

## รายการอ้างอิง

1. ส่วนควบคุมคุณภาพ ปฏิบัติการคลัง ปตท.น้ำมัน **ความรู้เกี่ยวกับปิโตรเลียม**, 2544, หน้า 26, 52-60.
2. Song, C., Chang, S. H., and Isao, M. **Chemistry of Diesel Fuels**. 1 st ed. London: Taylor & Francis, 2000. pp. 1-47.
3. ประดิษฐ์ มีสุข. **เคมีอินทรีย์เบื้องต้น**. การผลิตเอกสารและตำรา มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2545, หน้า 220.
4. คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. **พลังงานทดแทน เอทานอล และ ไบโอดีเซล**. พิมพ์ครั้งแรก. กรุงเทพมหานคร. แปลน กราฟิค, 2545, หน้า 89-105.
5. ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง. **เคมีอาหารเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2530, หน้า 118-121.
6. Formo, M. W., ed. **Bailey Industrial Oil and Fat Products Volume 1**. 1 st ed. New York : John Wiley and son, 1979. pp. 177-477.
7. Demirbas, A. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercriticalalcohol transesterifications and other methods: a survey. **Energy Conversion and Management** 44 (2003): 2093 - 2109.
8. Srivastava, A.; and Pasad, R. Triglycerides-based diesel fuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 4 (2000): 111-133.
9. Ali, Y.; and Hanna, M. A. Alternative diesel fuel from vegetable oils. **Bioresource Technology** 50 (1994): 153-163.
10. Ma, F.; and Hanna M. A. Biodiesel production: A review. **Bioresource Technology** 70 (1999): 1 - 15.
11. Badal, C. S., ed. and Woodward, J., ed. **Fuel and chemical from biomass**, 1 st ed. Washington: ACS Publication Division, 1996. pp. 172-207.
12. Ulf, S.; Sercheli, R.; and Vargas, R. M. Transesterification of Vegetable Oils : A review. **Journal of Brazilian Chemical Society** 9 (1998): 199-210.
13. Fukada, H.; Kondo, A; and Noda, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. **Journal of Bioscience and Bioengineering** 92 (2001): 405-416.

14. Chen, J.; and Wu, W. Regeneration of Immobilized *Candida Antarctica* Lipase for Transesterification. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 5 (2003): 466-469.
15. Didier, V.; Combes, D.; and Marty, A. Continuous enzymatic transesterification of high oleic sunflower oil in packed bed reactor: Influence of the glycerol production. *Enzyme and Microbial Technology* 25 (1999): 194-200.
16. เรื่องวิทยุ สว่างแก้ว. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤตอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์ระดับนําร่อง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
17. Saka, S.; and Kusdiana, D. Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol. *Fuel* 80 (2001): 194 - 200.
18. Saka, S.; and Kusdiana, D. Kinetic of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol. *Fuel* 80 (2001): 693-698.
19. Demirbas, A. Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. *Energy Conversion and Management* 43 (2002): 2349-2359.
20. สมชาย ไอลสุวรรณ. *จลนพลศาสตร์วิศวกรรมเคมี*. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์ใจทอง, 2532, หน้า 105-128.
21. Holland, F. A. and Chapman, F. S., *Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1966. pp. 1-28.
22. Trambouze, P.; Vanlandeghem, H.; and Wauquier, J. P., *Chemical Reactor Design, Engineering, Operation*. Editions Technip, Paris, 1988. pp. 539-565.
23. ธีรยุทธ หล่อภูมิพันธ์. *ภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
24. เจษฎา เกิดบ้านชั้น. *คอมพิวเตอร์ช่วยในการเลือกและกำหนดขนาดใบพัดกวน*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
25. Barnhorst et al.,(2002). Transesterification process. U.S. Patent No. 6,489,496.

26. Nouredini et al.,(2001). System and process for producing biodiesel fuel with reduced viscosity and a cloud point below thirty-two (32) degrees Fahrenheit. U.S. Patent No. 6,174,501.
27. Hanna et al.,(2003). Transesterification process for production of biodiesel. U.S. Patent Pub. No. 2003/0032826.
28. Darnoko, D., and Cheryan, M. Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. *Journal of American Oil Chemists Society* 77 (2000): 1263-1267.
29. Darnoko, D., and Cheryan, M. Continuous Production of Palm Methyl Esters. *Journal of American Oil Chemists Society* 77 (2000): 1269-1272.
30. Bouaid, A., Diaz, Y., Mercedes, M., and Aracil, J. Pilot plant studies of biodiesel production using *Brassica carinata* as raw material. *Catalyst Today* 106 (2005): 193-196.
31. ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545, หน้า 514.
32. Darnoko, D., and Cheryan, M. Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. *Journal of American Oil Chemists Society* 77 (2000): 1263-1267.
33. Vicente, G., Martinez, M., and Aracil, J. Intergrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalyst systems. *Bioresource Technology* 92 (2004): 297 – 305.
34. Espinosa, S.; Fornari, T.; Bottini, S. B.; and Brignole, E.A. Phase equilibria in mixtures of fatty oils and derivatives with near critical fluids using the GC-EOS model. *Journal of Supercritical Fluids* 23 (2002): 91 - 102.
35. รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2548. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนพิเศษ 70 ง หน้า 14-16.
36. รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนพิเศษ 70 ง หน้า 12-12.
37. ASTM Standard, D 93. Flash Point by Pensky-Martens Closed Tester : American society for testing and materials. U.S.A., 1989.

38. ASTM Standard, D 240. Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuel By Bomb Calorimeter : American society for testing and materials. U.S.A., 1989.
39. ASTM Standard, D 445. Kinematics Viscosity of Transparent and Opaque Liquids : American society for testing and materials. U.S.A., 1989.
40. ASTM Standard, D 2887. Boilling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography : American society for testing and materials. U.S.A., 2004.
41. ASTM Standard, D 976. Calculated Cetane Index of Distillate Fuels : American society for testing and materials. U.S.A., 1989.
42. ASTM Standard, D 1298. API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum products by Hydrometer Method : American society for testing and materials. U.S.A., 1989.
43. ASTM Standard, D6751-03. Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuel : American society for testing and materials. U.S.A., 2003.
44. AOCS Official Method, Cd 3d-63, Acid Value: American Oil Chemical Society. U.S.A., 1997.
45. AOCS Official Method, Cd 3b-76, Saponification Value: American Oil Chemical Society. U.S.A., 1997.
46. AOCS Official Method, Cd 1-25, Iodine Value: American Oil Chemical Society. U.S.A., 1997.
47. AOCS Official Method, Ce 2-66, Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids : American Oil Chemical Society. U.S.A., 1997.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

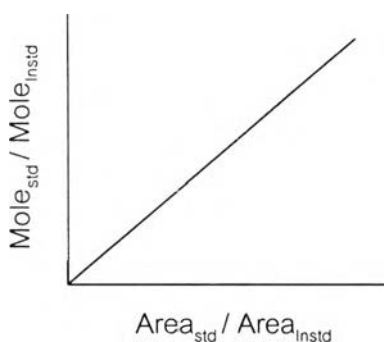
### การหาชนิดและปริมาณเมทิลเอสเทอร์

#### 1. การหาชนิดเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดจะมี retention time ไม่เท่ากัน เมทิลเอสเทอร์ชนิดเดียวกันจะมี retention time เท่ากันเสมอ จึงใช้หลักการนี้ในการพิจารณาว่าพีค (peak) ที่ได้เป็นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดใด โดยเทียบกับเมทิลเอสเทอร์มาตรฐาน

#### 2. การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์

การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์โดยใช้วิธี Internal standard โดยใช้ Calibration curve ของเมทิลเอสเทอร์มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ซึ่ง Calibration curve เป็นกราฟระหว่างอัตราส่วนจำนวนโมลของสารมาตรฐานกับจำนวนโมลของ Internal standard (แกน y) กับอัตราส่วนพื้นที่พีคของสารมาตรฐานกับพื้นที่พีคของ Internal standard (แกน x) ดังรูป



|       |                |   |                                 |
|-------|----------------|---|---------------------------------|
| เมื่อ | $Mole_{std}$   | = | จำนวนโมลของสารมาตรฐาน           |
|       | $Mole_{instd}$ | = | จำนวนโมลของ Internal standard   |
|       | $Area_{std}$   | = | พื้นที่พีคของสารมาตรฐาน         |
|       | $Area_{instd}$ | = | พื้นที่พีคของ Internal standard |

การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์

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

|       |                               |   |   |
|-------|-------------------------------|---|---|
| เมื่อ | $\frac{Mole_i}{Mole_{instd}}$ | = | อัตราส่วนโมลของเอสเทอร์กับ Internal standard แต่ละชนิดที่ได้จากการเทียบกับ Calibration curve ของเอสเทอร์แต่ละชนิด |
|       | $W_{instd}$                   | = | น้ำหนักของ Internal standard ที่ชั่ง (กรัม)   |
|       | $MW_{instd}$                  | = | มวลโมเลกุลของ Internal standard   |
|       | $MW_i$                        | = | มวลโมเลกุลของเอสเทอร์แต่ละชนิด  |
|       | $W_s$                         | = | น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่ง (กรัม)  |
|       | $\sum X_i$                    | = | ผลรวมขององค์ประกอบเอสเทอร์แต่ละชนิดที่ทำการวิเคราะห์  |
|       | $W_s$                         | = | น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ชั่ง (กรัม)  |

### 3. ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ทำการเตรียมตัวอย่างในขวดแก้วเล็กๆ (vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร โดยทำการชั่งน้ำมันตัวอย่างน้ำหนัก 0.15 กรัม และ Internal standard ที่ใช้คือ เดกเคน น้ำหนัก 0.05 กรัม จากนั้นเติมตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ให้ได้น้ำหนักรวมเป็น 1.5 กรัม

บันทึกที่ได้จากการชั่ง ดังนี้

|  |   |        |      |
|--|---|--------|------|
| ตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม | = | 0.1516 | กรัม |
| เดกเคน (Internal standard)                 | = | 0.0502 | กรัม |

พื้นที่พีคของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดดังนี้

|                 |   |         |
|-----------------|---|---------|
| เดกเคน          | = | 1509295 |
| เมทิลคาโพรเลต   | = | 129472  |
| เมทิลลอเรต      | = | 1722485 |
| เมทิลไมริสเตต   | = | 570790  |
| เมทิลปาล์มิตเตต | = | 294079  |

อัตราส่วนพื้นที่เอสเทอร์แต่ละชนิดกับเดกเคนเป็นดังนี้

$$\frac{Area_{C8:0}}{Area_{instd}} = 129472 / 1509295 = 0.0858$$

$$\frac{Area_{C12:0}}{Area_{instd}} = 1722485 / 1509295 = 1.1412$$

$$\frac{Area_{C14:0}}{Area_{instd}} = 570790 / 1509295 = 0.3782$$

$$\frac{Area_{C16:0}}{Area_{instd}} = 294079 / 1509295 = 0.1948$$

นำอัตราส่วนพื้นที่เอสเทอร์กับเดกเคนของเอสเทอร์แต่ละชนิดไปเทียบกับ Calibration curve ของเอสเทอร์แต่ละชนิด ดังรูปที่ ก1 – ก4 ซึ่งจะได้ค่าอัตราส่วนโมลเอสเทอร์กับเดกเคน ดังนี้

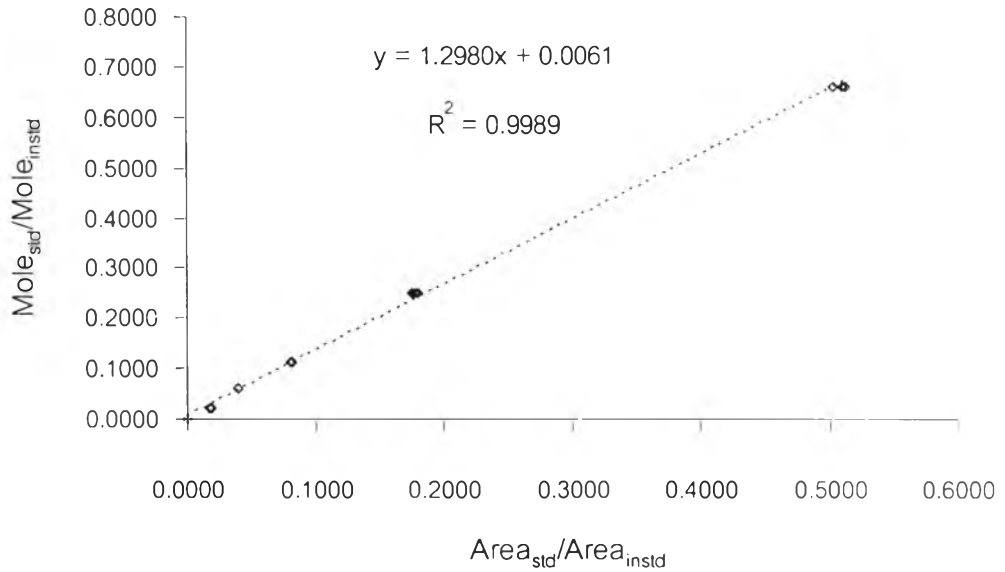
$$\frac{Mole_{C8:0}}{Mole_{instd}} = 1.2980(0.0858) + 0.0061 = 0.1175$$

$$\frac{Mole_{C12:0}}{Mole_{instd}} = 0.8717(1.1412) - 0.0018 = 0.9930$$

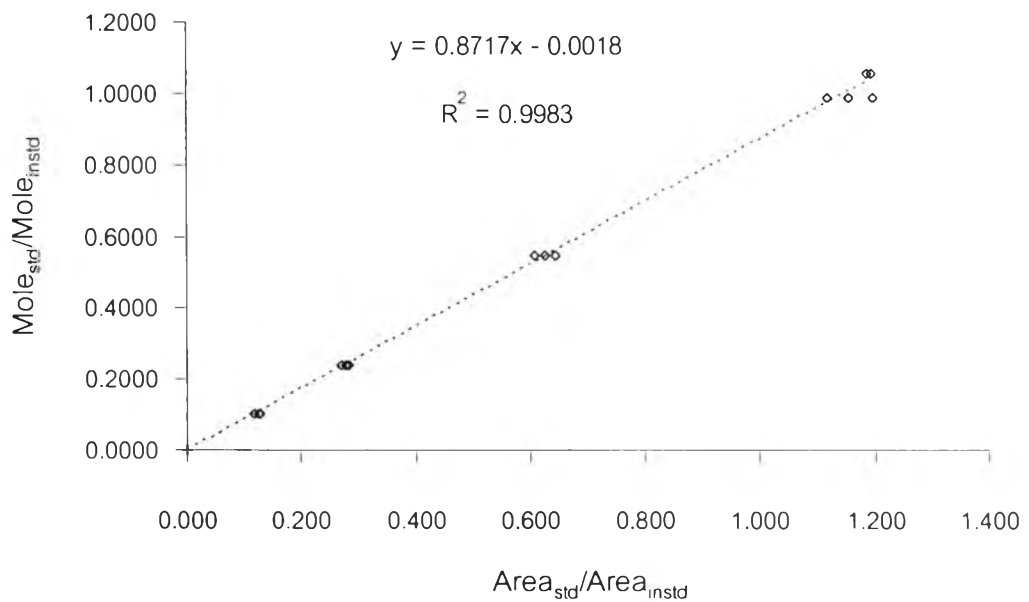
$$\frac{Mole_{C14:0}}{Mole_{instd}} = 0.7541(0.3782) - 0.0030 = 0.2822$$



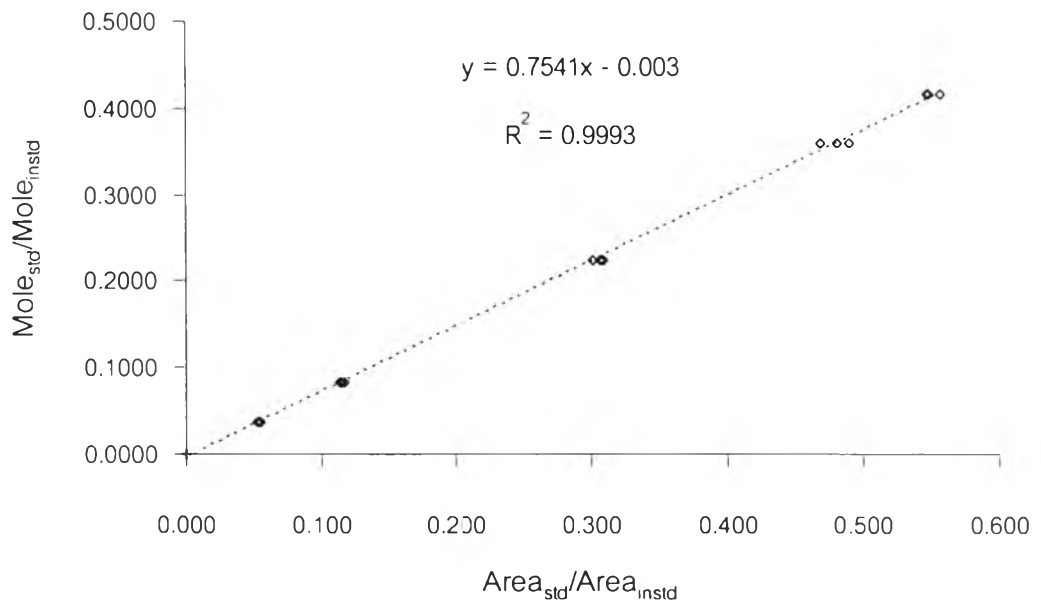
$$\frac{Mole_{C16:0}}{Mole_{instd}} = 0.6289(0.1948) - 0.0014 = 0.1211$$



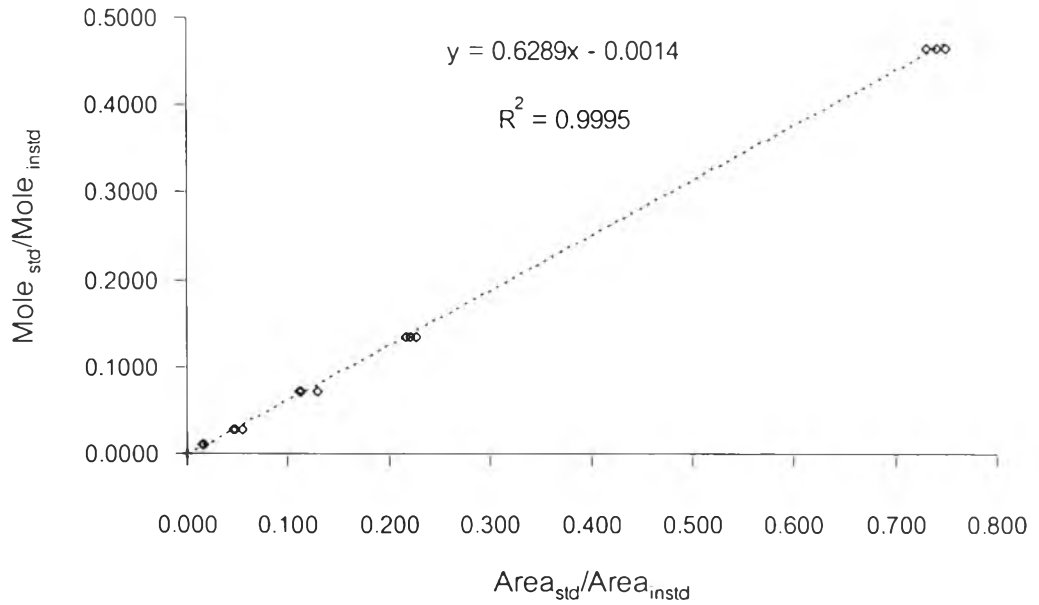
รูปที่ n1 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลคาไพเรเลต



รูปที่ n2 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลลอเรต



รูปที่ n3 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลไมริสเตต



รูปที่ n4 Calibration curve ของสารมาตรฐานเมทิลปาล์มิตต

การคำนวณปริมาณเอสเทอร์แต่ละชนิดเป็นดังนี้

$$\text{มวลโมเลกุลเดกเคน} = 142.28$$

$$\text{มวลโมเลกุลเมทิลคาโพรเลต} = 158.24$$

$$\text{มวลโมเลกุลเมทิลลอเรต} = 214.34$$

$$\text{มวลโมเลกุลเมทิลไมริสเตต} = 242.40$$

$$\text{มวลโมเลกุลเมทิลปาล์มิเตต} = 270.45$$

$$\sum x_i = 0.044 + 0.5560 + 0.1570 + 0.0640 = 0.8210 \quad (\text{ดูจากตารางที่ 4.3})$$

$$\text{ปริมาณ เมทิลคาโพรเลต} = 0.1175 \times (0.0502 / 142.28) \times 158.24 = 0.0066 \text{ กรัม}$$

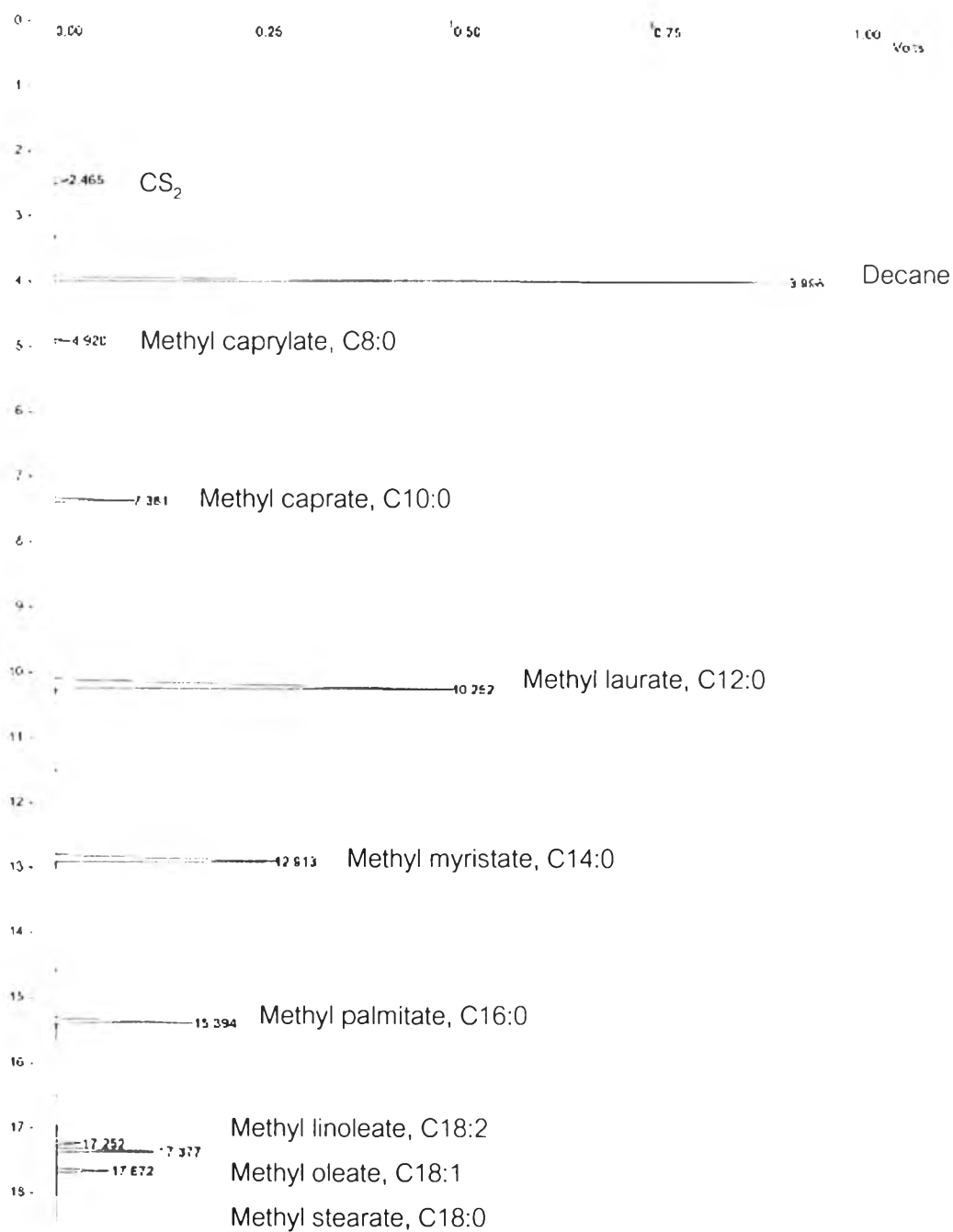
$$\text{ปริมาณ เมทิลลอเรต} = 0.9930 \times (0.0502 / 142.28) \times 214.34 = 0.0750 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาณ เมทิลไมริสเตต} = 0.2822 \times (0.0502 / 142.28) \times 242.40 = 0.0241 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาณ เมทิลปาล์มิเตต} = 0.1211 \times (0.0502 / 142.28) \times 270.45 = 0.0116 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \%ME &= \frac{(0.0066 + 0.0750 + 0.0241 + 0.0116)}{0.1516 \times 0.8210} \times 100 \\ &= 94.24 \end{aligned}$$

#### 4. ตัวอย่างโครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ ก5 โครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์สมบัติสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

#### 1. การหาค่ากรด (Acid Value) AOCS Official Method Cd – 3d – 63

##### 1.1. เครื่องมือ

- 1.1.1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.1.2. บิวเรต (burette) ขนาด 25 มิลลิลิตร

##### 1.2. สารเคมี

1.2.1. สารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยฟีนอล์ฟธาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์

1.2.2. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอ้มลในเอทานอล

1.2.3. สารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ 10 กรัม ในเอทานอล 1 ลิตร

##### 1.3. วิธีการทดลอง

- 1.3.1. ชั่งตัวอย่าง 10 – 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.3.2. เติมสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์ 150 มิลลิลิตร
- 1.3.3. ไตเตรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่งสารที่ได้เป็นสีชมพูอ่อน

##### 1.4. การคำนวณค่ากรด

$$\text{ค่ากรด} = (56.1 \times T \times V) / m$$

โดย V = ปริมาณของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, มิลลิลิตร

T = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, นอ้มล

m = น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม

## 2. การหาค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) AOCS Official Method Cd – 3b – 76

### 2.1. เครื่องมือ

- 2.1.1. ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.1.2. รีฟลักคอนเดนเซอร์ (Reflux condensers) ยาว 30 เซนติเมตร
- 2.1.3. ปิเปต ขนาด 25 มิลลิลิตร
- 2.1.4. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2.1.5. เตาให้ความร้อน (Heating mantle)

### 2.2. สารเคมี

- 2.2.1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอมล ในเอทานอล
- 2.2.2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอมล
- 2.2.3. ฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์

### 2.3. วิธีทดลอง

- 2.3.1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันพืช 1 – 2 กรัม ใส่ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.3.2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 25 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- 2.3.3. รีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 2.3.4. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนขณะยังร้อน แล้วไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จนกระทั่งสารละลายใส
- 2.3.5. ทำการทดลองซ้ำโดยไม่ใช้ตัวอย่าง (blank) ด้วยวิธีเดียวกัน

### 2.4. การคำนวณ

$$\text{ค่าสะพอนิฟิเคชัน} = (56.1 \times T \times (V_0 - V_1)) / m$$

โดย  $V_0$  = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้กับ blank, มิลลิลิตร

$V_1$  = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้กับตัวอย่าง, มิลลิลิตร

$T$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริก, นอมล

$m$  = น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม

### 3. ค่าความถ่วงจำเพาะ (API, ASTM D1298 Standard Test Method for API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum products by Hydrometer method)

- 3.1. เหน้้ำมันที่ต้องการจะทดสอบปริมาณ 800 มิลลิลิตร ลงในกระบอกวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- 3.2. นำกระบอกวัดปริมาตรที่มีน้ำมันบรรจุอยู่ใส่ลงในอ่างน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ
- 3.3. ลดอุณหภูมิของน้ำมันในกระบอกตวงลงถึง 60 °F หรือ 15.56 °C
- 3.4. นำไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) หย่อนลงในน้ำมันช้าๆ ระวังอย่าให้ไฮโดรมิเตอร์กระทบกับก้นของกระบอกวัดปริมาตร และอย่าให้ผิวด้านข้างของไฮโดรมิเตอร์สัมผัสกับผนังกระบอกวัดปริมาตรด้วยเช่นกัน โดยให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยอยู่เหนือก้นของกระบอกวัดปริมาตรแล้วอ่านตัวเลขที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ ค่าที่อ่านได้คือค่า API
- 3.5. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.2 °API
- 3.6. ค่า API ที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาค่า sp.gr. (ASTM D 1298) ได้โดย

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{Sp.Gr.}_{60} / 60^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

$$\text{API} = \text{ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์}$$

- 3.7. ถ้าไม่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำมันที่ได้ 60 °F หรือ 15.56 °C ให้ลดอุณหภูมิให้ได้มากที่สุดโดยยังไม่เกิดไข จากนั้นนำค่า API ที่ได้มาคำนวณเปลี่ยนให้เป็นอุณหภูมิ 60 °F หรือ 15.56 °C

$$\text{API}(60^{\circ}\text{F}) = (0.002 (60 - T) + 1) * \text{API}(T)$$

$$\text{โดย } \text{API}(60^{\circ}\text{F}) = \text{ค่า API ที่จากการคำนวณเปลี่ยนมาเป็น } 60^{\circ}\text{F}$$

$$T = \text{อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่สามารถทำได้โดยไม่เกิดไข } ^{\circ}\text{F}$$

$$\text{API} = \text{ค่า API ที่ได้ที่อุณหภูมิใดๆ}$$

#### 4. ค่าความหนืด (Viscosity, ASTM D445 Standard Test Method for Kinematics Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the calculation of dynamic viscosity))

- 4.1. เลือกขนาดของ Viscosity ให้เหมาะสมกับชนิดและความหนืดของน้ำมัน
- 4.2. ปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำมันที่ใช้แช่ Viscosity ให้ได้อุณหภูมิเท่ากับ 40 °C
- 4.3. นำน้ำมันมากรองสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองออกก่อนการทดลอง
- 4.4. ใส่น้ำมันลงใน Viscometer ประมาณ 3/4 ของกระเปาะด้านล่าง
- 4.5. นำ Viscometer ไปแช่ในอ่างน้ำมันประมาณ 20 นาทีเพื่อให้ น้ำมันมีอุณหภูมิ 40°C
- 4.6. ใช้ลูกยางดูดน้ำมันขึ้นมาให้พ้นขีดบนของกระเปาะแรกแล้วปล่อยลงมา
- 4.7. เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำมันผ่านขีดบนจนถึงขีดล่างของกระเปาะแรก นำเวลาที่ได้ออกมา

คำนวณหาค่าความหนืด

- 4.8. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ควรแตกต่างกันไม่เกิน 0.35% ของค่าเฉลี่ย

$$v = K \cdot t$$

เมื่อ  $v$  = Kinematic Viscosity, mm<sup>2</sup>/s

$K$  = ค่าคงที่ Viscometer, mm<sup>2</sup>/s

$t$  = เวลาที่ใช้, วินาที

#### 5. จุดวาบไฟ (Flash Point)

##### 5.1. Cleveland Open Cup (ASTM D92 Standard Test Method for Flash Point and Fire Point by Cleveland Open Cup)

5.1.1. ใส่น้ำมันตัวอย่างลงในถ้วยทดสอบน้ำมัน (Oil cup) ให้พอดีกับขีดและอย่าให้มีฟองอากาศ

5.1.2. นำเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำมัน อย่าให้เทอร์โมมิเตอร์สัมผัสกับภาชนะและให้อยู่กึ่งกลางถ้วย

5.1.3. ให้ความร้อนกับน้ำมันให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 14 °C ต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันเข้าใกล้จุดวาบไฟที่คาดไว้ ให้ลดความร้อนลงเหลือ 2 °C ต่อนาที

5.1.4. จุดเปลวไฟทดสอบ



5.1.5. นำเปลวไฟทดสอบลากผ่านผิวหน้าของน้ำมันจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบอีกด้านหนึ่งให้ลากผ่านเป็นรูปกากบาท

5.1.6. เมื่อเกิดเปลวไฟขึ้น บันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้

5.1.7. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน  $5^{\circ}\text{C}$

## 5.2. Pensky-Martens Closed Tester (ASTM D93 Standard Test Method for Flash Point by Pensky-Martens Closed Tester)

5.2.1. ใส่น้ำมันตัวอย่างลงในถ้วยทองเหลืองให้พอดีกับขีดและอย่าให้มีฟองอากาศ

5.2.2. นำถ้วยทองเหลืองใส่ลงในเครื่องทดสอบ

5.2.3. เปิดเครื่อง ตั้งโปรแกรม ASTM แล้วกด Start

5.2.4. เริ่มจุดไฟทดสอบเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  และเริ่มทดสอบ

5.2.5. ถ้าไฟยังไม่ติดให้ทดสอบทุกๆ  $2^{\circ}\text{C}$  จนกระทั่งเปลวไฟติด

5.2.6. เมื่อเปลวไฟติด บันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้ อุณหภูมิที่อ่านได้คือจุดวาบไฟ

5.2.7. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน  $5^{\circ}\text{C}$

## 6. ค่าความร้อน (ASTM D240 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter)

### 6.1. หาค่า Water Equivalent ของ Bomb Calorimeter

6.1.1. ชั่งน้ำหนัก Benzoic acid ประมาณ 1 กรัม นำไปอัดเม็ด แล้วชั่งน้ำหนักให้ได้ความละเอียด 0.0001 กรัม

6.1.2. ต่อเส้นลวด (Firing Wire) ยาว 6 เซนติเมตร เข้ากับขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) ทั้ง 2 ขั้ว แล้วยึดให้แน่น จากนั้นนำด้าย (Firing cotton) ยาว 12 เซนติเมตร ผูกกับ Firing Wire

6.1.3. เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ลงใน ออกซิเจน บอมบ์ (Oxygen bomb) ด้วยปิเปต

6.1.4. นำ อิิกนิชัน เทอมินอล (Ignition Terminal) วางลงใน บอมบ์ ปิดฝาให้แน่น เติมออกซิเจน อย่างช้าๆ จนได้ความดัน 30 บาร์

6.1.5. เติมน้ำในบัคเกต (Bucket) โดยให้น้ำหนักของน้ำและ bucket รวมกันได้ประมาณ 2.8 กิโลกรัม จากนั้นนำออกซิเจน bomb ใส่ลงใน bucket แล้วนำไปวางในเครื่องให้แกนข้าง bucket ลงล็อกพอดี

6.1.6. ปรับค่าอุณหภูมิของน้ำในแจคเกต (Water jacket) ให้ใกล้เคียง bucket แตกต่างไม่เกิน  $0.5^{\circ}\text{C}$  การปรับทำโดยปรับปุ่ม Balance จากแผงควบคุมด้านข้างเครื่อง

6.1.7. กดปุ่ม Firing plug เพื่อต่อวงจรไฟฟ้าเข้า Electrode socket บน Oxygen Bomb กด Test ทดสอบว่าวงจรเดินครบหรือไม่ ถ้าไฟติดแสดงว่าวงจรไม่ขาด

6.1.8. รอจนอุณหภูมิใน Water bucket คงที่จึงกดจุดระเบิดการเผาไหม้ บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและรอจนกว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ได้ค่าสูงสุด บันทึกอุณหภูมิสุดท้าย

6.1.9. นำ Oxygen Bomb ออกแล้วค่อยๆ ลดความดันจนหมด ล้างภายใน Oxygen Bomb ด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง ใส่สารที่ได้ไว้ในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร

6.1.10. นำสารละลายที่ได้ไป ไตเตรต (Titrate) กับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้ฟีนอล์ฟธาเลิน (Phenolphthalein indicator) เป็นอินดิเคเตอร์ บันทึกปริมาณ NaOH ที่ใช้เป็นมิลลิลิตร

6.1.11. วัด Firing wire ที่ใช้ในการเผาไหม้

$$C\Delta T = Q_{\text{tot}} = mQ_m + q_1 + q_2$$

- โดย C = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเบนโซอิก  
 $\Delta T$  = อุณหภูมิหลังการเผาไหม้ – อุณหภูมิก่อนเผาไหม้ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $Q_m$  = ค่าความร้อนของสารตัวอย่าง  
 (ค่าความร้อนของเบนโซอิก  $\approx 26,434 \pm 3 \text{ KJ / kg}$ )  
 M = มวลของสารตัวอย่างที่ใช้  
 $q_1$  = เทอมของค่าแก้ไขจากหลอดหลังการเผาไหม้ (J)  
 =  $12.6 * \text{ความยาวหลอดที่เผาไหม้ไป}$   
 $q_2$  = เทอมของการแก้ไขจากการเผาไหม้ของซิลเฟอร์และไนโตรเจน

## 6.2. หาค่า Calorific Value ของตัวอย่าง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความร้อนของสารตัวอย่างเหมือนกับการหาค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) เพียงแต่เปลี่ยน Benzoic acid เป็นสารตัวอย่างเท่านั้น

$$Q = (C\Delta T - q_1 - q_2) / m$$

$$C = \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเบนโซอิก}$$

$$\Delta T = \text{อุณหภูมิหลังเผาไหม้} - \text{อุณหภูมิก่อนเผาไหม้} (^\circ\text{C})$$

$$q_1 = \text{เทอมของค่าแก้ไขจากหลอดหลังการเผาไหม้ (J)}$$

$$= 12.6 * \text{ความยาวหลอดที่เผาไหม้ไป}$$

$$q_2 = \text{เทอมของค่าแก้ไขจากการเผาไหม้ของซัลเฟอร์และไนโตรเจน}$$

$$= 5.987 * \text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ (ml)}$$

$$m = \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง}$$

$$Q = \text{ค่าความร้อนของสารตัวอย่าง}$$

## 7. ค่าการกลั่น (Distillation, ASTM D2887 Standard Test Method for Boiling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography)

ค่าการกลั่นหาโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่น (Simulate Distillation Gas Chromatograph, DGC) รุ่น 6890N ประกอบด้วยเครื่องฉีดตัวอย่างอัตโนมัติรุ่น 7683 Series โดยใช้ Capillary column จากบริษัท Analytical Control จำกัด รุ่น Simdis 2887 ขนาด 0.53 มิลลิเมตร ยาว 5 เมตร ซึ่งมี 100% Dimethylpolysiloxane หนา 2.65 ไมโครเมตร เป็นวัสดุภาคหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ -60 – 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ FID (Flame Ionization Detector) เป็นดีเทคเตอร์

## 8. ค่าซีเทน (Cetane, ASTM D976 Standard Test Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels)

หาได้โดยการคำนวณจากสมการดังนี้

$$\begin{aligned} CI = & 45.2 + 0.0892(T_{10}-215) + 0.131(T_{50}-260) + (0.0523(T_{90}-310) \\ & + 0.901B(T_{50}-260) - 0.420B(T_{90}-310) + 0.0049(T_{10}-215)^2 \\ & - 0.0049(T_{90}-310)^2 + 107.0B + 60.0B^2 \end{aligned}$$

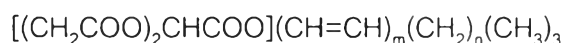
โดย  $B = e^{[-3.5(D-0.85)]} - 1$

$T_{10}$ ,  $T_{50}$ ,  $T_{90}$  คือ ค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 10, 50, 90 ( $^{\circ}\text{C}$ ) ตามลำดับ

D คือ ความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D1298 (กิโลกรัมต่อลิตร ที่  $15^{\circ}\text{C}$ )

### 9. การประมาณสูตรโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันพืช [34]

โดยทั่วไปน้ำมันพืชจะเป็นโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุล และกลีเซอรอล 1 โมเลกุล แต่กรดไขมันในโมเลกุลน้ำมันพืชสามารถเปลี่ยนแปลงชนิดและตำแหน่งบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างอิสระ ทำให้ต้องมีการประมาณสูตรโมเลกุลโดยใช้ปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิด ซึ่งจะเขียนสูตรโมเลกุลใหม่เป็น



โดย ค่า  $m$  จะเป็นตัวบอกความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืชแต่ละชนิด และ ค่า  $n$  จะบอกถึงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันพืช ซึ่งค่าทั้งสองจะได้จากสมการด้านล่าง

$$n = \sum_{i=1}^N n_i x_i \quad , \quad m = \sum_{i=1}^N m_i x_i$$

โดย  $x_i$  คือสัดส่วนโมลของกรดไขมันแต่ละชนิด ทำให้ได้ค่า  $m$  และ ค่า  $n$  ดังตาราง ข1 ซึ่งข้อมูลสำหรับคำนวณสูตรโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันมะพร้าวได้ดังตาราง ข2

ตาราง ข1 ค่า  $m$  และ  $n$  สำหรับน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันมะพร้าว

| Palm Kernel Oil |       | Coconut Oil |       |
|-----------------|-------|-------------|-------|
| $n$             | $m$   | $n$         | $m$   |
| 33.432          | 0.414 | 31.811      | 0.201 |

ตาราง ข2 ข้อมูลสำหรับคำนวณสูตรโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันมะพร้าว

| Fatty Acid Name     | $n_i$ | $m_i$ | PKO    | CCO    |
|---------------------|-------|-------|--------|--------|
|                     |       |       | $x_i$  | $x_i$  |
| C8:0 Caprylic acid  | 18    | 0     | 0.0440 | 0.0848 |
| C10:0 Capric acid   | 24    | 0     | 0.0403 | 0.0663 |
| C12:0 Lauric acid   | 30    | 0     | 0.5560 | 0.5055 |
| C14:0 Myristic acid | 36    | 0     | 0.1574 | 0.1856 |
| C16:0 Palmitic acid | 42    | 0     | 0.0640 | 0.0781 |
| C18:0 Stearic acid  | 48    | 0     | 0.0158 | 0.0178 |
| C18:1 Oleic acid    | 48    | 3     | 0.1070 | 0.0459 |
| C18:2 Linoleic acid | 48    | 6     | 0.0155 | 0.0106 |

## ภาคผนวก ค

## มาตรฐานน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซล

## 1. มาตรฐานน้ำมันดีเซล [35]

ตาราง ค1 มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและดีเซลหมุนช้า

| รายการ | ข้อกำหนด   | อัตราสูงต่ำ                                       | น้ำมันดีเซล     |                 |                 | วิธีทดสอบ <sup>1)</sup>  |
|--------|--|---|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
|        |  |   | หมุนเร็ว        |                 | หมุนช้า         |                          |
|        |  |   | ธรรมดา          | ปี 5            |                 |                          |
| 1      | ความต่างจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 องศาเซลเซียส<br>(Specific Gravity at 15.6/15.6 °C)   | ไม่สูงกว่า<br>และ<br>ไม่ต่ำกว่า                   | 0.81<br>0.87    | 0.81<br>0.87    | -<br>0.920      | ASTM D 1298              |
| 2      | จำนวนซีเทน (Cetane Number) หรือ<br>ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)  | ไม่ต่ำกว่า  | 47              | 47              | 45              | ASTM D 613<br>ASTM D 976 |
| 3      | ความหนืด, เซนติสโตกส์ (Viscosity, cSt)<br>3.1 ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (at 40 °C)<br><br>หรือ<br>3.2 ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (at 50 °C) | ไม่ต่ำกว่า<br>และ<br>ไม่สูงกว่า<br><br>ไม่สูงกว่า | 1.8<br>4.1<br>- | 1.8<br>4.1<br>- | -<br>8.0<br>6.0 | ASTM D 445               |
| 4      | จุดไหลเท, องศาเซลเซียส<br>(Pour Point, °C)   | ไม่สูงกว่า  | 10              | 10              | 16              | ASTM D 97                |
| 5      | กำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Sulphur, %wt.)   | ไม่สูงกว่า  | 0.035           | 0.035           | 1.5             | ASTM D 4294              |
| 6      | การกัดกร่อนแผ่นทองแดง  | ไม่สูงกว่า  | หมายเลข 1       | หมายเลข 2       | -               | ASTM D 130               |
| 7      | เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน<br>กรัม/ลูกบาศก์เมตร<br>(Oxidation Stability, g/m <sup>3</sup> )                                      | ไม่สูงกว่า  | -               | 25              | -               | ASTM D 2274              |
| 8      | กากถ่าน, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Carbon Residue, %wt.)  | ไม่สูงกว่า  | 0.05            | 0.05            | -               | ASTM D 189               |
| 9      | น้ำและตะกอน, ร้อยละโดยปริมาตร<br>(Water and Sediment, %vol.)   | ไม่สูงกว่า  | 0.05            | 0.05            | 0.3             | ASTM D 2709              |

| รายการ | ข้อกำหนด  | อัตราสูงต่ำ                     | น้ำมันดีเซล |                              |            | วิธีทดสอบ <sup>1/</sup>   |
|--------|---|---------------------------------|-------------|------------------------------|------------|---|
|        |   |                                 | หมุนเร็ว    |                              | หมุนช้า    |   |
|        |   |                                 | ธรรมดา      | ปี 5                         |            |   |
| 10     | เถ้า, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Ash, %wt.)   | ไม่สูงกว่า                      | 0.01        | 0.01                         | 0.02       | ASTM D 482  |
| 11     | จุดวาบไฟ, องศาเซลเซียส<br>(Flash Point, °C)   | ไม่ต่ำกว่า                      | 52          | 52                           | 52         | ASTM D 93   |
| 12     | การกลั่น, องศาเซลเซียส<br>(Distillation, °C)<br>อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรใน<br>อัตราร้อยละเก้าสิบ<br>(90% recovered) | ไม่สูงกว่า                      | 357         | 357                          | -          | ASTM D 86   |
| 13     | สี (Colour)<br>13.1 ชนิดของสี (Hue)<br>13.2 เนื้อสี, มิลลิกรัม/ลิตร<br>(Dye, mg/l)<br><br>13.3 ความเข้มของสี (Intensity)        | ไม่ต่ำกว่า                      |             | น้ำเงิน <sup>2/</sup><br>7.0 |            | (1) เปรียบเทียบสี<br>และปริมาณเนื้อสี<br>กับน้ำมันมาตรฐาน<br>ที่เตรียมขึ้นมาใหม่<br>โดยใช้สีละลายในน้ำ<br>มาก่อนการย้อมสีให้<br>มีปริมาณเท่ากับที่<br>กำหนด แล้วนำมา<br>บรรจุแยกกันใน<br>ภาชนะที่ใช้ในการ<br>วัดสีตามวิธีทดสอบ<br>ASTM D 1500 แล้ว<br>ตรวจพินิจด้วย<br>สายตา หรือ<br>(2) ASTM D 2392<br><br>ASTM D 1500 |
|        |   | ไม่ต่ำกว่า<br>และ<br>ไม่สูงกว่า | -<br>4.0    |                              | 4.5<br>7.5 |   |
| 14     | ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน, ร้อยละโดยปริมาตร<br>(Methyl Ester of Fatty Acid, %vol.)                                | ไม่ต่ำกว่า<br>และ<br>ไม่สูงกว่า |             | 4<br>5                       |            | EN 14078  |
| 15     | คุณสมบัติการหล่อลื่น, ไมโครเมตร<br>(Lubricity, $\mu\text{m}$ )  | ไม่สูงกว่า                      | 460         | 460                          | -          | CEC F-06-A-96   |

| รายการ | ข้อกำหนด                          | อัตราสูงต่ำ | น้ำมันดีเซล  |      |         | วิธีทดสอบ <sup>1/</sup> |
|--------|-----------------------------------|-------------|--|------|---------|-------------------------|
|        |                                   |             | หมุนเร็ว   |      | หมุนช้า |                         |
|        |                                   |             | ธรรมดา   | บี 5 |         |                         |
| 16     | สารเติมแต่ง (ถ้ามี)<br>(Additive) |             | ให้เป็นไปตามที่ได้ความความเห็นชอบ<br>จากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน |      |         |                         |

หมายเหตุ 1/ วิธีทดสอบใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแท็บท่ายนี้

2/ ใช้สารประกอบประเภท 1,4 dialkylamino anthraquinone และใช้วิธีทดสอบตาม (1) และ (2)



## 2. มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล [36]

### ตาราง ค2 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

| รายการ | ข้อกำหนด   | อัตราสูงต่ำ                     |                | วิธีทดสอบ <sup>1/</sup> |
|--------|--|---------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1      | เมทิลเอสเทอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Methyl Ester, %wt.)  | ไม่ต่ำกว่า                      | 96.5           | EN 14103                |
| 2      | ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ , กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร<br>(Density at 15 °C , kg/m <sup>3</sup> )                          | ไม่ต่ำกว่า<br>และ<br>ไม่สูงกว่า | 860<br><br>900 | ASTM D 1298             |
| 3      | ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ , เซนติสโตกส์<br>(Viscosity at 40 °C , cSt)  | ไม่ต่ำกว่า<br>และ<br>ไม่สูงกว่า | 3.5<br><br>5   | ASTM D 445              |
| 4      | จุดวาบไฟ, องศาเซลเซียส<br>(Flash Point, °C)  | ไม่ต่ำกว่า                      | 120            | ASTM D 93               |
| 5      | กำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Sulphur, %wt.)   | ไม่สูงกว่า                      | 0.0010         | ASTM D 2622             |
| 6      | กากดำ, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)<br>(Carbon Residue, on 10% distillation residue, %wt.)  | ไม่สูงกว่า                      | 0.30           | ASTM D 4530             |
| 7      | จำนวนซีเทน<br>(Cetane Number)  | ไม่ต่ำกว่า                      | 51             | ASTM D 613              |
| 8      | เถ้าซัลเฟต, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Sulfated Ash, %wt.)   | ไม่สูงกว่า                      | 0.02           | ASTM D 874              |
| 9      | น้ำ, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Water, %wt.)   | ไม่สูงกว่า                      | 0.050          | ASTM D 2709             |
| 10     | สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Total Contaminate, %wt.)   | ไม่สูงกว่า                      | 0.0024         | ASTM D 5452             |
| 11     | การกัดกร่อนแผ่นทองแดง<br>(Copper Strip Corrosion)  | ไม่สูงกว่า                      | หมายเลข 1      | ASTM D 130              |
| 12     | เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน<br>ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส, ชั่วโมง<br>(Oxidation Stability at 110 °C, hours) | ไม่ต่ำกว่า                      | 6              | EN 14112                |
| 13     | ค่าความเป็นกรด, มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม<br>(Acid Value, mg KOH/g)   | ไม่สูงกว่า                      | 0.50           | ASTM D 664              |

| รายการ | ข้อกำหนด  | อัตราสูงสุด   |                | วิธีทดสอบ <sup>1/</sup>                |
|--------|---|---|----------------|--|
| 14     | ค่าไอโอดีน, กรัมไอโอดีน/100กรัม<br>(Iodine Value, g Iodine /100 g)  | ไม่สูงกว่า  | 120            | EN 14111                               |
| 15     | กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Linolenic Acid Methyl Ester, %wt.)  | ไม่สูงกว่า  | 12             | EN 14103                               |
| 16     | เมทานอล, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Methanol, %wt.)   | ไม่สูงกว่า  | 0.20           | EN 14110                               |
| 17     | โมนอกลิเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Monoglyceride, %wt.)   | ไม่สูงกว่า  | 0.80           | EN 14105                               |
| 18     | ไดกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Diglyceride, %wt.)   | ไม่สูงกว่า  | 0.20           | EN 14105                               |
| 19     | ไตรกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Triglyceride, %wt.)   | ไม่สูงกว่า  | 0.20           | EN 14105                               |
| 20     | กลีเซอรินอิสระ, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Free glycerin, %wt.)   | ไม่สูงกว่า  | 0.02           | EN 14105                               |
| 21     | กลีเซอรินทั้งหมด, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Total glycerin, %wt.)  | ไม่สูงกว่า  | 0.25           | EN 14105                               |
| 22     | โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม),<br>มิลลิกรัม/กิโลกรัม<br>(Group I metals (Na+K), mg/kg)<br>โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม),<br>มิลลิกรัม/กิโลกรัม<br>(Group II metals (Ca+Mg), mg/kg) | ไม่สูงกว่า<br><br>ไม่สูงกว่า                                  | 5.0<br><br>5.0 | EN 14108 และ<br>EN 14109<br>prEN 14538 |
| 23     | ฟอสฟอรัส, ร้อยละโดยน้ำหนัก<br>(Phosphorus, %wt.)  | ไม่สูงกว่า  | 0.0010         | prEN 14538                             |
| 24     | สารแต่งเติม (ถ้ามี)<br>(Additive)   | ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี<br>กรมธุรกิจพลังงาน |                |  |

หมายเหตุ 1/ วิธีทดสอบใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแบบทำยนี้

## ภาคผนวก ง

## การคำนวณอัตราการไหลของน้ำมันพืชและเมทานอล

## 1. น้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ตัวอย่างการคำนวณที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เป็นดังนี้

ตารางที่ 1 การคำนวณอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1

| สารตั้งต้น | โมล | มวลโมเลกุล | น้ำหนัก (กรัม) | ความหนาแน่น<br>(กรัม/มิลลิลิตร) | ปริมาตร<br>(มิลลิลิตร) |
|------------|-----|------------|----------------|---------------------------------|------------------------|
| น้ำมันพืช  | 1   | 696.8      | 696.8          | 0.9013                          | 773.11                 |
| เมทานอล    | 9   | 32         | 288            | 0.792                           | 363.64                 |

$$\text{ปริมาตรรวม} = 773.11 + 363.64 = 1136.75 \text{ มิลลิลิตร}$$

ที่ปริมาตรรวม 2000 มิลลิลิตร

$$\text{น้ำมันพืช} = (773.11 / 1136.75) \times 2000 = 1360.21 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เมทานอล} = (363.64 / 1136.75) \times 2000 = 639.79 \text{ มิลลิลิตร}$$

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\text{น้ำหนักน้ำมันพืช} = 1360.21 \times 0.9013 = 1225.96 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก} = (1/100) \times 1225.96 = 12.26 \text{ กรัม}$$

### การคำนวณอัตราการไหล

$$\text{residence time } (\theta) = V / F$$

เมื่อ  $\theta$  = เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (นาที)

$V$  = ปริมาตร (มิลลิลิตร)

$F$  = อัตราการไหล (มิลลิลิตร/นาที)

### อัตราการไหลที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 50 นาที

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืช} = 1360.21 / 50 = 27.20 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอล} = 639.79 / 50 = 12.80 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวม} = 40.00 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืชที่ใช้จริง} = 27.20 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอลที่ใช้จริง} = 12.80 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวมที่ใช้จริง} = 40.00 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้จริง} = 50.00 \text{ นาที}$$

### อัตราการไหลที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืช} = 1360.21 / 60 = 22.67 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอล} = 639.79 / 60 = 10.66 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวม} = 33.33 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืชที่ใช้จริง} = 22.65 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอลที่ใช้จริง} = 10.65 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวมที่ใช้จริง} = 33.30 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้จริง} = 60.06 \text{ นาที}$$

### อัตราการไหลที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 70 นาที

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืช} = 1360.21 / 70 = 19.43 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอล} = 639.79 / 70 = 9.14 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวม} = 28.57 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืชที่ใช้จริง} = 19.45 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอลที่ใช้จริง} = 9.15 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวมที่ใช้จริง} = 28.60 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้จริง} = 69.93 \text{ นาที}$$

## 2. น้ำมันมะพร้าว

ตัวอย่างการคำนวณที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันมะพร้าว 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เป็นดังนี้

ตารางที่ 2 การคำนวณอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันมะพร้าว 9 ต่อ 1

| สารตั้งต้น | โมล | มวลโมเลกุล | น้ำหนัก (กรัม) | ความหนาแน่น<br>(กรัม/มิลลิลิตร) | ปริมาตร<br>(มิลลิลิตร) |
|------------|-----|------------|----------------|---------------------------------|------------------------|
| น้ำมันพืช  | 1   | 668.59     | 668.6          | 0.9027                          | 740.67                 |
| เมทานอล    | 9   | 32         | 288            | 0.792                           | 363.64                 |

$$\text{ปริมาตรรวม} = 740.67 + 363.64 = 1104.31 \text{ มิลลิลิตร}$$

ที่ปริมาตรรวม 2000 มิลลิลิตร

$$\text{น้ำมันพืช} = (740.67 / 1104.31) \times 2000 = 1341.42 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เมทานอล} = (363.64 / 1104.31) \times 2000 = 658.58 \text{ มิลลิลิตร}$$

### ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\text{น้ำหนักน้ำมันพืช} = 1341.42 \times 0.9027 = 1210.90 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก} = (2/100) \times 1210.89 = 24.22 \text{ กรัม}$$

### การคำนวณอัตราการไหล

$$\text{residence time } (\theta) = V / F$$

เมื่อ  $\theta$  = เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (นาที)

$V$  = ปริมาตร (มิลลิลิตร)

$F$  = อัตราการไหล (มิลลิลิตร/นาที)

### อัตราการไหลที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืช} = 1341.42 / 60 = 22.36 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอล} = 658.58 / 60 = 10.98 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวม} = 33.34 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลน้ำมันพืชที่ใช้จริง} = 22.35 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลเมทานอลที่ใช้จริง} = 11.00 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{อัตราการไหลรวมที่ใช้จริง} = 33.35 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้จริง} = 59.97 \text{ นาที}$$



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพงศ์ประวิน พานิชกุล เกิดเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ.2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546