

บทที่ 4

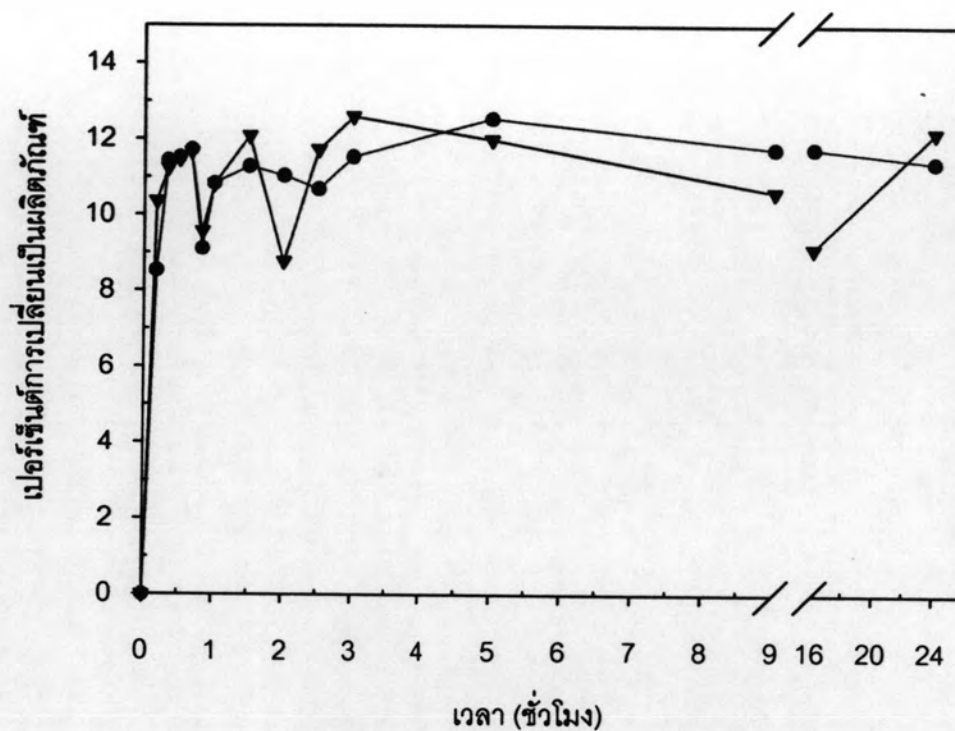
ผลการทดลอง

4.1 ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

จากการทดลองผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโวไซม์ 435 เพื่อผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 ประเภทของการบรรจุคอลัมน์

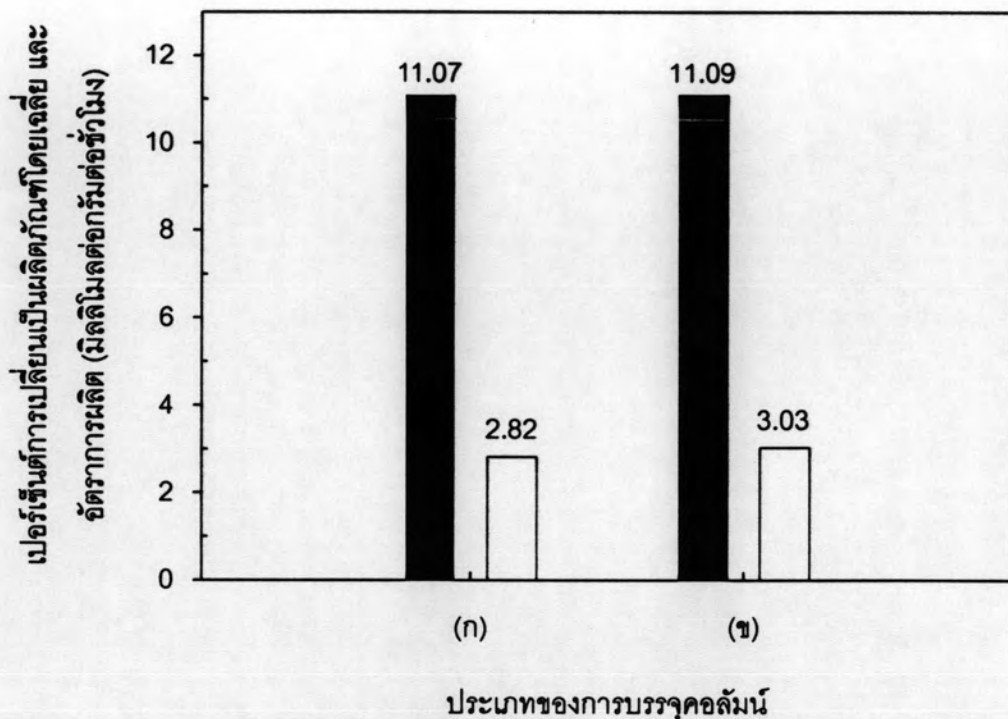
ผลการทดลองเรื่องการบรรจุไนโวไซม์ 435 ลงในคอลัมน์แก้วเพื่อใช้เป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ (รูปที่ 10 และ 11) พบว่า การบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว กับการบรรจุคอลัมน์แบบแยกไนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว ให้ผลของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง คือ 11.09 และ 11.07 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อคำนวณอัตราการผลิต พบว่า ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง การบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว กับการบรรจุคอลัมน์แบบแยกไนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว ให้อัตราการผลิตเท่ากับ 3.03 และ 2.82 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 10 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยโนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอลเป็น 1 : 0.5 จุดหมุนีในการทำปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณโนโวไซม์ 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณโนโวไซม์ 435 ต่อเมล็ดแก้วเป็น 1 : 4

เมื่อ ● คือ การบรรจุคอลัมน์แบบแยกโนโวไซม์ 435 และเมล็ดแก้ว

▼ คือ การบรรจุคอลัมน์แบบผสมโนโวไซม์ 435 และเมล็ดแก้ว



รูปที่ 11 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยโนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอลเป็น 1 : 0.5 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอสม์แบบบรรจุ เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิเมตรต่อนาที และปริมาณโนโวไซม์ 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณโนโวไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

เมื่อ ■ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

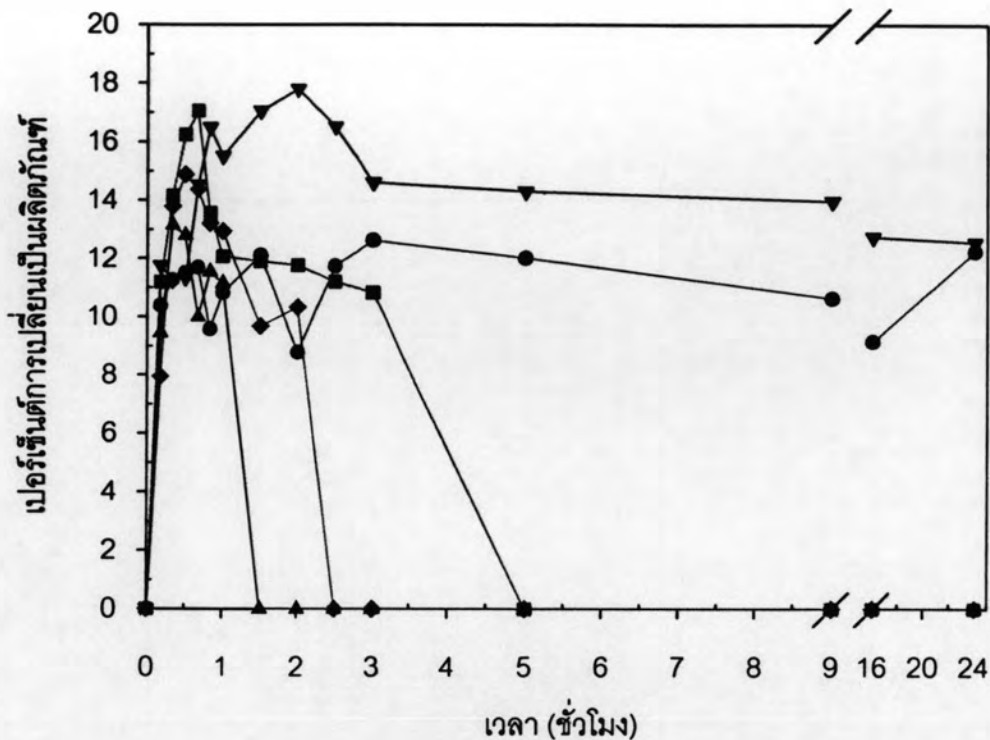
□ คือ อัตราการผลิต (มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)

(ก) คือ การบรรจุคอสม์แบบแยกโนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว

(ข) คือ การบรรจุคอสม์แบบผสมโนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว

4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล

จากการทดลองผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล (รูปที่ 12 และ 13) พบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 ให้ผลของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง สูงที่สุด คือ 14.30 เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการผลิต 3.93 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง รองลงมาคือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1.5, 1 : 2 และ 1 : 3 โดยให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.99, 12.12 และ 11.33 เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการผลิต คือ 3.12, 3.09 และ 2.67 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง นาน 3, 2 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่ ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 0.5 ให้อัตราการผลิตใกล้เคียงกัน คือเท่ากับ 3.03 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง แต่ยังคงให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 11.02 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 12 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโอโซม 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโอโซม 435 และเม็ดแก้ว อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณไนโอโซม 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโอโซม 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

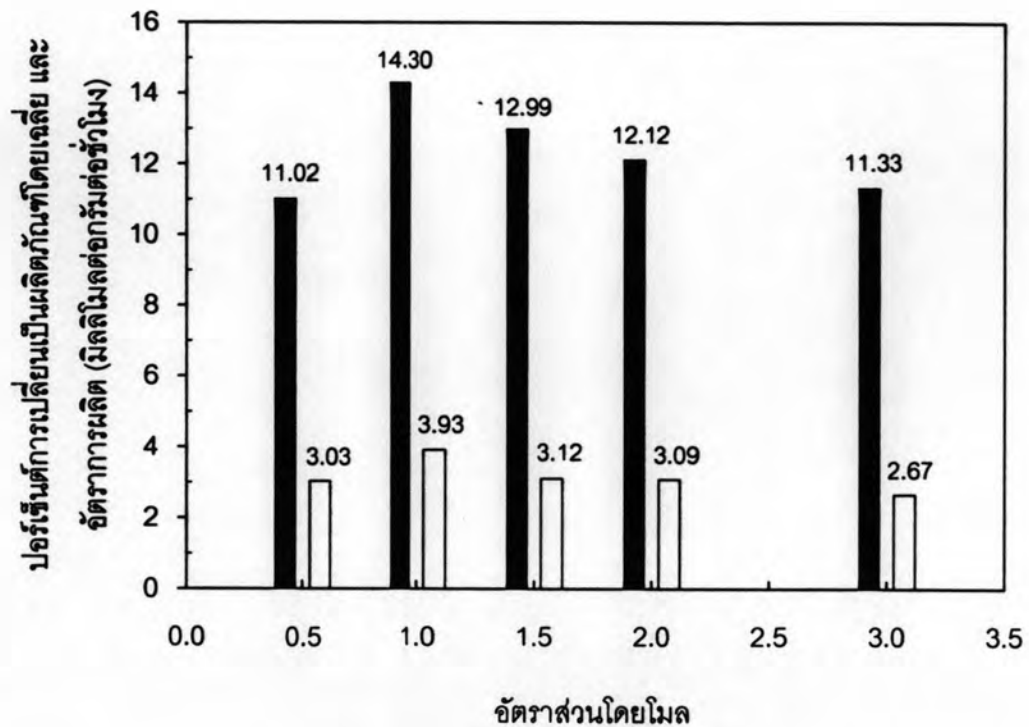
เมื่อ ● คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 0.5

▼ คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1

■ คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1.5

◆ คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 2

▲ คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 3

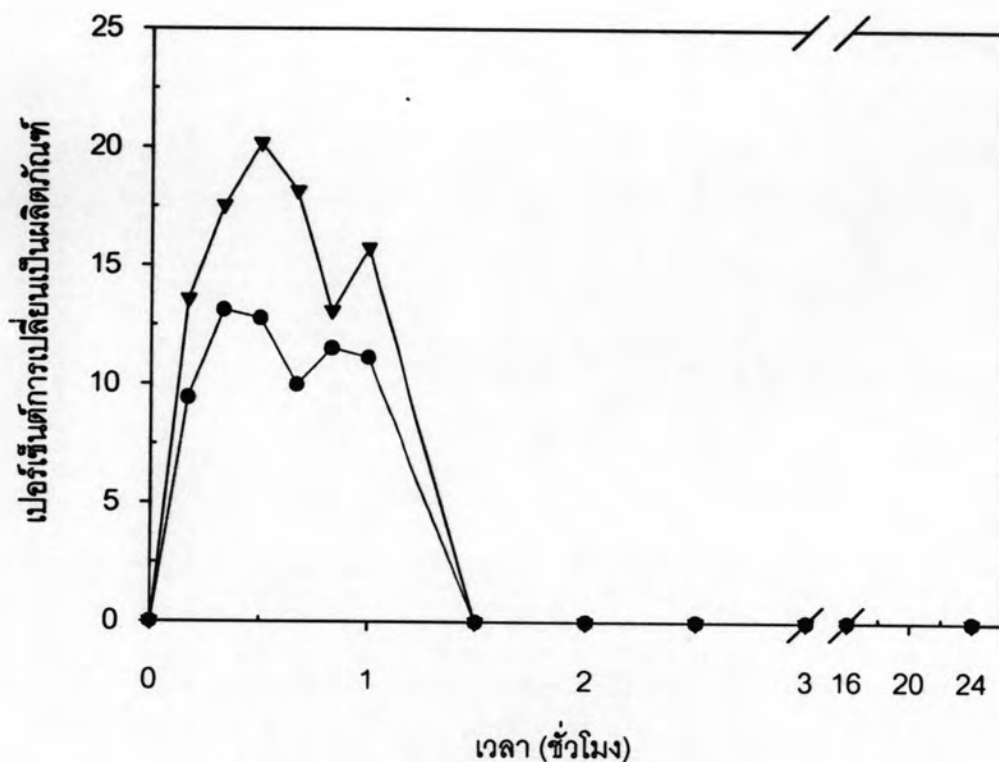


รูปที่ 13 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโอโซม 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโอโซม 435 และเม็ดแก้วอุดหนุนในการทำปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณไนโอโซม 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโอโซม 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

เมื่อ ■ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์
 □ คือ อัตราการผลิต (มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)

4.1.3 ผลของอุณหภูมิต่อการทำปฏิกิริยา

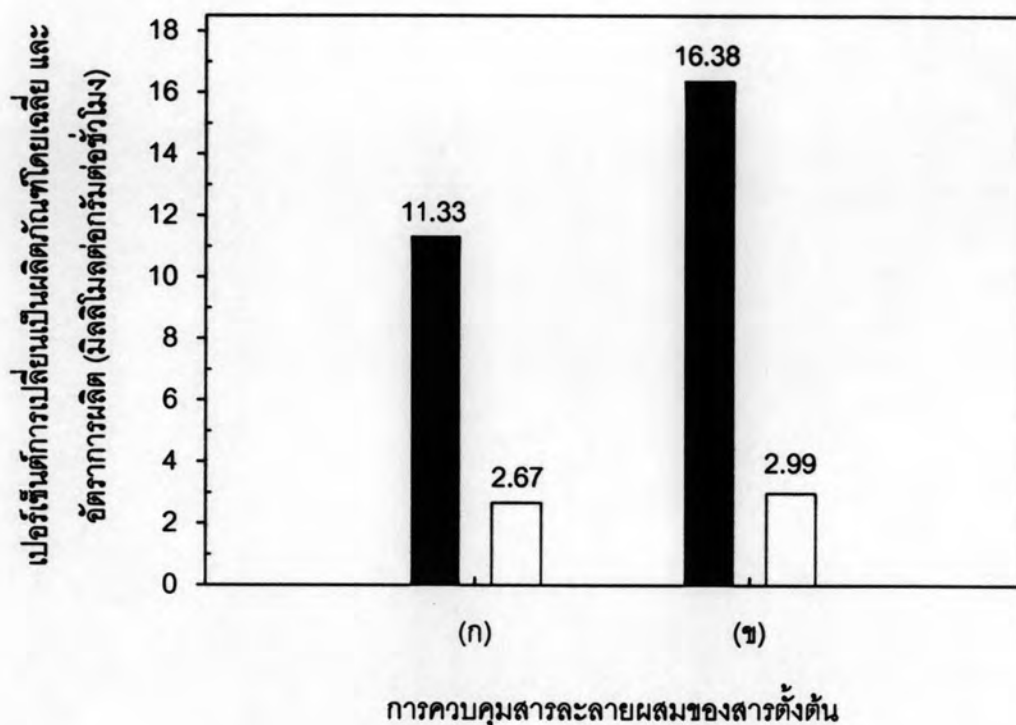
เมื่อเปรียบเทียบการควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิห้องกับการควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิเดียวกันกับเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ (40 องศาเซลเซียส) (รูปที่ 14 และ 15) พบว่า ให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยในระยะเวลา 1 ชั่วโมง สูงกว่าการจับวางสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิห้อง คือ 16.38 และ 11.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อคำนวณอัตราการผลิตในระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า การควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิเดียวกันกับเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ (40 องศาเซลเซียส) ให้อัตราการผลิตสูงกว่าการควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิห้อง คือ 2.99 และ 2.67 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอลเป็น 1 : 3 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณไนโวไซม์ 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโวไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

เมื่อ ● คือ การควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิห้อง

▼ คือ การควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิเดียวกันกับเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ (40 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 15 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโอไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโอไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอลเป็น 1 : 3 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณไนโอไซม์ 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโอไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

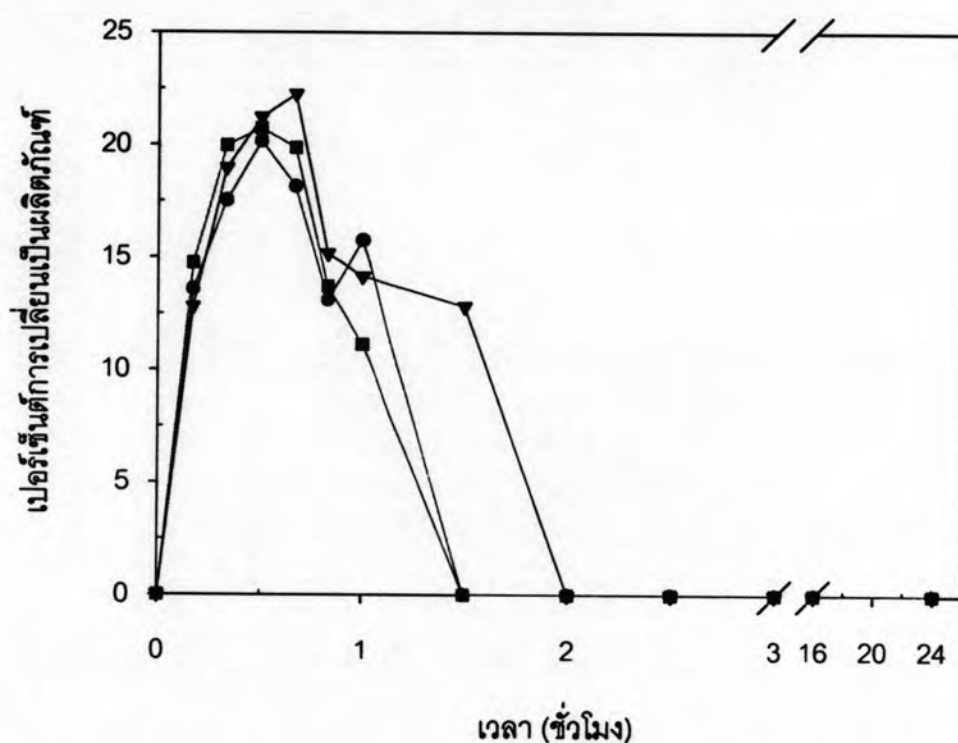
เมื่อ ■ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

□ คือ อัตราการผลิต (มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)

(ก) คือ การควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิห้อง

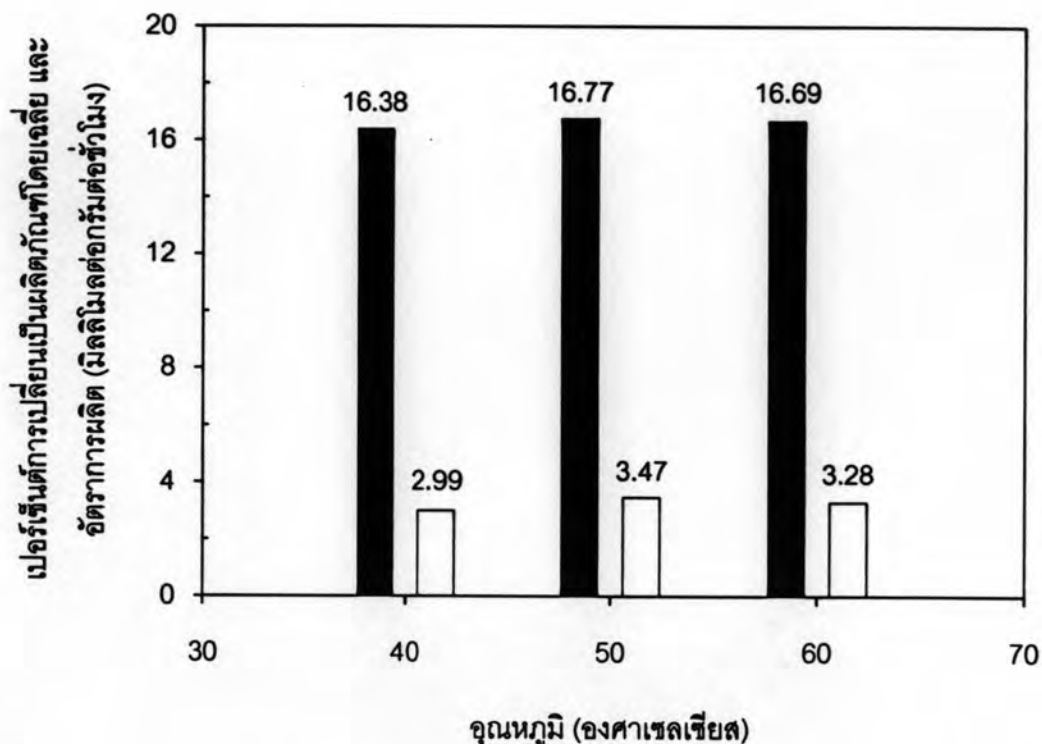
(ข) คือ การควบคุมสารละลายผสมของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิเดียวกันกับเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ (40 องศาเซลเซียส)

เมื่อทดลองทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส (รูปที่ 16 และ 17) พบว่า ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 16.77 เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการผลิต 3.47 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ในระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง รองลงมาคือ อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส โดยให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยเป็น 16.38 และ 16.69 เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการผลิต คือ 2.99 และ 3.28 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 16 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโอไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโอไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 3 อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณไนโอไซม์ 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโอไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

- เมื่อ ● คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
 ▼ คือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
 ■ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 17 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโอโซม 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโอโซม 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 3 อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิเมตรต่อนาที และปริมาณไนโอโซม 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโอโซม 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

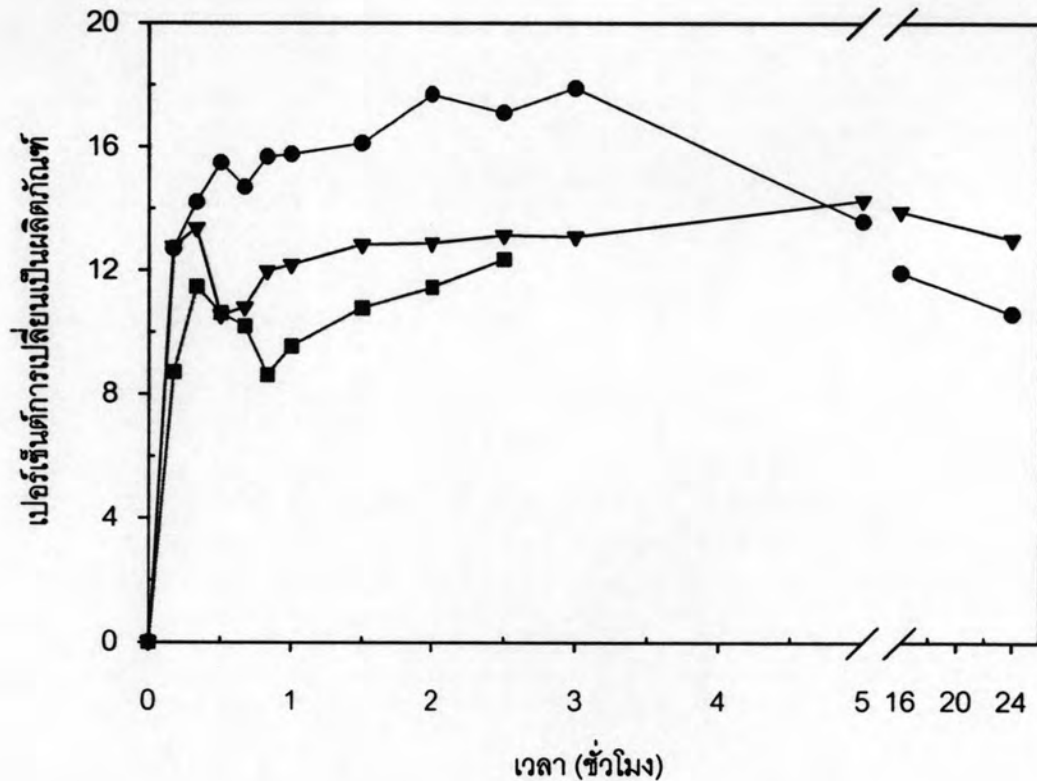
เมื่อ ■ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

□ คือ อัตราการผลิต (มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)

4.1.4 ผลของอัตราการไหลต่อการทำปฏิกิริยา

จากการทดลองผลของอัตราการไหลต่อการทำปฏิกิริยา (รูปที่ 18 และ 19) พบว่า ที่อัตราการไหล 0.20 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ผลของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 14.66 เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการผลิต 3.01 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ตลอดระยะเวลา

24 ชั่วโมง รองลงมาคือ ที่อัตราการไหล 0.12 และ 0.06 มิลลิลิตรต่อนาที โดยให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยเป็น 12.70 (ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง) และ 10.43 (ในระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง) เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการผลิต คือ 1.62 และ 1.03 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

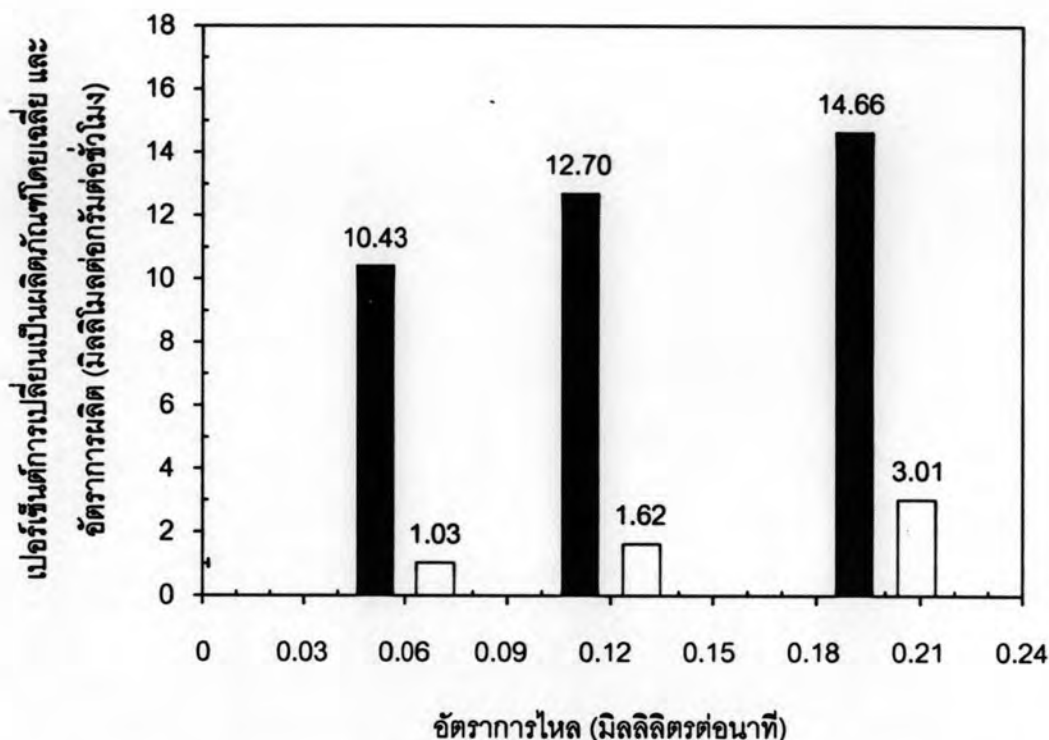


รูปที่ 18 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยโนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมโนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และปริมาณโนโวไซม์ 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณโนโวไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

เมื่อ ● คือ อัตราการไหล 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที

▼ คือ อัตราการไหล 0.12 มิลลิลิตรต่อนาที

■ คือ อัตราการไหล 0.06 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 19 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยโนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมโนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และปริมาณโนโวไซม์ 435 เท่ากับ 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณโนโวไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้วเป็น 1 : 4

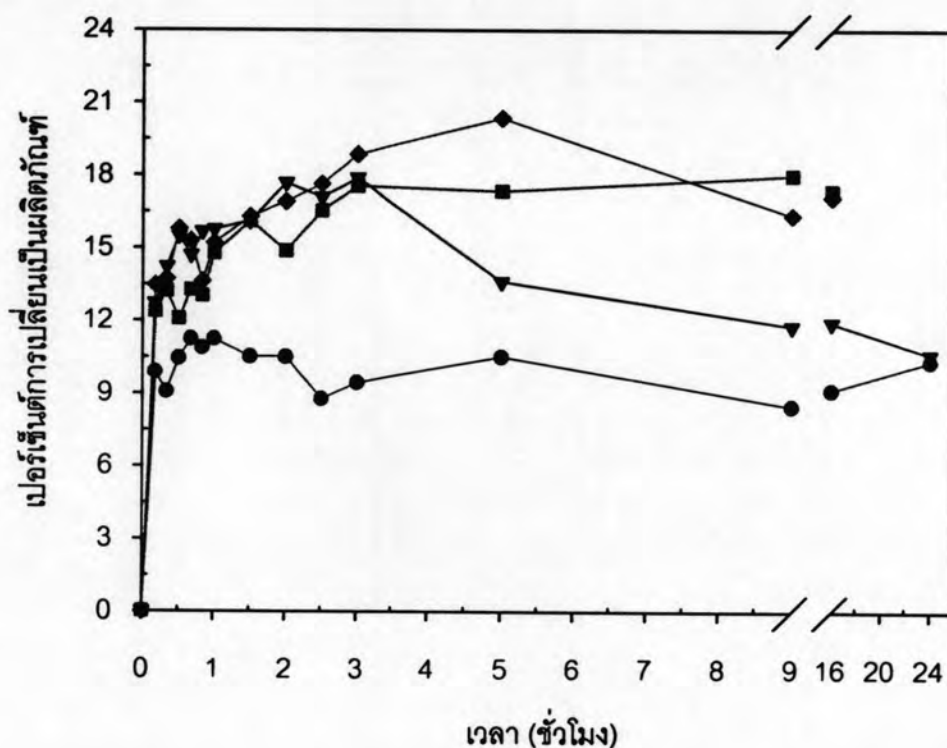
เมื่อ ■ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

□ คือ อัตราการผลิต (มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)

4.1.5 ปริมาณเอนไซม์

จากการทดลองเรื่องปริมาณเอนไซม์ (รูปที่ 20 และ 21) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณโนโวไซม์ 435 จำนวน 2.0 กรัม ให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 16.19 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลา 16 ชั่วโมง รองลงมาคือ ปริมาณโนโวไซม์ 435 จำนวน 1.5, 1.0 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ โดยให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยเป็น 15.11 (ในระยะเวลา

16 ชั่วโมง) 14.66 (ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง) และ 10.02 (ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ อัตราการผลิตเป็นไปในทางตรงกันข้าม คือ เมื่อใช้ปริมาณไนโวไซม์ 435 จำนวน 0.5 กรัม ให้อัตราการผลิตสูงสุด เท่ากับ 5.36 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง รองลงมาคือ ปริมาณไนโวไซม์ 435 จำนวน 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยให้ อัตราการผลิต เท่ากับ 3.01 (ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง) 2.16 (ในระยะเวลา 16 ชั่วโมง) และ 1.74 (ในระยะเวลา 16 ชั่วโมง) มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ



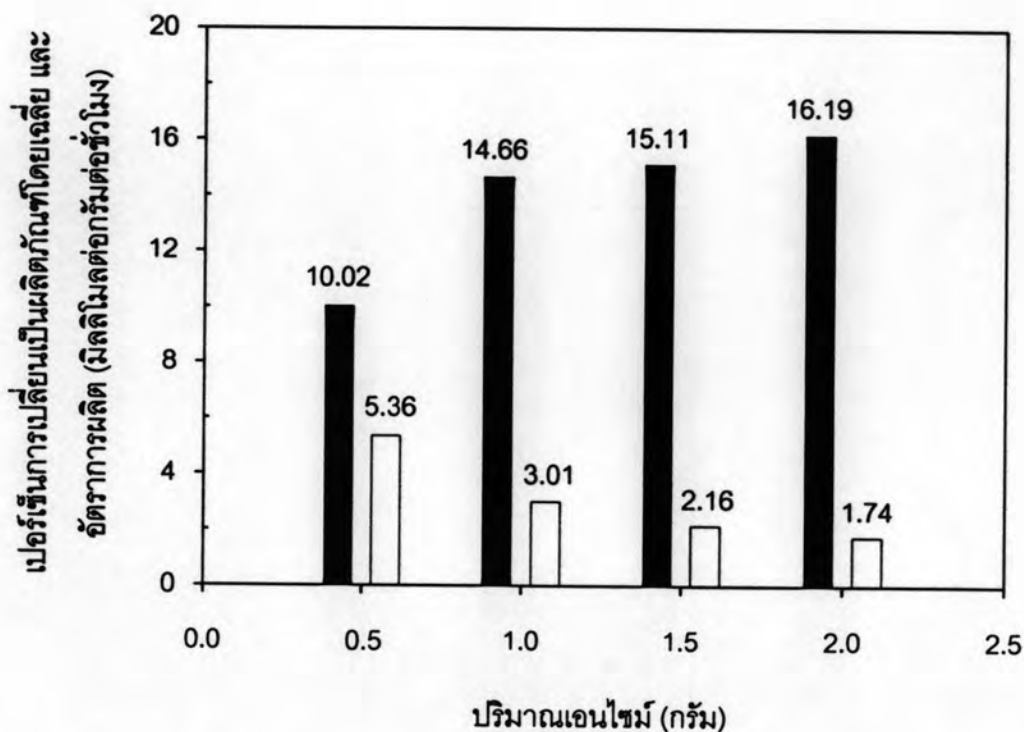
รูปที่ 20 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับ เมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบ คอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศา เซลเซียส และอัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อ ● คือ ปริมาณไนโวไซม์ 435 เท่ากับ 0.5 กรัม

▼ คือ ปริมาณไนโวไซม์ 435 เท่ากับ 1.0 กรัม

■ คือ ปริมาณไนโวไซม์ 435 เท่ากับ 1.5 กรัม

◆ คือ ปริมาณไนโวไซม์ 435 เท่ากับ 2.0 กรัม



รูปที่ 21 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมเอนไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที

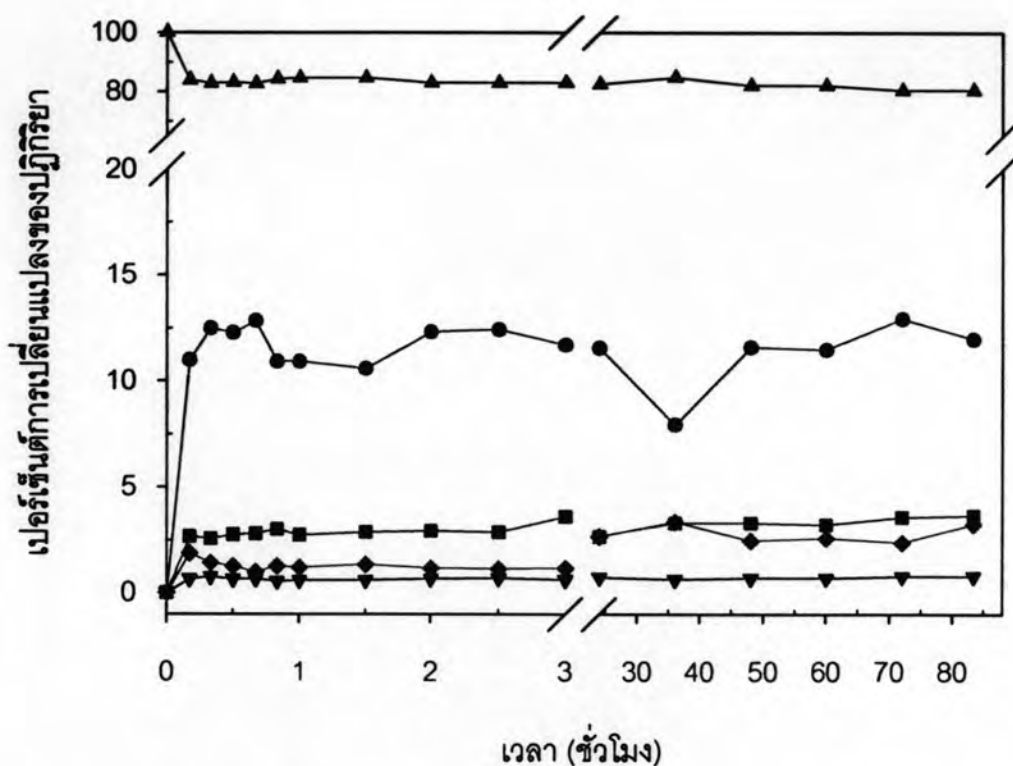
เมื่อ ■ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

□ คือ อัตราการผลิต (มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)

4.2 การผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ 3 คอลัมน์

จากการทดลองเพื่อปรับปรุงการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุ 3 คอลัมน์ พบว่า หลังจากทำปฏิกิริยาผ่านคอลัมน์ที่ 1 ให้ผลรวมของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ย เท่ากับ 11.67 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ

ไตรกลีเซอไรด์ 1, 3 ไดกลีเซอไรด์ 1, 2 ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ โดยเฉลี่ย เท่ากับ 82.91, 1.72, 3.03 และ 0.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 22)



รูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโอโซม 435 หลังจากผ่านคอลัมน์ที่ 1 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโอโซม 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่ออนาที และปริมาณไนโอโซม 435 เท่ากับ 0.5 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโอโซม 435 ต่อเม็ดแก้ว เป็น 1 : 4

เมื่อ ● คือ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

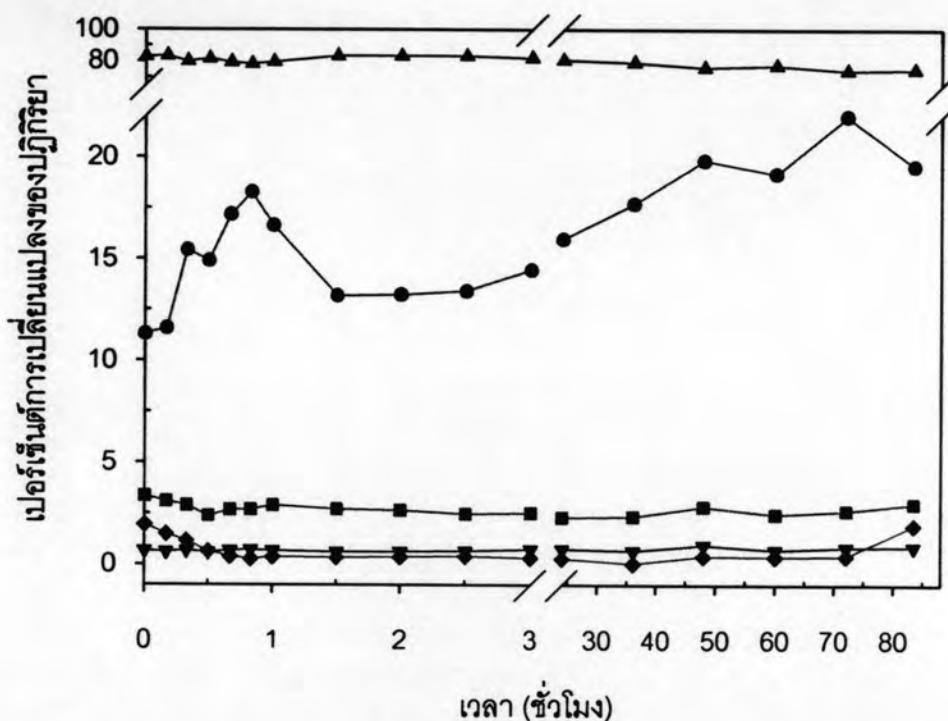
▲ คือ ไตรกลีเซอไรด์

◆ คือ 1, 3 ไดกลีเซอไรด์

■ คือ 1, 2 ไดกลีเซอไรด์

▼ คือ โมโนกลีเซอไรด์

หลังจากทำปฏิกิริยาผ่านคอลัมน์ที่ 2 พบว่า ผลรวมของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ย เท่ากับ 16.25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ 1, 3 ไดกลีเซอไรด์ 1, 2 ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ โดยเฉลี่ย เท่ากับ 79.88, 0.50, 2.67 และ 0.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 23)



รูปที่ 23 การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยโนโวไซม์ 435 หลังจากผ่านคอลัมน์ที่ 2 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมโนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณโนโวไซม์ 435 เท่ากับ 0.5 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณโนโวไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้ว เป็น 1 : 4

เมื่อ ● คือ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

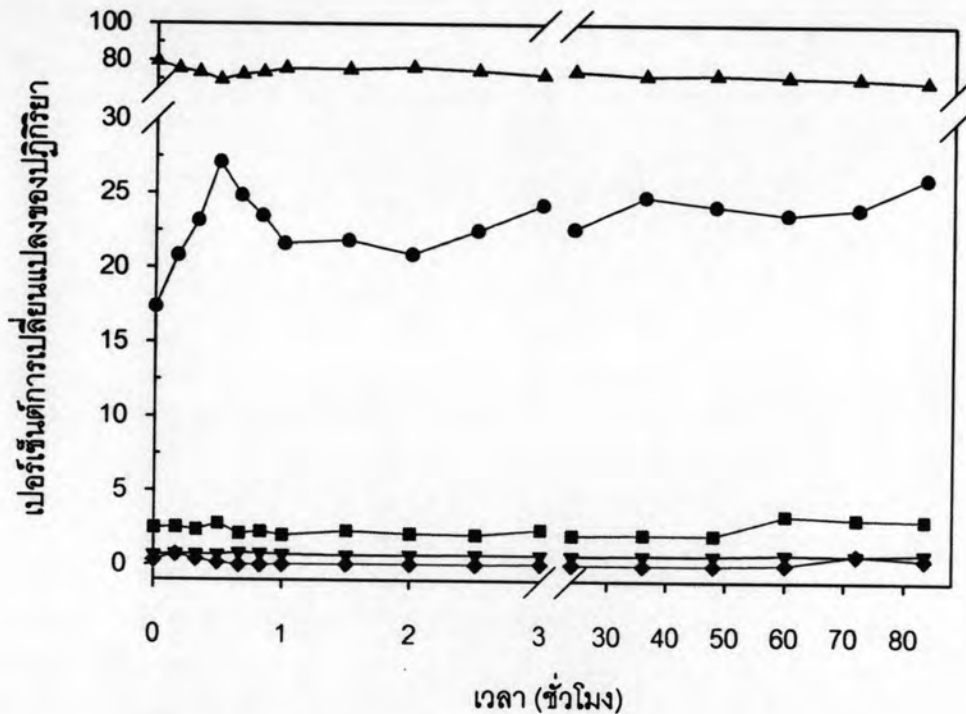
▲ คือ ไตรกลีเซอไรด์

◆ คือ 1, 3 ไดกลีเซอไรด์

■ คือ 1, 2 ไดกลีเซอไรด์

▼ คือ โมโนกลีเซอไรด์

หลังจากทำปฏิกิริยาผ่านคอลัมน์ที่ 3 ซึ่งเป็นคอลัมน์สุดท้าย พบว่า ผลรวมของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ย เท่ากับ 23.42 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ 1, 3 ไดกลีเซอไรด์ 1, 2 ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ โดยเฉลี่ย เท่ากับ 73.27, 0.18, 2.40 และ 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 24)



รูปที่ 24 การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยไนโอไซม์ 435 หลังจากผ่านคอลัมน์ที่ 3 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมไนโอไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณไนโอไซม์ 435 เท่ากับ 0.5 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณไนโอไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้ว เป็น 1 : 4

เมื่อ ● คือ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

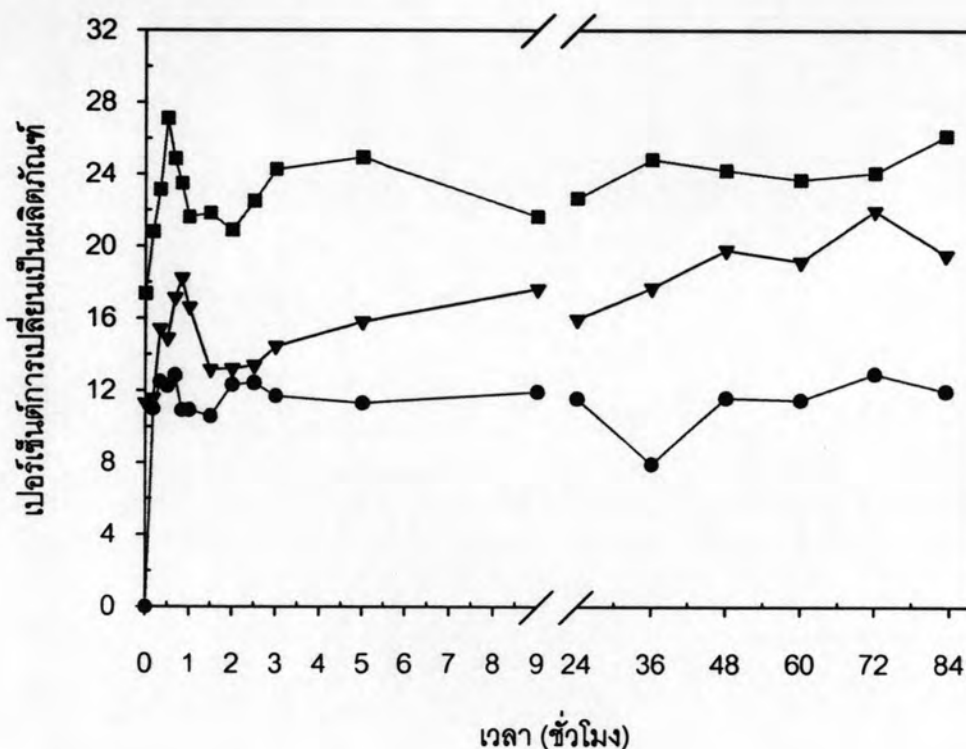
▲ คือ ไตรกลีเซอไรด์

◆ คือ 1, 3 ไดกลีเซอไรด์

■ คือ 1, 2 ไดกลีเซอไรด์

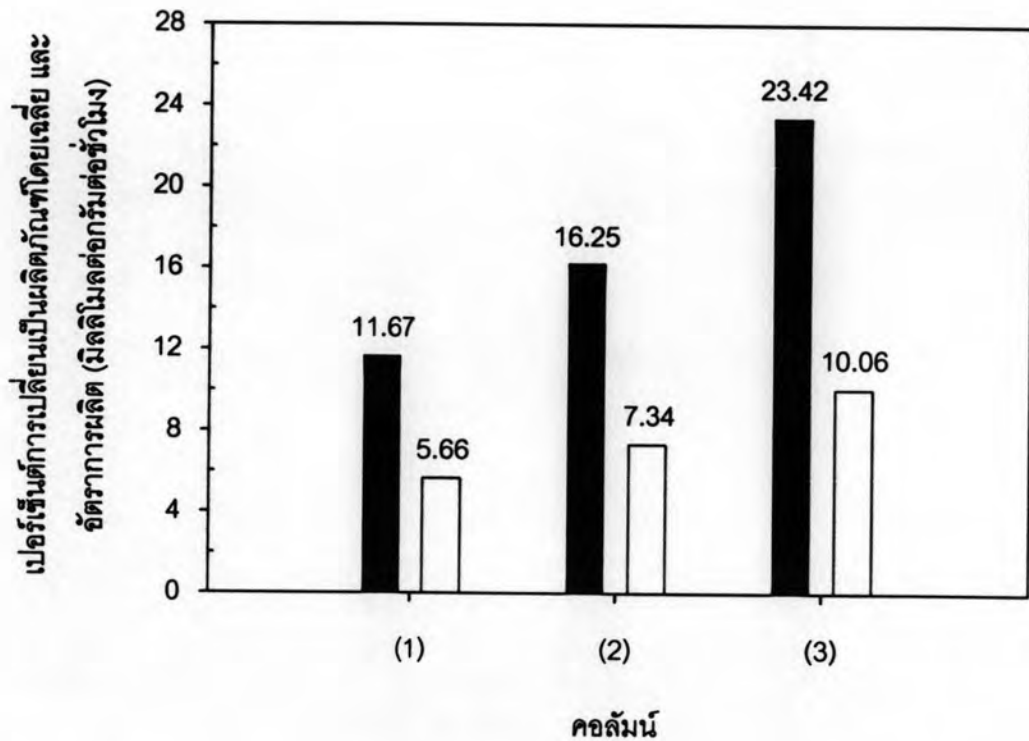
▼ คือ โมโนกลีเซอไรด์

เมื่อเปรียบเทียบหลังจากทำปฏิกิริยาผ่านคอลัมน์ที่ 1, 2 และ 3 พบว่า ผลรวมของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ย เท่ากับ 11.67, 16.25 และ 23.42 เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการผลิต 5.66, 7.34 และ 10.06 มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 83.33 ชั่วโมง ซึ่งมากขึ้นตามลำดับ (รูปที่ 25 และ 26)



รูปที่ 25 การเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยโนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมโนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณโนโวไซม์ 435 เท่ากับ 0.5 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณโนโวไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้ว เป็น 1 : 4

- เมื่อ ● คือ คอลัมน์ที่ 1
 ▼ คือ คอลัมน์ที่ 2
 ■ คือ คอลัมน์ที่ 3



รูปที่ 26 การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอลที่เร่งปฏิกิริยาโดยโนโวไซม์ 435 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์แบบบรรจุเป็นการบรรจุคอลัมน์แบบผสมโนโวไซม์ 435 และเม็ดแก้ว อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารละลายผสมของสารตั้งต้น เท่ากับ 0.20 มิลลิลิตร ต่อนาที และปริมาณโนโวไซม์ 435 เท่ากับ 0.5 กรัม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณโนโวไซม์ 435 ต่อเม็ดแก้ว เป็น 1 : 4

- เมื่อ ■ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์
□ คือ อัตราการผลิต (มิลลิโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)
- (1) คือ คอลัมน์ที่ 1
 - (2) คือ คอลัมน์ที่ 2
 - (3) คือ คอลัมน์ที่ 3