บทที่ 3

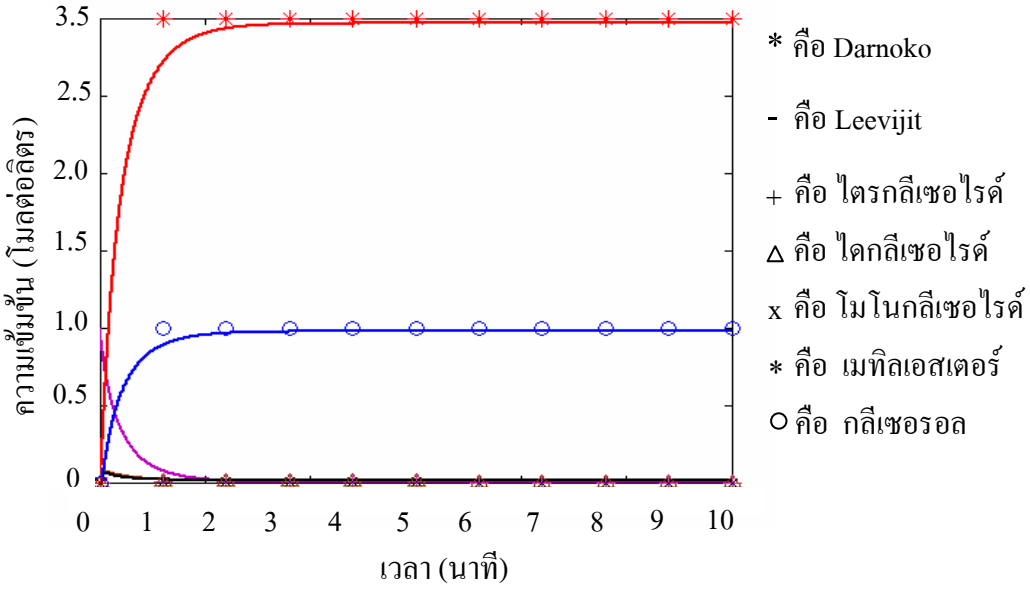
ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการอนุพันธ์ที่ 1.4-1.16 กับค่าที่ได้จากการทดลองต่าง ๆ

3.1.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของ Darnoko et al. (2000)

จากงานวิจัยของ Darnoko et al. (2000) ทำการศึกษาการทำปฏิกิริยาแบบทรานส์-เอสเตอริฟิเคชันของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C ทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์แบบกะ แสดงดังภาพประกอบที่ 3.1



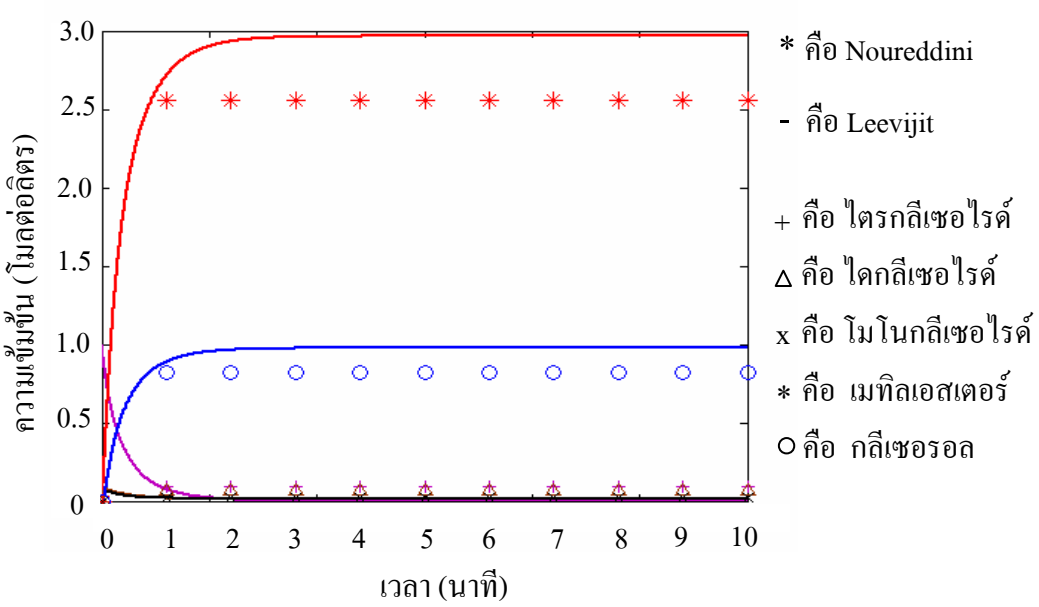
ภาพประกอบที่ 3.1 ความเข้มข้นกับเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และอุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C

ที่มา Darnoko et al. (2000)

จากภาพประกอบที่ 3.1 พบว่าช่วงแรกของการทำปฏิกิริยาอัตราเร็วของการเกิดเมทิลเอสเตอร์จะเกิดขึ้นเร็วมากซึ่งเป็นไปตามกลไกของการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยาเมทิลเอสเตอร์เกิดขึ้นมีน้อย ทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณเมทิลเอสเตอร์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งมีปริมาณเมทิลเอสเตอร์ภายในถังปฏิกรณ์คงที่ (จุดสมดุล) และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆภายในถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน

3.1.2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของ Noureddini และ Zhu (1997)

งานวิจัยที่น่าสนใจอีกชิ้นหนึ่ง คืองานวิจัยของ Noureddini และ Zhu (1997) ศึกษาการทำปฏิกิริยาแบบทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของเมทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง ที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง 6:1 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C ทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์แบบกะ แสดงดังภาพประกอบที่ 3.2



ภาพประกอบที่ 3.2 ความเข้มข้นกับเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และอุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C

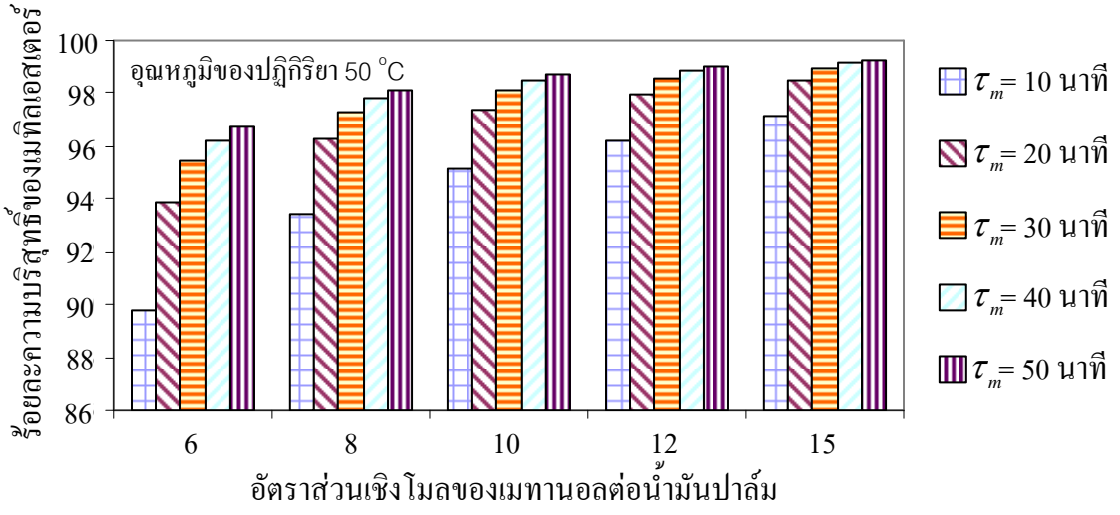
ที่มา Noureddini และ Zhu (1997)

จากภาพประกอบที่ 3.2 พบว่าช่วงแรกของการทำปฏิกิริยาอัตราเร็วของการเกิดเมทิลเอสเตอร์จะเกิดขึ้นเร็วมากซึ่งเป็นไปตามกลไกของการเกิดปฏิกิริยา แต่การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆภายในถังปฏิกรณ์ที่ได้จากการทดลองของ Noureddini และ Zhu (1997) จะมีค่าน้อยกว่าการทดลองของ Leevijit (2004) เนื่องจากใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำกว่า

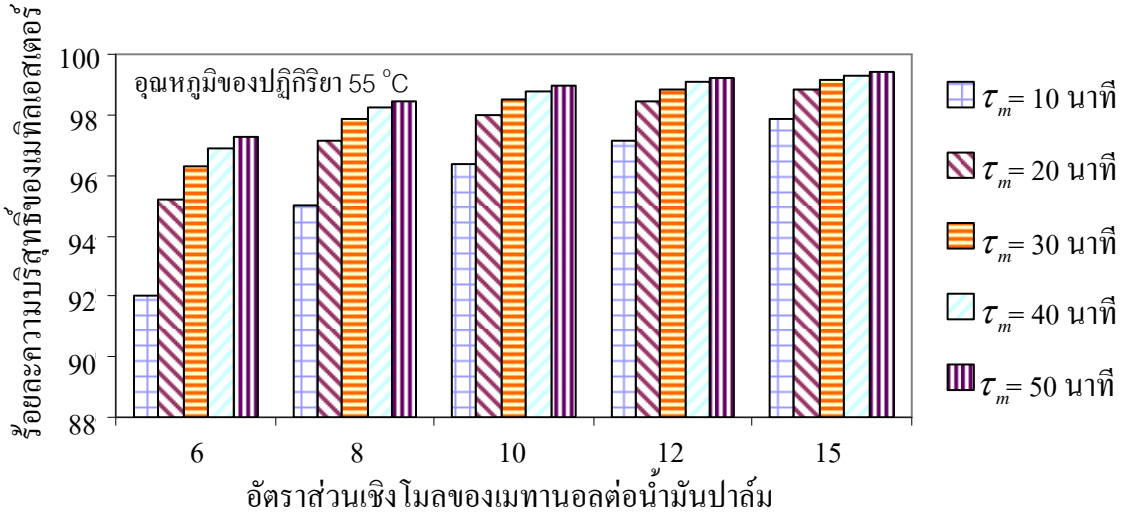
3.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

3.2.1 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มส่งผลต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ ที่อัตราการผลิต 6 ลิตรต่อนาที

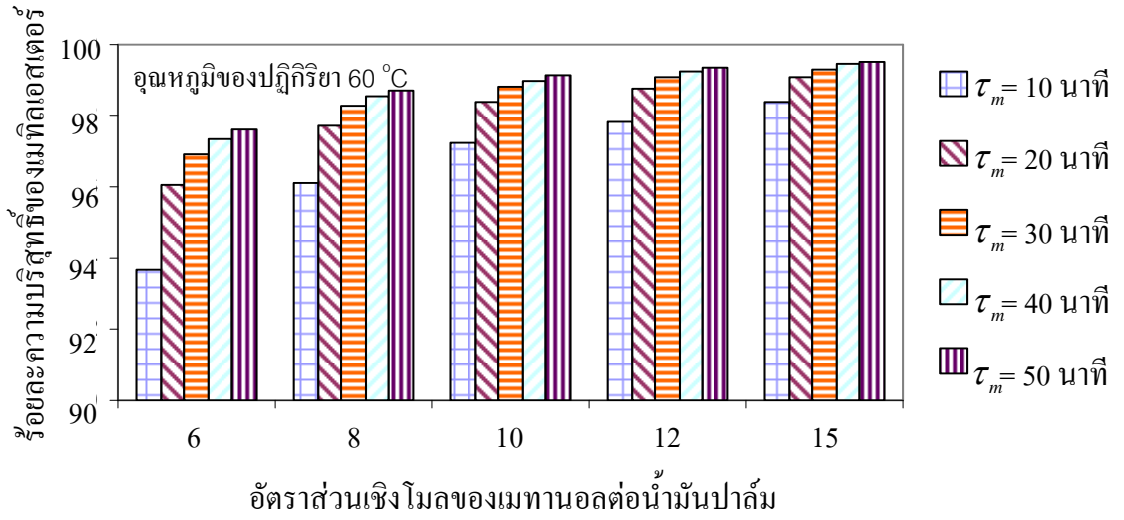
จากการศึกษาค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์กับอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 8:1 10:1 12:1 และ 15:1 เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 10-50 นาที และอุณหภูมิของปฏิกิริยา 50-70 °C พบว่า ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาของเมทานอลและน้ำมันปาล์ม กล่าวคือปริมาณเมทานอลที่มากเกินพอทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับจึงทำให้ปริมาณเมทิลเอสเตอร์สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย แสดงดังภาพประกอบที่ 3.3



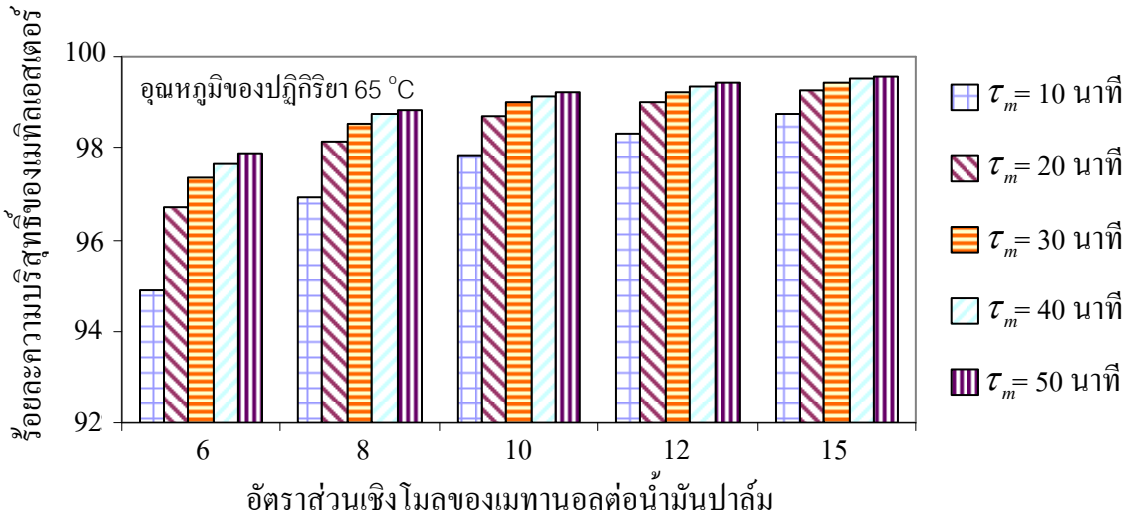
(ก)


อุณหภูมิของปฏิกิริยา 55 °C
ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์
100
98
96
94
92
90
88
6
8
10
12
15
อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม
τ_m= 10 นาที
τ_m= 20 นาที
τ_m= 30 นาที
τ_m= 40 นาที
τ_m= 50 นาที

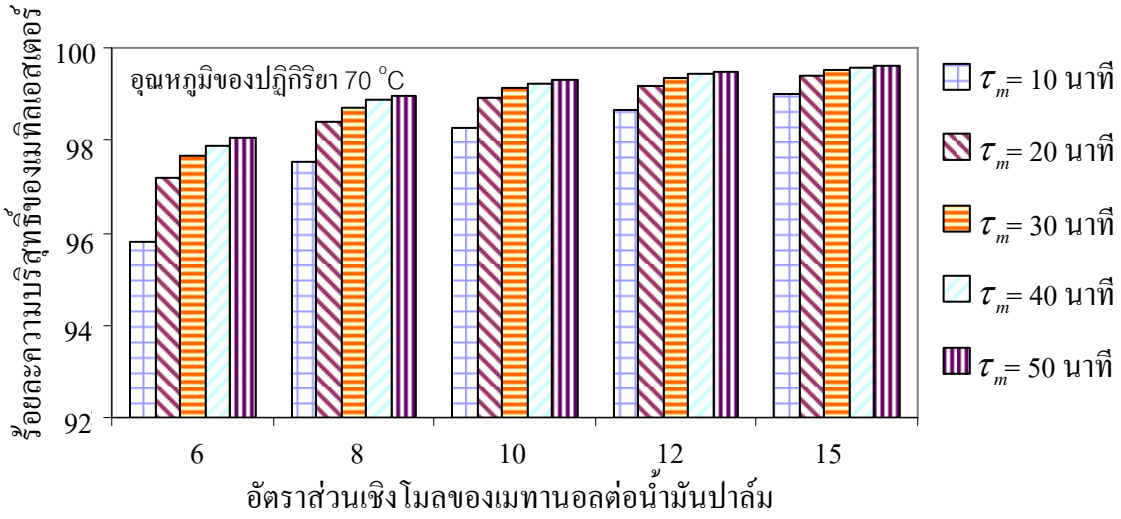
(ข)


อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C
ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์
100
98
96
94
92
90
6
8
10
12
15
อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม
τ_m= 10 นาที
τ_m= 20 นาที
τ_m= 30 นาที
τ_m= 40 นาที
τ_m= 50 นาที

(ค)


อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65 °C
ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์
100
98
96
94
92
6
8
10
12
15
อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม
τ_m= 10 นาที
τ_m= 20 นาที
τ_m= 30 นาที
τ_m= 40 นาที
τ_m= 50 นาที

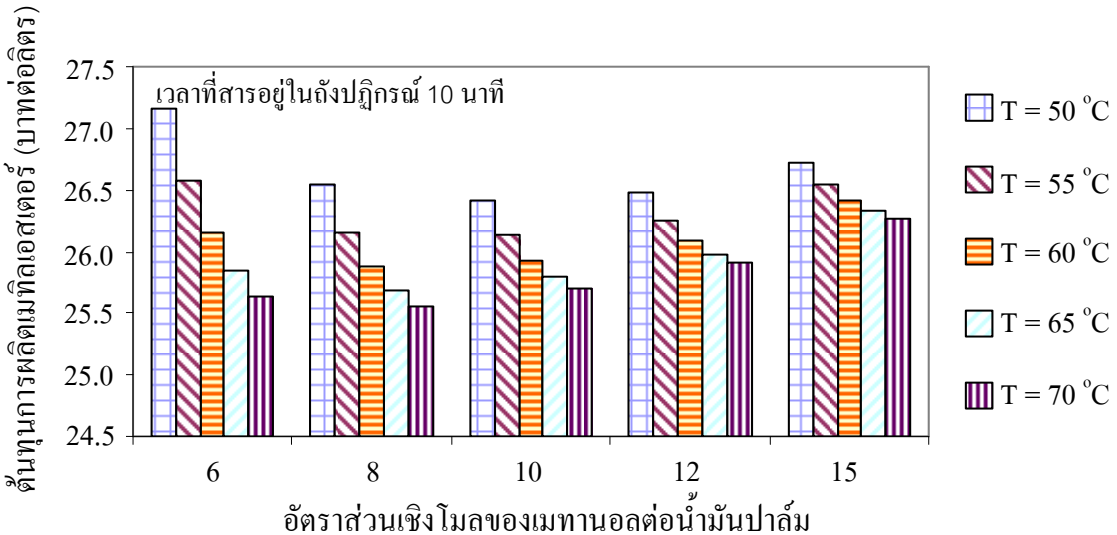
(ง)



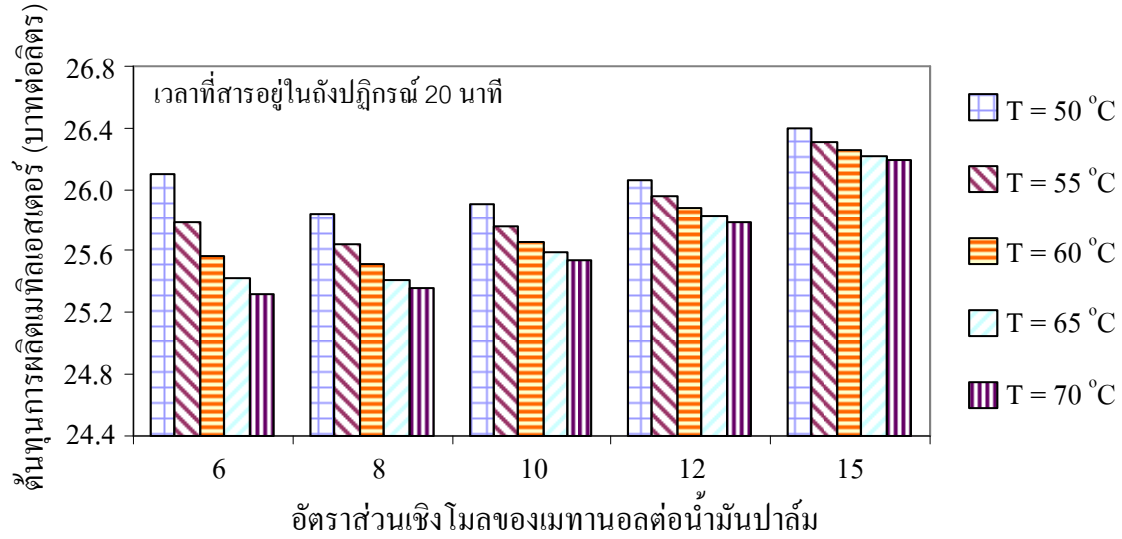
(จ)

ภาพประกอบที่ 3.3 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์กับอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม (ก) อุณหภูมิของปฏิกิริยา 50 °C (ข) อุณหภูมิของปฏิกิริยา 55 °C (ค) อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C (ง) อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65 °C (จ) อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 °C

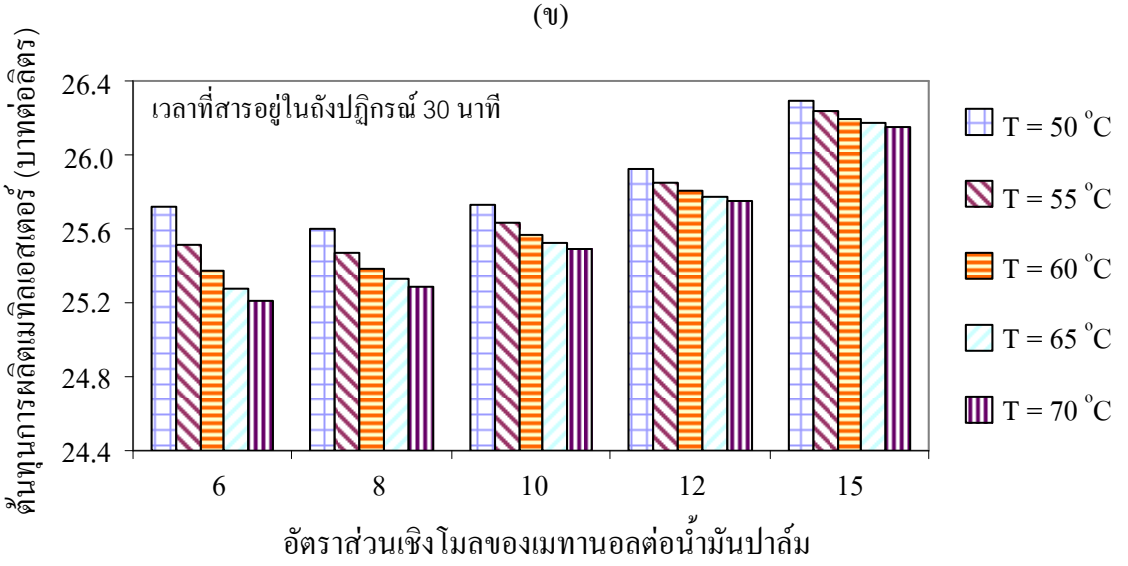
3.2.2 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเมทิล-เอสเตอร์



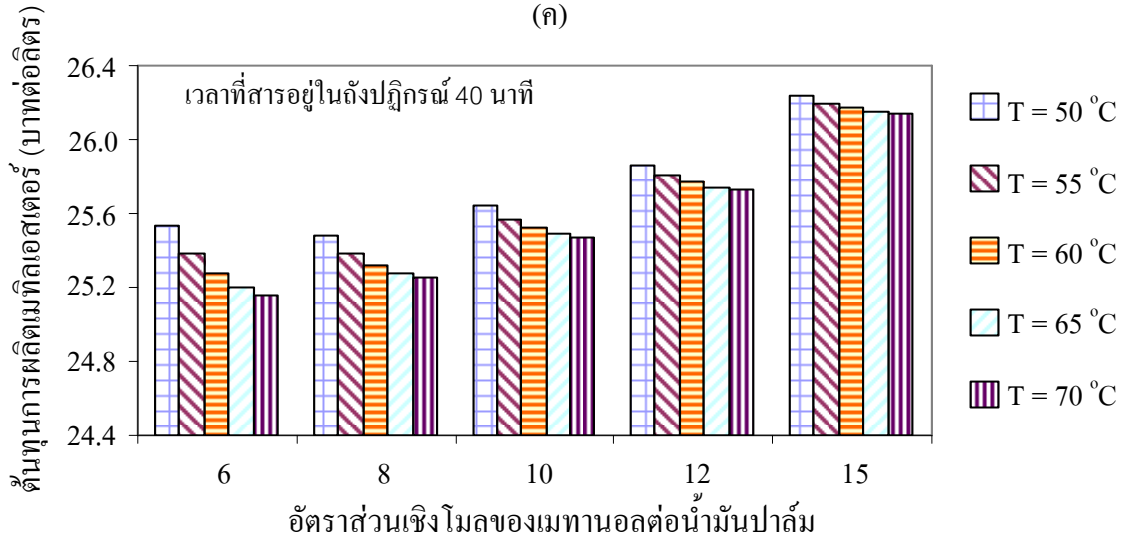
(ก)


เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 20 นาที
ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ (บาทต่อลิตร)
26.8
26.4
26.0
25.6
25.2
24.8
24.4
6
8
10
12
15
อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม
T = 50 °C
T = 55 °C
T = 60 °C
T = 65 °C
T = 70 °C

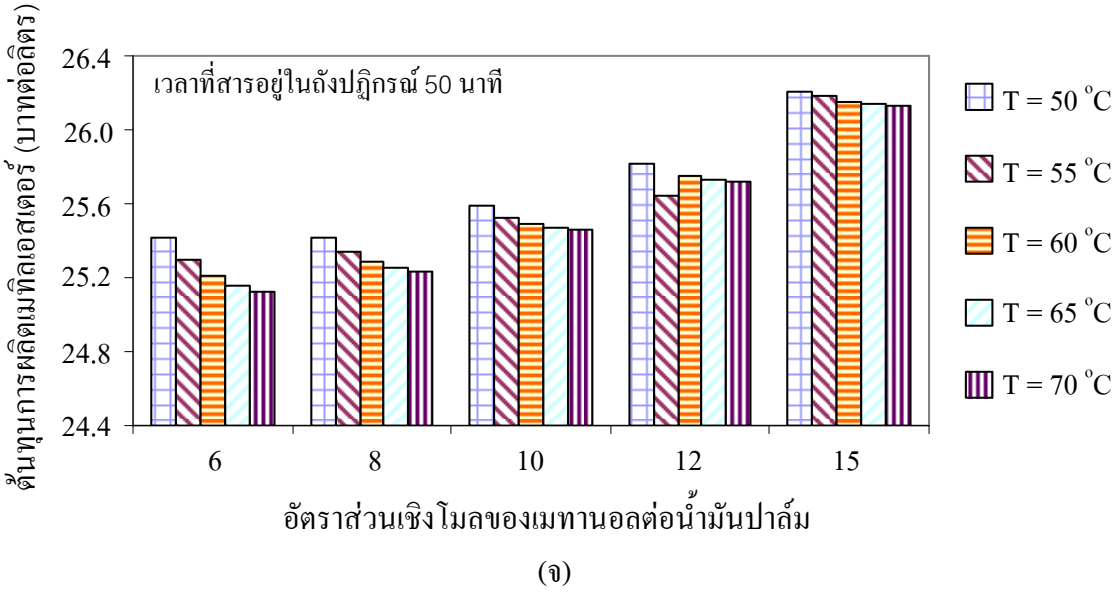
(ข)


เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที
ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ (บาทต่อลิตร)
26.4
26.0
25.6
25.2
24.8
24.4
6
8
10
12
15
อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม
T = 50 °C
T = 55 °C
T = 60 °C
T = 65 °C
T = 70 °C

(ค)


เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 40 นาที
ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ (บาทต่อลิตร)
26.4
26.0
25.6
25.2
24.8
24.4
6
8
10
12
15
อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม
T = 50 °C
T = 55 °C
T = 60 °C
T = 65 °C
T = 70 °C

(ง)



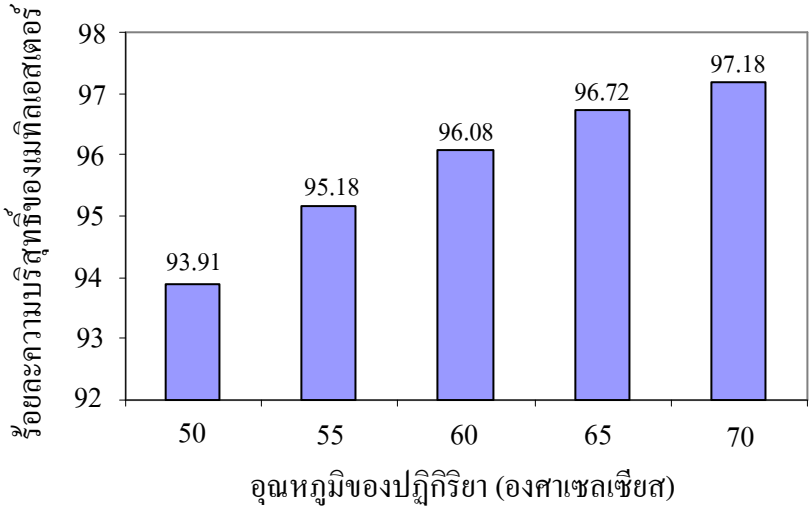
(จ)

ภาพประกอบที่ 3.4 ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์กับอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันปาล์ม (ก) เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 10 นาที (ข) เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 20 นาที (ค) เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที (ง) เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 40 นาที (จ) เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 50 นาที

จากภาพประกอบที่ 3.4 แสดงค่าต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ต่อหน่วยกับอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 8:1 10:1 12:1 และ 15:1 เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 10-50 นาที และอุณหภูมิของปฏิกิริยา 50-70 °C พบว่าแม้การเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ส่งผลให้ปริมาณเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.2.1 แต่การเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ทำให้ต้องใช้ปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการอุ่นสารตั้งต้นคือ น้ำมันปาล์มและเมทานอลสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อคำนวณเป็นต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ พบว่าที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 8:1 ทำให้ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ต่อหน่วยต่ำที่สุด

3.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา

3.3.1 อุณหภูมิของปฏิกิริยาส่งผลต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ ที่อัตราการผลิต 6 ลิตรต่อนาที

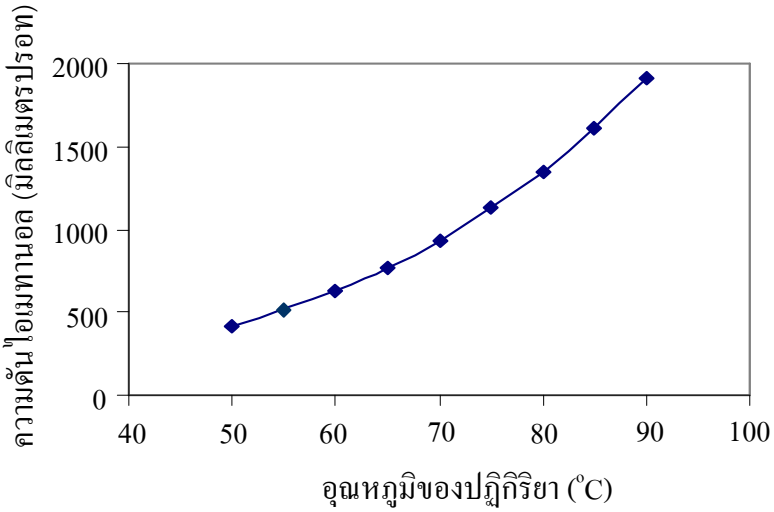


ภาพประกอบที่ 3.5 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์กับอุณหภูมิของปฏิกิริยา อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 20 นาที

จากภาพประกอบที่ 3.5 แสดงค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์กับช่วงอุณหภูมิของปฏิกิริยา 50-70 ^{o}C อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 20 นาที พบว่า ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่สูงขึ้น ดังสมการโมดิฟายอาร์เรเนียส โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา (k) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปตามกลไกการเกิดปฏิกิริยา

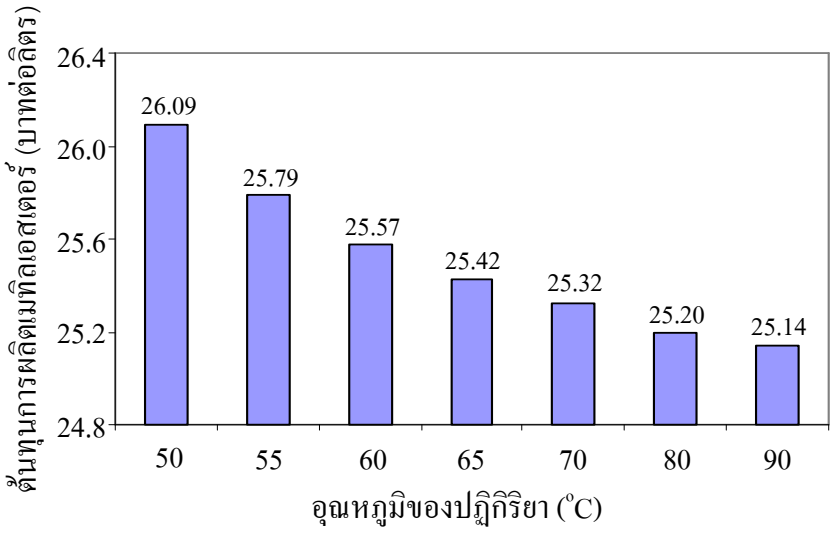
3.3.2 อุณหภูมิของปฏิกิริยาส่งผลต่อความดันภายในถังปฏิกรณ์

การคำนวณความดันภายในถังปฏิกรณ์ สามารถคำนวณได้จากสมการอังตวน โดยความดันที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกรณ์เกิดจากความดันไอของเมทานอล พบว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่สูงขึ้น ทำให้ความดันภายในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 3.6 ซึ่งถังปฏิกรณ์โดยทั่วๆ ไปสามารถทนแรงดันได้ไม่เกิน 1000 มิลลิเมตรปรอท (mmHg)



ภาพประกอบที่ 3.6 ความดันภายในถังปฏิกรณ์กับช่วงอุณหภูมิของปฏิกิริยา 50-90 °C

3.3.3 อุณหภูมิของปฏิกิริยาส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ ที่อัตราการผลิต 6 ลิตรต่อนาที

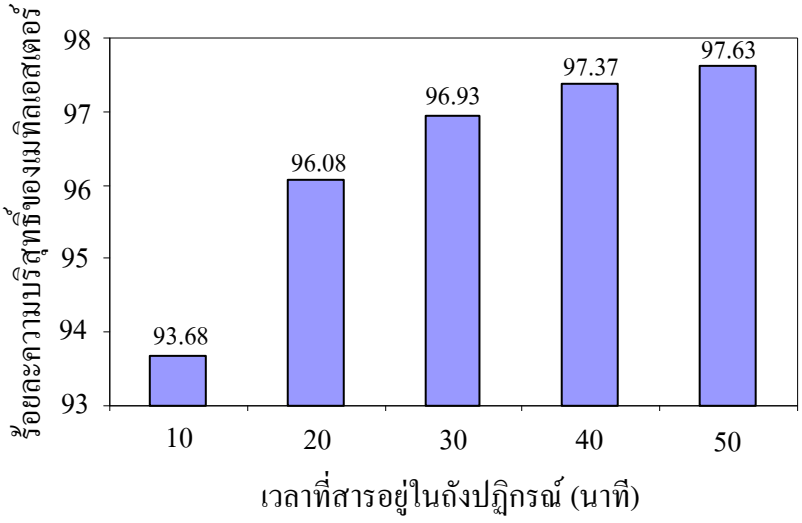


ภาพประกอบที่ 3.7 ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์กับอุณหภูมิของปฏิกิริยา อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 20 นาที

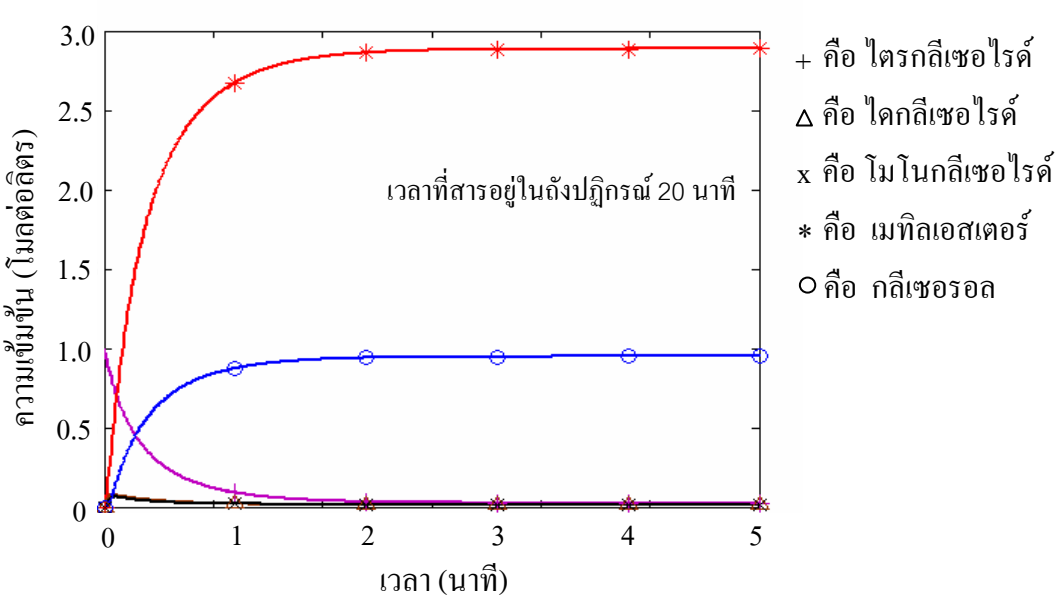
จากภาพประกอบที่ 3.7 แสดงค่าต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์กับช่วงอุณหภูมิของปฏิกิริยา 50-90 ^{o}C อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 20 นาที แม้การเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยา ทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นสำหรับอุ่นสารตั้งต้นคือ น้ำมันปาล์มและเมทานอล ดังสมการที่ 1.21 เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิของปฏิกิริยา แต่การเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาทำให้ปริมาณเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.3.1 ดังนั้นเมื่อคำนวณเป็นต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ต่อหน่วย พบว่าเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้นทำให้ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ต่อหน่วยลดลง และจากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 70 ^{o}C แม้ว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่สูงกว่านี้ จะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเตอร์ต่อหน่วยต่ำกว่าที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาข้างต้น แต่อุณหภูมิในช่วงดังกล่าวสูงกว่าจุดเดือดของเมทานอล จะเกิดปัญหาเนื่องจากความดันไอของเมทานอลภายในถังปฏิกรณ์ที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่สูงขึ้น

3.4 ศึกษาผลของเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์

3.4.1 เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ส่งผลต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ ที่อัตราการผลิต 6 ลิตรต่อนาที



(ก)

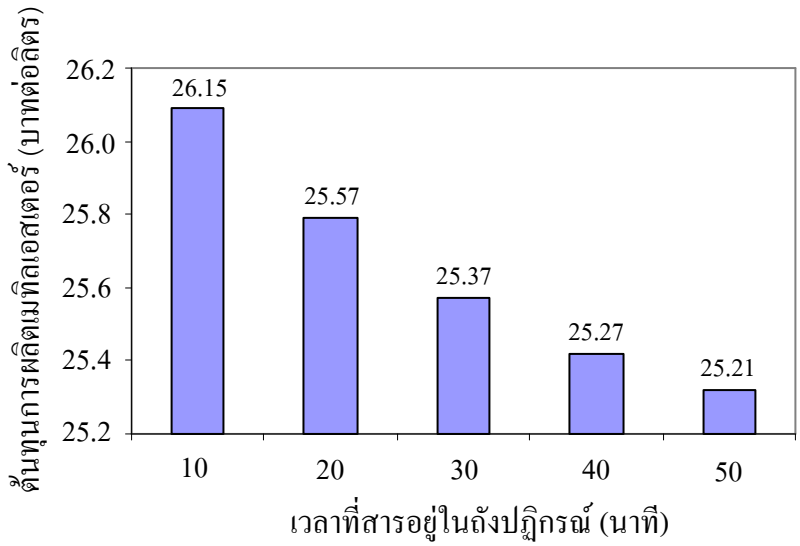


(ข)

ภาพประกอบที่ 3.8 (ก) ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์กับเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และอุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C (ข) ความเข้มข้นของสารต่างๆภายในถังปฏิกรณ์กับเวลา อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 20 นาที

จากภาพประกอบที่ 3.8 (ก) แสดงค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์กับเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และอุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C พบว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นตามเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นไปตามกลไกของการเกิดปฏิกิริยา โดยช่วงแรกของการทำปฏิกิริยาอัตราเร็วของการเกิดเมทิลเอสเตอร์จะเกิดขึ้นเร็วมาก เนื่องจากในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยายังไม่มีเมทิลเอสเตอร์เกิดขึ้นหรือมีน้อย ทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณเมทิลเอสเตอร์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งมีปริมาณเมทิลเอสเตอร์ภายในถังปฏิกรณ์คงที่ (จุดสมดุล) แสดงดังภาพประกอบที่ 3.8 (ข)

3.4.2 เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ ที่อัตราการผลิต 6 ลิตรต่อนาที



ภาพประกอบที่ 3.9 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 และอุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 ^{o}C

จากภาพประกอบที่ 3.9 แสดงค่าต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ต่อหน่วยกับเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 10-50 นาที อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 ^{o}C พบว่า การเพิ่มเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ทำให้ปริมาณเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.4.1 ดังนั้นเมื่อคำนวณเป็นต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ต่อหน่วย พบว่าเมื่อเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ลดลง

3.5 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเมทิลเอสเตอร์ในถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง อัตราการผลิต 6 ลิตรต่อนาที

จากการศึกษารายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548 (ภาคผนวก ช)

ข้อที่ 1 ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ร้อยละโดยน้ำหนัก ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5

ในการหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อใช้ออกแบบถังปฏิกรณ์สำหรับผลิตเมทิลเอสเตอร์ควรมีค่าความปลอดภัย (Safety factor) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้กำหนดความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98.0 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งจากการ

พิจารณาความร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ และต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ พบว่าที่อัตราการผลิต 6 ลิตรต่อนาที สภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ทำให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98.0 (ภาคผนวก ก)

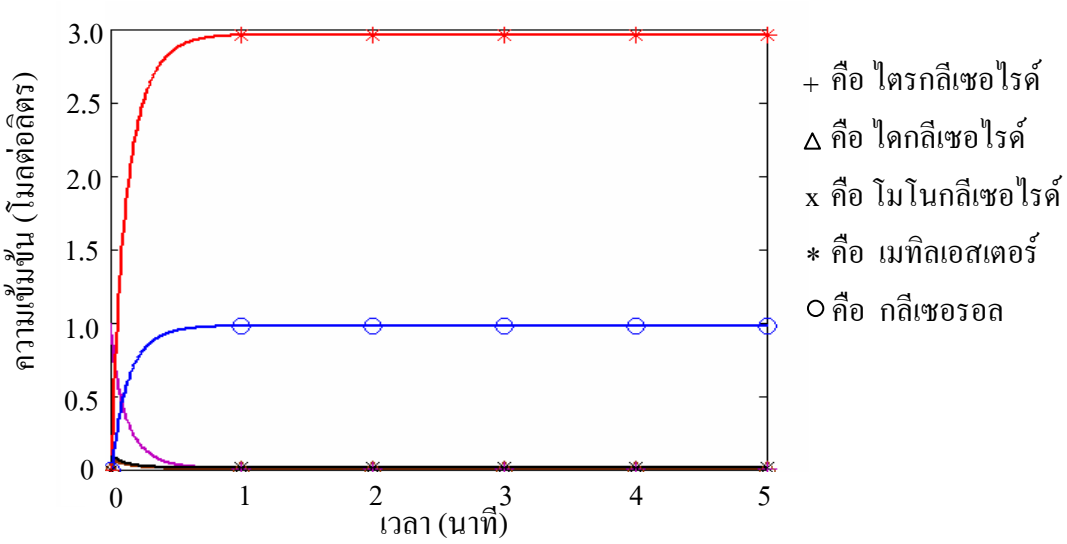
อัตราส่วนเชิงโมล	อุณหภูมิของปฏิกิริยา (°C)	เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ (นาที)	ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์	ต้นทุนการผลิต (บาทต่อลิตร)
6:1	70	50	98.04	25.12
8:1	50	50	98.13	25.41
	55	40	98.24	25.39
		50	98.47	25.34
	60	30	98.26	25.39
		40	98.53	25.32
		50	98.70	25.28
	65	20	98.12	25.42
		30	98.53	25.33
		40	98.73	25.28
		50	98.85	25.25
	70	20	98.41	25.35
		30	98.71	25.29
		40	98.86	25.25
		50	98.95	25.23
10:1	50	30	98.09	25.73
		40	98.47	25.64
		50	98.70	25.59
	55	30	98.51	25.63
		40	98.78	25.57

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ทำให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98.0 (ต่อ)

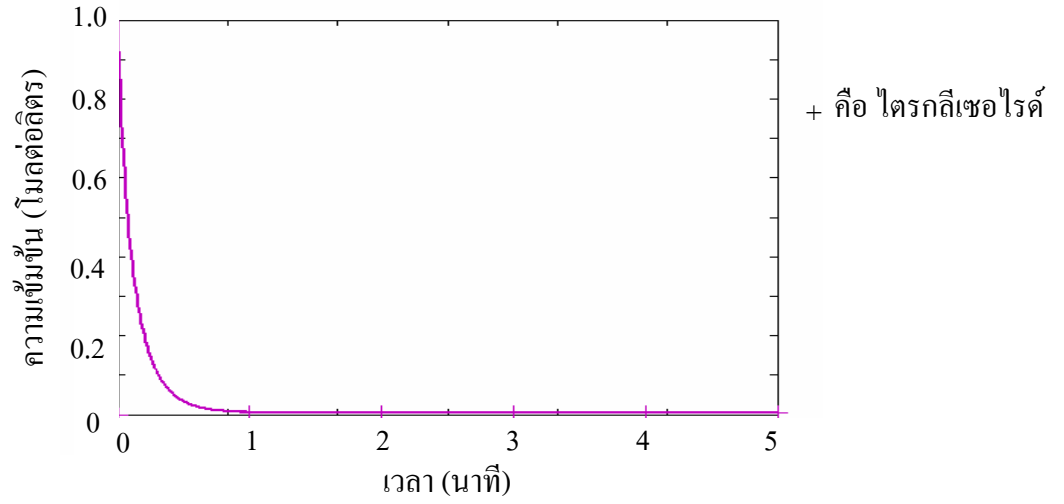
อัตราส่วนเชิงโมล	อุณหภูมิของปฏิกิริยา (^{o}C)	เวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ (นาที)	ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์	ต้นทุนการผลิต (บาทต่อลิตร)
10:1	55	50	98.95	25.52
	60	20	98.40	25.66
		30	98.79	25.57
		40	98.99	25.52
		50	99.12	25.50
	65	20	98.70	25.59
		30	98.99	25.53
		40	99.14	25.49
		50	99.23	25.47
	70	10	98.26	25.69
		20	98.90	25.55
		30	99.12	25.50
		40	99.23	25.47
		50	99.30	25.46

3.5.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารภายในถังปฏิกรณ์ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 ^{o}C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที

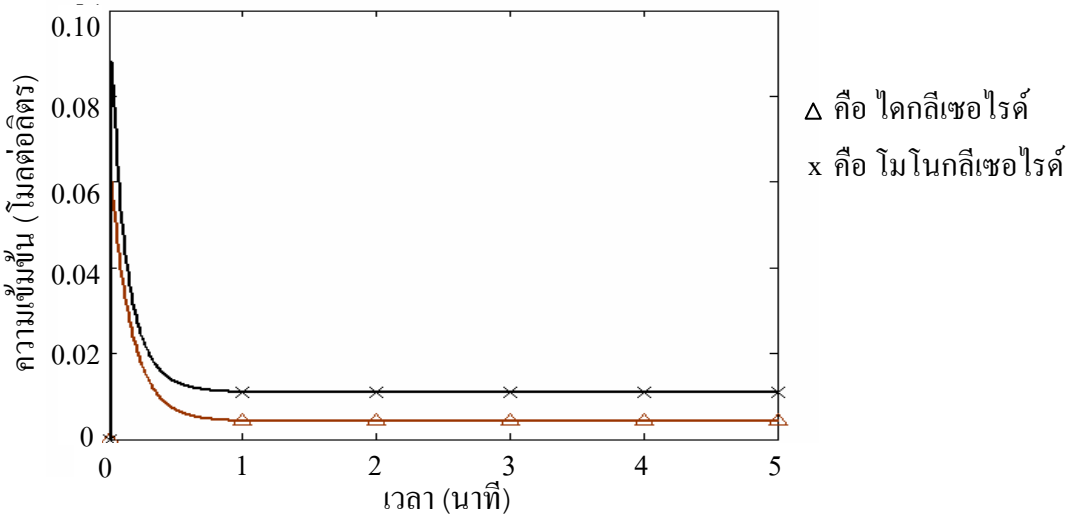
สารที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอ-ไรด์ เมทิลเอสเตอร์ กลีเซอรอลและเมทานอลที่เหลือจากทำปฏิกิริยา โดยช่วงแรกของการทำปฏิกิริยาอัตราเร็วการเกิดผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นเร็วมาก ตรงข้ามกับสารตั้งต้นที่ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยามีผลิตภัณฑ์มีน้อย ทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งมีปริมาณเมทิลเอสเตอร์ภายในถังปฏิกรณ์คงที่ (จุดสมดุล) ซึ่งเป็นไปตามกลไกของการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้เวลาทำปฏิกิริยาประมาณ 2 นาที แสดงดังภาพประกอบที่ 3.10


ความเข้มข้น (โมลต่อลิตร)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
0
1
2
3
4
5
เวลา (นาที)
+ คือ ไตรกลีเซอไรด์
△ คือ ไดกลีเซอไรด์
x คือ โมโนกลีเซอไรด์
∗ คือ เมทิลเอสเตอร์
○ คือ กลีเซอรอล

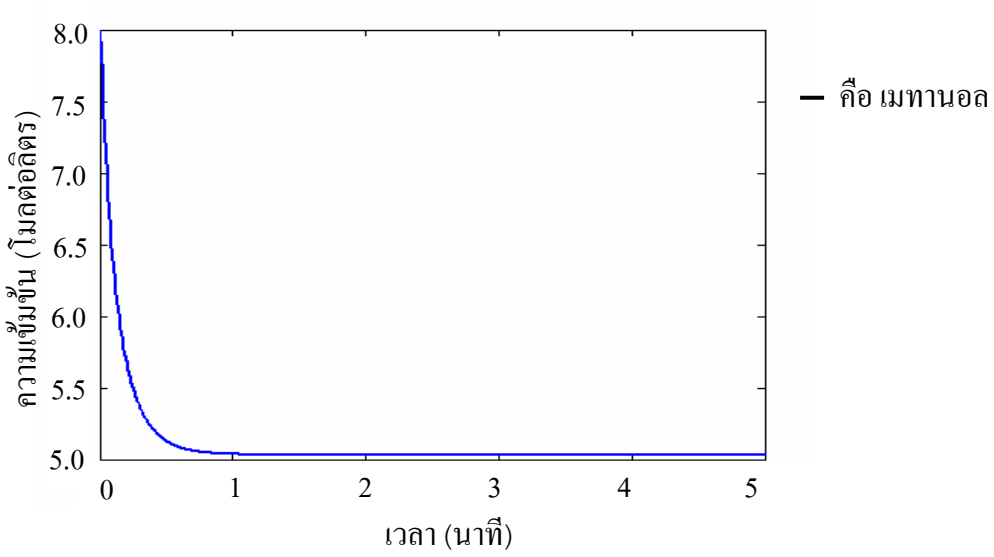
(ก)


ความเข้มข้น (โมลต่อลิตร)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
1
2
3
4
5
เวลา (นาที)
+ คือ ไตรกลีเซอไรด์

(ข)


ความเข้มข้น (โมลต่อลิตร)
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0
0
1
2
3
4
5
เวลา (นาที)
△ คือ ไดกลีเซอไรด์
x คือ โมโนกลีเซอไรด์

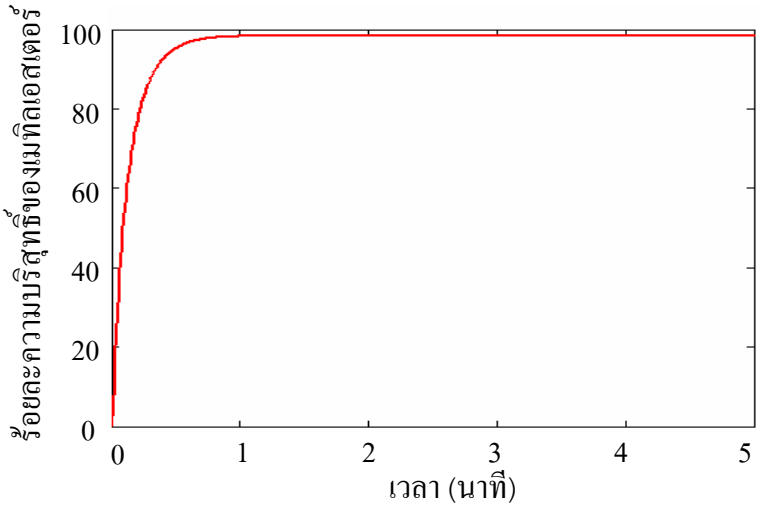
(ค)



(ง)

ภาพประกอบที่ 3.10 ความเข้มข้นของสารต่างๆภายในถังปฏิกรณ์กับเวลา ที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที

3.5.2 ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์



ภาพประกอบที่ 3.11 ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ ที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที

จากภาพประกอบที่ 3.11 เมทิลเอสเตอร์ที่ได้มีค่าร้อยละความบริสุทธิ์มากกว่า 98.0 โดยมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานเมทิลเอสเตอร์ที่ผ่านมาตรฐานต้องมีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 96.5

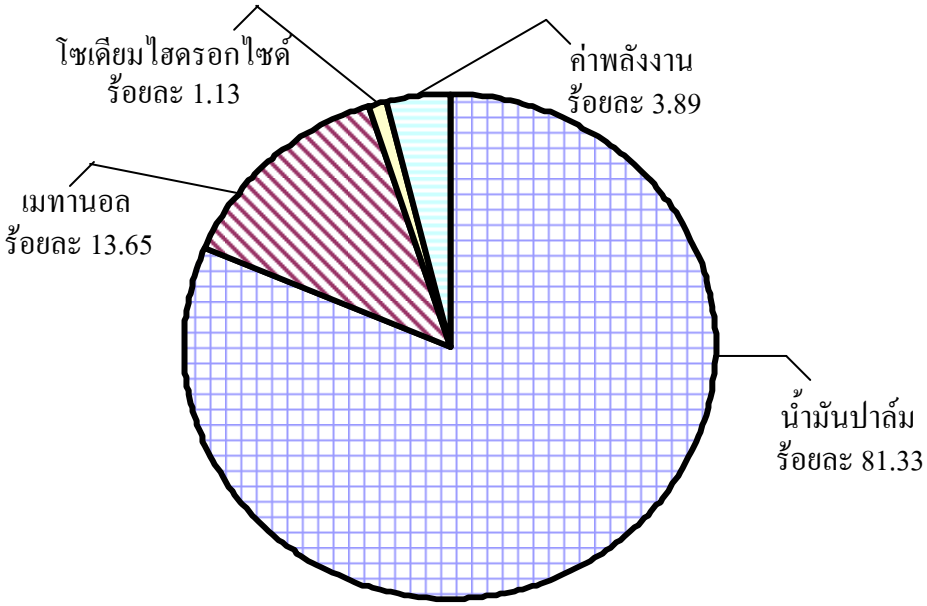
3.5.3 ร้อยละของต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์

ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ คือ น้ำมันปาล์ม เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) และค่าพลังงาน (พลังงานไฟฟ้า) ซึ่งต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ กรณีแยกกลับเมทานอลต่ำกว่ากรณีไม่มีการแยกกลับเมทานอล แสดงดังตารางที่ 3.2 และร้อยละของต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ แสดงดังภาพประกอบที่ 3.12

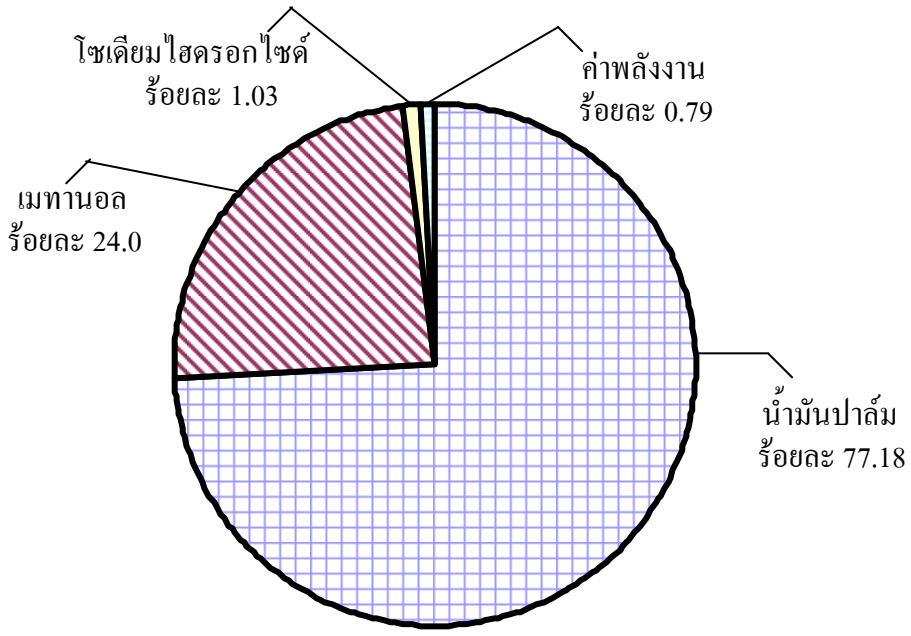
ตารางที่ 3.2 ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ ที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที

ชนิดวัตถุดิบ	ต้นทุนการผลิต กรณีแยกกลับเมทานอล (บาทต่อลิตร)	ต้นทุนการผลิต กรณีไม่มีการแยกกลับเมทานอล (บาทต่อลิตร)
น้ำมันปาล์ม	20.56	20.56
เมทานอล	3.45	6.65
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.29	0.29
ค่าไฟฟ้า	0.98	0.22
รวม	25.28	27.72

เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ กรณีมีการแยกกลับเมทานอลที่ได้จากงานวิจัยกับต้นทุนที่คำนวณจากสมการ 1.26 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที โดยราคาวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 1.9 ซึ่งต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ที่คำนวณจากสมการ 1.26 เท่ากับ 26.24 บาทต่อลิตร พบว่า ต้นทุนการผลิตที่คำนวณจากสมการ 1.26 มีค่าสูงกว่าในตารางที่ 3.2 เนื่องจากมีการรวมต้นทุนค่าพลังงาน แรงงาน โสหุ้ย ค่าเสื่อมสภาพ กำไร และค่าการจัดการ แต่ในงานวิจัยนี้คำนวณเฉพาะต้นทุนส่วนค่าพลังงาน ซึ่งหากนำข้อมูลจากตารางที่ 3.2 ไปออกแบบอุปกรณ์สำหรับการแยกกลับเมทานอล ต้องคำนวณค่าใช้จ่ายในการสร้างอุปกรณ์สำหรับแยกกลับเมทานอล เช่น อุปกรณ์ให้ความร้อน เครื่องควบแน่น เป็นต้น เพื่อคำนวณระยะเวลาในการคุ้มทุน



(ก)

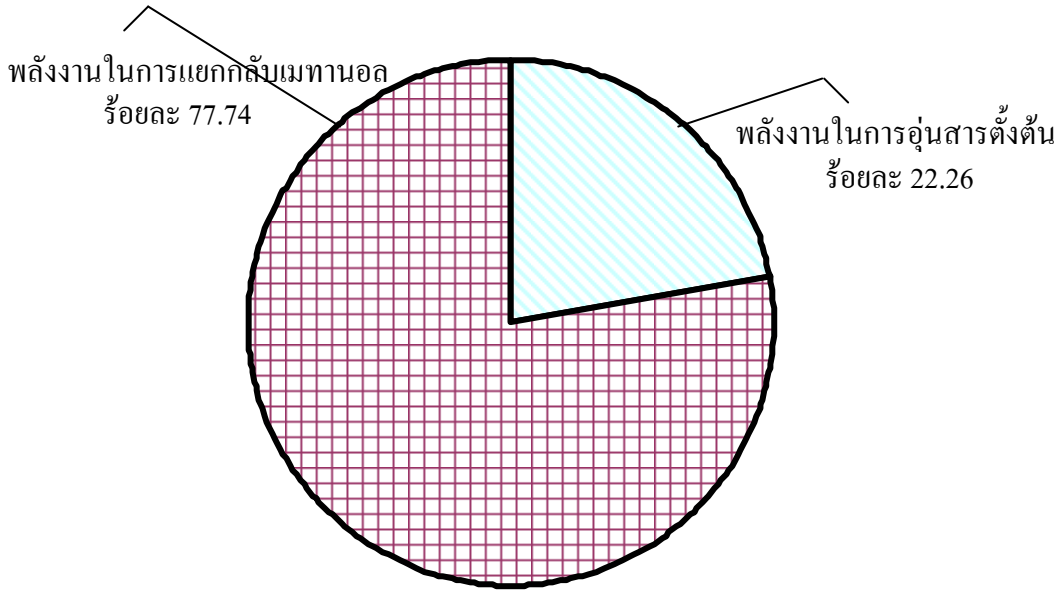


(ข)

ภาพประกอบที่ 3.12 ร้อยละของต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 ^{o}C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที (ก) กรณีแยกกลับเมทานอล (ข) กรณีไม่มีการแยกกลับเมทานอล

จากภาพประกอบที่ 3.12 พบว่าต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ กรณีมีการแยกกลับเมทานอล ต้นทุนน้ำมันปาล์มร้อยละ 81.33 และต้นทุนเมทานอลร้อยละ 13.65 กรณีไม่มีการแยกกลับเมทานอล ต้นทุนน้ำมันปาล์มร้อยละ 77.18 และต้นทุนเมทานอลร้อยละ 24.0

ต้นทุนค่าพลังงาน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ พลังงานที่ใช้ในการอุ่นสารตั้งต้น (เมทานอลและน้ำมันปาล์ม) ร้อยละ 77.74 และพลังงานที่ใช้ในแยกกลับเมทานอล ร้อยละ 22.26 แสดงดังภาพประกอบที่ 3.13



ภาพประกอบที่ 3.13 ร้อยละของต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ส่วนค่าพลังงาน (พลังงานที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเตอร์ ประกอบด้วย พลังงานในการอุ่นสารตั้งต้น คือ น้ำมันปาล์มและเมทานอล และพลังงานในการแยกกลับเมทานอล) ที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70 ^{o}C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 30 นาที