

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันมีวิธีการดังนี้

กำหนด:

$$\begin{aligned}\text{มวลโมเลกุลของน้ำมันสบู่ดำ} &= 900 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของเมทานอล} &= 32 \text{ กรัมต่อโมล}\end{aligned}$$

สมมติ:

ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน กำหนดใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 โดยใช้ น้ำมันสบู่ดำเริ่มต้นปริมาณ 100 กรัม

การคำนวณ:

$$\begin{aligned}\text{เมทานอล 9 โมล มีน้ำหนัก} &= 9 \times 32 = 288 \text{ กรัม} \\ \text{น้ำมันสบู่ดำ 1 โมล มีน้ำหนัก} &= 1 \times 900 = 900 \text{ กรัม} \\ \text{ถ้าใช้น้ำมันสบู่ดำปริมาณ 900 กรัม} &\text{ จะต้องใช้เมทานอลปริมาณ 288 กรัม}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นถ้าใช้น้ำมันสบู่ดำปริมาณ 100 กรัม จะใช้เมทานอลปริมาณ} = \frac{100 \times 288}{900} = 32 \text{ กรัม}$$

ภาคผนวก ข

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลได้ (Yield)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลได้ของไบโอดีเซลตามวิธีของ Leung และ Guo (2006) โดยสามารถคำนวณจากสมการ

$$\text{Yield} = \frac{\text{weight of product (g)}}{\text{weight of raw oil (g)}} \times 100$$

ตัวอย่างคำนวณ

ชั่งน้ำหนักของน้ำมันวัตถุดิบเริ่มต้นเท่ากับ 100 กรัม

น้ำหนักของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเท่ากับ 92.5 กรัม

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ $\frac{92.5}{100} \times 100 = 92.5$ เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (FAME)

การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลโดยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี ตามมาตรฐาน EN 14103 ซึ่งใช้ Methyl Heptadecanoate เป็นสาร Internal Standard สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$C = \frac{(\sum A) - A_{EI}}{A_{EI}} * \frac{C_{EI} * V_{EI}}{m} * 100\%$$

โดย

C = ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเศษส่วนโดยมวล

$\sum A$ = พื้นที่รวมของเมทิลเอสเทอร์ซึ่งคิดตั้งแต่ C_{14} ถึง C_{24}

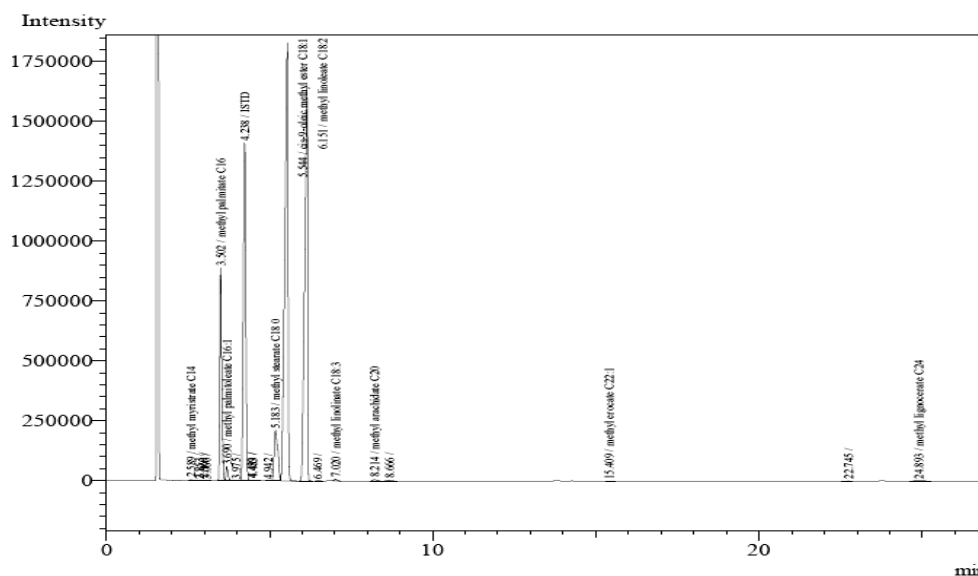
A_{EI} = พื้นที่ของ Methyl Heptadecanoate

C_{EI} = ความเข้มข้นของ Methyl Heptadecanoate (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

V_{EI} = ปริมาตรของ Methyl Heptadecanoate (มิลลิลิตร)

m = น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซล (มิลลิกรัม)

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณเมทิลเอสเทอร์



ภาพผนวกที่ ค1 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารตัวอย่าง

จากโครมาโทแกรมจะได้

$$\sum A = 34786526$$

$$A_{EI} = 7387970$$

$$C_{EI} = 10 \text{ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร}$$

$$V_{EI} = 5 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$m = 250 \text{ มิลลิกรัม}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาณเมทิลเอสเทอร์ได้ดังนี้

$$C = \frac{(34786526) - 7387970}{7387970} \times \frac{10 \times 5}{250} \times 100\% = 74.2\%$$

ภาคผนวก ง

การคำนวณหาค่าความเป็นกรด (Acid Value)

การคำนวณหาค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{\text{ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times 56.1 \times 0.1}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างตั้งต้น หรือเมทิลเอสเทอร์ (กรัม)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล

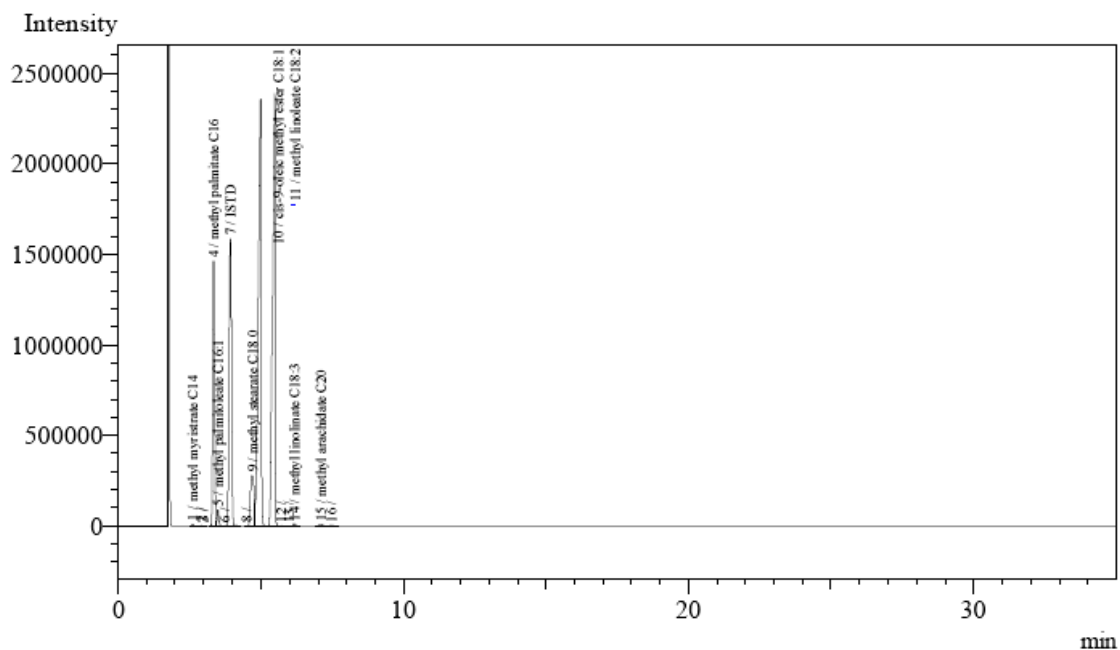
ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เท่ากับ	0.46 มิลลิลิตร
น้ำหนักของไบโอดีเซล	1 กรัม

ดังนั้นค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลเท่ากับ

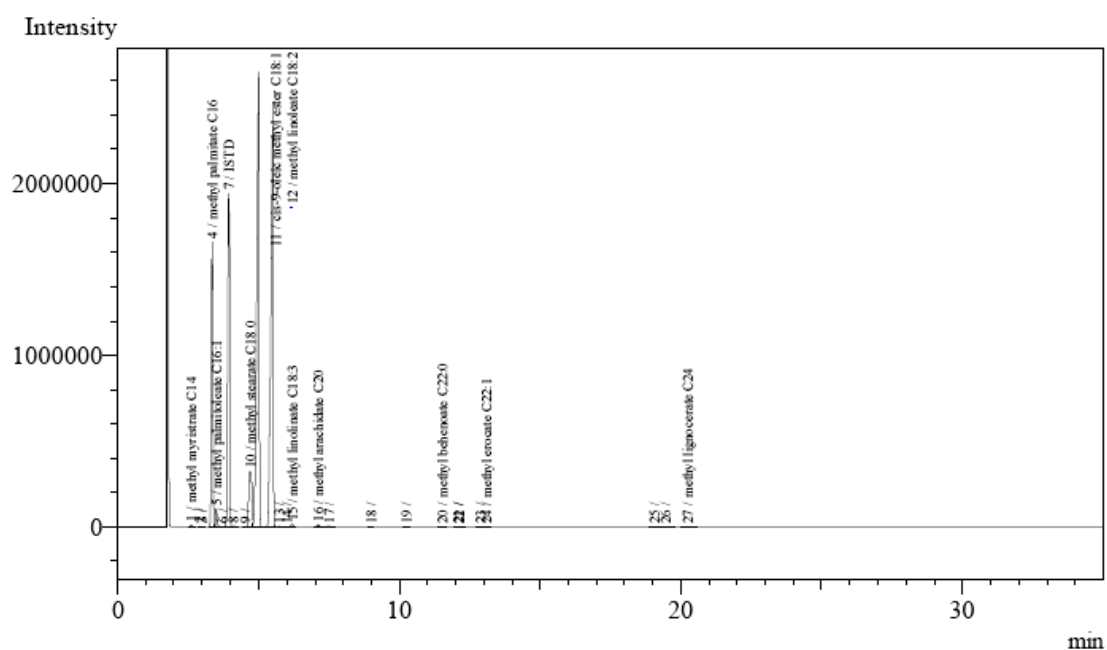
$$\frac{0.46 \times 56.1 \times 0.1}{1} = 2.581 \quad \text{มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม}$$

ภาคผนวก จ

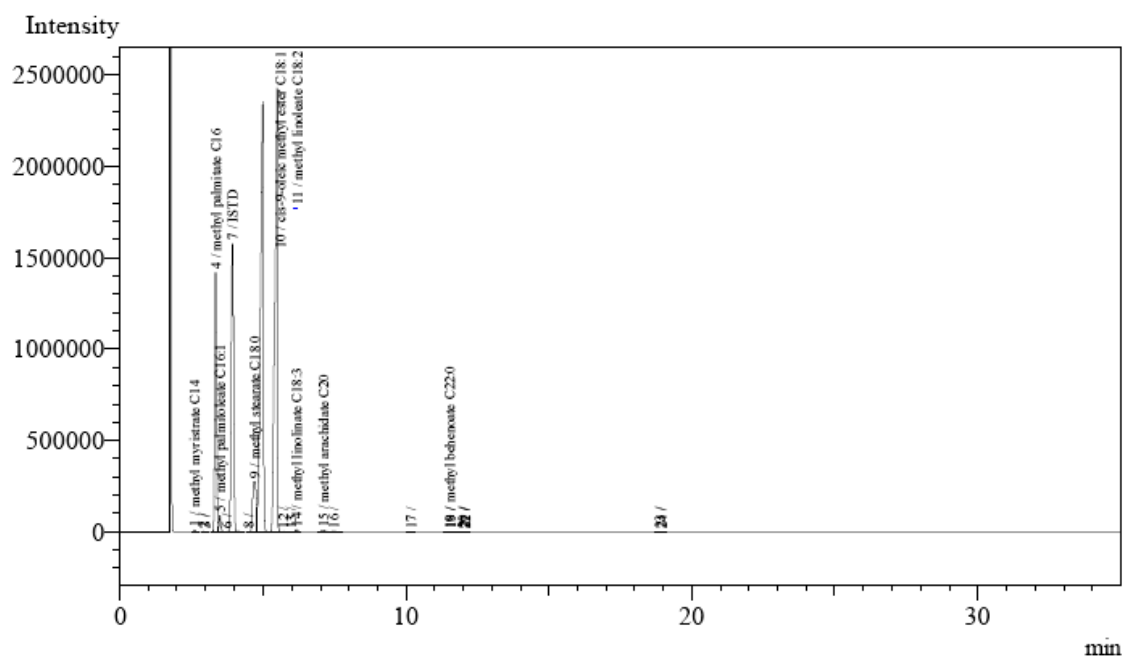
ลักษณะโครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี



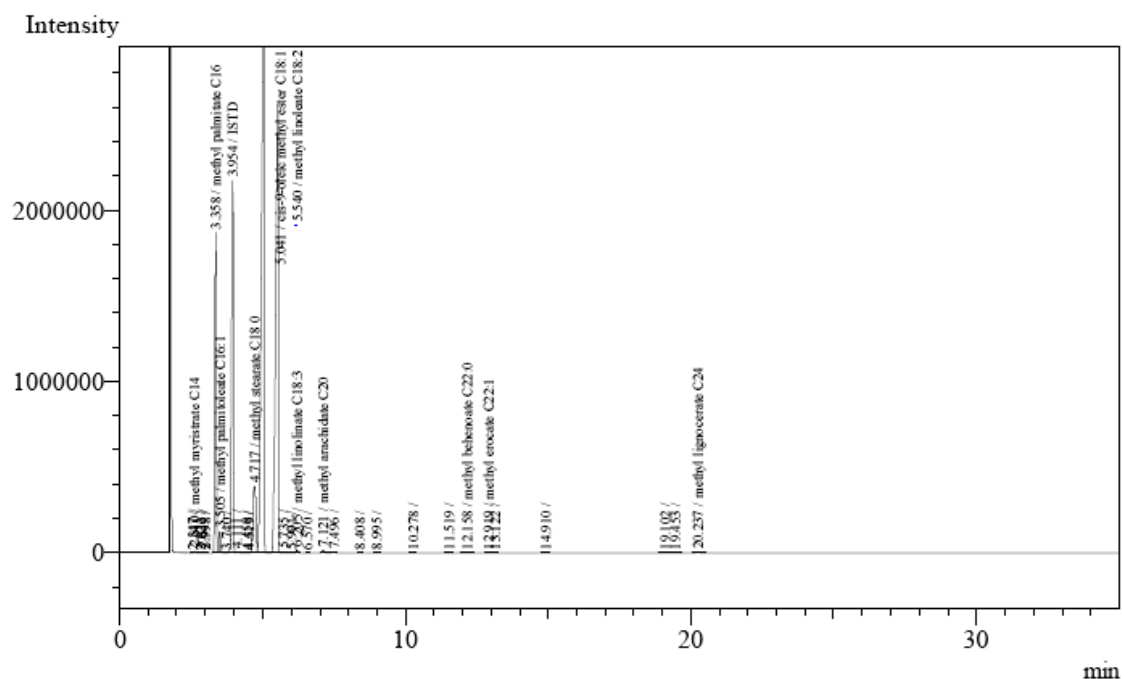
ภาพผนวกที่ จ1 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



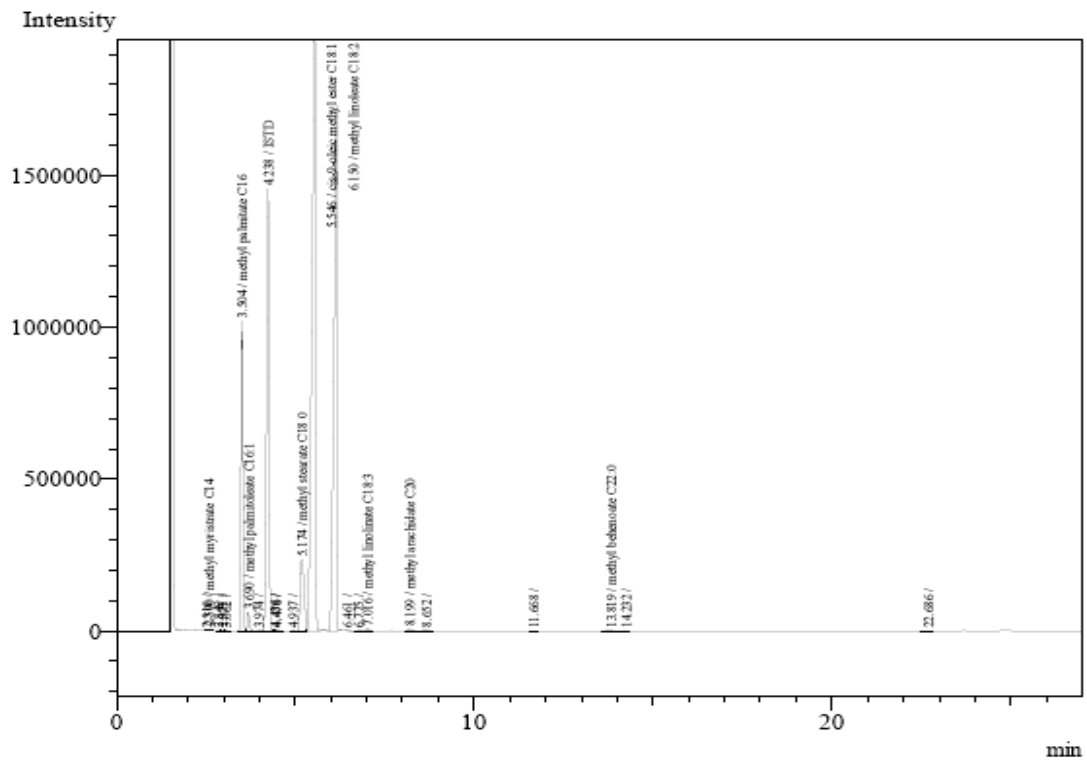
ภาพผนวกที่ จ2 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะ
การทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อ
เมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5
เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



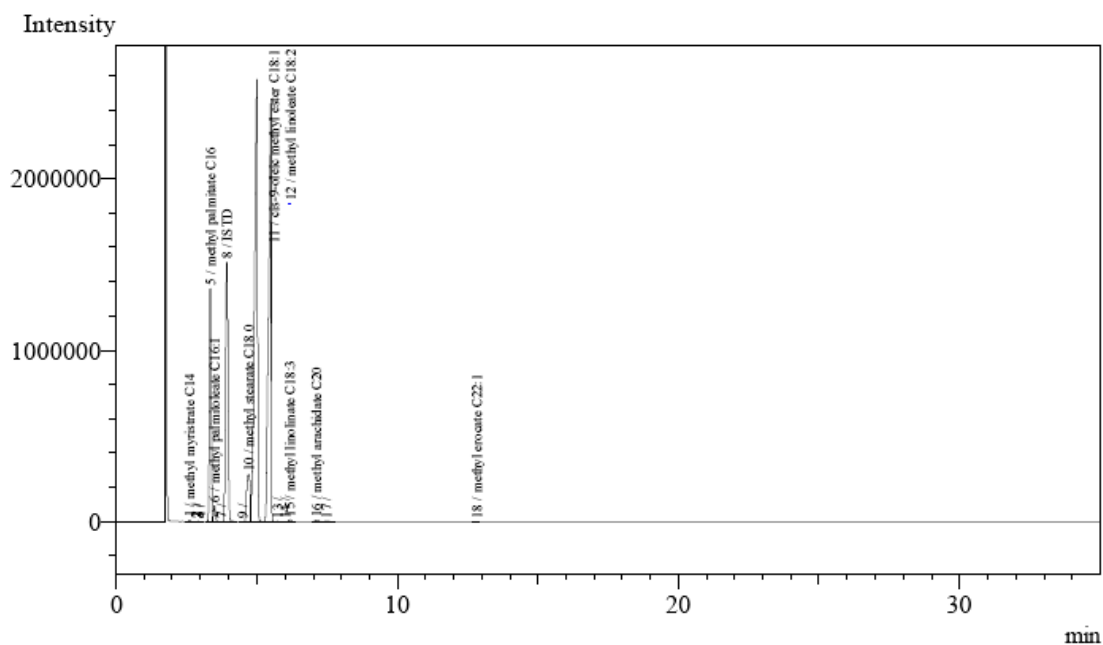
ภาพผนวกที่ ๓ โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะ
 การทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อ
 เมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5
 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



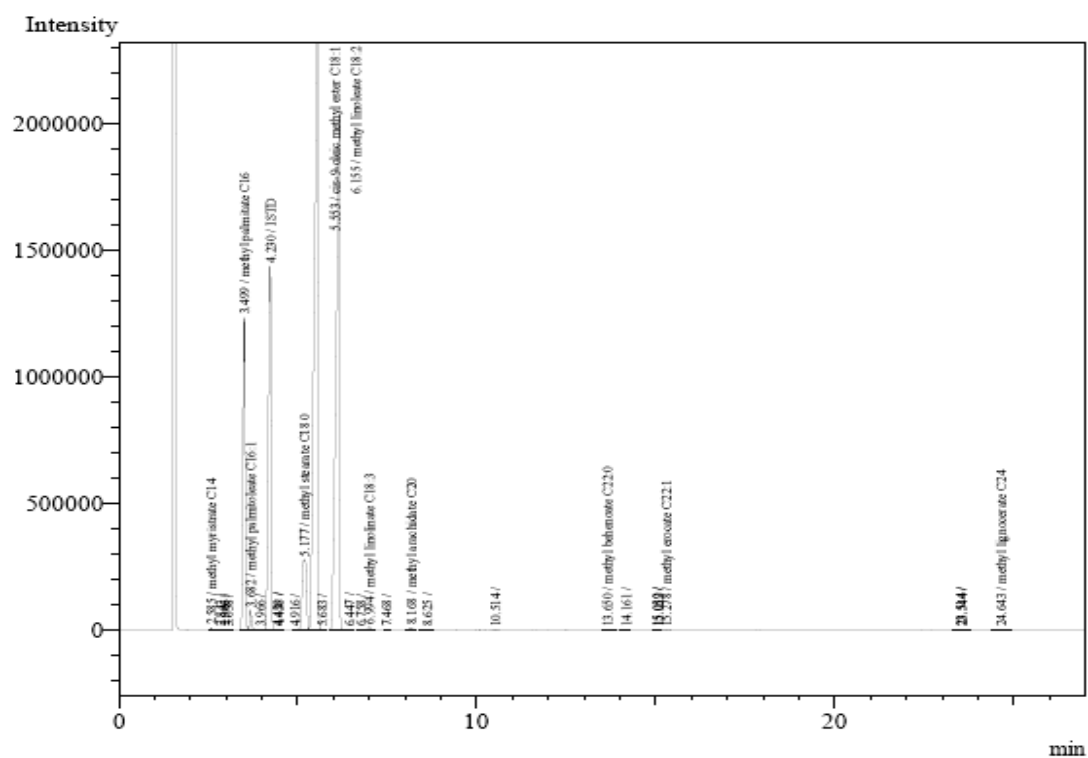
ภาพผนวกที่ จ4 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะ
การทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อ
เมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0
เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



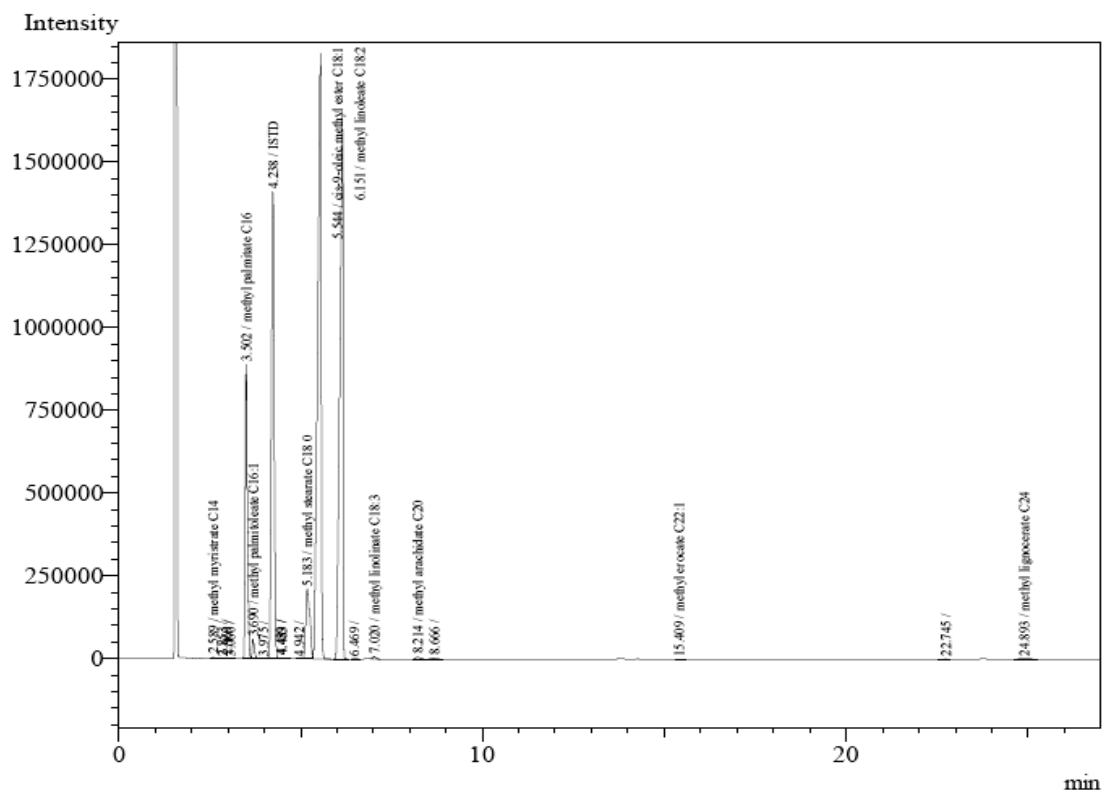
ภาพผนวกที่ จ5 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



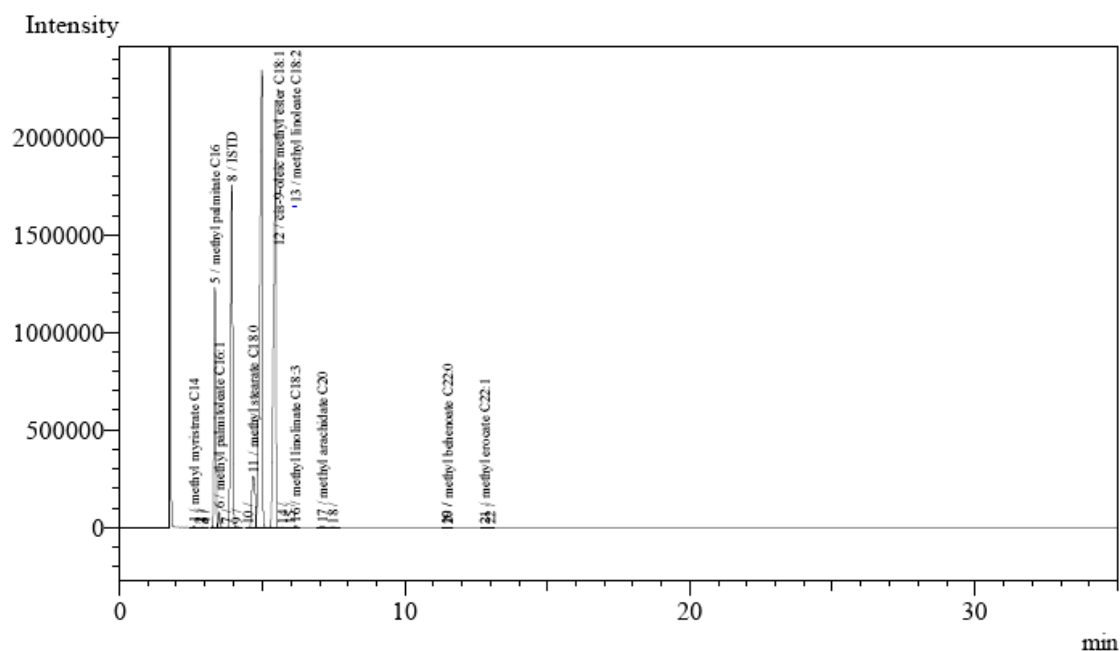
ภาพผนวกที่ จ6 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะ
การทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อ
เมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5
เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



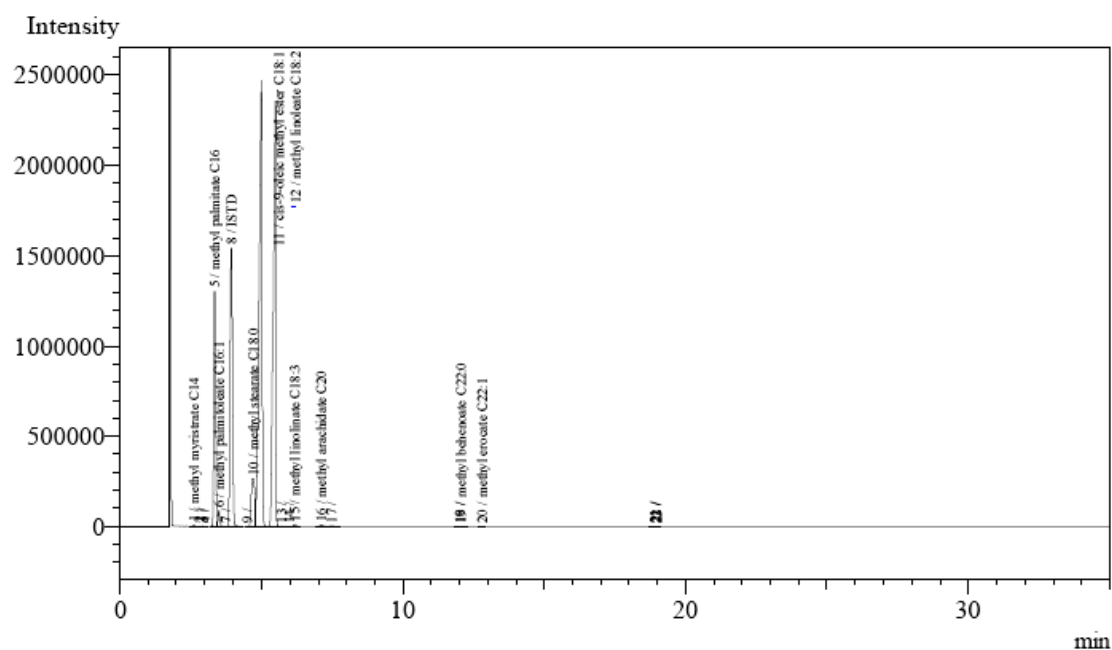
ภาพผนวกที่ จ7 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



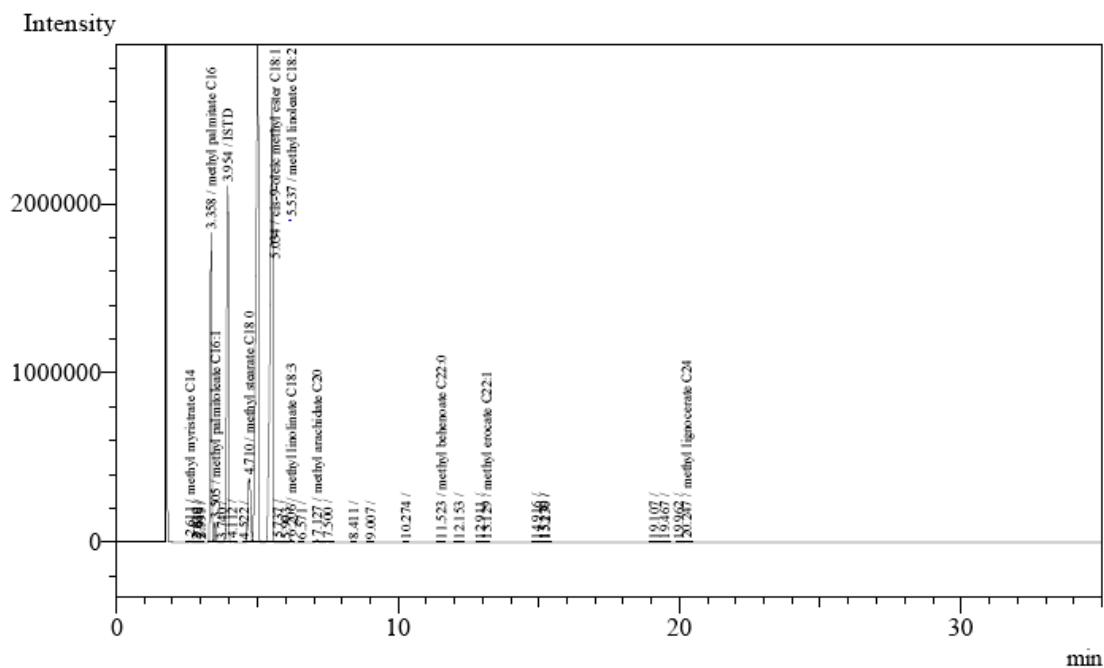
ภาพผนวกที่ ๑๑ โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



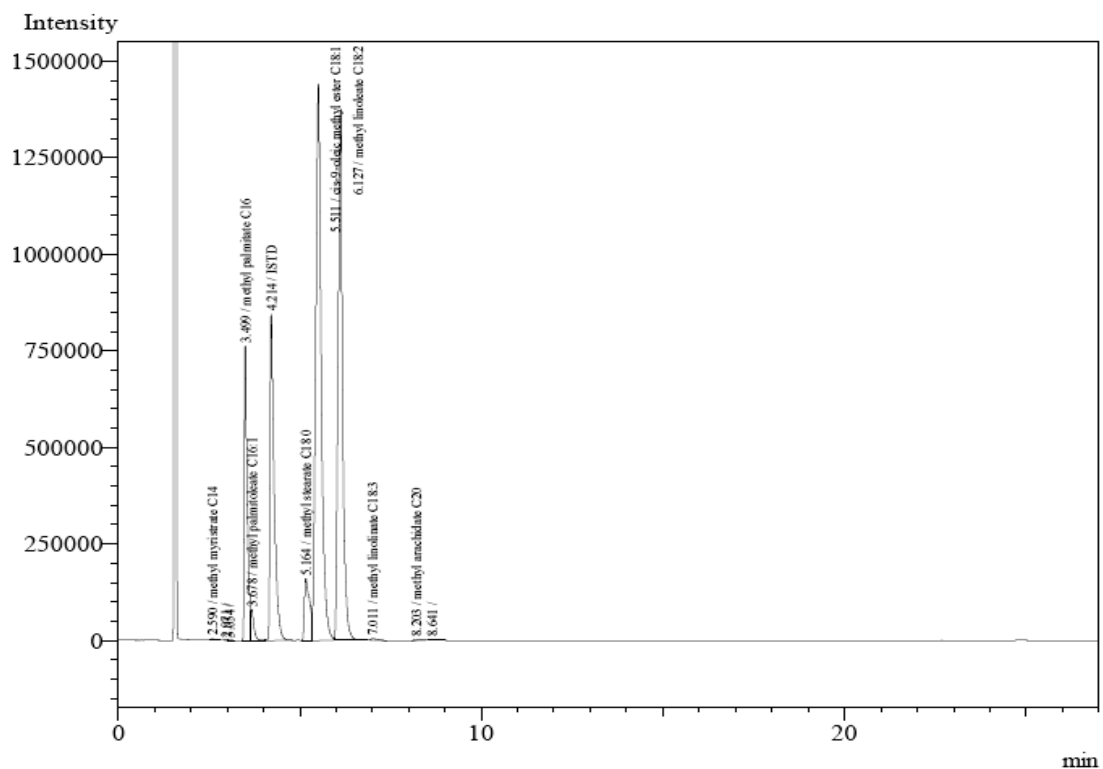
ภาพผนวกที่ จ11 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



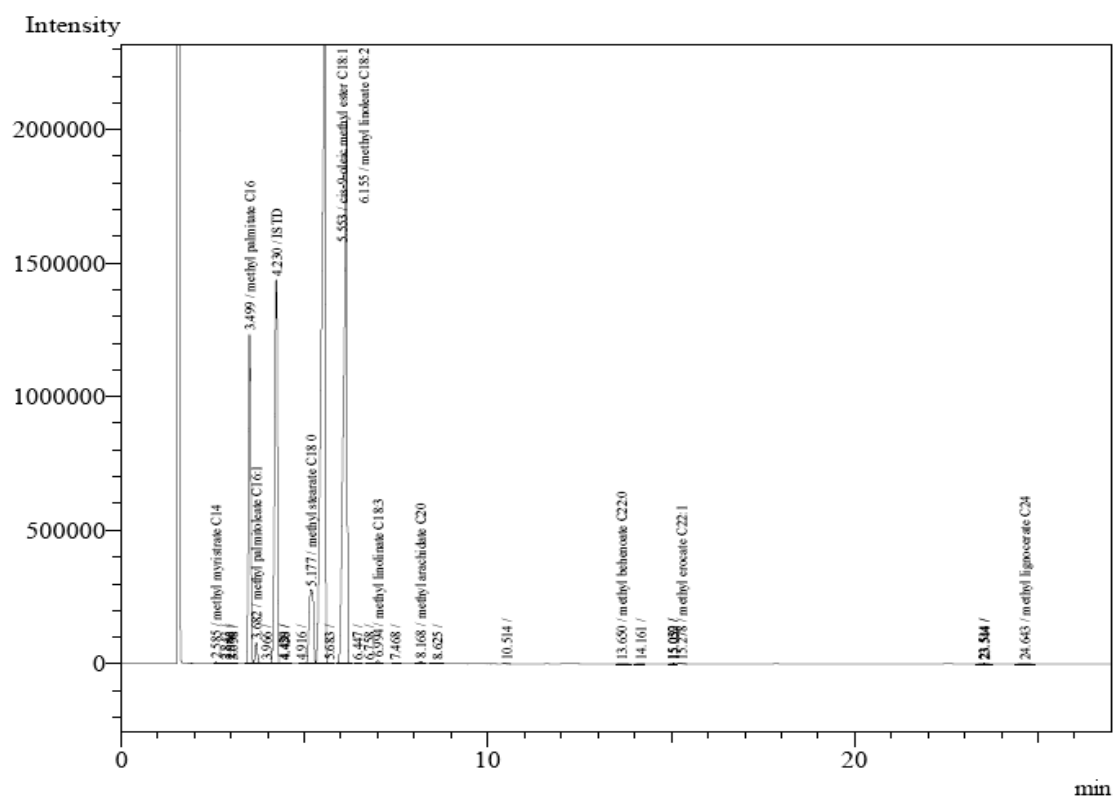
ภาพผนวกที่ จ12 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



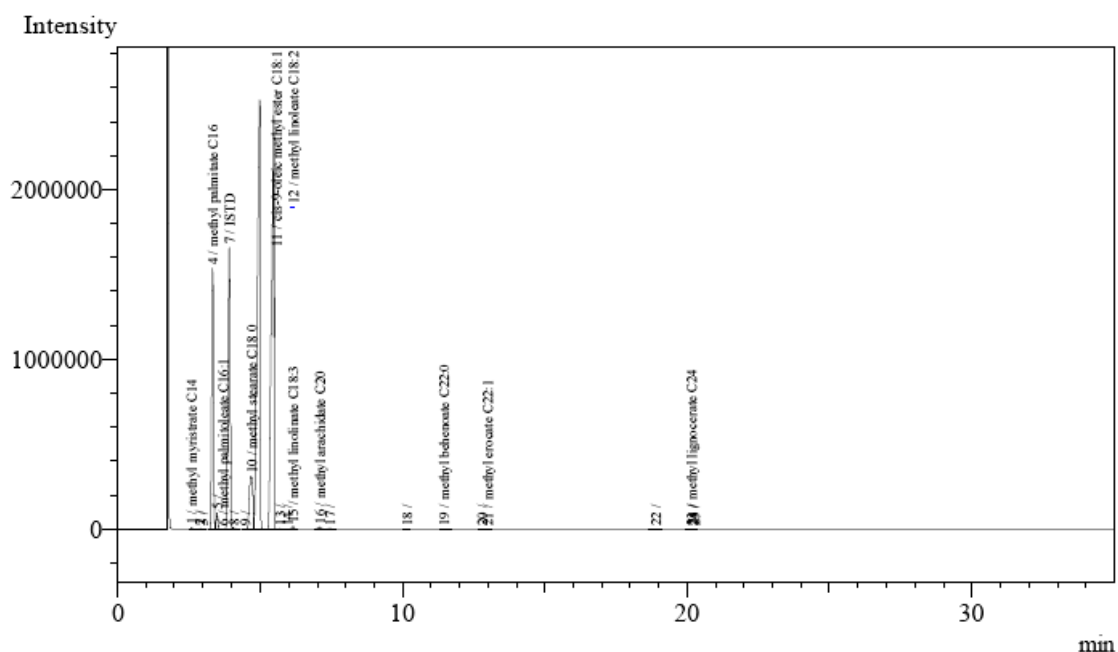
ภาพผนวกที่ ๑13 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



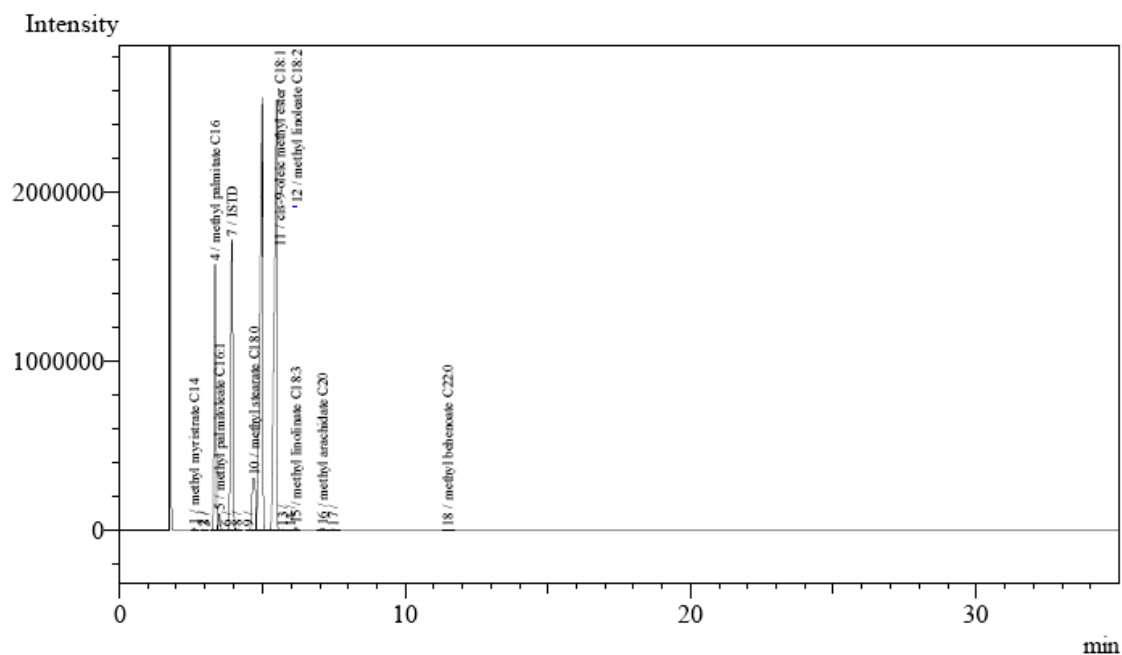
ภาพผนวกที่ จ14 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



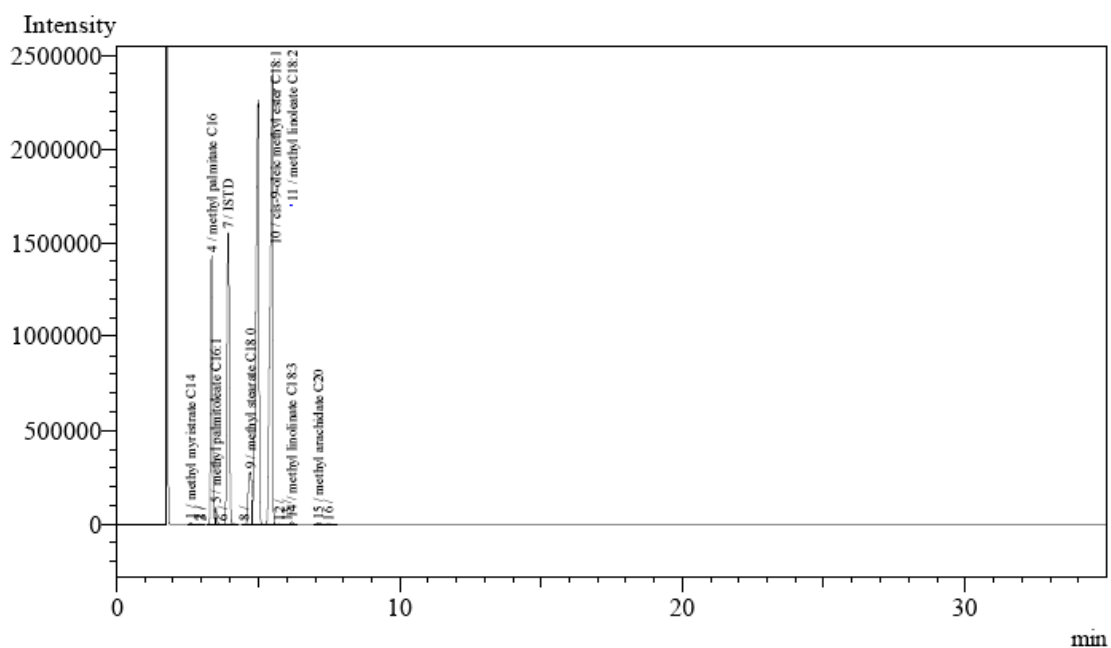
ภาพผนวกที่ จ15 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



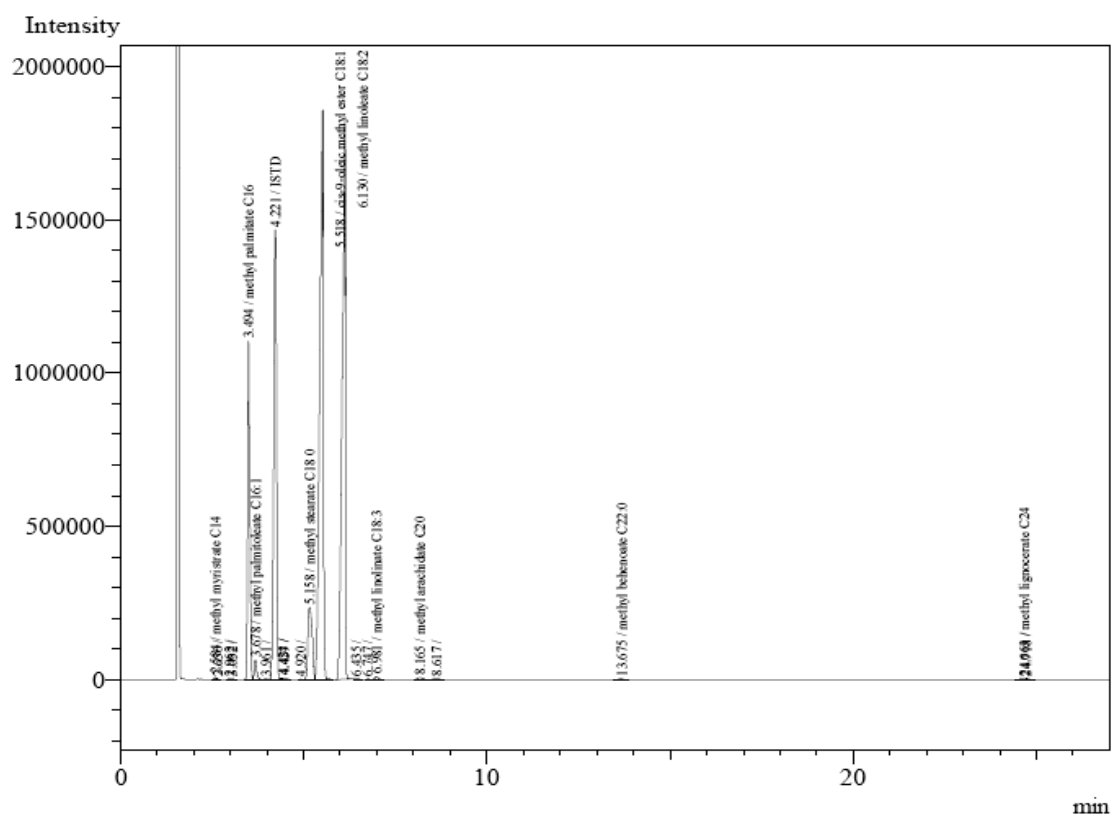
ภาพผนวกที่ จ16 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



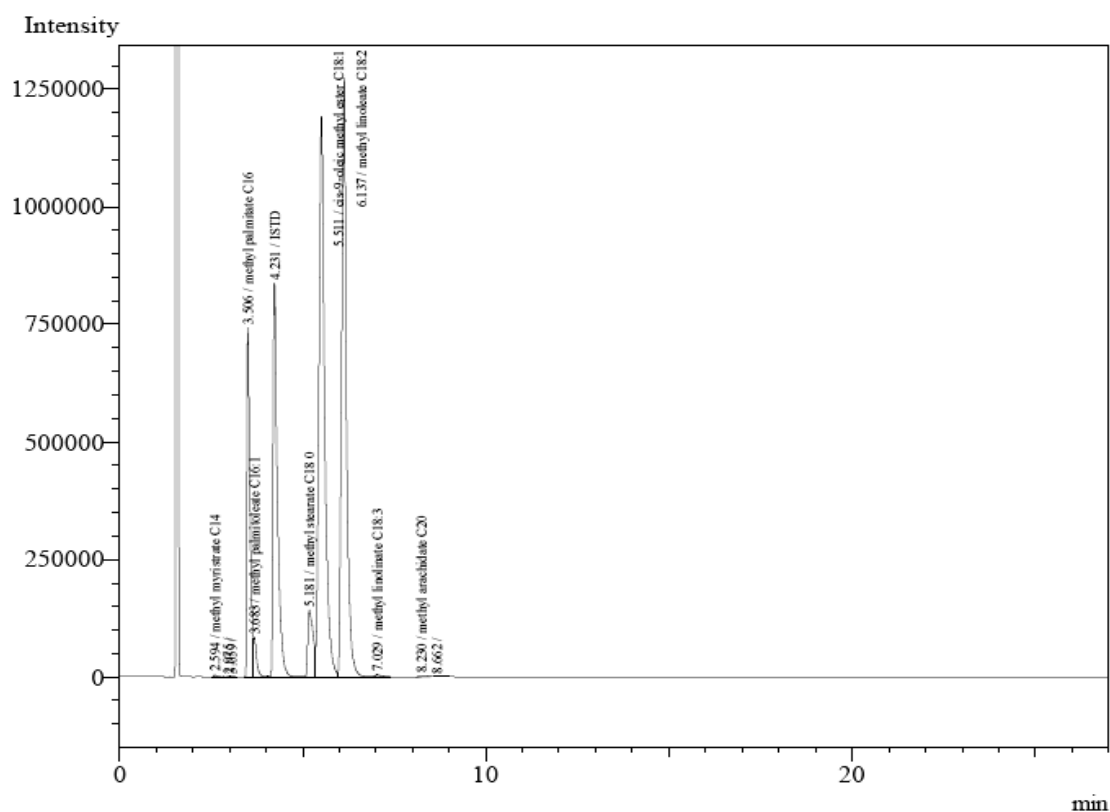
ภาพผนวกที่ จ17 โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



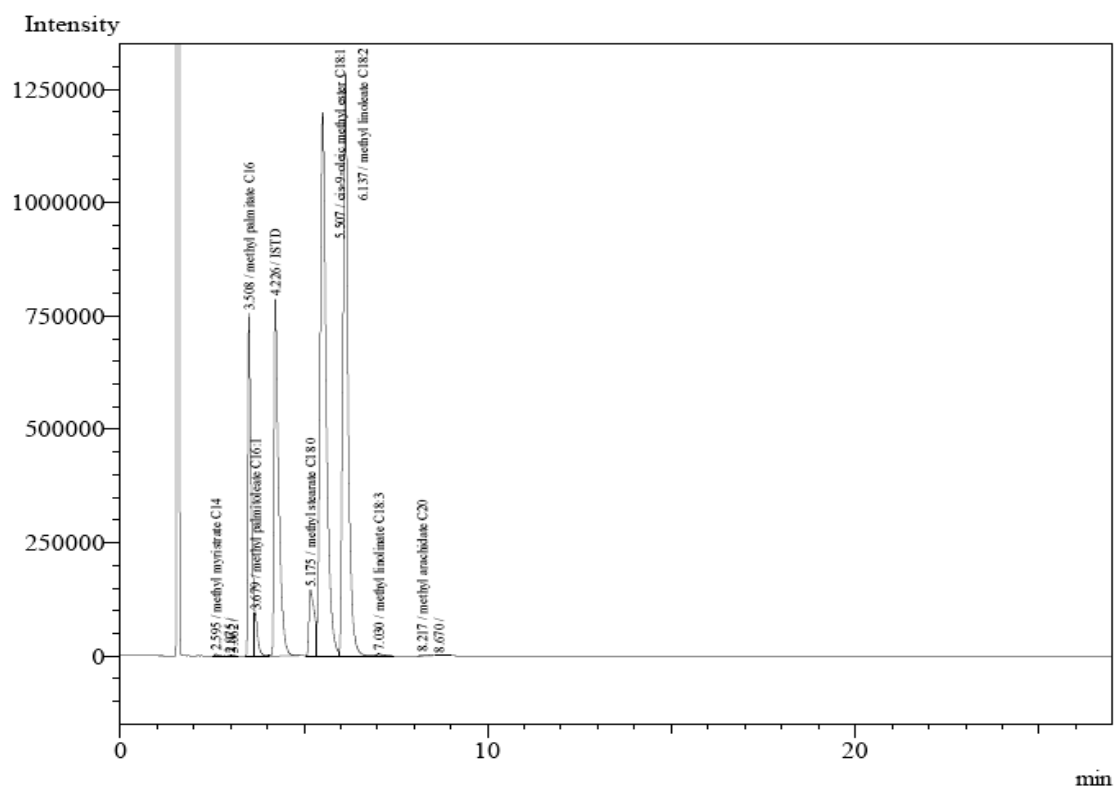
ภาพผนวกที่ จ18 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



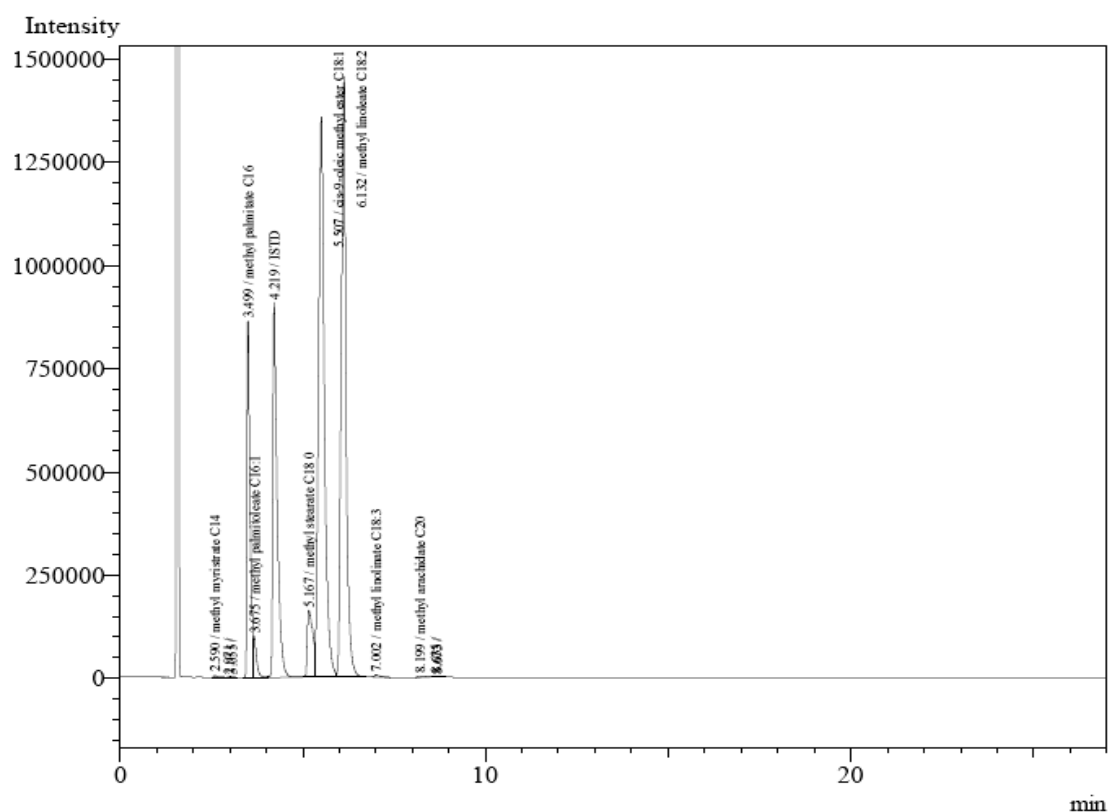
ภาพผนวกที่ จ19 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



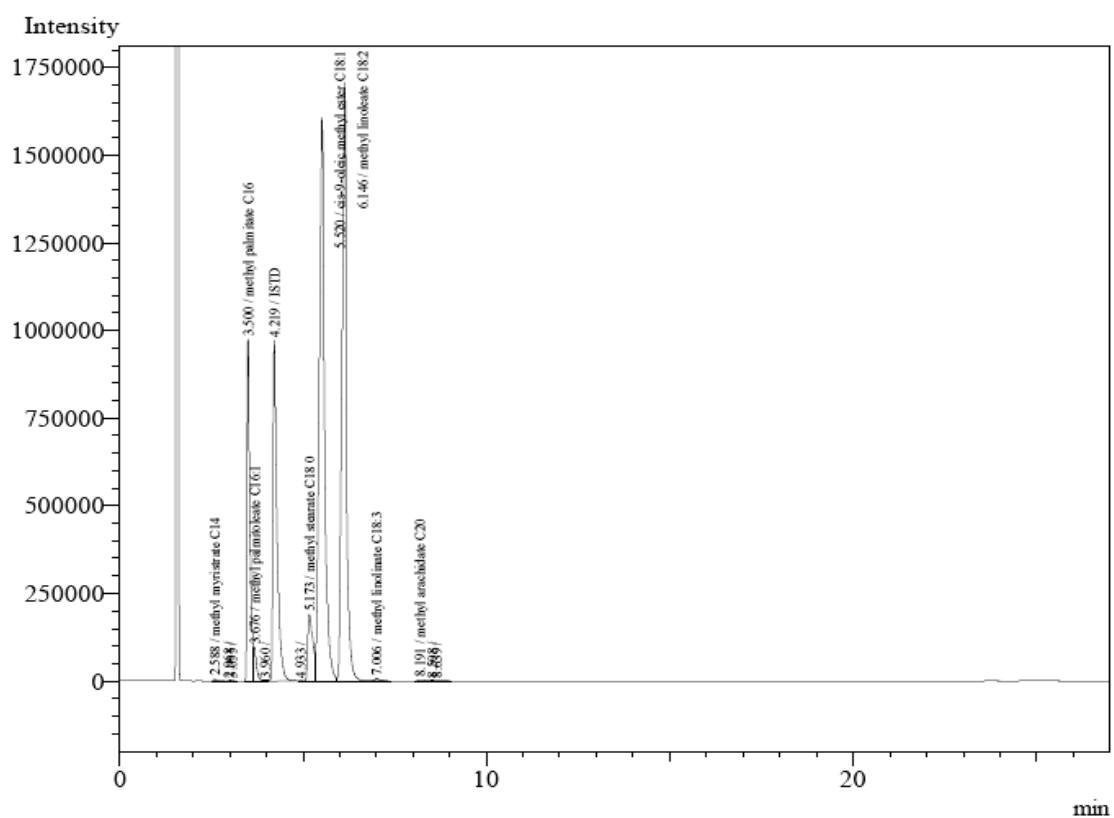
ภาพผนวกที่ จ20 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



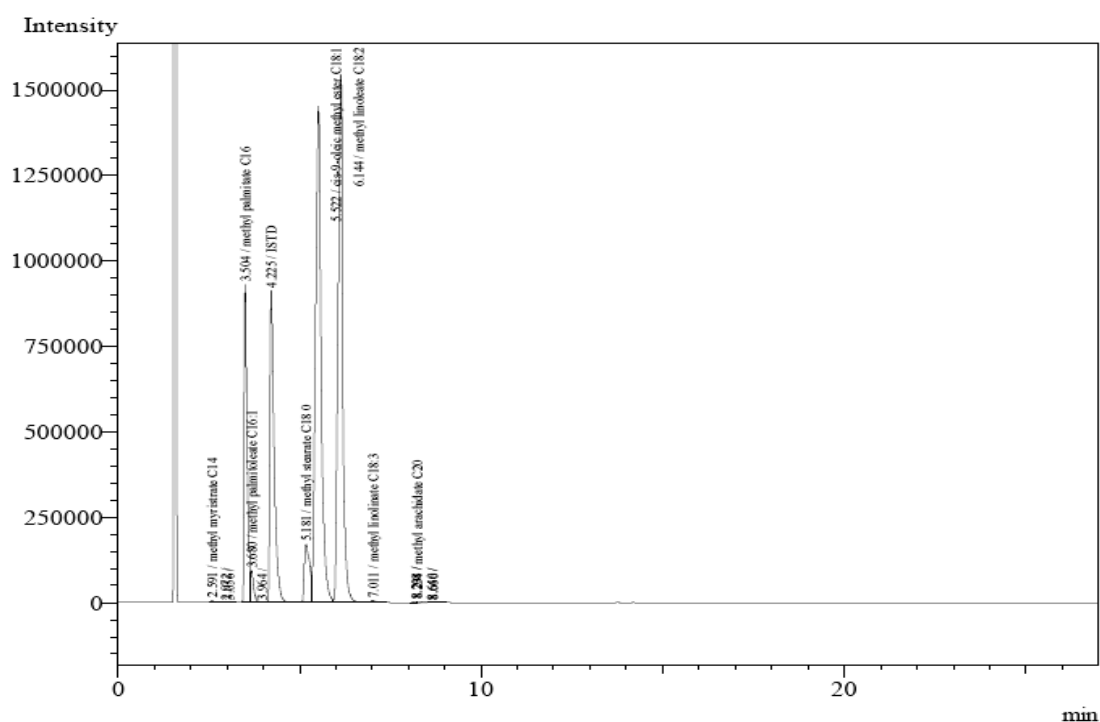
ภาพผนวกที่ จ21 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



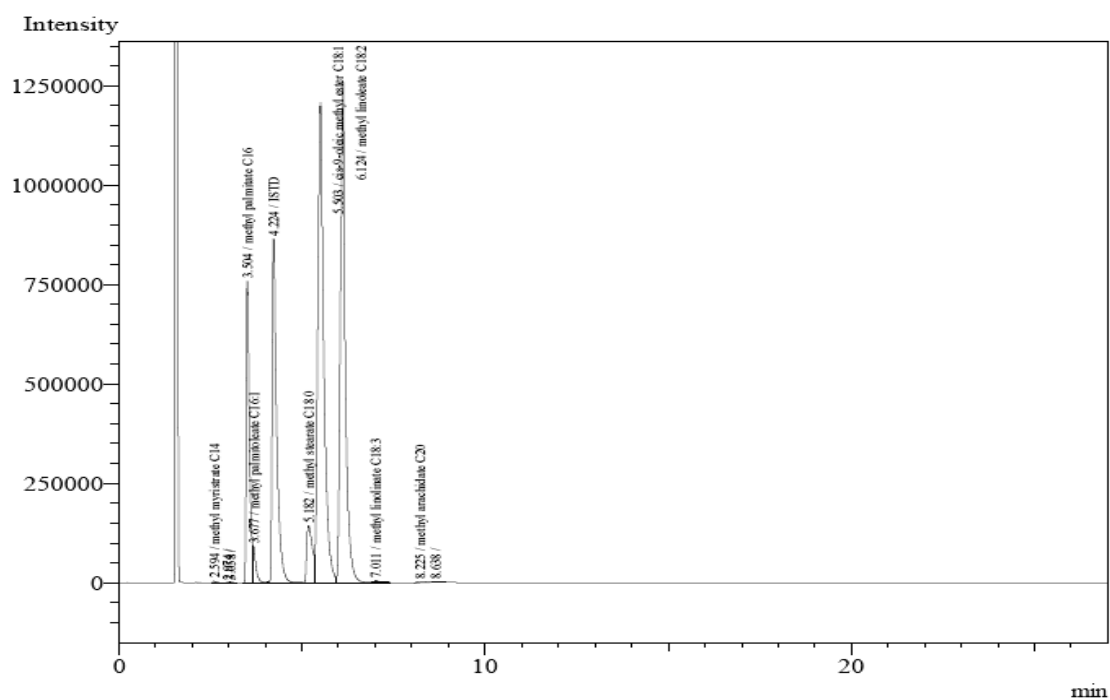
ภาพผนวกที่ จ22 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



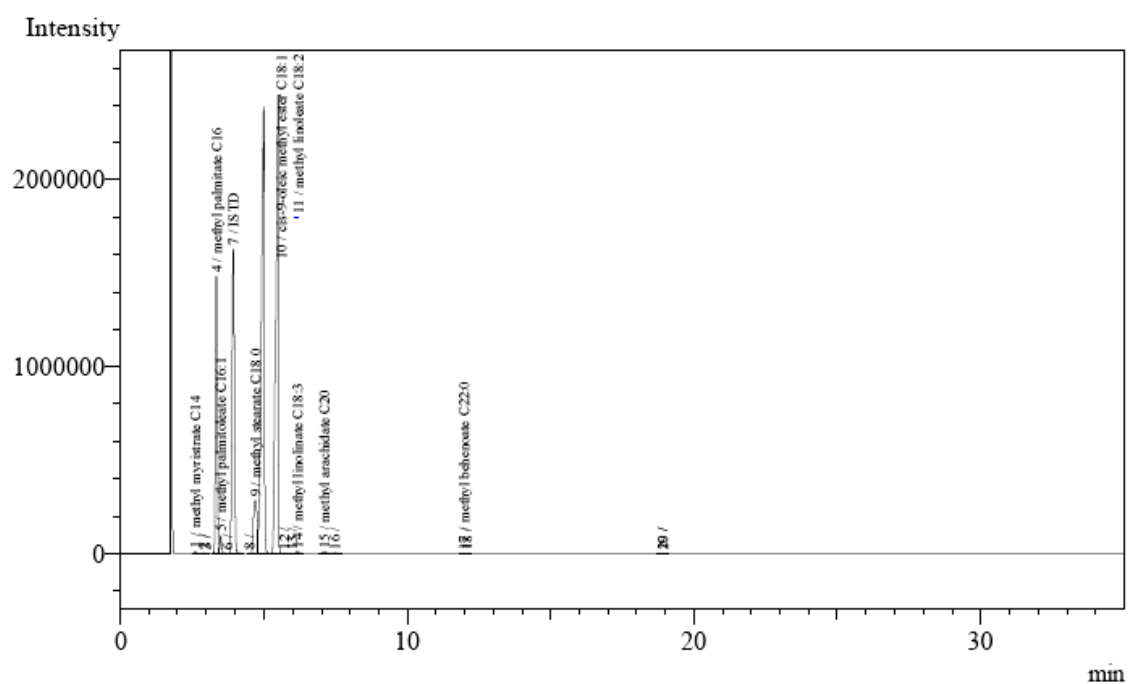
ภาพผนวกที่ จ23 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



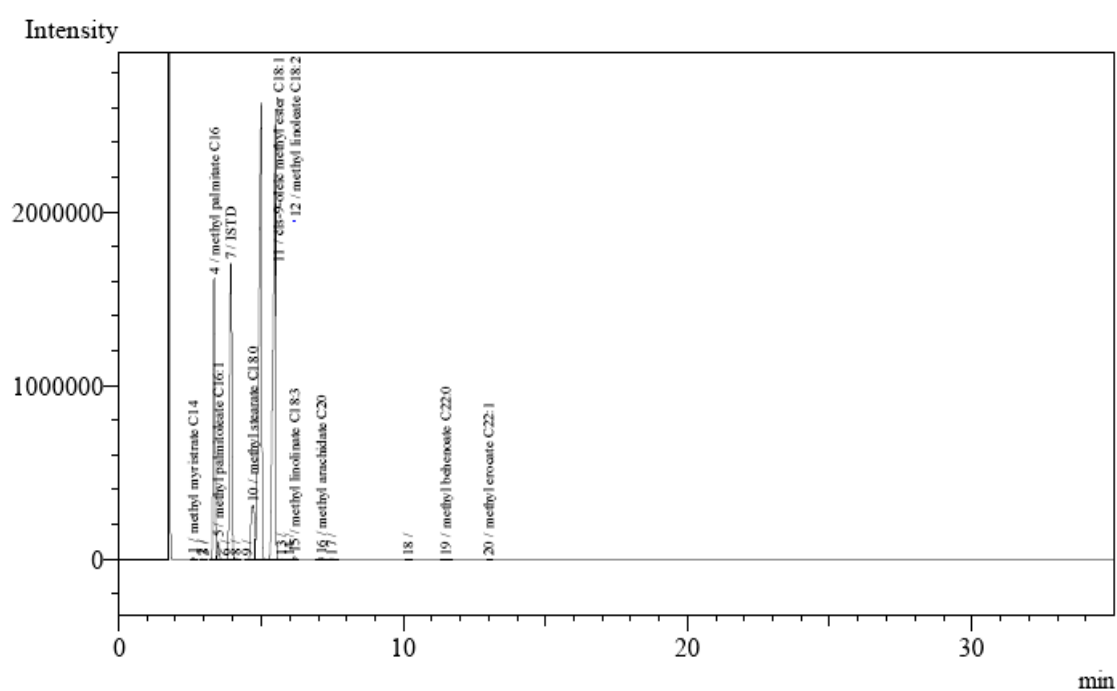
ภาพผนวกที่ จ24 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ25 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ26 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ27 โครมาโตแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที