัตราส่วนของกำไรของระบบควบแน่น ต่อต้นทุนในการสร้างระบบ โดยปกติถ้าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนของโครงการใดมีค่ามากกว่า 1 ถือว่าโครงการนั้นน่าจะได้รับคามสนใจ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จากผลที่ได้ค่า *PI* ของระบบควบแน่นมีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความน่าสนใจของระบบ จากการประเมินถึงอัตราส่วนของกำไรของระบบควบแน่น ต่อต้นทุนในการสร้างระบบ ซึ่งค่าที่ได้มีค่ามากกว่าค่าของระบบผลิตไอน้ำโอดีเซลชุมชน และเมื่อระบบผลิตไอน้ำโอดีเซลชุมชนมีการทำงานร่วมกับระบบควบแน่นอัตราส่วนของกำไรของระบบ เพิ่มจาก 3.07 เป็น 3.30 เท่า

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน

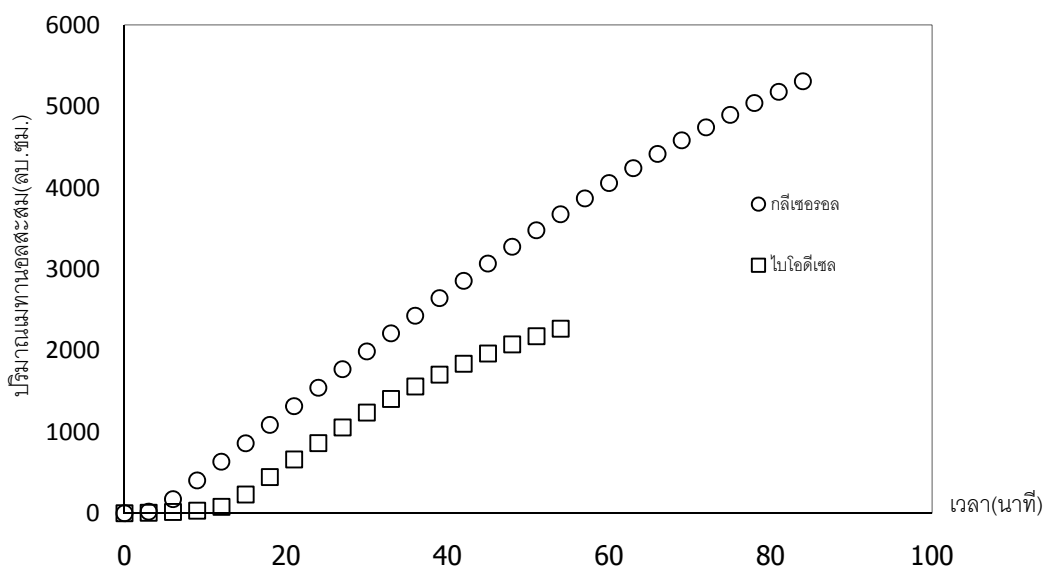
ปี	ผลตอบแทน ของระบบ ความมั่นคง	ผลตอบแทน นสุทธิของ ระบบ ความมั่นคง	ผลตอบแทน นสุทธิของ ระบบ ผลิตไบโอ ดีเซลชุมชน	ผลตอบแทน นสุทธิของ ระบบ ผลิตไบโอ ดีเซลชุมชน	ผลตอบแทน ของระบบ ผลิตไบโอดีเซล ชุมชนร่วมกับ ระบบความมั่นคง	ผลตอบแทน ของระบบ ผลิตไบโอดีเซล ชุมชนร่วมกับ ระบบความมั่นคง
0	-19,379.00		-200,000.00		-219,379.00	
1	27,619.00	25,573.15	153,900.00	142,500.00	181,519.00	168,073.15
2	27,619.00	23,678.84	153,900.00	131,944.44	181,519.00	155,623.29
3	27,619.00	21,924.85	153,900.00	122,170.78	181,519.00	144,095.63
4	27,619.00	20,300.79	153,900.00	113,121.09	181,519.00	133,421.88
5	27,619.00	18,797.03	153,900.00	104,741.75	181,519.00	123,538.78
ผลตอบแทน สุทธิตลอด อายุโครงการ		110,274.66		614,478.07		724,752.73
<i>PI</i>		5.69		3.07		3.30

4.1.6 วิเคราะห์ผลการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ความมั่นคงกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน

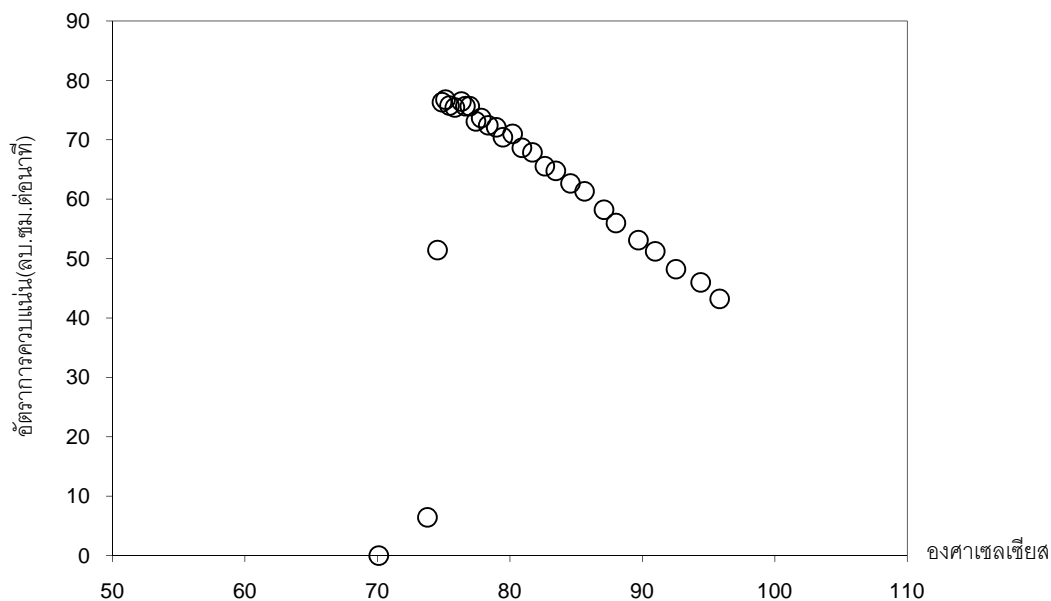
จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณเมทานอลสะสมที่ความมั่นคงจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล ที่อุณหภูมิใดๆ จะมีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อต้องการปริมาณของเมทานอลสะสมเพิ่มมากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับของเหลว ในกรณีความดันคงที่ ที่อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ความคุ้มทุนในการดำเนินงาน ค่า MR/EC มีค่าสูงสุดเท่ากับ 10 ซึ่งหมายถึงผลตอบแทนจากเมทานอลที่ได้มาจะมีค่าเป็น 10 เท่าของต้นทุนค่าไฟที่เสียไป ส่วนค่าเฉลี่ยจะเท่ากับ 5.8 จากผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เมื่อมีการความมั่นคงเมทานอลจากไบโอดีเซลระยะเวลาคืนทุน 1.21 ปี ลดลงจากเดิมซึ่งเท่ากับ 1.3 ปี อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเมื่อมีการความมั่นคงเมทานอลจากไบโอดีเซลเท่ากับ 3.3 เท่า เพิ่มขึ้นจากเดิมซึ่งเท่ากับ 3.07

4.2 ผลของระบบควบคุมแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล

ผลจากการทดลองสำหรับไบโอดีเซล เมทานอลเริ่มควบแน่นที่อุณหภูมิประมาณ 70 ถึง 72 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ในช่วงเริ่มต้นอัตราการควบแน่นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่หลังจากอุณหภูมิประมาณ 78 องศาเซลเซียส อัตราการควบแน่นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในช่วงอุณหภูมิ 80 ถึง 81 องศาเซลเซียส อัตราการควบแน่นจะมีค่าสูงสุด แต่หลังช่วงสูงสุด จะลดลงอย่างต่อเนื่องและเกือบคงที่ และสิ้นสุดการเก็บข้อมูลเมื่ออุณหภูมิไบโอดีเซลถึง 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทั้งหมด 54 นาทีตั้งแต่เริ่มควบแน่น ปริมาณเมทานอลสะสมเท่ากับ 2.268 ลิตรดังแสดงในรูปที่ 4.11

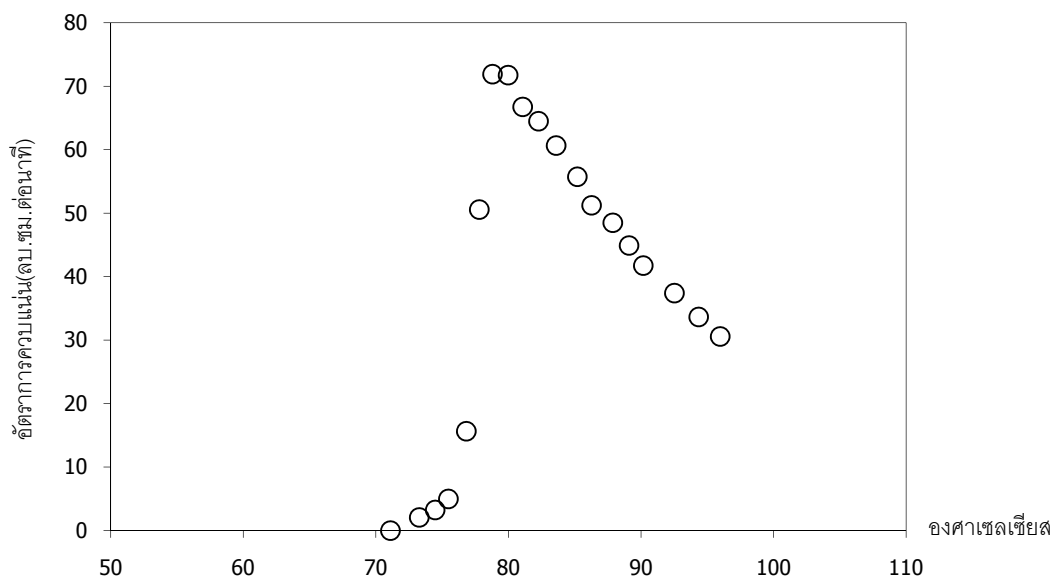


รูปที่ 4.9 ปริมาณเมทานอลสะสม



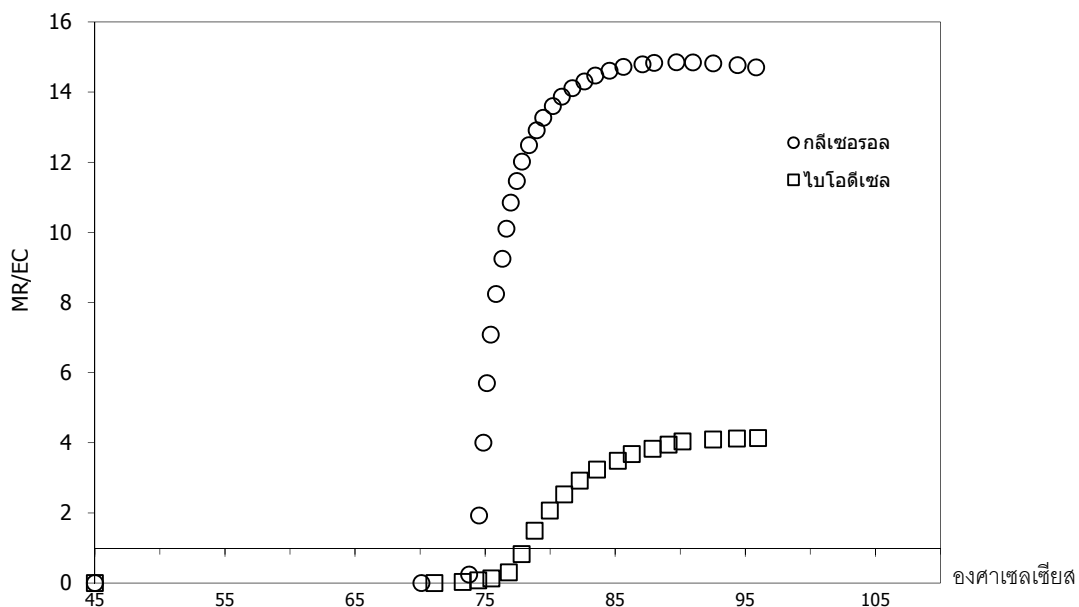
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยของเมทานอลกับอุณหภูมิกลีเซอรอล

สำหรับกลีเซอรอล เมทานอลเริ่มควบแน่นที่อุณหภูมิประมาณ 69 ถึง 71 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ในช่วงเริ่มต้น อัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่หลังจากอุณหภูมิประมาณ 73 องศาเซลเซียส จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงสุดที่ช่วง 75 ถึง 77 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของเมทานอลในแต่ละช่วงเวลา 3 นาที ในช่วงอุณหภูมิ 75 ถึง 83 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะลดลงอย่างช้าๆ หลังจากผ่านช่วงสูงสุด ใช้เวลาทั้งหมด 84 นาทีตั้งแต่เริ่มควบแน่น ปริมาณเมทานอลสะสมเท่ากับ 5.309 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11

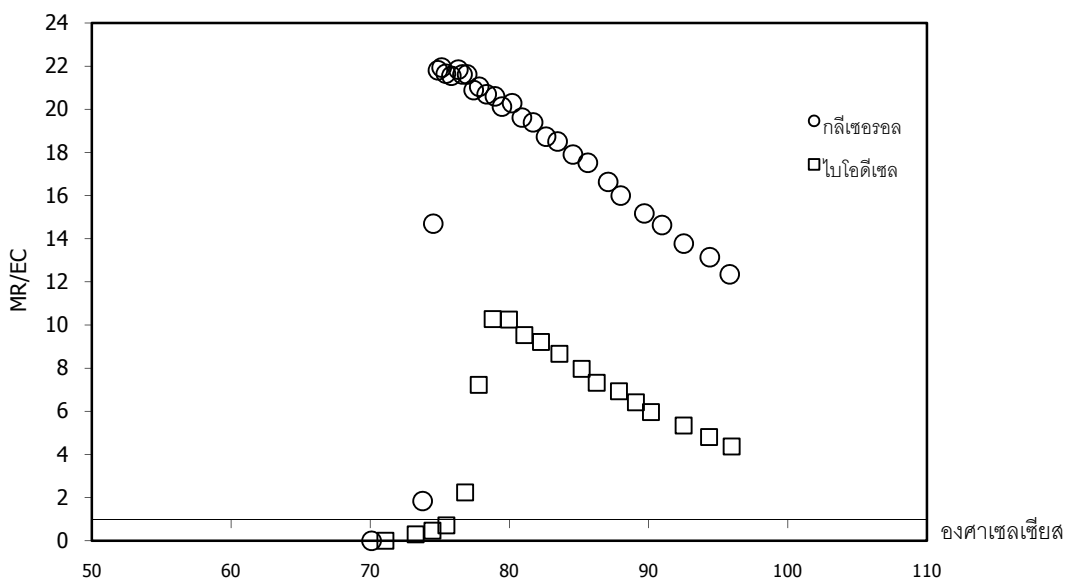


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยของเมทานอลกับอุณหภูมิไปโอดีเซล

อัตราการควบแน่นของเมทานอล จากไปโอดีเซลและกลีเซอรอล มีค่าไม่คงที่ จากรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 สามารถอธิบายลักษณะของการระเหย ซึ่งถือเป็นลักษณะเฉพาะของเมทานอล โดยขึ้นอยู่กับสัดส่วนโมลของสารประกอบที่เป็นของเหลวในแต่ละอุณหภูมิ ลักษณะดังกล่าวเป็นผลดีสำหรับการระเหยเมทานอล เนื่องจากในช่วงแรกอัตราการระเหยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และถึงจุดสูงสุดในอุณหภูมิช่วงเริ่มต้น โดยเฉพาะภาชนะที่ใช้เป็นโพลีเอทิลีน ซึ่งมีอุณหภูมิอ่อนตัวในช่วง 112 ถึง 132 องศาเซลเซียส (Matra Plast Industries Inc., 2008)



รูปที่ 4.12 อัตราส่วน MR/EC ตลอดการควบแน่น



รูปที่ 4.13 อัตราส่วน MR/EC ในแต่ละช่วงเวลา 3 นาที ของการควบแน่น

การพิจารณาเพื่อหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการหยุดให้ความร้อน จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ เป็นอุณหภูมิที่ถึงโพลีอีทีนสามารถทนได้ และเป็นจุดที่เหมาะสมทางด้านต้นทุนค่าไฟฟ้ากับผลตอบแทนของเมทานอลที่ควบแน่นได้ จากการพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง มูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ (MR) กับต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อน (EC) ในรูปที่ 4.14 จากจุด

ของแกนที่ค่า MR/EC เท่ากับ 1 หมายถึงจุดคุ้มทุน ระหว่างมูลค่าของเมทานอลกับค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อน จุดเริ่มต้นของการควบแน่น มูลค่าของเมทานอลเท่ากับศูนย์ แต่ค่าไฟฟ้าไม่เท่ากับศูนย์ เนื่องจากต้องใช้ความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิ ตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่เมทานอลเริ่มควบแน่น ดังนั้นค่า MR/EC ที่ได้จึงเป็นค่าตลอดการควบแน่น ในช่วงเริ่มต้น ค่า MR/EC เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่หลังจากอุณหภูมิเริ่มควบแน่น 2 ถึง 3 องศาเซลเซียส ค่าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในช่วงอุณหภูมิ 90 ถึง 95 องศาเซลเซียส เป็นช่วงสูงสุดของค่า MR/EC ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมสำหรับการหยุดระเหยเมทานอลจากใบ โอดีเซลและกลีเซอรอล และที่อุณหภูมิดังกล่าวถึงโพลีอีทีลีนสามารถทนได้ ที่จุดสิ้นสุดค่า MR/ECตลอดการควบแน่นเท่ากับ 4.13 และ 14.85 สำหรับใบโอดีเซลและกลีเซอรอล ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า MR/ECในแต่ละช่วงเวลา 3 นาที ในระหว่างการควบแน่น โดยไม่พิจารณาต้นทุนของกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในการให้ความร้อนก่อนที่เมทานอลเริ่มควบแน่น ค่าที่ได้เท่ากับ 10.27 และ 21.05 สำหรับใบโอดีเซลและกลีเซอรอล ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ควบแน่นได้เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อการผลิต ใบโอดีเซล น้ำมันวัตถุดิบอาจมีความชื้นหรือน้ำที่ผสมอยู่ และความชื้นดังกล่าวก็จะเจือปนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต ใบโอดีเซล เมื่อให้ความร้อนเพื่อให้เมทานอลเกิดการระเหยน้ำซึ่งมีจุดเดือดใกล้เคียงกับเมทานอลอาจเกิดการระเหยออกมา ทำให้เมทานอลที่ได้จากการควบแน่นมีความบริสุทธิ์ลดลงจากเมทานอลในขั้นต้น ผลการทดสอบความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ได้จากการควบแน่นจากตัวอย่างที่ผสมกัน ระหว่างเมทานอลที่ได้จากใบโอดีเซลและกลีเซอรอลของการผลิตครั้งเดียวกัน ความบริสุทธิ์ของเมทานอลเท่ากับ 98.47 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทดสอบโดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รายงานผลการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลของต้นทุนในการสร้างระบบควบแน่นทั้งระบบ และข้อมูลในการดำเนินงานจากการทดลอง ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินถึงความเหมาะสม หากมีการนำระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้างดังกล่าวนี้ มาใช้ร่วมกับระบบผลิตใบโอดีเซลชุมชน จากตารางที่ 4.7 ได้แสดงอุปกรณ์พร้อมกับราคาที่ใช้ในระบบควบแน่น ซึ่งเป็นต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบควบแน่นทั้งหมด

ตารางที่ 4.7 อุปกรณ์พร้อมกับราคาที่จัดซื้อสำหรับระบบควบแน่น

รายการอุปกรณ์	จำนวน	ราคา (บาท)
โครงเหล็ก	1 ชุด	2,500
ล้อยาง	4 ล้อ	340
อุปกรณ์ควบแน่น	1 อัน	5,500
ถัง โพลีเอทีลีนสำหรับกลีเซอรอล	1 ถัง	85
ถัง โพลีเอทีลีนไป ไอดีเซล	1 ถัง	400
ถัง โพลีเอทีลีนสำหรับน้ำหล่อเย็น	1 ถัง	500
ปั้มน้ำหล่อเย็นขนาด 0.5 แรงม้า	1 ตัว	1,100
มาตรวัดอัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	1 ตัว	4,258
ฮีตเตอร์ 3000 วัตต์	1 ตัว	2,637
ฮีตเตอร์ 1500 วัตต์	1 ตัว	864
อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	2 ตัว	8185
เทอร์โมคัปเปิ้ล type K	4 ตัว	1,164
แผงควบคุมไฟฟ้า	1 ชุด	6,187
อุปกรณ์อื่นๆ	-	7,000
ค่าจ้างเหมาติดตั้งชุดควบแน่นเมทานอล	-	10,000
รวม		50,720

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน โดยพิจารณาเฉพาะค่าไฟฟ้า โดยไม่พิจารณาค่าต้นทุนของน้ำหล่อเย็นเนื่องจากระบบหล่อเย็นเป็นระบบไหลเวียนแบบกึ่งระบบปิด ไม่มีการสูญเสียน้ำออกจากระบบ ต้นทุนค่าไฟฟ้าของระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบ มีทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ ค่าไฟฟ้าจากขดลวดความร้อนสำหรับไป ไอดีเซล ขดลวดความร้อนสำหรับกลีเซอรอล และสำหรับปั้มน้ำหล่อเย็น ค่าไฟฟ้าสำหรับทั้งสองขดลวดเริ่มพิจารณาตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนที่อุณหภูมิของไป ไอดีเซล และกลีเซอรอลเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 54 นาที

สำหรับไบโอดีเซล และ 1 ชั่วโมง 24 นาทีสำหรับกลีเซอรอล ในส่วนของปั้มน้ำหล่อเย็น ระยะเวลาที่ทำงานเท่ากับระยะเวลาของการทดลองควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอลรวมกัน โดยค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.578 บาท (ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2552) การคำนวณหาค่าใช้จ่ายของกระแสไฟฟ้าทั้งหมดมีดังนี้

ฮีตเตอร์ไบโอดีเซล	0.9 ชั่วโมง x 3.0 กิโลวัตต์ x 3.578 บาทต่อหน่วย = 10.15 บาท
ฮีตเตอร์กลีเซอรอล	1.4 ชั่วโมง x 1.5 กิโลวัตต์ x 3.578 บาทต่อหน่วย = 7.51 บาท
ปั้มน้ำหล่อเย็น	2.3 ชั่วโมง x 0.373 กิโลวัตต์ x 3.578 บาทต่อหน่วย = 3.07 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งหมด โดยพิจารณาตามสภาวะการทำงานของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งมีการผลิตไบโอดีเซลจำนวน 3 แบทช์ต่อวัน และใน 1 ปีกำหนดวันทำงานของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนเท่ากับ 300 วัน ดังนั้นสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายรายปีได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ค่าไฟฟ้า) ต่อวัน (3 batch) $3 \times (10.15 + 7.51 + 3.07) = 62.19$ บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ค่าไฟฟ้า) ต่อปี $62.19 \times 300 = 18,657$ บาท

ปริมาณเมทานอลที่ได้จากการทดลองโดยการควบแน่น จากระบบควบแน่นที่ได้ ออกแบบและสร้าง ซึ่งปริมาณที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง โดยปริมาณของเมทานอลที่ควบแน่น มาจาก 2 ส่วนคือจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล

ปริมาณเมทานอลที่ควบแน่นได้เฉลี่ย 5.309 ลิตร จากกลีเซอรอล

ปริมาณเมทานอลที่ควบแน่นได้เฉลี่ย 2.268 ลิตร จากไบโอดีเซล

จากปริมาณเมทานอลที่ได้จากการทดลองข้างต้น รวมกันทั้งในส่วนจากไบโอดีเซลและส่วนที่ได้จากกลีเซอรอล สามารถนำมาคำนวณเพื่อหามูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ต่อปี โดยพิจารณาจากสภาวะการทำงานของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งผลิตไบโอดีเซลวันละ 3 แบทช์ เวลาทำงานเท่ากับ 300 วันต่อปี โดยราคาของเมทานอลอ้างอิงจากราคาขายในท้องตลาด

ปริมาณเมทานอลที่ควบแน่นได้ในแต่ละวัน (3 batch) $7.577 \times 3 = 22.731$ ลิตร

ราคาเมทานอลต่อลิตร 20.00 บาท

มูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ต่อวัน $22.731 \times 20.00 = 454.62$ บาท

มูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ต่อปี $449.7 \times 300 = 136,386$ บาท

จากต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบควบแน่นทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งหมด และมูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ ดังแสดงข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินถึงความเหมาะสม หากมีการนำระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้ออกแบบและสร้างดังกล่าว มาใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน จากตารางที่ 4.8 ได้แสดงผลตอบแทนในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กำไรสุทธิของการทำงานของระบบควบแน่นในแต่ละปี โดยมีการกำหนดให้ผลตอบแทนของแต่ละปีมีค่าคงที่ ค่าเสื่อมราคามีค่าโดยประมาณเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนเริ่มต้นหรือต้นทุนในการสร้างระบบควบแน่นเช่นเดียวกันกับค่าบำรุงรักษา

ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของระบบควบแน่น

	ผลตอบแทนปีที่ 0	ผลตอบแทนปีที่ 1	ผลตอบแทนปีที่ 2	ผลตอบแทนปีที่ 3	ผลตอบแทนปีที่ 4	ผลตอบแทนปีที่ 5
ต้นทุนเริ่มต้น	50,720					
ผลตอบแทนต่อปี		136,386	136,386	136,386	136,386	136,386
ต้นทุนการดำเนินงาน		18,657	18,657	18,657	18,657	18,657
ค่าเสื่อมราคา		5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
ค่าบำรุงรักษา		5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
ต้นทุนการดำเนินงาน ทั้งหมด		28,657	28,657	28,657	28,657	28,657
กำไรสุทธิ		107,729	107,729	107,729	107,729	107,729

4.2.1.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, *PP*)

ระยะเวลาคืนทุนของระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง โดยนำข้อมูลของมูลค่าเมทานอลที่ได้จากการทดลองข้างต้น โดยพิจารณาเป็นมูลค่าของเมทานอลที่ได้ทั้งหมดจากการทำงานใน 1 ปี กับข้อมูลของต้นทุนจากการสร้างระบบควบแน่น ซึ่งระยะเวลาคืนทุนเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาโครงการ โดยนำระยะเวลาคืนทุนดังกล่าวเปรียบเทียบกับอายุของโครงการ หากโครงการมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้น ย่อมเป็นที่สนใจสำหรับการลงทุน ระยะเวลาคืนทุนของระบบควบแน่นที่ได้จากการออกแบบและสร้าง

จากผลที่ได้ระยะเวลาคืนทุนของระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้จากการออกแบบและสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นมาก เมื่อเทียบกับระยะเวลาของโครงการ 5 ปี และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบควบแน่นเมทานอลเพียงอย่างเดียว จากการทดลองที่ผ่านมา ระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้จากการออกแบบและสร้างมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่า เมื่อมีการนำมาใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.96 ปี

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุน

ปี	ระบบควบแน่น	ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน	ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนทำงานร่วมกับระบบควบแน่น
ต้นทุนเริ่มต้น	-50,720.00	-200,000.00	-250,720.00
ผลตอบแทนแต่ละปี	107,729	153,900.00	261,629.00
<i>PP</i>	0.47	1.30	0.96

4.2.1.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, *IRR*)

วิธีอัตราผลตอบแทนการลงทุนมีความคล้ายคลึงกับวิธีมูลค่าปัจจุบันมาก โดยวิธีอัตราผลตอบแทนการลงทุนเป็นอัตราส่วนลด (Discount Rate) ที่ทำให้ค่า *NPV* ของระบบควบแน่น มีค่าเท่ากับศูนย์ภายในระยะเวลาของอายุการทำงานของโครงการ ซึ่งในตารางที่ 4.10 ได้แสดงต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบควบแน่นที่ได้จากการออกแบบและสร้าง และผลตอบแทนในแต่ละปีตลอดอายุการทำงาน โดยได้ทำการพิจารณาใน 3 กรณี คืออัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบควบแน่นที่ได้จากการออกแบบและสร้าง อัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน (Suwanmanee, 2006) และอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เมื่อมีการนำระบบควบแน่นที่ได้จากการออกแบบและสร้างมาใช้ร่วม

จากผลที่ได้ค่า *IRR* ของระบบมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับต้นทุนของเงินทุน (Cost of capital) ซึ่งเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยเกณฑ์การตัดสินใจ ควรยอมรับโครงการลงทุน ถ้า *IRR* มีค่าเกินกว่าต้นทุนของเงินทุน ซึ่งทำให้เกิดความเชื่อมั่นว่า หากมีการลงทุนในการสร้างระบบควบคุมเพื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน จะเกิดผลกำไรจากการลงทุน โดยที่อัตราผลตอบแทนการลงทุนเมื่อมีการนำระบบควบคุมมาใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนเท่า 103.08 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ระบบควบคุม	ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน	ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนทำงานร่วมกับระบบควบคุม
ต้นทุนเริ่มต้น	-50,720.00	-200,000.00	-250,720.00
ผลตอบแทนปีที่ 1	107,729	153,900.00	266,147.00
ผลตอบแทนปีที่ 2	107,729	153,900.00	266,147.00
ผลตอบแทนปีที่ 3	107,729	153,900.00	266,147.00
ผลตอบแทนปีที่ 4	107,729	153,900.00	266,147.00
ผลตอบแทนปีที่ 5	107,729	153,900.00	266,147.00
<i>IRR</i>	220.65	71.81	103.08

4.2.1.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Profitability index, *PI*)

เป็นการแสดงถึงกำไรสัมพัทธ์ของระบบควบคุม หรืออัตราส่วนของกำไรของระบบควบคุม ต่อต้นทุนในการสร้างระบบ โดยปกติถ้าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนของโครงการใดมีค่ามากกว่า 1 ถือว่าโครงการนั้นน่าจะได้รับคามสนใจ โดยในตารางที่ 4.11 ได้แสดงต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบควบคุม และผลตอบแทนตลอดอายุโครงการ โดยได้ทำการพิจารณาใน 3 กรณี คืออัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนของระบบควบคุม อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน (Suwanmanee, 2006) และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เมื่อมีการนำระบบควบคุมเมทานอลมาใช้ร่วม

จากผลที่ได้ค่า PI ของระบบควบแน่นมีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความน่าสนใจของระบบ ยิ่งค่าที่ได้มีค่ามากความน่าสนใจต่อโครงการก็จะยิ่งมาก จากการประเมินถึงอัตราส่วนของกำไรของระบบควบแน่น ต่อต้นทุนในการสร้างระบบ ซึ่งค่าที่ได้มีค่ามากกว่าค่าของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากต้นทุนเริ่มต้นที่มีค่าน้อยกว่า และเมื่อระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนมีการทำงานร่วมกับระบบควบแน่นอัตราส่วนของกำไรของระบบ เพิ่มจาก 3.07 เป็น 4.17 เท่า

ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน

ปี	ผลตอบแทน ของระบบ ควบแน่น	ผลตอบแทน สุทธิของ ระบบ ควบแน่น	ผลตอบแทน สุทธิของ ระบบ ผลิตไบโอดีเซลชุมชน	ผลตอบแทน สุทธิของ ระบบ ผลิตไบโอดีเซลชุมชน	ผลตอบแทน ของระบบ ผลิตไบโอดีเซล ชุมชนร่วมกับ ระบบควบแน่น	ผลตอบแทนสุทธิ ของระบบผลิตไบ โอดีเซลชุมชน ทำงานร่วมกับ ระบบควบแน่น
0	-50,720.00		-200,000.00		-250,720.00	
1	107,729	99,749.07	153,900.00	142,500.00	261,629.00	242,249.00
2	107,729	92,360.25	153,900.00	131,944.44	266,147.00	224,304.69
3	107,729	85,518.75	153,900.00	122,170.78	266,147.00	207,689.53
4	107,729	79,184.03	153,900.00	113,121.09	266,147.00	192,305.12
5	107,729	73,318.55	153,900.00	104,741.75	266,147.00	178,060.30
ผลตอบแทน สุทธิตลอด อายุโครงการ		430,130.65		614,478.07		1,044,608.64
PI		8.48		3.07		4.17

4.2.2 วิจัยผลกระทบทดลองควบแน่นเมทานอลจากระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง

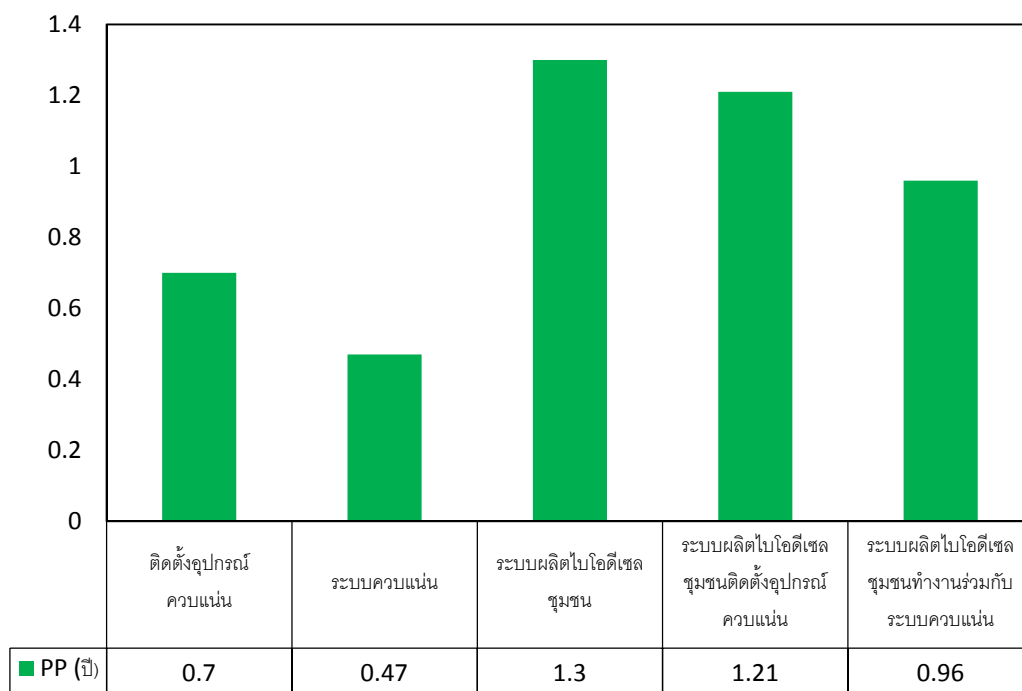
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นทราบว่า การควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยใช้ระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้ออกแบบและสร้าง ที่อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมเนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ถึงโพลีอีทีลีนทนได้ และจากรูปที่ 4.14 ค่า MR/EC ผ่านจุดสูงสุดแล้ว ตลอดการควบแน่นค่า MR/EC เท่ากับ 4.13 และ 14.85 สำหรับไบโอดีเซลและกลีเซอรอล ตามลำดับ และจากผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นถึงความ

น่าสนใจในการลงทุน ซึ่งการเปรียบเทียบผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นเข้ากับระบบผลิตไบโอดีเซล เพื่อควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียว กับการควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยใช้ระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้ออกแบบและสร้าง ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

4.3 ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในแต่ละกรณีของการทดลอง

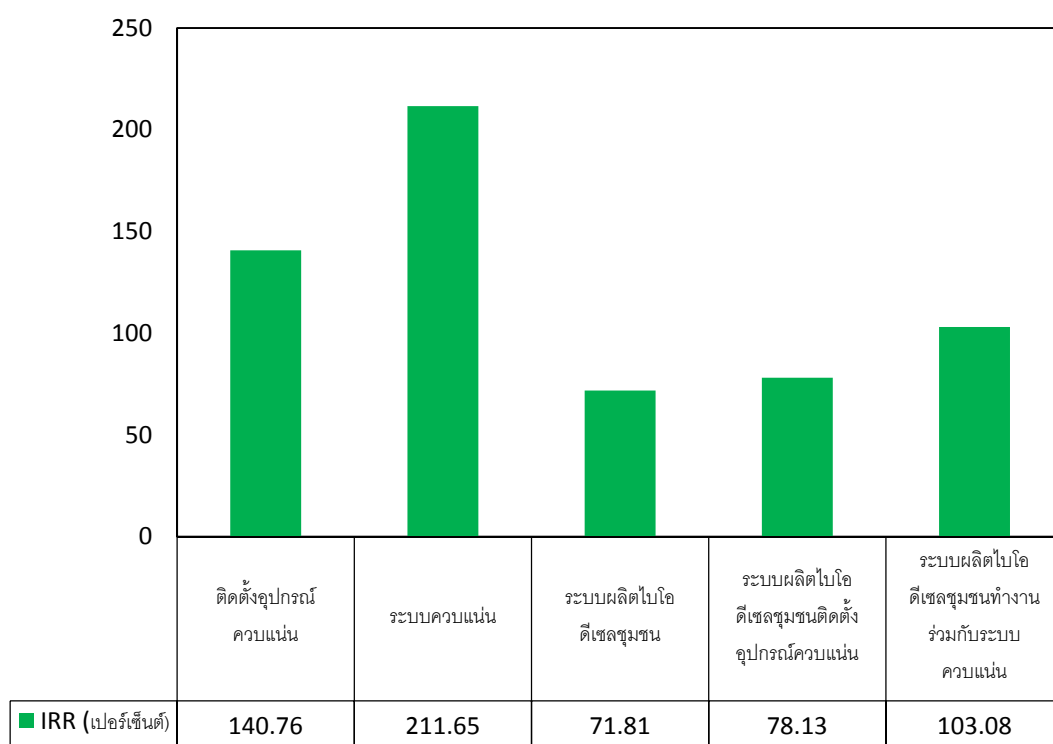
จากการวิเคราะห์ตัวแปรทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ผ่านมาทั้งหมด ได้กล่าวสรุปเพื่อเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ที่ได้ ในแต่ละรูปแบบของการทดลอง โดยแบ่งการลักษณะของการดำเนินงานทั้งหมด 5 กรณี คือ

1. ติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นกับระบบผลิต
2. ระบบควบแน่น
3. ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน
4. ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่น
5. ระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนทำงานร่วมกับระบบควบแน่น



รูปที่ 4.14 ค่า PP ในแต่ละกรณี

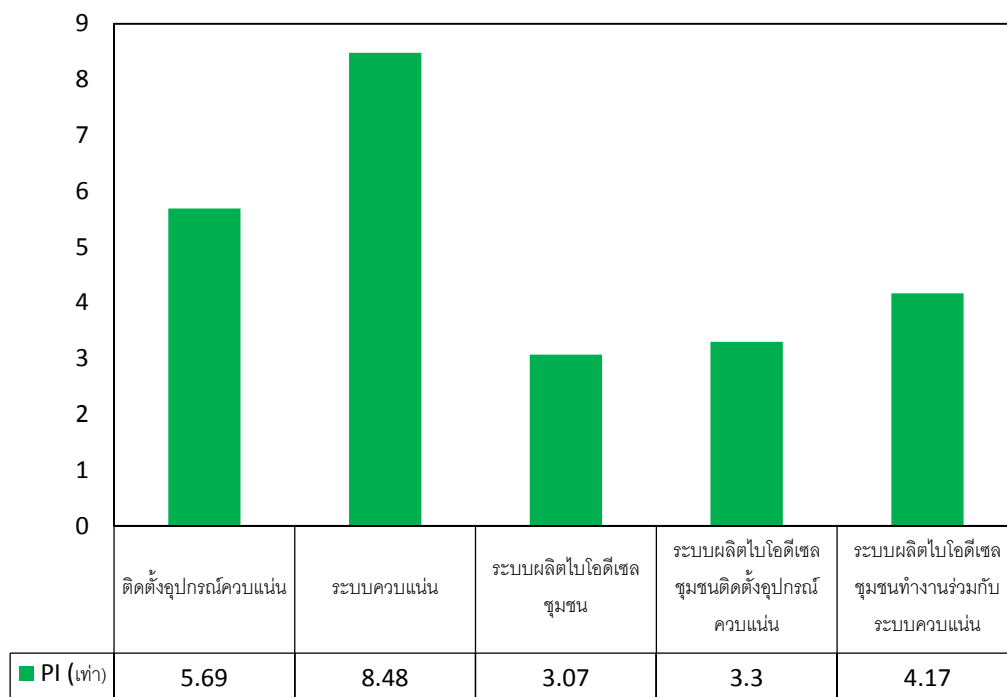
จากผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน โดยทำการเปรียบเทียบจาก 5 กรณี ดังแสดงผลในรูปที่ 4.14 ระยะเวลาคืนทุนเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นกับระบบผลิตเปรียบเทียบกับระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง จะมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่า และเมื่อมีการนำระบบควบแน่นมาทำงานร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน สามารถลดระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนจาก 1.3 ปี เป็น 0.96 ปี และเท่ากับ 1.21 ปี หากติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่น ดังนั้นการดำเนินงานของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน สมควรที่จะต้องมีระบบควบแน่นเมทานอลทำงานร่วมในการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากสามารถลดระยะเวลาคืนทุนได้มากที่สุด



รูปที่ 4.15 ค่า *IRR* ในแต่ละกรณี

เมื่อเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนการลงทุน ดังแสดงรูปที่ 4.15 ระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นกับระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง พบว่าระบบควบแน่นจะมีค่าสูงกว่าเท่ากับ 220.65 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนมีการทำงานร่วมกับระบบระบบควบแน่น สามารถเพิ่มอัตราผลตอบแทนการลงทุนจาก 71.81 เปอร์เซ็นต์ เป็น 103.08 เปอร์เซ็นต์ และเท่ากับ 79.76 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่น ผลจากการวิเคราะห์ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ระบบควบแน่นสามารถเพิ่มอัตราผลตอบแทนการลงทุนได้มากกว่าการติดตั้งอุปกรณ์

ความแน่น ซึ่งสามารถทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเมื่อมีการนำมาใช้ร่วม



รูปที่ 4.16 ค่า PI ในแต่ละกรณี

เมื่อเปรียบเทียบค่า PI ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันตลอดอายุโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก หรืออัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ในแต่ละกรณีดังแสดงในรูปที่ 4.16 เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนค่า PI ควรมีค่ามากกว่า 1 ดังนั้นในทุกกรณีมีความน่าใจ เมื่อพิจารณาจากค่าดังกล่าวพบว่า ระบบความแน่นที่ได้ออกแบบและสร้างมีค่าเท่ากับ 8.48 มีความน่าสนใจด้านการลงทุนมากกว่าการติดตั้งอุปกรณ์ความแน่น ระบบความแน่นจะมีค่ามากกว่าระบบผลิตไบโอดีเซล ทำให้สามารถเพิ่มค่า PI ของระบบผลิตไบโอดีเซลเมื่อมีการทำงานร่วมกับระบบความแน่น จาก 3.07 เป็น 4.17

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

อุปกรณ์ควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง แบบ Shell and tube เพื่อใช้ในการควบแน่นไอเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล ซึ่งผลิตจากระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน ผลขนาดของพื้นที่กลุ่มท่อเท่ากับ 0.1185 ตารางเมตร และใช้ความสัมพันธ์ของ Khalifeh et al. เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะของแผ่นกั้นที่เหมาะสม ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 29.8 มิลลิเมตร จากผลการทดลองอุปกรณ์ควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้าง สามารถควบแน่นไอของเมทานอล จากไบโอดีเซลและกลีเซอรอลได้ทั้งหมด โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาเฉลี่ยเท่ากับ $540 \frac{W}{m^2 \cdot C}$

จากการทดลองโดยให้ความร้อนเพื่อให้เมทานอลเกิดการระเหยจากไบโอดีเซลหรือจากกลีเซอรอลนั้น ลักษณะการระเหยจะเป็นไปตาม Raoult's law อัตราการระเหยของเมทานอลที่ระเหยได้ในแต่ละอุณหภูมิของของเหลว จะขึ้นอยู่กับสัดส่วน โมลของเมทานอลในของเหลวนั้นๆ ซึ่งในแต่ละอุณหภูมิจะมีจุดสมดุลระหว่างสถานะ ทำให้อัตราการระเหยออกของไอเมทานอลจากผิวของเหลว เท่ากับอัตราการควบแน่นเข้าไปในของเหลวนั้นๆอีกครั้ง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของเมทานอลสะสมที่ได้จากการระเหยนั้น จะต้องเพิ่มอุณหภูมิของของเหลว เพื่อเป็นแรงขับให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างสถานะดังกล่าว

การควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียว โดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นเข้ากับถังแยกของระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายและต้นทุนไม่สูงมาก จากการทดลองพบว่าลักษณะของการระเหยของเมทานอลจากไบโอดีเซล จะมีลักษณะเฉพาะ ปริมาณเมทานอลสะสมที่ได้จะมีค่าคงที่ในแต่ละอุณหภูมิ และหากต้องการเพิ่มปริมาณเมทานอลสะสม จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิของไบโอดีเซล ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนมูลค่าของเมทานอลที่ควบแน่นได้ ต่อต้นทุนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อน มีค่ามากกว่า 1 หลังจากอุณหภูมิของไบโอดีเซลประมาณ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงเกิดความคุ้มทุนเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนดังกล่าว โดยอัตราส่วน MR/EC สูงสุดมีค่าเท่ากับ 10 ในช่วงอัตราการระเหยสูงสุด และอัตราส่วนเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 5.8 ผลจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้แสดงให้เห็นความน่าสนใจในการลงทุน

การควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยใช้ระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้ออกแบบและสร้าง เนื่องจากสามารถควบแน่นที่มีในกลีเซอรอลเพิ่ม ระบบควบแน่นที่ได้ ออกแบบ ซึ่งใช้ภาชนะเป็นถังโพลีเอทิลีน ช่วงอุณหภูมิ 90 ถึง 95 องศาเซลเซียส ถือเป็นช่วง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการหยุดระเหย เนื่องจาก อัตราส่วน MR/EC ตลอดการควบแน่น จะมี ค่าสูงสุด ทั้งไบโอดีเซลและกลีเซอรอล และเป็นอุณหภูมิที่ถังโพลีเอทิลีนสามารถทนได้ จากการ วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ สามารถยืนยันถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ ร่วมกับระบบ ผลิตไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งผลที่ได้คือ ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 0.47 ปี เป็นระยะเวลาคืนทุนที่ น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาโครงการ 5 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน เท่ากับ 211.68 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ต้นทุนการดำเนินงานของโครงการเท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วน ผลตอบแทนต่อต้นทุน เท่ากับ 8.48 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงความน่าสนใจสำหรับการ ลงทุน ในการใช้ระบบควบแน่นเมทานอลที่ได้ออกแบบและสร้าง อีกทั้งจากผลการทดสอบความ บริสุทธิ์ของเมทานอลที่ได้จากการควบแน่นมีค่าเท่ากับ 98.47 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความบริสุทธิ์เพียงพอที่จะนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ต่อไป

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้แสดงถึงความสำคัญที่ควรมีระบบควบแน่นเมทานอลทำงานร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชนที่ยังไม่มีระบบควบแน่นเมทานอล การติดตั้ง อุปกรณ์ควบแน่นเข้ากับถังแยกโดยตรง เพื่อควบแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียว จะ เป็นการดีกว่าไม่มีการนำเมทานอลส่วนเกินกลับมาใช้เลย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะถูกต้องเมื่อการปฏิบัติงาน เป็นไปตามสภาวะที่กำหนดเบื้องต้น และราคาของวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเท่ากับปัจจุบันที่ ทำการวิจัย แต่เมื่อลักษณะการปฏิบัติงานเปลี่ยนไป หรือต้นทุนในการผลิตแตกต่าง การวิเคราะห์ผล ทางด้านเศรษฐศาสตร์ใหม่ที่สอดคล้องกับความจริงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อความถูกต้องในการตัดสินใจ ลงทุน

2. เมื่อมีการนำระบบควบแน่นที่ได้ออกแบบและสร้างไปใช้ร่วมกับระบบผลิตไบโอดีเซล การติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนเข้ากับถังโพลีเอทิลีนให้มีแน่นอนเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจาก ตำแหน่งดังกล่าวอาจเกิดการรั่วได้ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลสูง ความ หนืดจะลดลง

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 2551, ไป โอดีเซล, คั่นเมื่อ 25 มกราคม 2552, จาก
http://www.dede.go.th/fileadmin/upload/nov50/jan52/ener_plan15y.pdf
- กระทรวงพลังงาน. 2551. นโยบายพลังงาน, คั่นเมื่อ 21 ธันวาคม 2551, จาก
<http://www.energy.go.th/moen/default.aspx>
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2551. อัตราค่าไฟฟ้า, คั่นเมื่อ 2 ตุลาคม 2551, จาก
<http://www.pea.co.th/rates/Rate2006.pdf>
- กิตติศักดิ์ ทวีสิน โสภากา. 2549. การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มหีบรวม โดยใช้กระบวนการผลิตแบบ Esterification และ Transesterification. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- จิรศักดิ์ เพ็ชรเจริญ. 2550. การทดสอบการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สวิตชาติ ญาณแก้ว. 2548. การทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มกัมลดกรด และเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2551, คั่นเมื่อ 29 มกราคม 2552, จาก <http://www.eppo.go.th/encon/fund-report/3-main.pdf>
- American Methanol Institute. 1999. Evaluation of the fate and transport of methanol in the environment. Washington, DC.
- Andrews, DH. 1970. Introductory Physical Chemistry. Mc-Graw Hill. Tokyo.
- Braton, JA. 1982. Plastics materials, Butterworth Scientific, London
- Drapcho, CM., Nhuan, NP., and Walker, TH. 2008. Biofuels Engineering Process Technology. Mc-Graw Hill. USA.
- engineeringtoolbox.com., 2008, Methanol - Thermophysical Properties, คั่นเมื่อ 25 เมษายน 2551, จาก
http://www.engineeringtoolbox.com/methanol-properties-d_1209.html
- Fraas, AP. 1989. Heat Exchanger Design. John Wiley & Sons. Canada.

- Friedrich, S. 2004. A world wide review of the commercial production of biodiesel-A technological, ecological investigation based on case studies. Wein.
- Goodrum, JW. 2002. Volatility and boiling point of biodiesel from vegetable oils and tallow. *Biomass and Bioenergy*. 22: 205-211.
- Issariyakul, T., Kulkarni, MG., Dalai, AK., Bakhshi, NN. 2006. Production of biodiesel from waste fryer grease using mixed methanol/ethanol system. *Fuel Processing Technology*. 88: 429–436.
- Jansri, S. 2007. Kinetics of methyl ester production from crude palm oil by using acid-alkali catalyst. A thesis submitted at Prince of Songkla University. Thailand.
- Kern, DQ. 1965. Process heat transfer. Mc-Graw Hill. Singapore.
- Knothe, G., Gerpen, JV., and Krahl, J. 2005. *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press. Champaign. Illinois.
- Khalifeh, SB., Saffar-Avval, M., and Damangir, E. 2004. Minimizing capital and operating costs of shell and tube condensers using optimum baffle spacing. *Applied Thermal Engineering*. 24: 2801–2810.
- Kulkarni, MG., Dalai, AK., and Bakhshi, NN. 2007. Transesterification of canola oil in mixed methanol/ethanol system and use of esters as lubricity additive. *Bioresource Technology*. 98: 2027–2033.
- Kuppan, T. 2000. *HEAT EXCHANGER DESIGN HANDBOOK*. Marcel Dekker, Inc. Basel. Switzerland.
- Liu, x., He, H., Wang, Y., Zhu, S., and Piao, X. 2008. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel*. 87: 216–221.
- Matra Plast Industries Inc, 2008.
http://www.matraplast.com/twinwall/specs/pepp_properties.html. December 23, 2008
- Mukherjee, R. 1998. Effectively design shell-and-tube heat exchangers. *Chem Eng Progress*. 94(2): 21–37.
- Murase, T., Wang, HS., and Rose, JW. 2006. Effect of inundation for condensation of steam on smooth and enhanced condenser tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 49: 3180–3189.

- Pandey, A. 2009. Handbook of plant-based biofuels. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton. FL.
- Rashid, U., and Anwar, F. 2008. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel*. 87: 265–273.
- Sharma, YC., Singh, B., and Upadhyay, S.N. 2008. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel*. 87: 2355–2373
- Suwanmanee, S. 2006. Cost analysis of biodiesel production from a 100-litre batch community plant, A thesis submitted at King Mongkul's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.
- Thome, JR. 2004-2006. Wolverine Engineering data book III. Wolverine Tube Inc. ค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2551, จาก <http://www.wlv.com/products/databook/db3/DataBookIII.pdf>
- Van Gerpen, J.H., Hammond, E.G., Johnson, L.A., Marley, S.J., Yu, L., Lee, I., and Monyem, A., 1996. Determining the Influence of Contaminants on Biodiesel Properties. Final report prepared for: The Iowa Soybean Promotion Board. Iowa State University
- Van Kasteren, J.M.N., and Nisworo, A.P. 2007. A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. *Resources, Conservation and Recycling*. 50: 442–458
- wikipedia.org., 2008, Renewable energy, ค้นเมื่อ 30 มกราคม 2551, จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy

ภาคผนวก ก
การคำนวณหาขนาดของคอนเดนเซอร์

การคำนวณหาขนาดของคอนเดนเซอร์

Nomenclature	
A	area
D_{ctl}	diameter of circle through the centers of outmost tubes
D_{otl}	outer tube limit diameter
D_r	reference diameter (25.4 mm)
h_{fg}	latent heat
L_{bb}	inside shell diameter to bundle clearance
L_{bc}	baffle spacing
L_{tp}	tube pitch
\dot{m}	mass flow rate
Pr	Prandtl number
Q	rate of heat transfer
Re	Reynolds number
S_m	cross flow area
T	temperature
W_1	weight factors
U_D	overall heat transfer coefficient

อัตราการระเหยของเมทานอล

เมทานอลที่ใช้ในแต่ละเบทซ์เท่ากับ 18.4 ลิตรและในจำนวนนี้มีเมทานอลส่วนเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมทานอลส่วนเกินเท่ากับ 9.2 ลิตร โดยกำหนดให้คอนเดนเซอร์สามารถที่จะควบแน่นเมทานอลทั้งหมดนี้ได้ โดยสมมติว่าไม่เกิดการระเหยของเมทานอลที่ถึงปฏิกรณ์ เมทานอลส่วนเกินนี้จะระเหยหมดภายในเวลา 1 ชั่วโมง

ค่าเฉลี่ยอัตราการระเหยเท่ากับ 9.2 ลิตรต่อชั่วโมง = 2.555×10^{-3} ลิตรต่อวินาที

กำหนดให้อัตราการระเหยของเมทานอลเท่ากับสามเท่าของค่าเฉลี่ย = 7.667×10^{-3} ลิตรต่อวินาที

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์

ค่าความร้อนแฝงในการระเหยของเมทานอลเท่ากับ 1120 kJ/kg

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์เท่ากับ $\dot{m}h_{fg}$

อัตราการระเหยของเมทานอล, \dot{m} เท่ากับ $\rho_{\text{methanol}} = 791 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = 7.667 \times 10^{-6} \times 791$$

$$= 6.045 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$Q_{\text{condenser}} = \dot{m}_{\text{methanol}} h_{fg}$$

$$= 6.045 \times 10^{-3} \times 1120$$

$$\approx 7.000 \text{ kJ/s}$$

พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการ

1. Heat balance

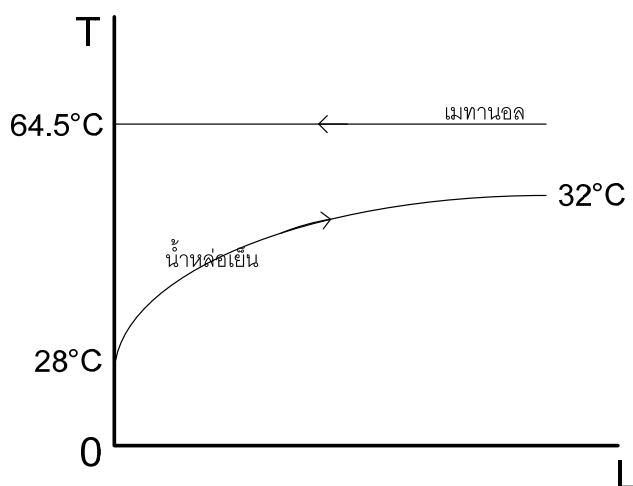
$$Q_{\text{condenser}} = Q_{\text{methanol}} = 7.000 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{water}} = \dot{m}_{\text{water}} C_p \Delta T$$

$$= 0.419 \times 4.18 \times (32 - 28)$$

$$= 7.000 \text{ kJ/s} \quad \text{OK}$$

2. ΔT_{lm}



$$\Delta T_{lm} = \frac{4}{\ln\left(\frac{36.5}{32.5}\right)} = 34.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Trial, assume } U_D = 2000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = \frac{7.000 \times 10^3}{2000 \times 34.0}$$

$$\approx 0.1185 \text{ m}^2$$

ใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2/8 นิ้ว ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ $6.350 \times 10^{-3} \text{ m}$ จะต้องใช้ท่อยาว $\frac{0.1185}{\pi(6.350 \times 10^{-3})} = 5.94 \text{ m}$ (ยังไม่รวมกับพื้นที่ที่ต้องเสียไปเนื่องจากความหนาของแผ่นกั้น แผ่นยึดท่อ และส่วนเกินจากแผ่นยึดท่อ) เลือกเปลือกนอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3 นิ้ว (76.2 mm) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 71.6 mm สามารถบรรจุท่อเล็กภายในเปลือกนอกได้ 32 เส้น ดังนั้นแต่ละเส้นยาว 186 mm พื้นที่ที่ต้องเสียไปเนื่องจากความหนาของแผ่นกั้น แผ่นยึดท่อ และส่วนเกินจากแผ่นยึดท่อคิดเป็นความยาวท่อเท่ากับ 16 mm ความยาวของท่อที่ต้องใช้จริงเท่ากับ $(0.016 \times 32) + 5.94 = 6.45 \text{ m}$ โดยแต่ละเส้นยาว 202 mm

3. คำนวณหาค่าระยะห่างที่เหมาะสมของแผ่นกั้น

คุณสมบัติของเมทานอล (สถานะไอ)

$$C_p = 1593 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 1.093 \text{ P}$$

$$k = 0.018 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{ดังนั้นค่า Prandtl number, } Pr_s = \frac{1.093 \times 10^{-4} \times 1593}{0.018 \times 10} = 0.967$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติ $Re_s Pr_s \exp(D_r/D_t)$ ที่สัมพันธ์กับค่า W_1 (ค่าที่ใช้ในการออกแบบจะอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8) โดยพิจารณาให้เท่ากับ 0.5 สำหรับ คอนเดนเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบนั้นเป็นแบบ E ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติคือ

$$Re_s Pr_s \exp(D_r/D_t) \times 10^{-4} = 185.12W_1^3 - 254.78W_1^2 + 121.21W_1 + 7.88$$

$$Re_s (0.967)(54.598) \times 10^{-4} = 185.12(0.5^3) - 254.78(0.5^2) + 121.21(0.5) + 7.88$$

$$\begin{aligned} Re_s &= \frac{27.73}{52.796} \times 10^4 \\ &= 0.525 \times 10^4 \end{aligned}$$

เมื่อทราบค่าของกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เหมาะสมกับค่า W_1 ข้างต้นจากตารางแล้ว ก็ สามารถที่จะหาค่า Cross flow area, S_m จากสมการ $Re_s = \frac{m_s D_t}{\mu_s S_m}$

$$\begin{aligned} S_m &= \frac{7.579 \times 10^{-3} \times 6.35 \times 10^{-3} \times 10}{1.093 \times 10^{-4} \times 0.525 \times 10^4} \\ &= 8.387 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

และหาระยะห่างของแผ่นกั้น Optimum baffle spacing, L_{bc} จากสมการ

$$L_{bc} = \frac{S_m}{L_{bb} + D_{ctl} \left(1 - D_t/L_{tp}\right)}$$

โดย

$$D_{ctl} = 55.5 \text{ mm}$$

$$L_{bb} = 9.6 \text{ mm}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} L_{bc} &= \frac{8.387 \times 10^{-4}}{\left[9.6 + 55.5 \left(1 - \frac{6.35}{9.525}\right)\right] 10^{-3}} \\ &= \frac{8.387 \times 10^{-4}}{28.1 \times 10^{-3}} \\ &= 0.0298 \text{ m หรือ } 29.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

สรุปผลจากการคำนวณ

ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.35 mm ความยาวของท่อทั้งหมด 5.94 m รวมกับความยาวของท่อที่ต้องซดเซยพื้นที่ที่ต้องขาดไป เนื่องจากความหนาของแผ่นยึดท่อ ความหนาของแผ่นกั้นและส่วนเกินจากแผ่นยึดท่อ เพื่อใช้สำหรับการเชื่อมแผ่นยึดท่อเข้ากับกลุ่มท่อ รายละเอียดแสดงตามตารางด้านล่างนี้

ความยาวของท่อที่ต้องซดเซยพื้นที่ที่ต้องขาดไปเนื่องจาก	ขนาด (mm)
ความหนาของแผ่นยึดท่อ	$3 \times 2 \times 32 = 192$
ความหนาของแผ่นกั้น	$2 \times 4 \times 32 = 256$
ส่วนเกินจากแผ่นยึดท่อ	$1 \times 2 \times 32 = 64$
รวม	$= 512$

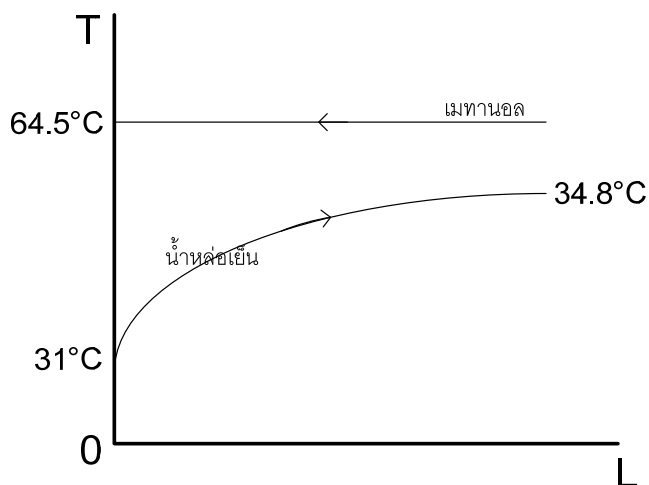
ความยาวของท่อทั้งหมดรวมกับความยาวของท่อที่ต้องซดเซยพื้นที่ที่ต้องขาดไป 6.45 m

ความยาวของท่อแต่ละเส้น 210 mm จำนวน 32 ท่อน วางแบบ square

ใช้แผ่นกั้นทั้งหมด 4 แผ่น ระยะห่างแต่ละแผ่นเท่ากับ 29.8 mm

การตรวจสอบผลการออกแบบอุปกรณ์ควบแน่น

จากผลการทดสอบ โดยการเติมปริมาณของเมทานอลจำนวน 3 เท่าของการออกแบบ ซึ่งเป็นสถานะเหมือนกับข้อกำหนดที่ต้องความสามารถควบแน่นไอเมทานอลจำนวน 3 เท่าของเมทานอลส่วนเกิน ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทในช่วงอัตราการควบแน่นสูงสุดเท่ากับ 2.3 กิโลจูลต่อวินาที ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความร้อนที่ถ่ายเทเนื่องจากการควบแน่นของไอเมทานอล เพื่อตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การพาเฉลี่ยทั้งอุปกรณ์ควบแน่น, U_D โดยผลต่างของอุณหภูมิในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 3.8 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พื้นที่สำหรับการควบแน่นของไอเท่ากับพื้นที่ที่ได้จากออกแบบดังที่ผ่านมา U_D สามารถคำนวณได้จาก



$$\Delta T_{lm} = \frac{3.8}{\ln\left(\frac{33.5}{30.0}\right)} = 34.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

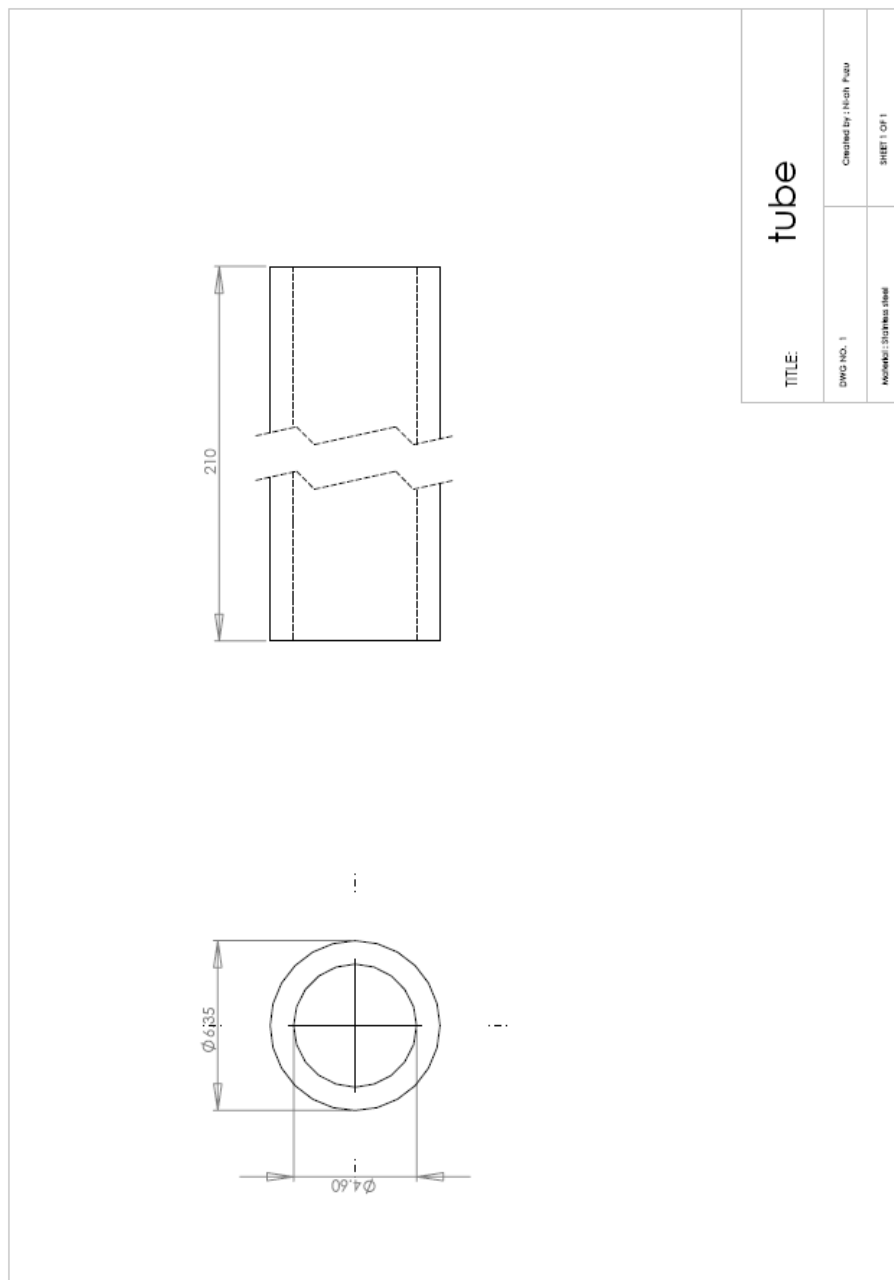
$$U_D = \frac{2.2 \times 10^3}{0.1185 \times 34.4}$$

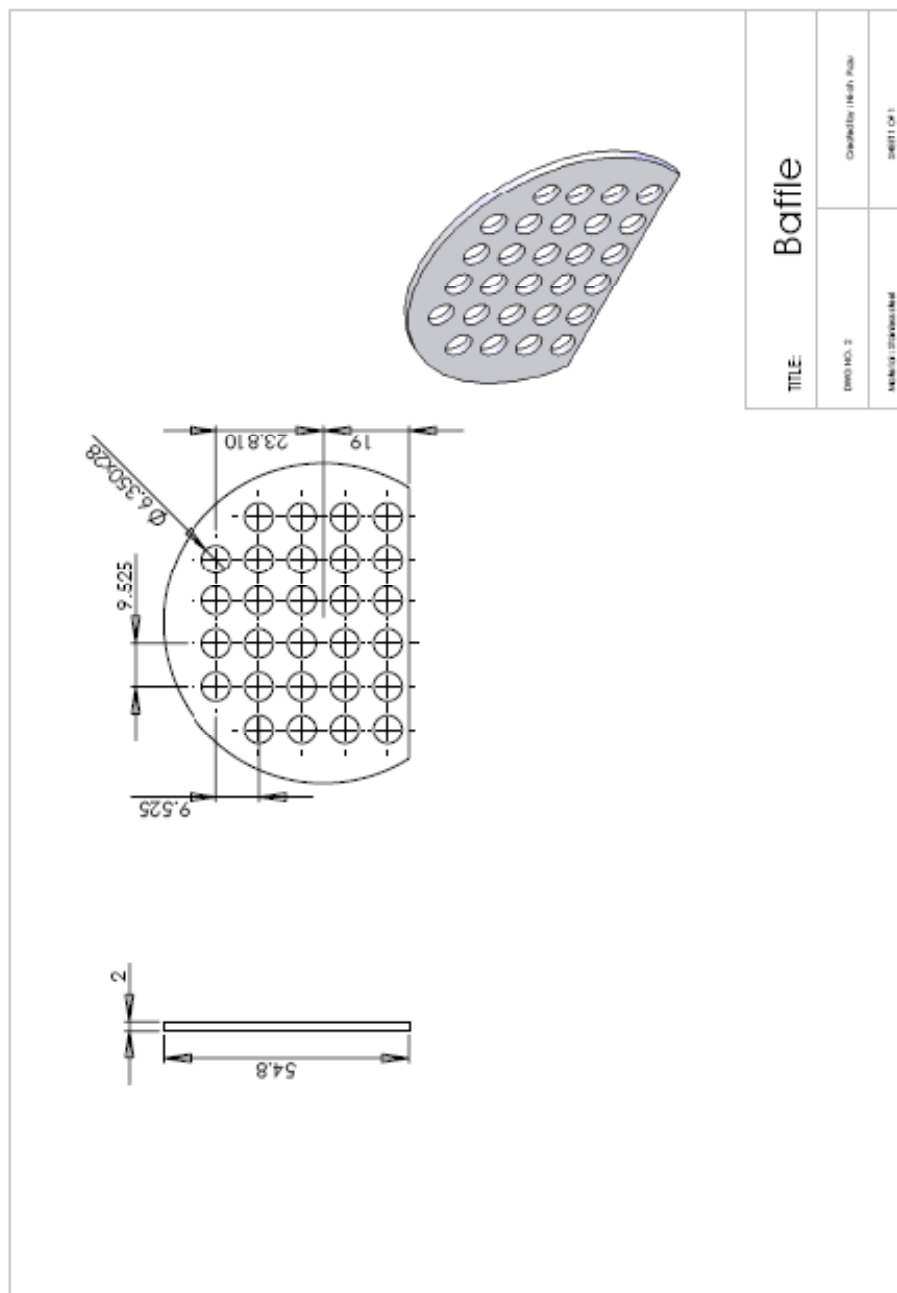
$$= 540 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}}$$

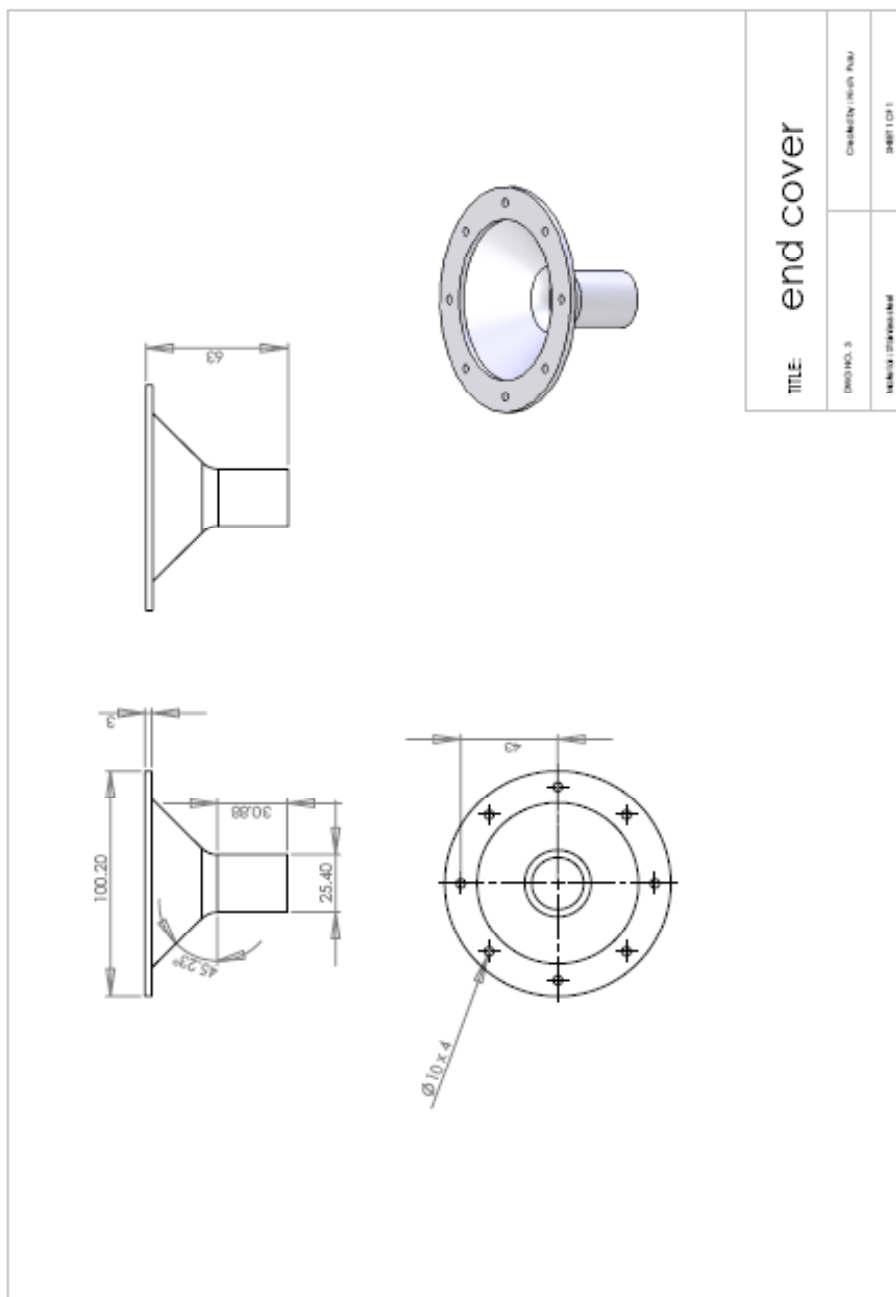
จากค่าสัมประสิทธิ์การพาเฉลี่ยทั้งอุปกรณ์ควบแน่นที่ได้จากการทดลองจริง มีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบในขั้นต้น ซึ่งได้จากการแนะนำของ Kern (Kern, 1965) ประมาณ 4 เท่า ซึ่งเนื่องมาจากการไหลท่วมของท่อแถวล่างโดยเมทานอลที่ควบแน่นในท่อแถวบน มีผลให้สัมประสิทธิ์การพามีค่าลดลง (Murase และคณะ, 2006) โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่อแถวล่างสุด สัมประสิทธิ์การพาจะลดลงต่ำมาก เนื่องจากฟิล์มของเมทานอลเหลวที่ท่วมท่อจะมีความหนามากที่สุด เพราะเมทานอลที่ควบแน่นทั้งหมดจากท่อแถวบนจะไหลรวมลงสู่ด้านล่าง ดังนั้นการออกแบบโดยการเผื่อความสามารถของอุปกรณ์ควบแน่นให้สามารถควบแน่นไอของเมทานอลได้ 3 เท่าของเมทานอลส่วนเกินมีความสมเหตุสมผล

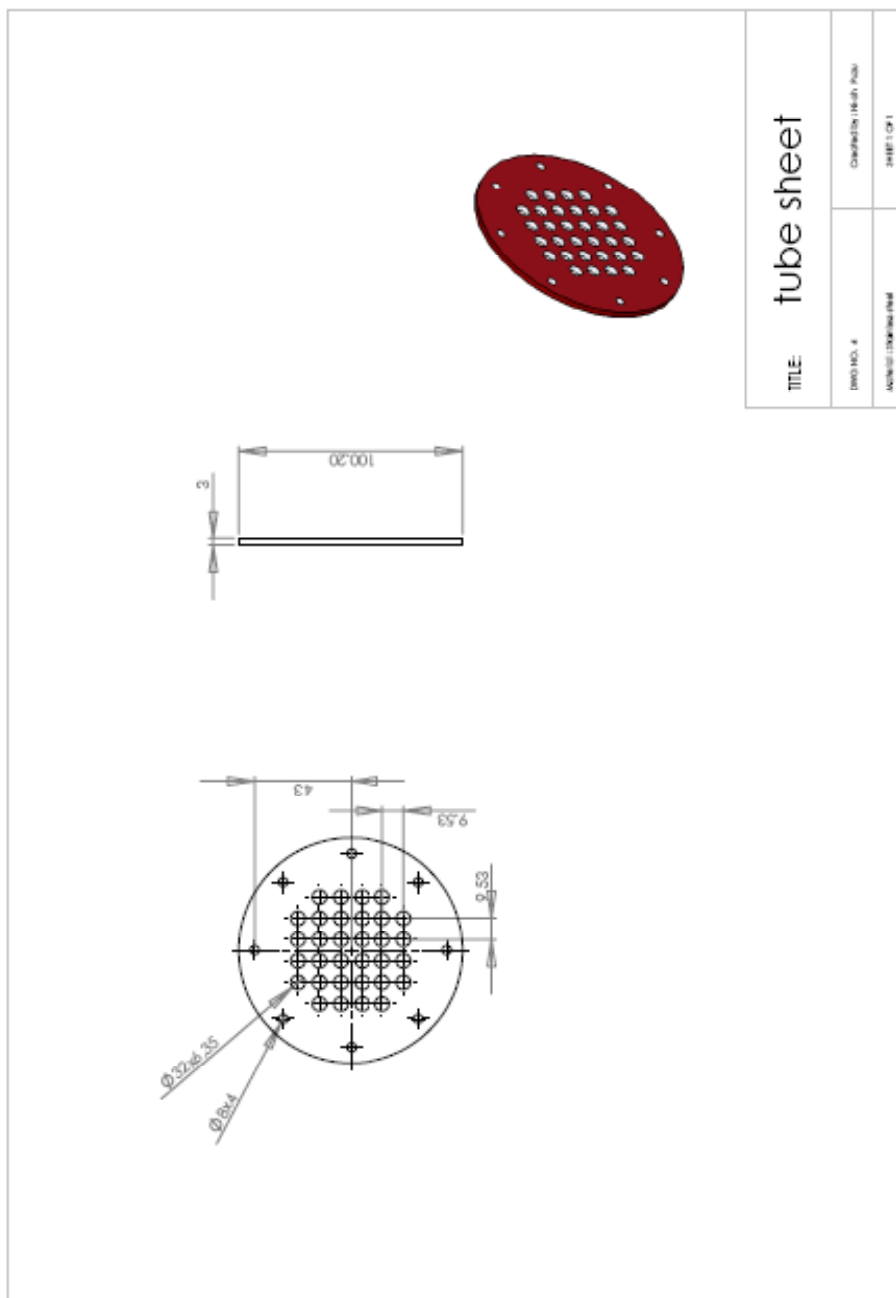
ภาคผนวก ข
รายละเอียดอุปกรณ์ความแน่น

รายละเอียดอุปกรณ์ควมแน่น

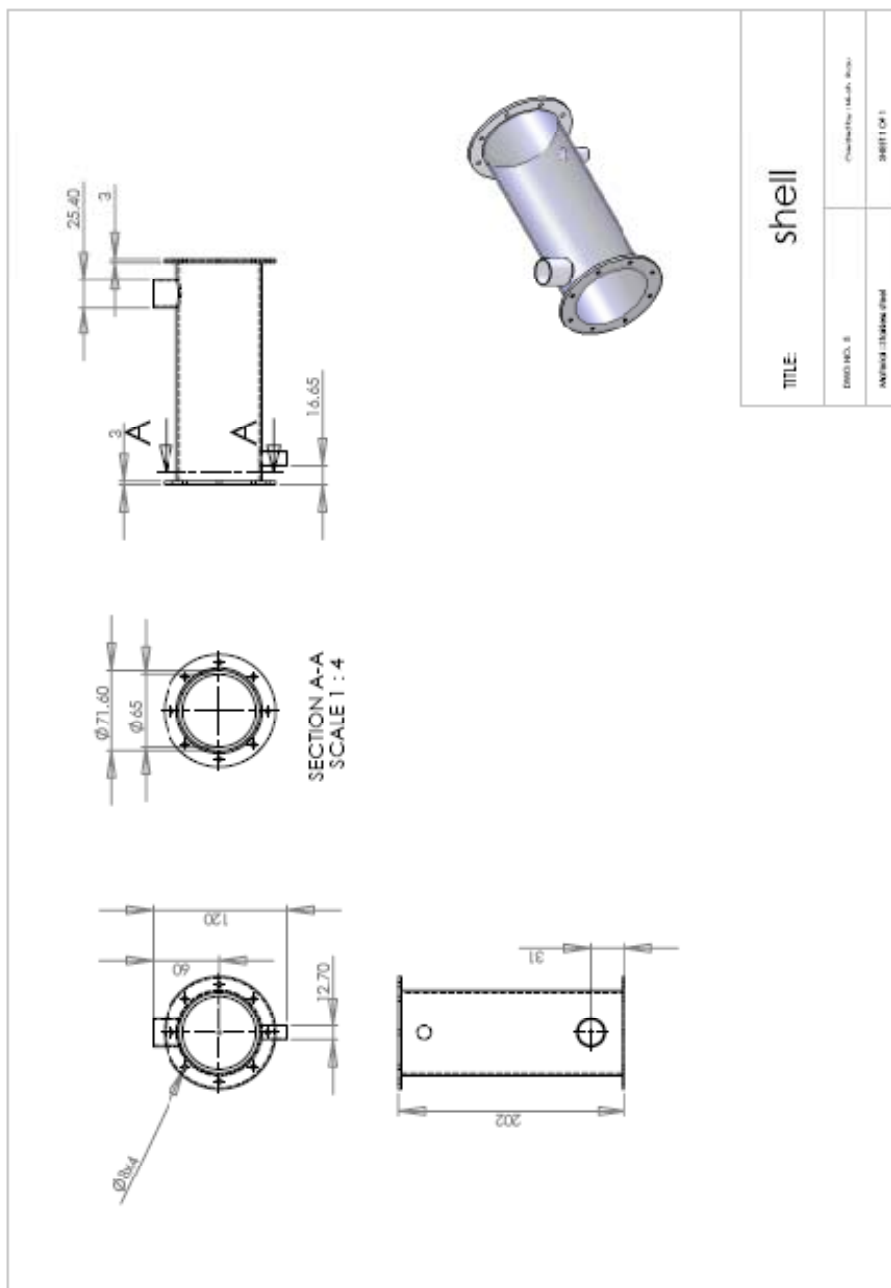




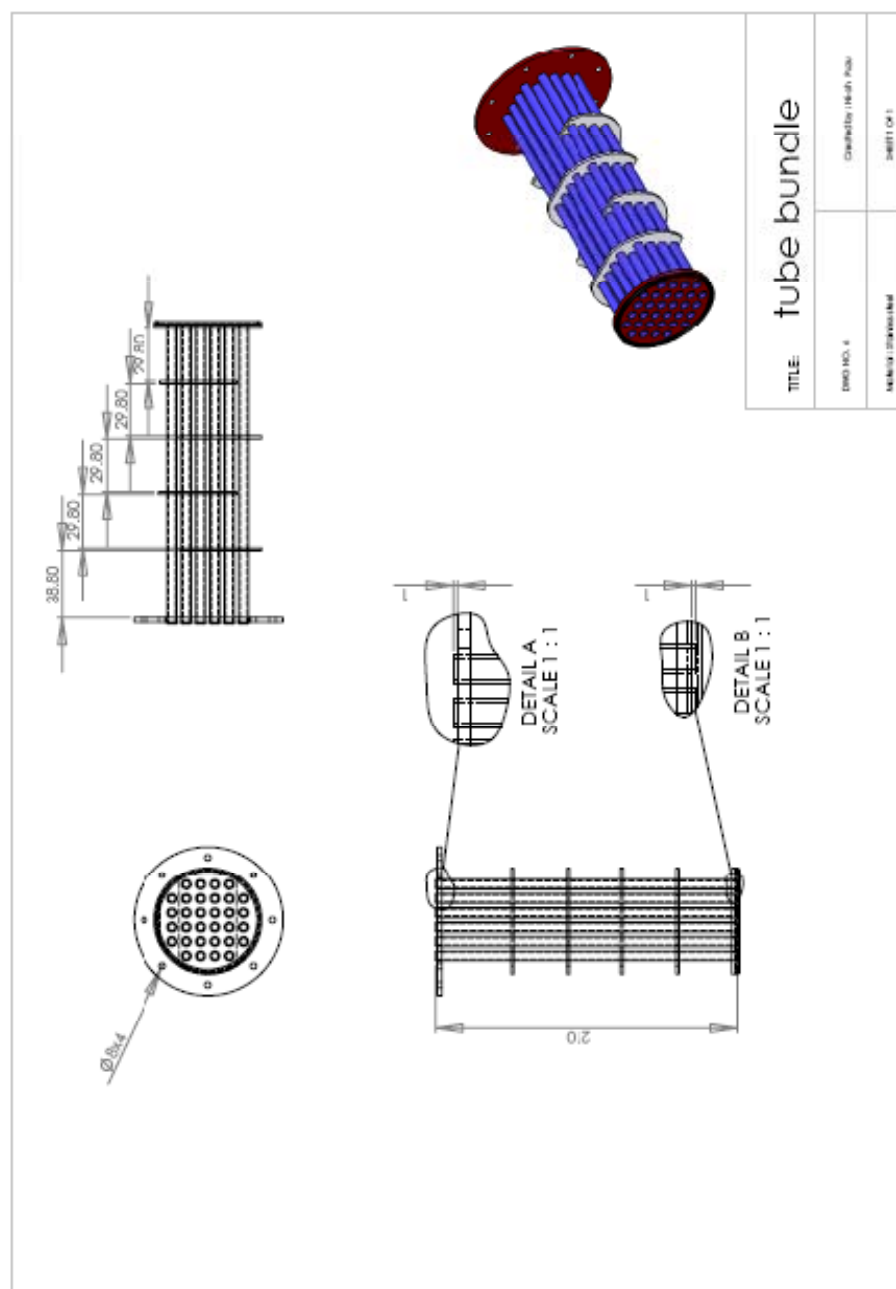




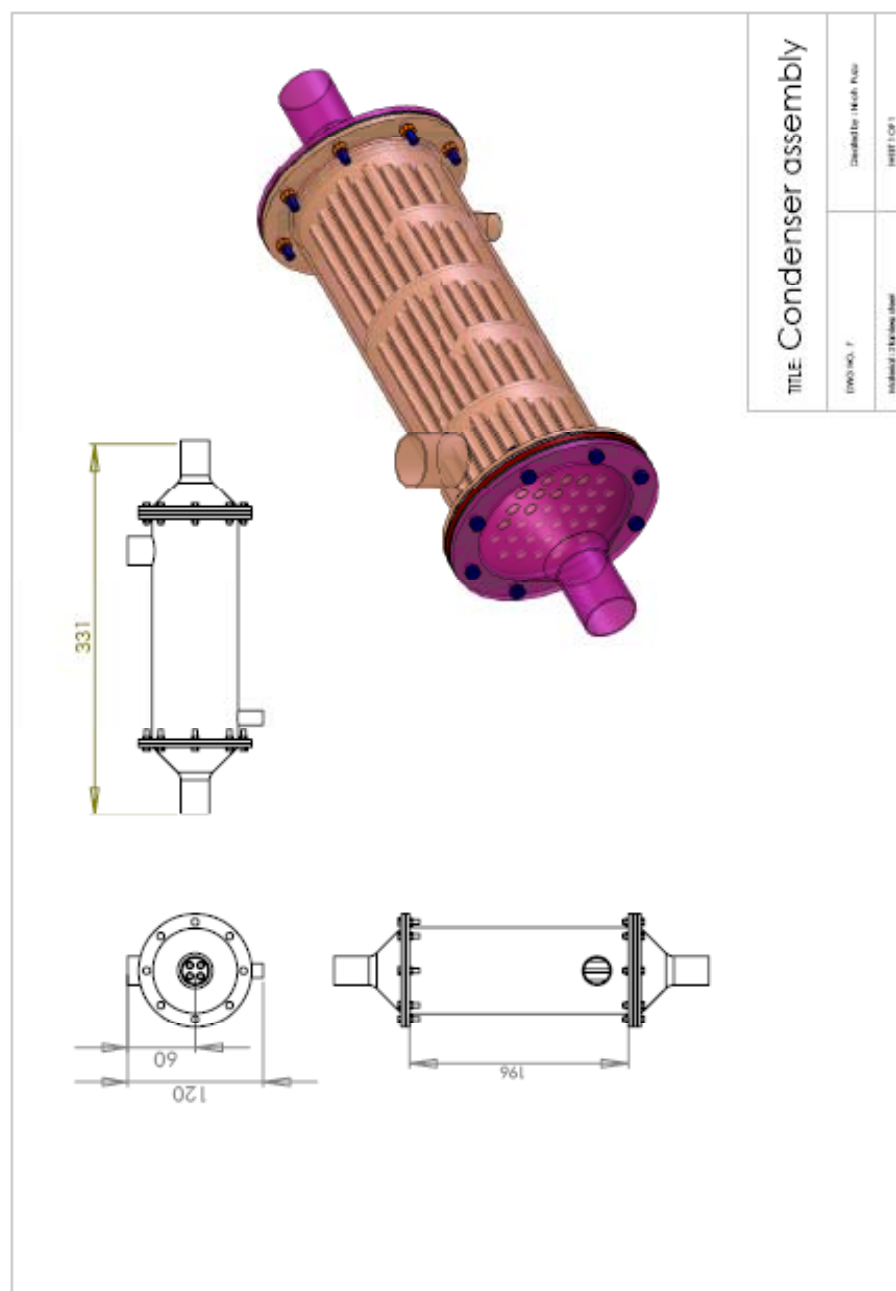
TITLE: tube sheet	
PROJ. NO. 4	CREATED ON 18/01/2018
ANALYST: LINDA MARIE DEW	SHEET 1 OF 1



TITLE		shell	
ENGR NO. 8	Checked By	DATE	2011/01/11
AN/PROJ : 21000001	Checked By	DATE	2011/01/11



TITLE: tube bundle	
END NO. 4	CONTRACT NO. 104-11-104
REVISION: 01/05/2014	SHEET 1 OF 1



ภาคผนวก ก
รายงานผลทดสอบเมทานอล

รายงานผลทดสอบเมทานอล



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อําเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003/IT ฉบับที่ 5 บังคับใช้ 29/05/52

เลขที่ 1282/52 หน้า 1/1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นายนิโอะ ปูชู
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการ : 1378/52

วันที่รับตัวอย่าง : 26 พฤษภาคม 2552

วันที่ขอใช้บริการ : 26 พฤษภาคม 2552

ผู้ทดสอบ : นางสาวสาริศา มณี

วันที่ทำการทดสอบ : 28 พฤษภาคม 2552

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-GC7890-001

เครื่องมือทดสอบ : Gas Chromatograph-Flame Ionization Detector

เทคนิคการทดสอบ : Gas Chromatography

สภาวะการทดสอบ : Inlet Temperature : 200 °C
Initial Oven temperature : 50 °C, hold for 5 min
Ramp : 20 °C/min to 200 °C, hold for 1.5 min
Detector Temperature : 200 °C
Column : ZB-WAXplus, 30 m. length × 250 µm I.D. × 0.25 µm film thickness

รายละเอียดตัวอย่าง : เมทานอล จำนวน : 1 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

ที่	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณเมทานอล(%RSD) %w
1	เมทานอล	98.47 (0.73)

(นางสาวพิชรา สุกรัตน์)

ผู้ตรวจสอบ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายนิโอะ ปู่ชู		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010120041		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

1. ทุนผู้ช่วยวิจัย

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

นิโอะ ปู่ชู, กำพล ประทีปชัยกูร, และ พุทธิพงษ์ แสนสบาย. “การออกแบบ และ วิเคราะห์ต้นทุนในการควบคุมแน่นเมทานอลจากไบโอดีเซลดิบ”, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับ บัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 12, วันที่ 12-13 กุมภาพันธ์ 2552, เลขหน้า 602-611, ขอนแก่น, ประเทศไทย.

นิโอะ ปู่ชู, กำพล ประทีปชัยกูร, และ พุทธิพงษ์ แสนสบาย. “การออกแบบและ สร้างชุดควบคุมแน่นเมทานอลสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน”, การประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, วันที่ 21-22 พฤษภาคม 2552, เลขหน้า 584-589, สงขลา, ประเทศไทย.