

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://msds.pcd.go.th/>. [2549, มีนาคม 15]
- กรมธุรกิจพลังงาน. ประกาศเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.doeb.go.th/> [2548, สิงหาคม 24]
- กรมธุรกิจพลังงาน. ประกาศเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2548 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.doeb.go.th/>. [2548, สิงหาคม 24]
- บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน). ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.cpi-th.com> [2546, พฤษภาคม 3]
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย เล่มที่ 46 พ.ศ.2547. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.oae.go.th/> [2548, สิงหาคม]
- คณะกรรมการพลังงาน สม่าผู้แทนราษฎร. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล. หนังสือเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเนื่องในวโรกาสวันเฉลิมพระชนมพรรษา 5 ธันวาคม 2545.
- จตุพร วิทยาคูณ ;และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. การเร่งปฏิกิริยา : พื้นฐานและการประยุกต์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, (2547): หน้า 1-31,119-175.
- วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ์. คະຕະໂລສິດ แบบเอกเทอโรจีเนียส หลักทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2534): หน้า 35-38.
- สมชัย อัครทิวา. ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมของปฏิกิริยาเชิงเร่ง. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ท้อป, (2546): หน้า 1-11, 39-86.

### ภาษาอังกฤษ

- Ali, Y.; and Hanna, M. A. Alternative diesel fuel from vegetable oils. Bioresource Technology 50 (1994): 153 - 163.
- Baba, T.; Ebiura, T.; Echizen, T.; Ishikawa, A.; Murai, K. Selective transesterification of triolein with methanol to methyl oleate and glycerol using alumina loaded with

- alkali metal salt as a solid-base catalyst. Applied Catalysis A: General 283 (2005): 111-116.
- Badal, C. S.; ed. and Woodward, J.; ed. Fuel and chemical from biomass. 1 st ed. Washington: ACS Publication Division, 1996.
- Barnwal, B. K.; and Sharma, M. P. Prospects of biodiesel production from vegetable oil in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews 9 (2005): 363 - 378.
- Dantas, T. N. C.; Silva, A. C.; and Neto, A. A. D. New microemulsion system using diesel and vegetable oils. Fuel 80 (2001): 75 - 81.
- Demirbas, A. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. Energy Conversion and Management 44 (2003): 2093 - 2109.
- Fangrui, M.; and Hanna, M. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology. 70 (1999): 1 - 15.
- Fortes, I. C. P.; and Baugh, P. J. Study of calcium soap pyrolysis derive from Macauba fruit (*Acrocomia sclerocarpa* M.). Derivatization and analysis by GC/MS and CI-MS. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 29 (1994): 153 - 167.
- Freedman, B.; Butterfield, R.O.; Pryde, E.H. Transesterification kinetics of soybean oil. JAOCS 63, 1375-1380:(1986)
- Goto, F.; Sasaki, T.; Takagi K. Method and apparatus for preparing fatty acid esters. United States Patent US 6,812,359 B2. (2004)
- Gryglewicz, S. Rapeseed oil methyl esters preparation using heterogeneous catalysts, Bioresource Technology 70 (1999): 249-253.
- Jitputti, J.; Kittiyanan, B.; Rangsunvigit, P.; Bunyakiet, K.; Attanatho, L.; and Jenvanitpanjakul, P. Tranesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalyst. Chemical Engineering. Chemical Engineering Journal 116 (2006): 61-66
- Kim, H.J.; Kang, B.S.; Kim, M.J.; Park, Y.M; Kim, D.K.; Lee, J.S.; Lee, K.Y. Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. Catalysis Today 93-95 (2004): 315-320.

- Korbitz, W. Biodiesel Production in Europe and North America an Encouraging Prospect. Renewable Energy 16 (1999): 1078 - 1083.
- Lopez, D. E.; Goodwin Jr, J. G.; Bruce, D.A.; Lotero, E. Transesterification of triacetin with methanol on solid acid and base catalysts. Applied Catalysis A (295), 97-105: (2006)
- Lotero, E.; Liu, Y.; Lopez, D.E.; Suwannakarn, K.; Bruce, D.A.; Goodwin Jr, J. G. Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. Ind. Eng. Chem. Res (44), 5353-5363: (2005)
- Ma, F.; and Hanna, M. A. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology 70 (1999): 1 - 15.
- Peterson, G., Scarrah, W. Rapeseed oil transesterification by heterogeneous catalysis. JAOCS 61(10), 1593-1597:(1984)
- Schuchardt, U.; Sercheli, R.; and Vargas, R.M. Transesterification of vegetable oils: a review. Journal of Brazilian Chemical Society 9 (1998): 199 - 210.
- Song, C.; Chang, S. H.; and Isao, M. Chemistry of Diesel Fuels. 1 st ed. London: Taylor & Francis, 2000.
- Srivastava, A.; and Prasad, R. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4 (2000): 111 - 133.
- Suppes, G.K.; Bockwinkel, S.; Lucas, J.B.; Botts, M.H., Mason,; and Heppert, J.A. Calcium Carbonate Catalyzed Alcoholysis of Fats and Oils. JAOCS. 78(2001): 139-145
- Swern, D.(Ed). Bailey's Industrial Oil and Fat Products Vol.1 Fourth Edition. New York: John Wiley and Sons, 1979.
- Wikipedia the free encyclopedia. Chemical properties. [online]. Available from: <http://en.wikipedia.org/> [2006, April 22]
- Xie, W.; Peng, H.; Chen, L. Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst. Appl. Catalysis A: General 300 (2006) 67-74

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### การคำนวณการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา $K_2CO_3/Al_2O_3$

การคำนวณตัวเร่งปฏิกิริยา  $K_2CO_3/Al_2O_3$  คำนวณแยกออกเป็น 2 ส่วน คือเกลือโลหะ ( $K_2CO_3$ ) และตัวรองรับ ( $Al_2O_3$ )

#### ตัวอย่างการคำนวณ

#### เกลือโลหะ ( $K_2CO_3$ )

วิธีการคำนวณปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 2.6 มิลลิโมลเทียบกับอะลูมินา 1 กรัม ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การคำนวณปริมาณเกลือโลหะ 2.6 มิลลิโมลเทียบกับอะลูมินา 1 กรัม

Metal salts	mmol	Wt. of metal 1 atom (g)
$K_2CO_3$	2.6	0.7186

#### 2. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา $Ca(NO_3)_2/Al_2O_3$

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา  $Ca(NO_3)_2/Al_2O_3$  เตรียมขึ้นด้วยวิธีอิมเพกเนชัน แบบ Incipient wetness ซึ่งเป็นวิธีแบบเติมเต็มรูพรุนของตัวรองรับ จึงต้องคำนวณหาปริมาณของตัวรองรับที่ดูดซับตัวทำละลาย (น้ำ) ได้พอดี แสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การหาปริมาตรการดูดซับของตัวทำละลายบนตัวรองรับ 1 กรัม

support	Wt. (g)	water (ml)
$Al_2O_3$	1 กรัม	0.65

ตารางที่ ก.3 การคำนวณปริมาณของเกลือโลหะ 2.6 มิลลิโมลเทียบกับอะลูมินา 1 กรัม

Metal salt	mmol	Wt. of metal 1 atom (g)
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	2.6	0.6136

## ภาคผนวก ข

### การคำนวณปริมาณสารเคมีในปฏิกิริยา

#### 1. น้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 65 ต่อ 1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม เป็นดังนี้

ตารางที่ ข.1 สมบัติของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

Vegetable oil	density (g/ml)	Molecular weight
Palm kernel	0.922	677.60

ตารางที่ ข.2 สมบัติของเมทานอล

Vegetable oil	density (g/ml)	Molecular weight
Methanol	0.792	32

#### การคำนวณปริมาณเมทานอล

ในการทดลองเตรียมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 10 กรัม คิดเป็นปริมาณของเมทานอล 65 เท่าโดยโมลของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม จากข้อมูลในตารางที่ ข.1 และ ข.2

#### การคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ดังนั้น น้ำมันเมล็ดในปาล์ม 10 กรัม คิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม

#### การคำนวณปริมาณความชื้น

ปริมาณค่าความชื้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ดังนั้น น้ำมันเมล็ดในปาล์ม 10 กรัม คิดเป็นปริมาณความชื้น 0.2 กรัม



## 2. น้ำมันมะพร้าว

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและน้ำมันมะพร้าว และตัวเร่งปฏิกิริยา  
เหมือนกับการคำนวณของน้ำมันเมล็ดในปาล์มในข้อ 1 ข้อมูลของน้ำมันมะพร้าวแสดงในตาราง ข.3

ตารางที่ ข.3 สมบัติของน้ำมันมะพร้าว

Vegetable oil	density (g/ml)	MW
Coconut	659.22	0.920

ในการทดลองเตรียมน้ำมันมะพร้าว 10 กรัม คิดเป็นปริมาณของเมทานอล 65 เท่าโดยโมลของ  
น้ำมันมะพร้าว จากข้อมูลในตารางที่ ข.3 คิดเป็นเมทานอล 39.39 มล.

### การคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

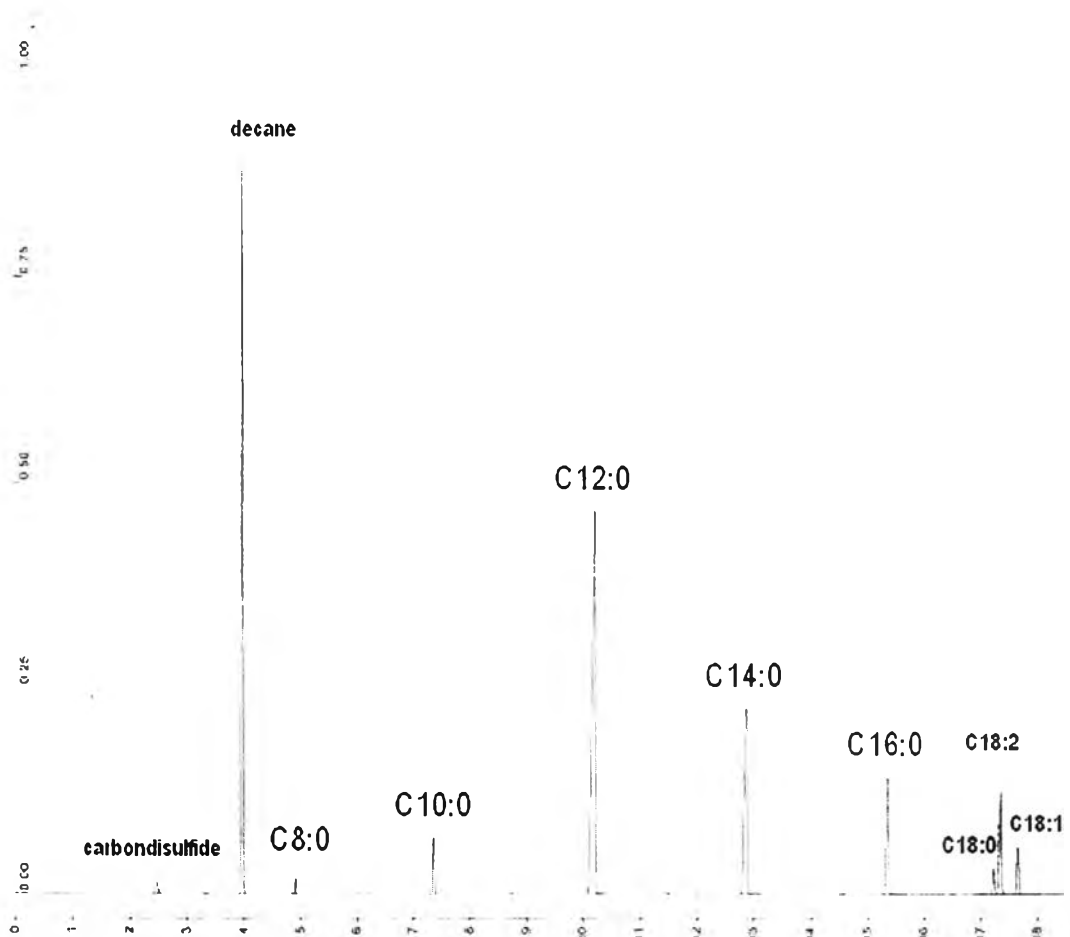
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันมะพร้าว ดังนั้น น้ำมันมะพร้าว 10  
กรัม คิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม

## ภาคผนวก ค

### การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์

#### 1. การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

ปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันโดยเฉลี่ยของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันมะพร้าวมีค่าใกล้เคียง แสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ ค1 ตัวอย่างโครมาโทแกรมในการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

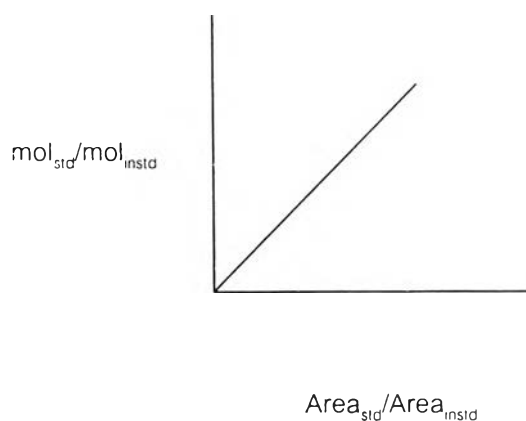
จากโครมาโทแกรมของดังรูปที่ ค1 สามารถหาอัตราส่วนของพื้นที่พีค (ratio peak area) และอัตราส่วนโดยโมลของสารมาตรฐาน (ratio mole) ได้ ดังสมการที่ ค1 และ ค2



$$\text{อัตราส่วนพื้นที่ peak} = \frac{\text{พื้นที่ peak ของสารมาตรฐาน}}{\text{พื้นที่ peak ของ internal standard}} \quad (\text{ค1})$$

$$\text{อัตราส่วนโดยโมล (mol/mol)} = \frac{\text{ปริมาณของสารมาตรฐาน (mol)}}{\text{ปริมาณของ internal standard (mol)}} \quad (\text{ค2})$$

และเมื่อเขียนกราฟระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ peak กับอัตราส่วนโมลของสารมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์เทียบกับ internal standard จะได้ calibration curve



การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์

$$\%ME = \frac{\sum \left[ \left( \frac{Mole_i}{Mole_{instd}} \right) \times \left( \frac{W_{instd}}{MW_{instd}} \right) \times MW_i \right]}{W_s \times \sum X_i} \times 100 \quad (\text{ค.1})$$

เมื่อ  $\frac{Mole_i}{Mole_{instd}}$  = อัตราส่วนโมลของเอสเทอร์กับ Internal standard แต่ละชนิดที่ได้ จากการเทียบกับ Calibration curve ของเอสเทอร์แต่ละชนิด

$W_{instd}$  = น้ำหนักของ Internal standard ที่ชั่ง (กรัม)

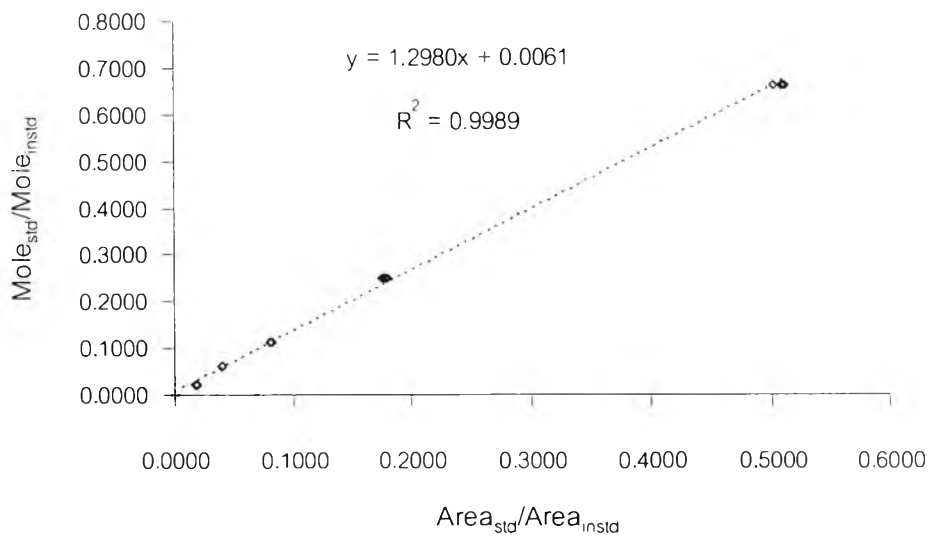
$MW_{istd}$	=	มวลโมเลกุลของ Internal standard
$MW_i$	=	มวลโมเลกุลของเอสเทอร์แต่ละชนิด ในตารางที่ค.2
$W_x$	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่ง (กรัม)
$\sum X_i$	=	ผลรวมขององค์ประกอบเอสเทอร์แต่ละชนิดที่ทำการวิเคราะห์
$W_x$	=	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ชั่ง (กรัม)

ตารางที่ ค.1 มวลโมเลกุลของสารเคมี

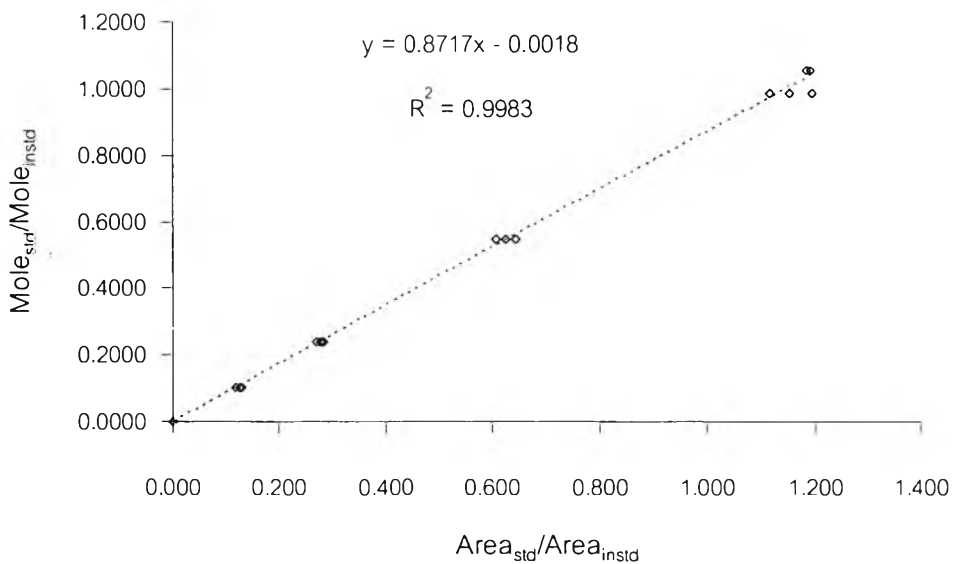
Chemicals	Molecular weight
decane	142.28
Methyl carprylate	158.24
Methyl laurate	214.34
Methyl myristate	242.40
Methyl palnitate	270.45

### 3. การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์

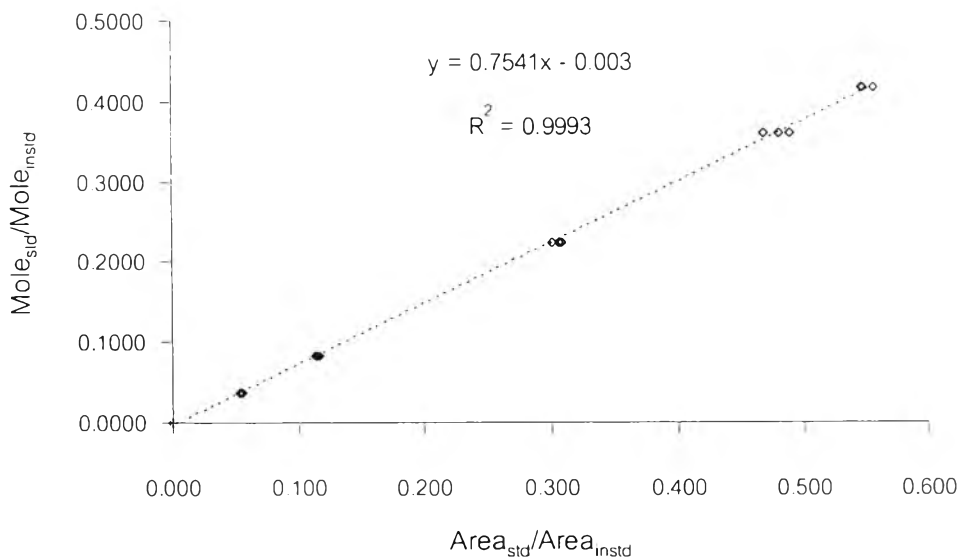
- 3.1 เตรียมตัวอย่างในขวดเตรียมสาร (vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร โดยทำการชั่งสารตัวอย่าง, Internal standard และตัวทำละลายสารตัวอย่าง ให้มีสัดส่วนที่เหมาะสม
- 3.1 บันทึกน้ำหนักของสารตัวอย่าง และ Internal standard วิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเครื่อง Gas chromatography
- 3.2 นำผลของพื้นที่พีคของเดกเคนและตัวอย่างของเมทิลเอสเทอร์ คิดเฉพาะองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีปริมาณสูง 4 ชนิด คือ เมทิลคาไพรเลต, เมทิลลอเรต, เมทิลไมริสเตตและเมทิลปาล์มิตเตต คิดเป็นอัตราส่วนพื้นที่เอสเทอร์แต่ละชนิดกับเดกเคน
- 3.3 นำอัตราส่วนพื้นที่ของเอสเทอร์แต่ละชนิดและเดกเคนไปเทียบกับ Calibration curve ของเอสเทอร์แต่ละชนิดในรูปที่ ค1 – ค4
- 3.4 จากข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในสมการที่ ค.1



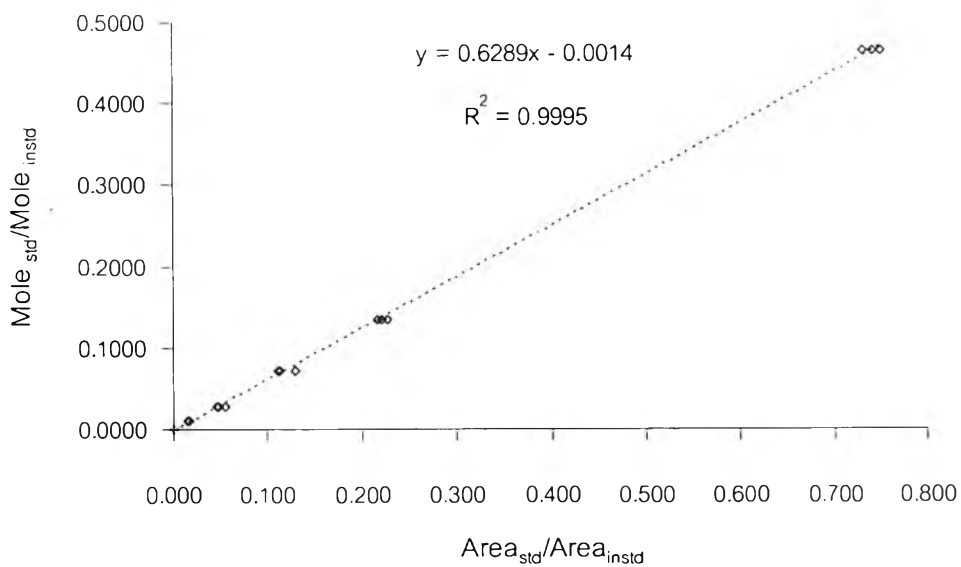
รูปที่ ค.2 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลอะซิเตต



รูปที่ ค.3 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลอะซิเตต



รูปที่ ค.4 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลไมริสเดต



รูปที่ ค.5 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลพาล์มิเดต



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิตา เบญจพรกุลพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2547