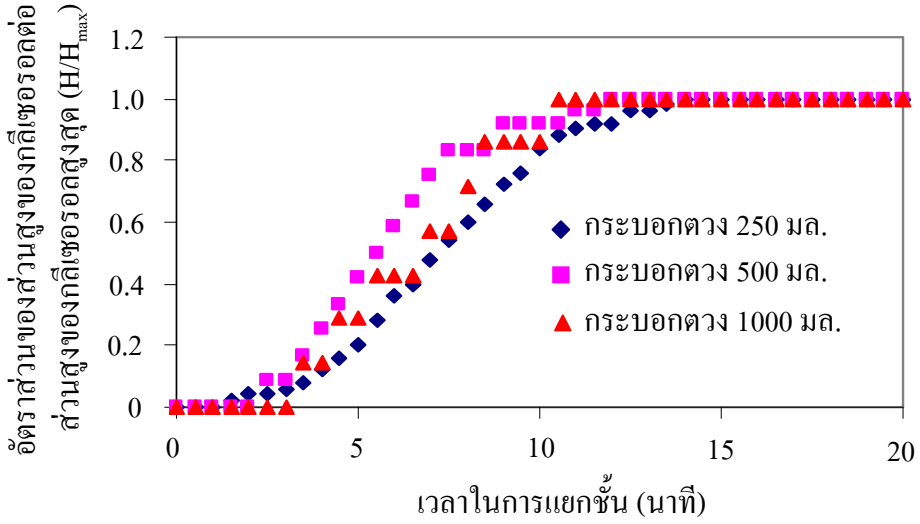
บทที่ 4

ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจม (Settling tank) ส่งผลต่อเวลาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์

อัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุดที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพประกอบที่ 4.1



ภาพประกอบที่ 4.1 อัตราส่วนของความสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุดกับเวลาในการแยกชั้น อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 40 นาที

จากภาพประกอบที่ 4.1 พบว่าช่วงแรกความสูงของกลีเซอรอลจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากเป็นช่วงของการจับกลุ่มของตะกอนกลีเซอรอล แต่เมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่งความสูงของกลีเซอรอลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งปริมาณความสูงของกลีเซอรอลคงที่หรือเรียกว่าการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์สมบูรณ์ โดยกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีความสูงของสารผสมสูงที่สุด

ทำให้มีแรงดันในกระบอกตวงสูงกว่ากระบอกตวงขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร ทำให้เกิดการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ก่อนกระบอกตวงขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตรตามลำดับ (เริ่มเกิดการแยกชั้นที่เวลาเท่ากับ 1.5 2.5 และ 3.5 นาที ตามลำดับ) แต่กระบอกตวง 1000 มิลลิลิตรหยุดการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ก่อนกระบอกตวงขนาด 500 และ 250 มิลลิลิตรตามลำดับ (หยุดการแยกชั้นที่เวลาเท่ากับ 10.5 12 และ 14 นาที ตามลำดับ) เนื่องจากกระบอกขนาด 1000 มิลลิลิตรมีบริเวณที่สารผสมสัมผัสกับผิวของกระบอกตวงน้อยกว่ากระบอกตวงขนาด 500 และ 250 มิลลิลิตร (กระบอกตวงปริมาตร 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารผสมเท่ากับ 302.03 196.04 และ 166.72 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ) ทำให้เกิดแรงเสียดทานบริเวณผิวสัมผัสกับกระบอกตวงน้อย ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์เกิดได้เร็ว

อัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารที่ปริมาตร 250 มิลลิลิตรต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจม (H/D)

$(H/D)_{250} = 24.0/3.8 = 6.3$

$(H/D)_{500} = 12.9/4.8 = 2.7$

$(H/D)_{1000} = 8.8/6.1 = 1.4$

จากภาพประกอบที่ 4.1 การแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (S) สามารถประมาณโดยใช้รูปสมการของฟังก์ชันลอจิสติก (Logistic function) โดยแสดงในสมการที่ 4.1 ค่าคงที่ของสมการและค่า R-square หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “สัมประสิทธิ์ของการกำหนด” หาโดยใช้หลักการ Lease square method ผ่านทางการใช้โปรแกรม Solver การคำนวณหาค่าคงที่ฟังก์ชันลอจิสติกแสดงในตาราง 4.1 และพบว่าค่าคงที่ที่ได้สามารถใช้แทนความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลต่างๆ ได้ เนื่องจากแต่ละชุดมีค่า R-square มากกว่า 0.99

$$H/H_{max} = a*(1+ (m*\exp(-t/p)))/(1+ (n*\exp(-t/p))) \quad (4.1)$$

โดยที่ H/H_{max} คือ อัตราส่วนของความสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุด

t คือ เวลาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ (นาที)

a m n และ p คือ ค่าคงที่ของฟังก์ชันลอจิสติก

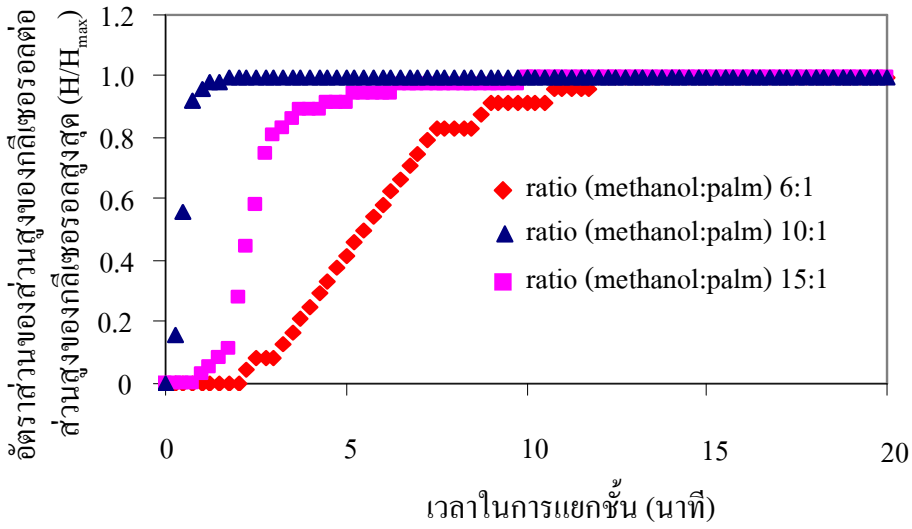
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของฟังก์ชันลอจิสติกและค่า R-square อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 ใช้กระบอกตวงขนาด 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม

กระบอกตวง (มิลลิลิตร)	H/D	a_1	m_1	n_1	p_1	R-square
250	6.3	1.01	-1.44	49.58	1.82	0.999
500	2.7	1.00	-2.36	41.77	1.44	0.998
1000	1.4	1.01	2.80	64.26	1.54	0.996

โดย a_1 m_1 n_1 และ p_1 คือ ค่าคงที่ของฟังก์ชันลอจิสติกที่เวลาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์สัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจม

4.2 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม (Mole ratio) ส่งผลต่อเวลาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์

อัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุดที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพประกอบที่ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.2 อัตราส่วนของความสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุดกับเวลาในการแยกชั้น อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 °C และเวลาที่สารอยู่ในถังปฏิกรณ์ 40 นาที ใช้กระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตรเป็นถังตกจม

จากภาพประกอบที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 15:1 เริ่มเกิดการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ ก่อนอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 10:1 และ 6:1 ตามลำดับ (เริ่มเกิดการแยกชั้นที่เวลาเท่ากับ 0.25 1 และ 2.5 นาที ตามลำดับ) และที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 15:1 หยุดการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ก่อนอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 10:1 และ 6:1 ตามลำดับ (หยุดการแยกชั้นที่เวลาเท่ากับ 1.75 10 และ 12 นาที ตามลำดับ) เนื่องจากอัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 15:1 มีปริมาณเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามากกว่าอัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 10:1 และ 6:1 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเมทานอลที่เหลือนั้นทำให้สารผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยามีความหนืดลดลง ส่งผลให้การแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์เกิดได้เร็ว

จากภาพประกอบที่ 4.2 ใช้โปรแกรม Solver คำนวณหาค่าคงที่ของฟังก์ชันลอจิสติกได้กราฟที่ใกล้เคียงกับรูปที่ได้จากการทดลอง คือค่า R-square มากกว่า 0.99 เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยค่าคงที่ของฟังก์ชันลอจิสติกและค่า R-square แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ของฟังก์ชันลอจิสติกและค่า R-square อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 6:1 10:1 และ 15:1 ใช้กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตรเป็นถังตกจม

อัตราส่วนเชิงโมล (เมทานอล:น้ำมันปาล์ม)	a_2	m_2	n_2	p_2	R-square
6:1	1.00	-2.36	41.77	1.44	0.998
10:1	0.98	2.51	190.51	0.45	0.993
15:1	1.00	0.85	31.50	0.13	0.999

โดย a_2 m_2 n_2 และ p_2 คือ ค่าคงที่ของฟังก์ชันลอจิสติกที่เวลาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์สัมพันธ์กับอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ซึ่งจากข้อมูลจากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าค่าคงที่ m n และ p ของฟังก์ชันลอจิสติกขึ้นอยู่กับอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม (R) และอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจม (H/D) แต่ค่าคงที่ a ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม และอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจมน้อยมาก

จึงกำหนดให้ค่าคงที่ a เท่ากับ 1 สำหรับการหาค่าคงที่ในการรวมพจน์ค่าคงที่ m n และ p ของฟังก์ชันใช้หลักการ Lease square method ผ่านทางการใช้โปรแกรม Solver

4.3 รูปแบบฟังก์ชันลอจิสติก

การรวมพจน์ของค่าคงที่ตามตารางที่ 4.1 และ 4.2 ให้สอดคล้องกับฟังก์ชันลอจิสติก สามารถประมาณได้ดังสมการ 4.2-4.4 โดยมีค่า R-square เท่ากับ 0.997 (จำนวนข้อมูล 105 ชุดข้อมูล)

$$H/H_{max} = a*(1+ (m*\exp(-t/p)))/(1+ (n*\exp(-t/p)))$$

$$m = (-0.016*(H/D)^2+0.40*(H/D)-3.33)*(0.041*R^2-0.69*R+0.3)/-2.36 \quad (4.2)$$

$$n = (3.97*(H/D)^2-33.59*(H/D)+103.5)*(-7.67*R^2+159.83*R-641.26)/41.77 \quad (4.3)$$

$$p = (0.037*(H/D)^2-0.23*(H/D)+1.78)*(0.02*R^2-0.57*R+4.14)/1.44 \quad (4.4)$$

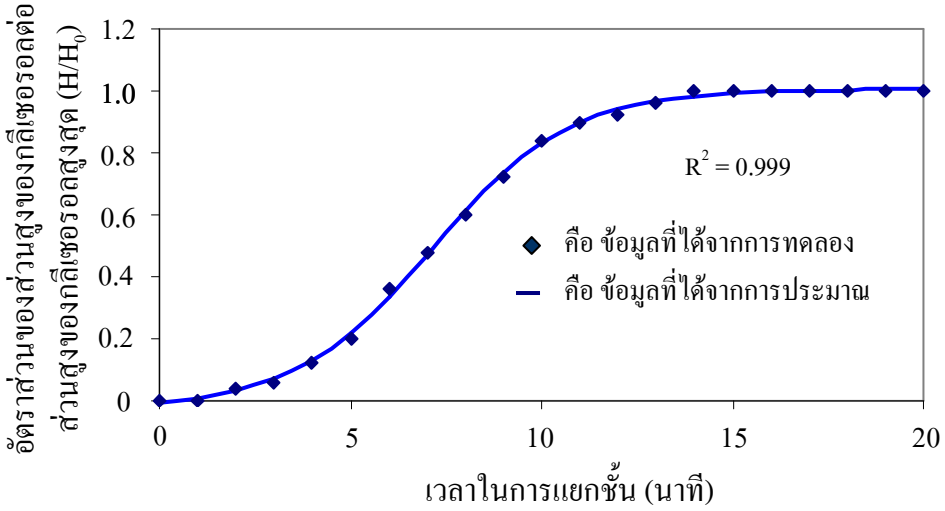
โดยที่ H/H_{max} คือ อัตราส่วนของความสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุด

t คือ เวลาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ (นาที)

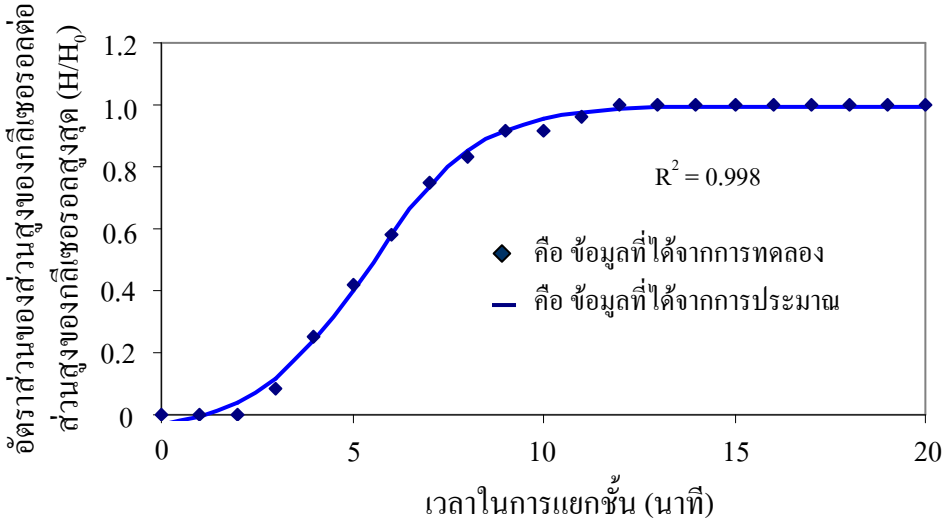
H/D คือ อัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจม

R คือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

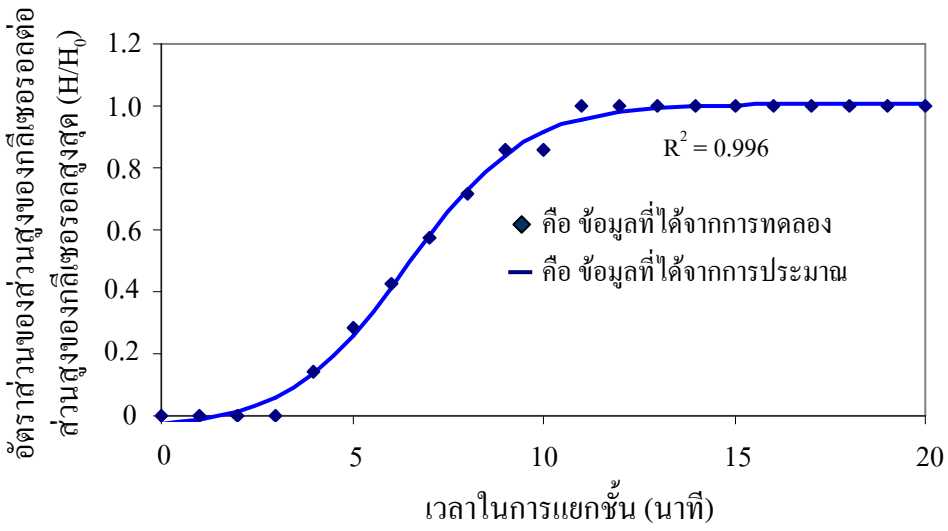
นำค่าคงที่ m n และ p ของฟังก์ชันลอจิสติกที่สัมพันธ์กับทั้งอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจมและอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม จากสมการที่ 4.2-4.4 แทนในสมการที่ 4.1 จะได้ฟังก์ชันลอจิสติกที่อัตราส่วนของความสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุดสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจม อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มและเวลาในการแยกชั้น ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบหรือทำนายผลการทดลองในแต่ละกรณี พบว่าได้ค่า R-square แสดงดังภาพประกอบที่ 4.3-4.11



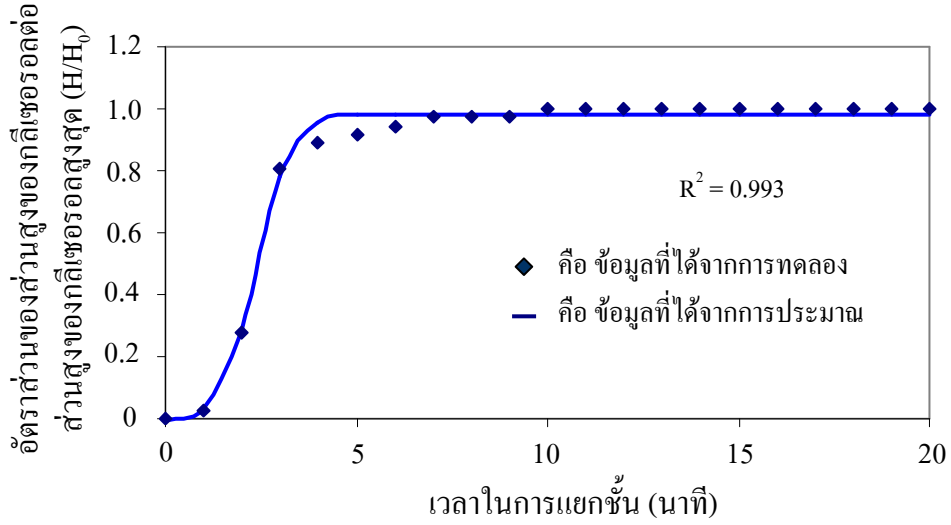
ภาพประกอบที่ 4.3 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



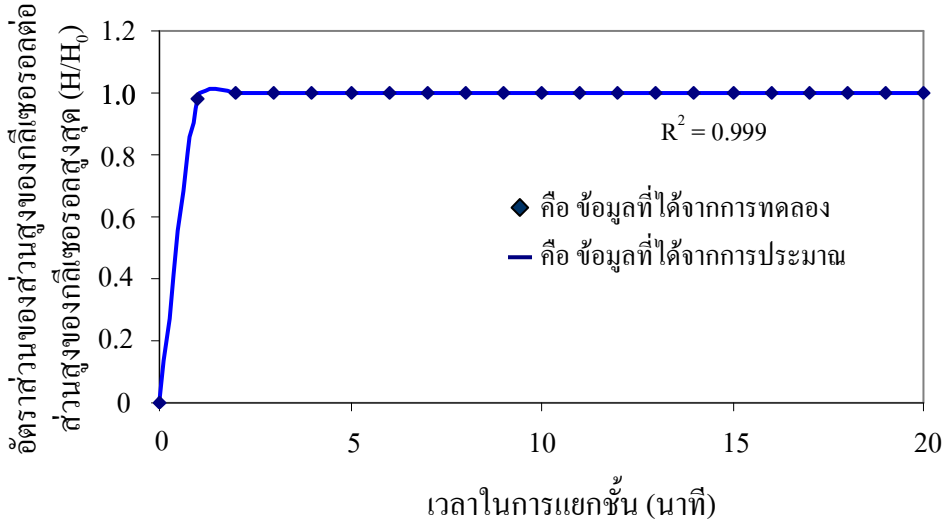
ภาพประกอบที่ 4.4 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



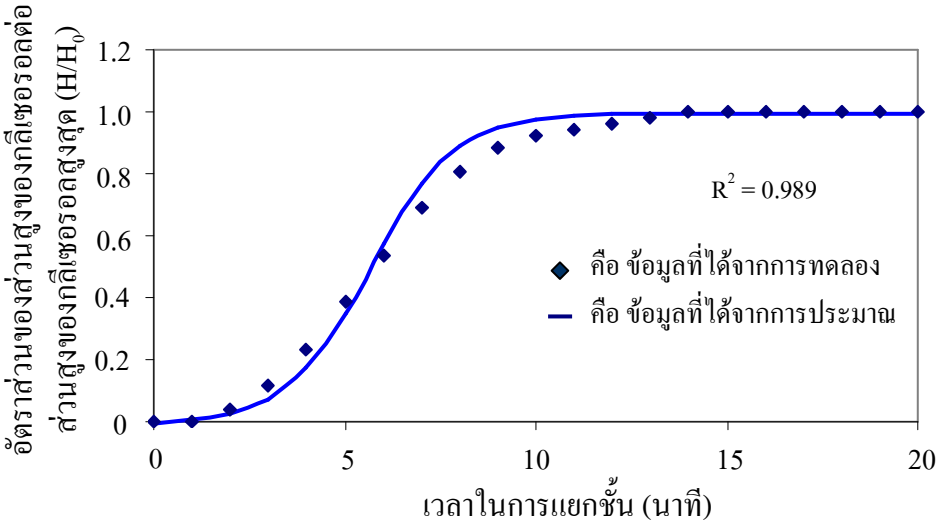
ภาพประกอบที่ 4.5 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



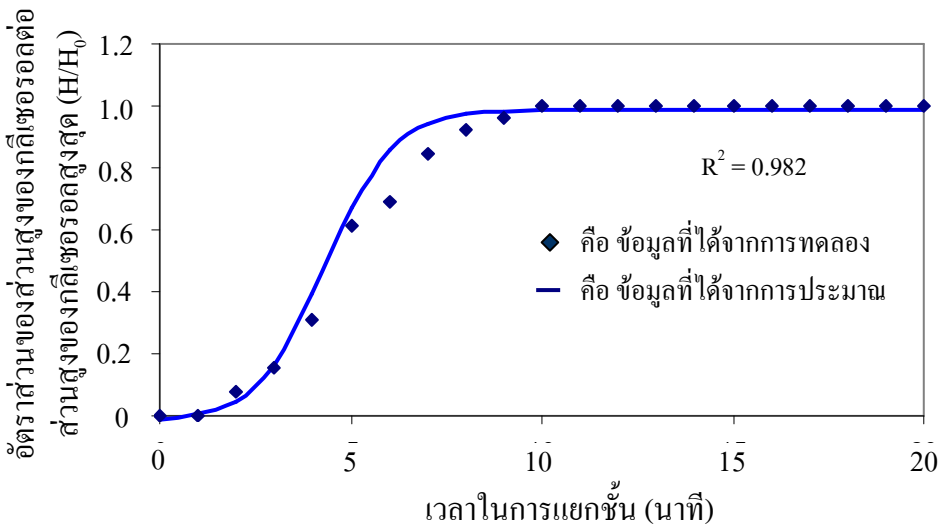
ภาพประกอบที่ 4.6 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 10:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



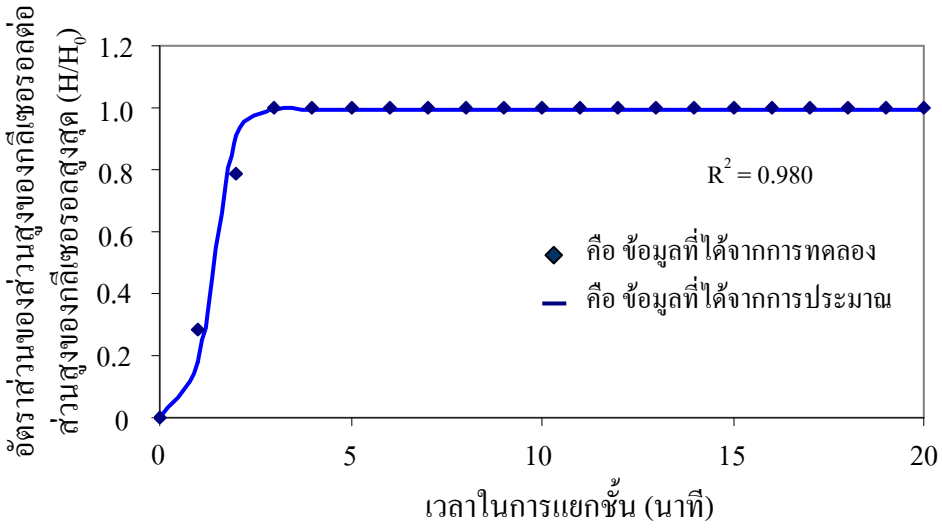
ภาพประกอบที่ 4.7 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 15:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



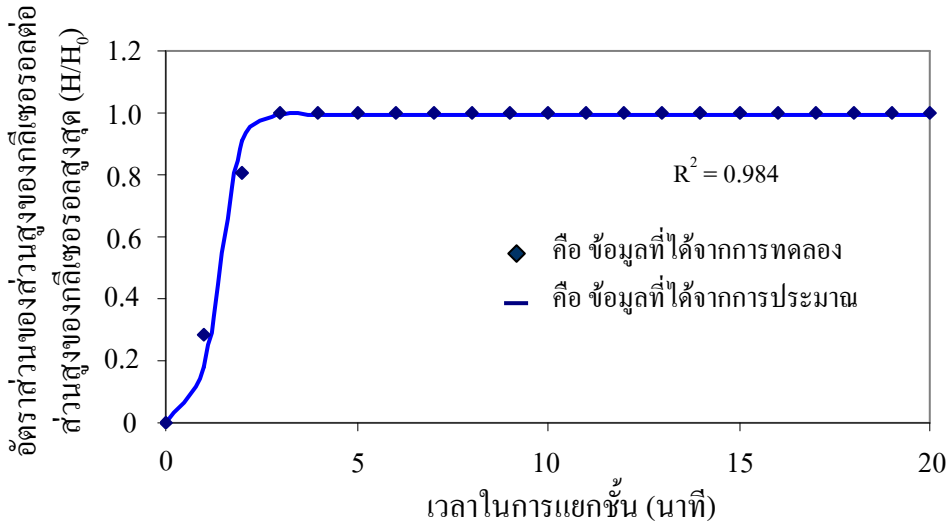
ภาพประกอบที่ 4.8 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



ภาพประกอบที่ 4.9 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



ภาพประกอบที่ 4.10 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 12:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม



ภาพประกอบที่ 4.11 อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 12:1 ใช้กระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร เป็นถังตกจม

4.4 รูปแบบฟังก์ชันลอจิสติกอย่างง่าย

เพื่อความสะดวกในการคำนวณเวลาที่ใช้แยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิล-เอสเตอร์ จึงจัดรูปแบบของฟังก์ชันลอจิสติกเป็นรูปแบบอย่างง่าย แสดงดังสมการที่ 4.5 และค่าคงที่ของฟังก์ชัน แสดงในตารางที่ 4.3

$$H/H_{max} = (k+ (m*\exp(-t/p)))/(l+ (n*\exp(-t/p))) \quad (4.5)$$

$$m = a1*(H/D)*R+a2*R^2+a3*R$$

$$n = b1*(H/D)*R+b2*R^2+b3*R$$

$$p = c1*(H/D)*R+c2*R^2+c3*R$$

โดยที่ H/H_{max} คือ อัตราส่วนของความสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุด

t คือ เวลาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ (นาที)

H/D คือ อัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของสารผสมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกจม

R คือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ต่างๆของฟังก์ชันลอจิสติกของสมการที่ 4.5

ตัวแปร	ค่าคงที่	ตัวแปร	ค่าคงที่	ตัวแปร	ค่าคงที่
a1	0.014	a2	0.022	a3	-0.262
b1	0.006	b2	-0.048	b3	0.523
c1	0.093	c2	-0.217	c3	3.117
k	0.218	l	0.219		

จากการใช้ฟังก์ชันลอจิสติกจากสมการที่ 4.5 ประมาณค่าความสูงของกลีเซอรอลที่เวลาต่างๆเทียบกับค่าความสูงของกลีเซอรอลที่ได้จากการทำการทดลอง ได้ค่า R-square ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า R-square การประมาณค่าอัตราส่วนของความสูงของกลีเซอรอลต่อส่วนสูงของกลีเซอรอลสูงสุดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สมการที่ 4.5

อัตราส่วนเชิงโมล (เมทานอล:น้ำมันปาล์ม)	กระบอกตวง (มิลลิลิตร)	(H/D)	R-square
6:1	250	6.3	0.997
6:1	500	2.7	0.979
6:1	1000	1.4	0.987
8:1	250	6.3	0.994
8:1	500	2.7	0.989
12:1	250	6.3	-
12:1	500	2.7	-
10:1	500	2.7	0.989
15:1	500	2.7	-

หมายเหตุ : อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มไม่เกิน 10:1