

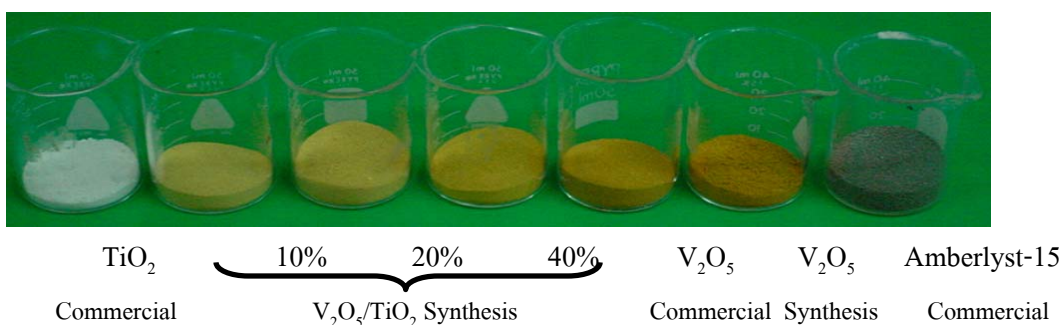
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. ลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ วานาเดียม-ไททาเนียม และแอมเบอร์ลิสต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยวานาเดียม-ไททาเนียมที่ใช้ในการทดลองทำการสังเคราะห์ขึ้น กำหนดเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ  $V_2O_5/TiO_2$  ต่างๆ ดังนี้ 10%, 20%, 40% สำหรับแอมเบอร์ลิสต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเกรดทางการค้า โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ แสดงดังภาพประกอบที่ 8 และทำการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น BET Surface area, XRD, SEM และ FT-IR เพื่อยืนยันความถูกต้องของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์

##### 1.1 ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์



ภาพประกอบที่ 8 แสดงลักษณะภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง

จากภาพประกอบที่ 8 พบว่า ลักษณะภายนอกของ  $TiO_2$  มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด จากการสังเคราะห์  $V_2O_5/TiO_2$  สังเกตได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ  $V_2O_5$  บน  $TiO_2$  ลักษณะสีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้มีสีเหลืองเข้มขึ้น และ  $V_2O_5$  ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะภายนอกที่เหมือนกับ  $V_2O_5$  ทางการค้า

## 1.2 ศึกษาพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ BET Surface area

BET Surface area เป็นการวัดพื้นที่ผิวของอนุภาคในหน่วยของพื้นที่ต่อน้ำหนัก ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) เทคนิคของการวิเคราะห์จะมี 2 วิธี คือ การดูดซับด้วยก๊าซ (Gas adsorption) และการซึมผ่านด้วยก๊าซ (Gas permeability) โดยเทคนิคที่ใช้ทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ คือ การดูดซับด้วยก๊าซ ค่าที่ทดสอบจากเทคนิค BET Surface area แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงค่าพื้นที่ผิว เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง

Catalyst Type	Surface area ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Pore diameter ( $\text{\AA}$ )	Pore volume ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
TiO <sub>2</sub>	9.6	57.24	0.0111
10% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / TiO <sub>2</sub>	10.2	64.57	0.0226
20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / TiO <sub>2</sub>	8.5	66.93	0.0218
40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / TiO <sub>2</sub>	8.3	70.21	0.0363
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> synthesis	3.9	90.25	0.0501
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> commercial	3.8	95.21	0.0534
Amberlyst 15	50 <sup>a</sup>		
TiO <sub>2</sub>	10.5 <sup>b</sup>		
STD 180 ± 5 $\text{m}^2/\text{g}$	176.1 (%Error 2.1)		

ที่มา <sup>a</sup> Weifang, Yu และคณะ (2004)

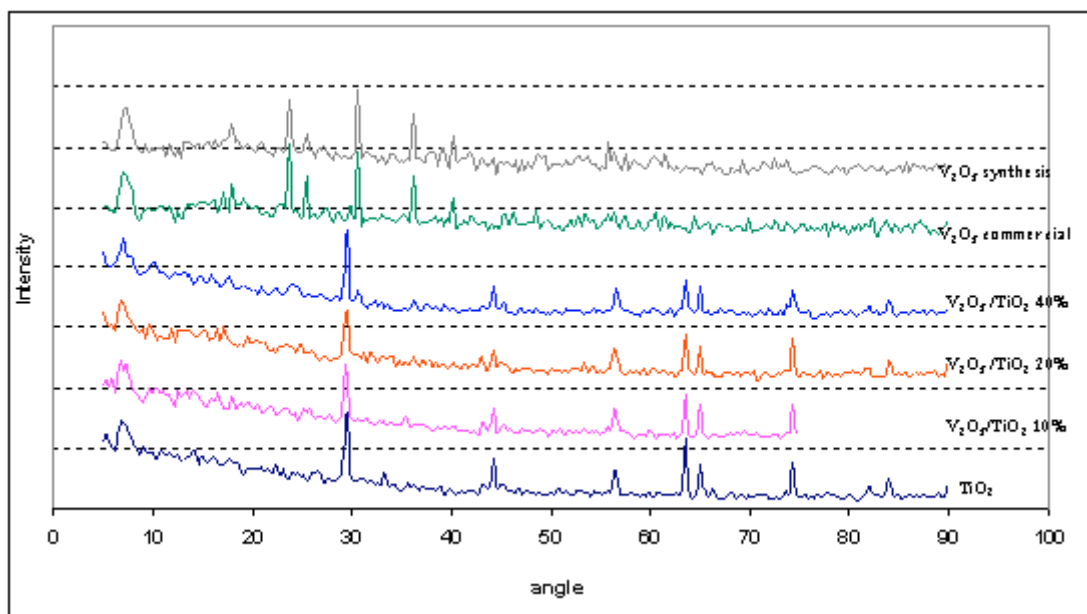
<sup>b</sup> Scalafani, A. และคณะ (1990)

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ BET Surface area พบว่า การเพิ่มปริมาณของ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ทำให้มีแนวโน้มการลดลงของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ L. Nabandian และ A. Lemonidou (2004) ได้ทำการสังเคราะห์ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub> โดยใช้ TiO<sub>2</sub> (Norton) พบว่า การเพิ่มปริมาณของ V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ทำให้มีแนวโน้มการ

ลดลงของพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากปริมาณ  $V_2O_5$  ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการปิดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้แนวโน้มพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ  $V_2O_5$  นอกจากนี้ยังพบว่า  $V_2O_5$  ที่สังเคราะห์ได้มีพื้นที่ผิวที่ใกล้เคียงกับ  $V_2O_5$  ทางการค้า และจากการทดสอบสารมาตรฐานเพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อมูล พบว่า ค่าที่ทดสอบอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

### 1.3 ศึกษาชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction method เป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้ระบุ Crystal identification การยืนยันชนิดของสารโดยใช้ Diffraction pattern แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสารในรูปของ  $2\theta$  และ Intensity โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จำเป็นต้องทำการยืนยันชนิดของสาร เพื่อความถูกต้องตามวัตถุประสงค์ โดยแสดง XRD ของ วานาเดียม ไททาเนียม คะตะลิสต์ที่สังเคราะห์ และ  $V_2O_5$  ทางการค้า ดังภาพประกอบที่ 9



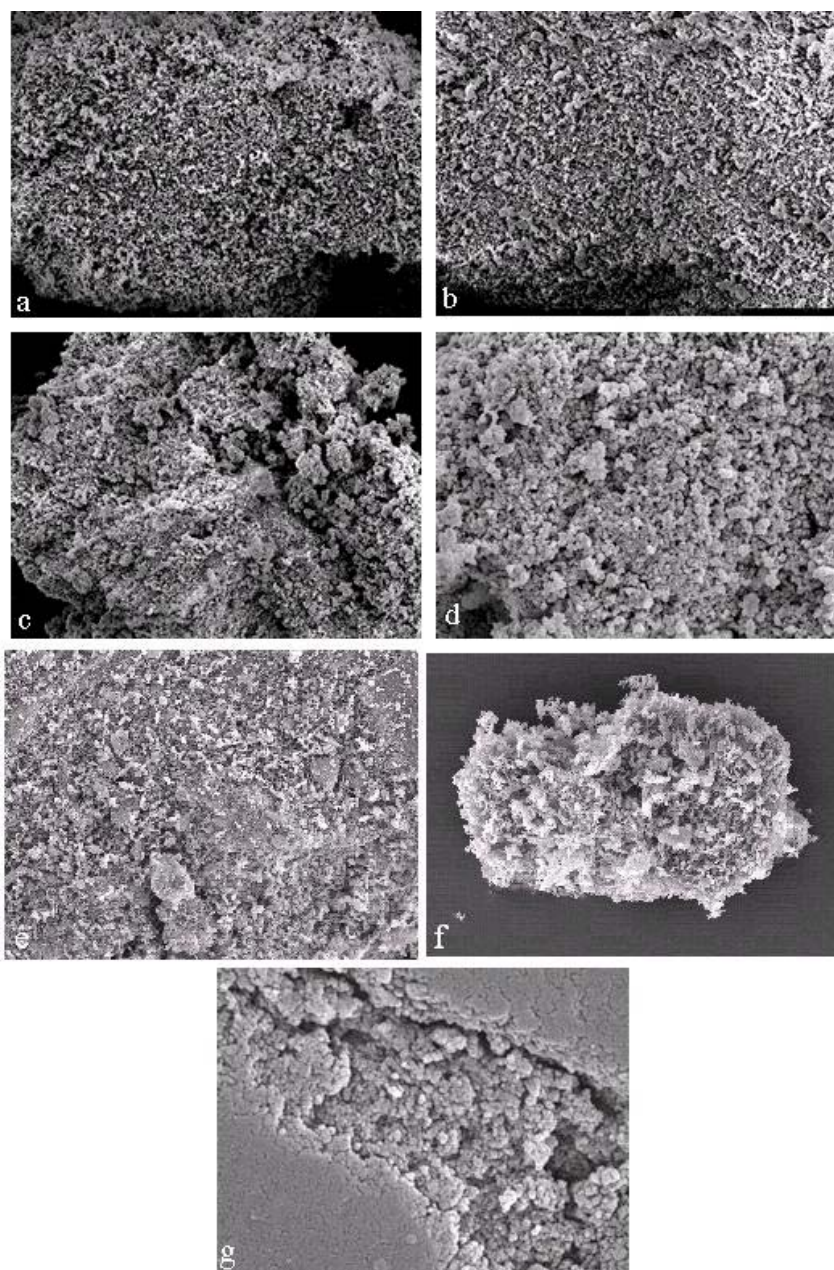
ภาพประกอบที่ 9 แสดง XRD ของวานาเดียม ไททาเนียมกะตะลิสต์

จากภาพประกอบที่ 9 พบว่า Fingerprint ของ  $V_2O_5$  ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะคล้ายกับ Fingerprint ของ  $V_2O_5$  ทางการค้า โดยปรากฏ Fingerprint ที่ (2θ) 23.2 26.5 30.6 และ 37.0 ซึ่ง

สามารถยืนยันได้ว่า  $V_2O_5$  ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นสารชนิดเดียวกับ  $V_2O_5$  ทางการค้า Fingerprint ของ  $TiO_2$  ปรากฏที่ (2 $\theta$ ) 29.5 44.5 56.6 63.2 และ 65.0 เป็น Fingerprint ที่สอดคล้องกับไททาเนียม-ไดออกไซด์ในอัญรูปของอนาเทส (Anatase) ลักษณะ Fingerprint ของ  $V_2O_5/TiO_2$  ที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ค่าต่างๆ มีลักษณะ Fingerprint ปรากฏที่ 2 $\theta$  เดียวกับ  $TiO_2$  แต่ไม่ปรากฏ Fingerprint ที่ 2 $\theta$  ของ  $V_2O_5$  คาดว่ามีสาเหตุจากผิวของ  $TiO_2$  มีลักษณะค่อนข้างเรียบ ส่งผลให้  $V_2O_5$  เกาะติดบน  $TiO_2$  ได้ยาก จึงปรากฏแต่ Fingerprint ของ  $TiO_2$

#### 1.4 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM)

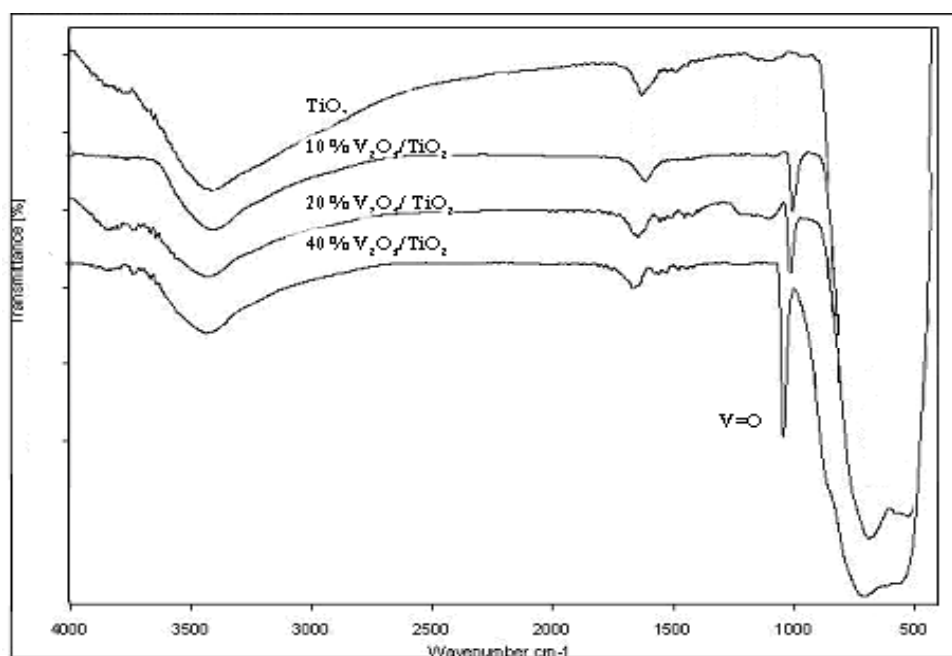
Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการศึกษาลักษณะพื้นผิวของสาร จากภาพประกอบที่ 10 แสดงลักษณะพื้นผิวของ  $TiO_2$  10% $V_2O_5/TiO_2$  20% $V_2O_5/TiO_2$  40% $V_2O_5/TiO_2$   $V_2O_5$  ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นและ  $V_2O_5$  ทางการค้า รวมทั้ง Amberlyst-15 พบว่า การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์  $V_2O_5/TiO_2$  ทำให้มีอนุภาคขนาดเล็กเกาะที่พื้นผิว  $TiO_2$  เพิ่มมากขึ้น



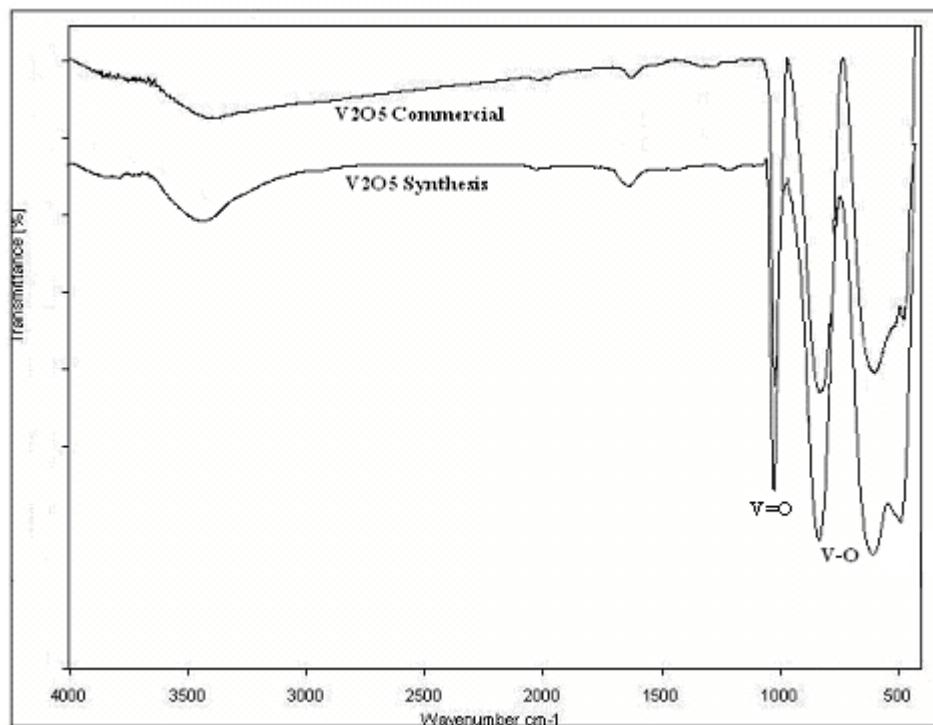
ภาพประกอบที่ 10 แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิค SEM (Scanning Electron Microscope) (a)  $\text{TiO}_2$  (b)  $10\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  (c)  $20\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  (d)  $40\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  (e)  $\text{V}_2\text{O}_5$  commercial (f)  $\text{V}_2\text{O}_5$  synthesis (g) Amberlyst-15 กำลังขยาย 1500 เท่า

### 1.5 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR)

Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy เป็นเทคนิคการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบ โดยทำการศึกษาในช่วงความถี่ 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$  แสดงหมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ ดังภาพประกอบที่ 11 และ 12 และตารางที่ 10 แสดงแถบการยืดและการงอของพันธะต่างๆ



ภาพประกอบที่ 11 แสดงหมู่ฟังก์ชันของ  $\text{TiO}_2$  และ % $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  โดยใช้เทคนิค FT-IR Spectroscopy



ภาพประกอบที่ 12 แสดงหมู่ฟังก์ชันของ  $V_2O_5$  โดยใช้เทคนิค FT-IR Spectroscopy

ตารางที่ 10 แสดงช่วงสัญญาณ FT-IR ของวานาเดียมและไททาเนียคะตะลิสต์

Wave number( $cm^{-1}$ )	Assignment	Function groups /molecule	References
1,048	V=O stretching	$V_2O_5$	Velasco, M.J. และคณะ 1999
801	V-O stretching	$V_2O_5$	Wang, Z.C. และคณะ 2001
624	Ti-O stretching	$TiO_2$ (anatase)	Zhang, R. และคณะ 2001
468	Ti-O stretching	$TiO_2$ (rutile)	Zhang, R. และคณะ 2001
414	Ti-O stretching	$TiO_2$ (anatase and rutile)	Zhang, R. และคณะ 2001

ผลการทดลองจาก FT-IR Spectroscopy พบว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของ  $V_2O_5/TiO_2$  มีผลให้ปรากฏสัญญาณที่เลขคลื่น (Wave number)  $1,048\ cm^{-1}$  เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มของสัญญาณจากการเกิดพันธะระหว่าง V=O ซึ่งสามารถยืนยันการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของ  $V_2O_5/TiO_2$  ที่ได้จาก การสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิบัติ

จากการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ สามารถยืนยันการเพิ่มขึ้นของ เปอร์เซนต์  $V_2O_5/TiO_2$  ได้จากลักษณะภายนอก คือ สีที่เข้มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มของเปอร์เซนต์  $V_2O_5/TiO_2$  และสามารถยืนยันได้จากการทดสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยเฉพาะ FT-IR โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะถูกใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เพื่อช่วยในการผลิตเมทิล เอสเตอร์แบบ 2 ขั้นตอนต่อไป

## 2. การผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ

### 2.1 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเตอร์

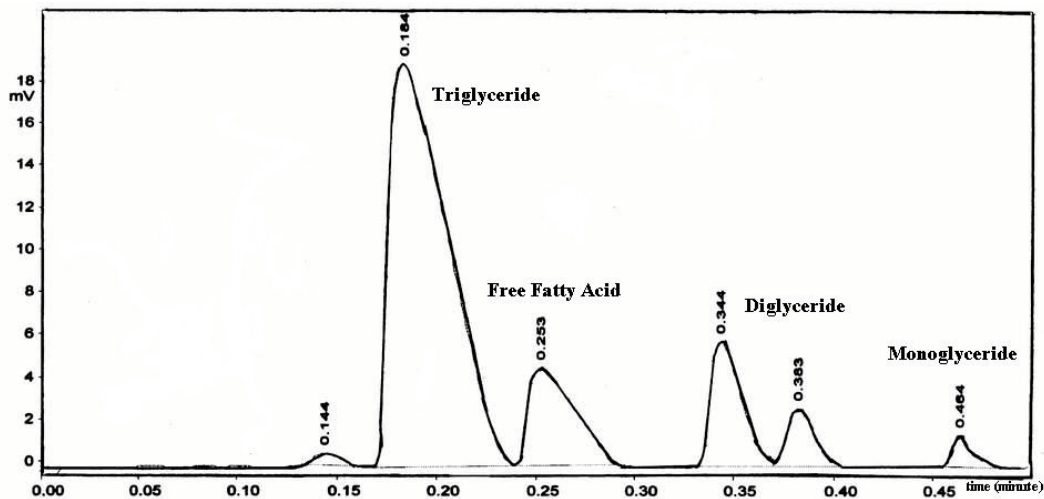
น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลอง นำมาจากโครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็กตามพระราชดำริ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยลักษณะภายนอก มีสีส้มและมีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังภาพประกอบที่ 13



ภาพประกอบที่ 13 แสดงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบ

ศึกษาองค์ประกอบน้ำมันปาล์มดิบด้วยเทคนิค TLC แสดงดังภาพประกอบที่ 14 จากการทดสอบโดยใช้เทคนิค TLC พบว่า น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบของ ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ 68.6 ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละ 15.4 โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 1.8 และกรดไขมันอิสระ ร้อยละ 13.3 โดยน้ำหนัก





ภาพประกอบที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันปาล์มดิบด้วย TLC

จากการศึกษาองค์ประกอบน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคนิค GC-MS พบว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์มดิบ คือ กรดปาล์มิติก ร้อยละ 46.5 และ กรดโอเลอิก ร้อยละ 40.0 และทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบกับรายงานวิจัยต่างๆ พบว่า องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบตามที่ศึกษาสอดคล้องกับรายงานวิจัยหลายฉบับ เช่น งานวิจัยของ Choo Yuen May และคณะ (2005) พบว่ามี กรดปาล์มิติก และ กรดโอเลอิก เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์มดิบ คือ ร้อยละ 44.3 และ 39.1 ตามลำดับ และกรดไขมันชนิดอื่นที่วิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับกรดไขมันที่ได้จากรายงานวิจัย โดยแสดงผลการวิเคราะห์ องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบด้วย GC/MS กับรายงานวิจัยต่างๆ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบน้ำมันปาล์มดิบด้วย GC/MS กับรายงานวิจัยต่างๆ

Fatty acid	Structure	Fatty acid composition (%)			
		This work	CPO (a)	CPO (b)	CPO (c)
<b>Saturated fatty acid</b>					
lauric acid	(12 : 0)	na	0.3	0.2	0.3
Myristic acid	(14 : 0)	0.9	0.8	1.1	1.1
Palmitic acid	(16 : 0)	46.5	44.3	42.8	43.5
Stearic acid	(18 : 0)	2.4	5.0	3.8	4.3
Arachidic acid	(20 : 0)	na	na	0.3	0.2
Total		49.8	50.4	48.2	49.4
<b>Unsaturated fatty acid</b>					
Palmitoleic acid	(16 : 1)	na	0.2	0.1	0.2
Oleic acid	(18 : 1)	40.0	39.1	41.1	39.8
Linoleic acid	(18 : 2)	7.8	10.1	10.3	10.2
Linolenic acid	(18 : 3)	na	0.1	0.3	0.3
Total		47.8	49.5	51.8	50.5
Others		2.4	0.1	0	0.1

na = not available

ที่มา (a) Choo Yuen May และคณะ (2005)

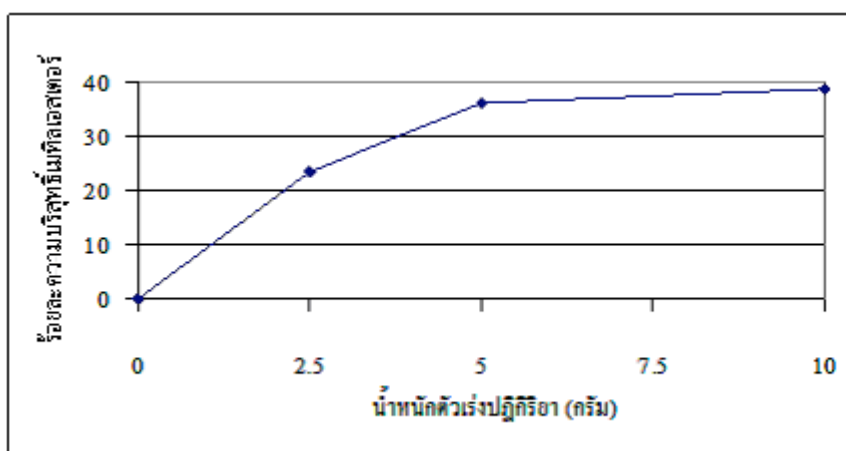
(b) Wing-Keong Ng และคณะ (2003)

(c) Ravigadevi Sambanthamurthi และคณะ (2000)

2.2 การศึกษาปัจจัยที่มีต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันด้วยวานาเดียม - ไททานเนียมอะซีเตต และแอมเบอร์ลิสต์ 15

2.2.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง

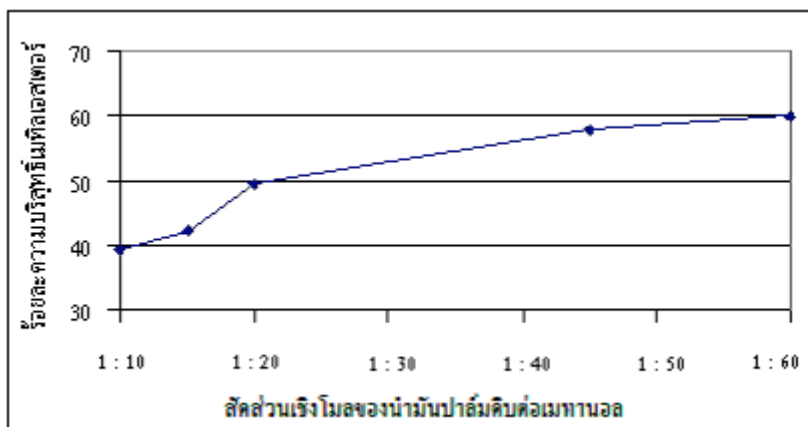
การทดลองเบื้องต้นเพื่อออกแบบการทดลอง สนใจในส่วนของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาและสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล เนื่องจากมีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูง โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม เมทานอล 12.5 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และใช้ Sulfonated  $\text{TiO}_2$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังภาพประกอบที่ 15



ภาพประกอบที่ 15 แสดงผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

จากภาพประกอบที่ 15 พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 5 กรัม มีผลต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เพียงเล็กน้อย

การทดลองเบื้องต้นเพื่อออกแบบการทดลองโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาผลของสัดส่วนเชิงโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังภาพประกอบที่ 16



ภาพประกอบที่ 16 แสดงผลของสัดส่วนเชิงโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

จากภาพประกอบที่ 16 พบว่า การเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลมากกว่า 1:45 มีผลทำให้การเพิ่มเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เพียงเล็กน้อย

จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อออกแบบการทดลอง โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซัลโฟเนตโททานเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำปฏิกิริยากับเมทานอล พบว่า สัดส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 10:1 และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล คือ 1:45

### 2.2.2 การศึกษาผลของเวลา อุณหภูมิ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

ผลของเวลา อุณหภูมิ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อกรดไขมันอิสระ

ทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 2 4 6 8 และ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทดลอง คือ 80 100 และ 120 องศาเซลเซียส สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มดิบต่อ เมทา

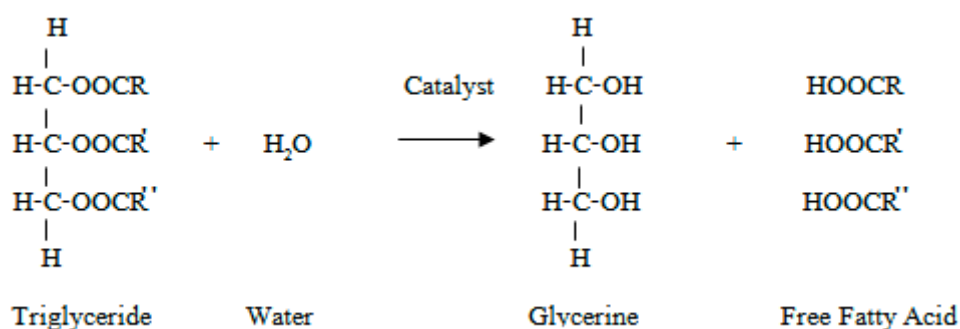
นอล 1:45 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน คือ  $\text{TiO}_2$ ,  $10\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ ,  $20\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ ,  $40\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  และ Amberlyst-15 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีทั้งที่ไม่ทำการซัลโฟเนตและทำการซัลโฟเนตด้วยกรดซัลฟิวริก ดังตารางที่ 12 และ 13 ตามลำดับ ตารางดังกล่าวแสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ หลังจากทำปฏิกิริยาในระยะเวลา 2-4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 100 และ 120 องศาเซลเซียส ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ทำการซัลโฟเนต และทำการซัลโฟเนตตามลำดับ

ตารางที่ 12 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ทำการซัลโฟเนต

ชนิด ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	ร้อยละของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากทำปฏิกิริยา					
	เวลาทำการทดลอง 2 ชั่วโมง			เวลาทำการทดลอง 4 ชั่วโมง		
	80 °C	100 °C	120 °C	80 °C	100 °C	120 °C
$\text{TiO}_2$	12.61	11.52	11.92	14.08	13.2	12.98
$10\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$	14.35	14.79	17.84	16.52	17.47	20.01
$20\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$	13.09	15.62	11.63	11.93	12.09	15.53
$40\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$	11.62	10.46	11.81	13.73	12.66	11.89
$\text{V}_2\text{O}_5$	13.67	11.36	14.03	12.58	13.21	13.14
Amberlyst 15	0	0	0.644	0	0	0

จากตารางที่ 12 ซึ่งแสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ทำการซัลโฟเนต พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา Amberlyst-15 มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันได้ดี ซึ่งสังเกตได้จากค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้ที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ มีค่าเท่ากับ 0 แต่ตัวเร่งปฏิกิริยา  $\text{TiO}_2$ , 10%, 20%, 40%  $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  และ  $\text{V}_2\text{O}_5$  มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันระหว่างกรดไขมันอิสระและเมทานอล เนื่องจากร้อยละของกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้ที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามบางชุดการทดลองมีร้อยละของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากการหว่างการทดลองเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ และน้ำ ซึ่งมีกรดไขมันอิสระเป็นผลิตภัณฑ์ (Adam Karl Khan 2002) แสดงดังภาพประกอบที่ 17 ซึ่งจากงานวิจัยของ

Adam Karl Khan (2002) ได้ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ พบว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด และอุณหภูมิที่สูงส่งผลเพื่อเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในระหว่างการทดลองซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80-120 °C มีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้น ซึ่งทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 17 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส  
ที่มา Adam Karl Khan (2002)

จากตารางที่ 13 ซึ่งแสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนต พบว่า เมื่อทำการซัลโฟเนตตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้เป็นเวลาและอุณหภูมิต่างๆ มีค่าเท่ากับ ศูนย์ เนื่องจากการทำการซัลโฟเนตตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นการเพิ่มความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนต จึงมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้กรดไขมันอิสระลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์

ตารางที่ 13 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากทำปฏิกิริยาคัด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนต

ชนิด ตัวเร่งปฏิกิริยา	ร้อยละของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากทำปฏิกิริยา					
	เวลาทำการทดลอง 2 ชั่วโมง			เวลาทำการทดลอง 4 ชั่วโมง		
	80 °C	100 °C	120 °C	80 °C	100 °C	120 °C
Sulfonated TiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0
Sulfonated 10% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0
Sulfonated 20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	0.27	0	0.49	0	0	0
Sulfonated 40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0.32
Sulfonated V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0	0.24	0	0	0.16
Sulfonated Amberlyst-15	0	0	0	0	0	0

อย่างไรก็ตามการทดลองที่บางการทดลองมีค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนระหว่างการวิเคราะห์ เนื่องจากค่าที่ได้มีค่าน้อยมากและอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นก็เป็นได้

จากการทดลองพบว่า Amberlyst-15 ซึ่งไม่ทำการซัลโฟเนตและทำการซัลโฟเนต และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ที่ทำการซัลโฟเนตสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน โดยมีสภาวะการทดลอง คือ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล เท่ากับ 1:45 สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10:1 พบว่า ไม่มีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่หรืออาจมีเหลืออยู่น้อยมากในผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่สภาวะการทดลองเริ่มต้นที่ อุณหภูมิ 80 °C และเวลาทำการทดลอง 2 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถนำข้อมูลที่ได้ประยุกต์ใช้ในการผลิตเมทิล เอสเตอร์แบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเพื่อการลดกรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งจากผลการทดลองกรดไขมันอิสระมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จึงเป็นไปได้ในการที่จะปรับปรุงสภาวะต่างๆ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเมทิล เอสเตอร์ เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เวลาในการทำปฏิกิริยา สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทา

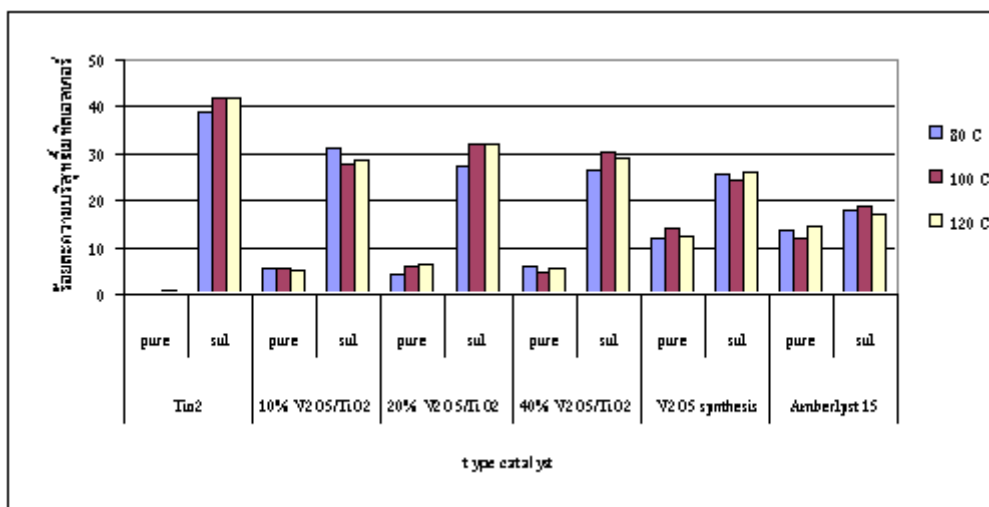
นอล และสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มต่อตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งให้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอ์สูงสุด และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้เข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไป เพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอ์ และ % Yield สูงสุด

### ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเตอ์

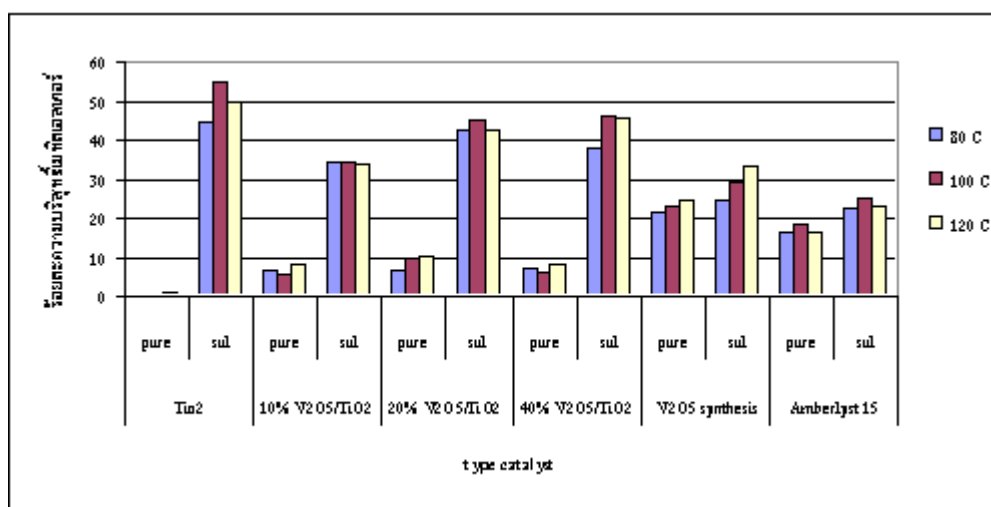
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเตอ์เพิ่มขึ้นทั้งการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนตและไม่ทำการซัลโฟเนต แสดงผลดังภาพประกอบที่ 18–22 โดยอุณหภูมิที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเตอ์สูงสุด คือ 120 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิในบางชุดการทดลองทำให้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเตอ์ลดลง อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองและการทดสอบ เช่น การทดลองที่ 2 ชั่วโมง ใช้ Amberlyst-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเตอ์ที่ลดลง แต่ที่การทดลองที่เวลาอื่น คือ 6 8 10 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเตอ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

จากผลการทดลองอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเตอ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Canakci M. และ Van Gerpen (1999) ซึ่งทำการศึกษการผลิตเมทิลเอสเตอ์จากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันสูงในระดับโรงงานนํารอง โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:6 เวลาที่ใช้ในการทดลอง 48 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่างๆกัน คือ 25 45 และ 60 องศาเซลเซียส โดยเลือกใช้อุณหภูมิสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากต่ำกว่าจุดเดือดของ เมทานอล (65 องศาเซลเซียส) พบว่า การเกิดเมทิลเอสเตอ์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยการเกิดเมทิลเอสเตอ์ เท่ากับ 8.3% 57.2% และ 87.8% ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 25 45 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Crabbe, E. และคณะ (2001) ซึ่งทำการศึกษการผลิตเมทิลเอสเตอ์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 70 80 และ 95 องศาเซลเซียส สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 40:1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 95 องศาเซลเซียส มีร้อยละผลได้เมทิลเอสเตอ์สูงสุด 99.7 เวลาในการทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง

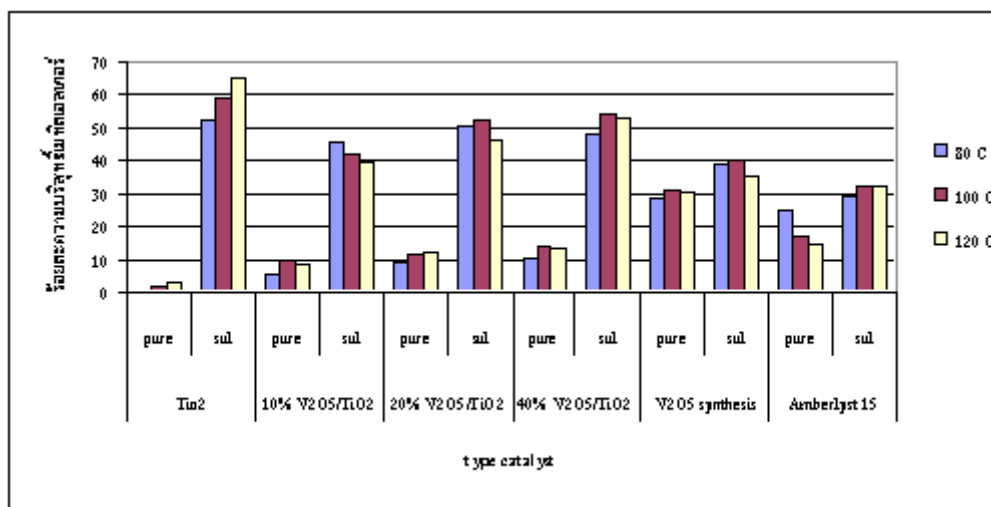




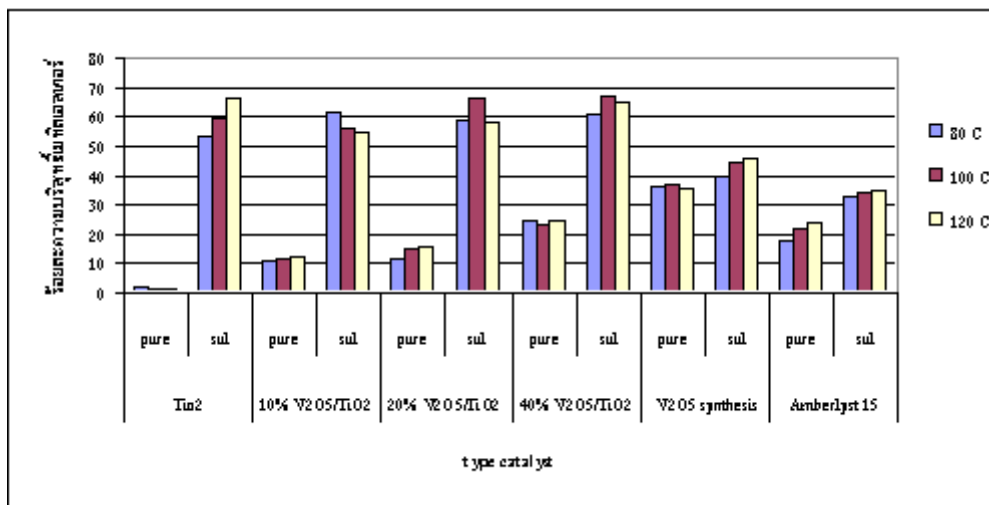
ภาพประกอบที่ 18 ผลของอุณหภูมิและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ที่เวลา 2 ชั่วโมง



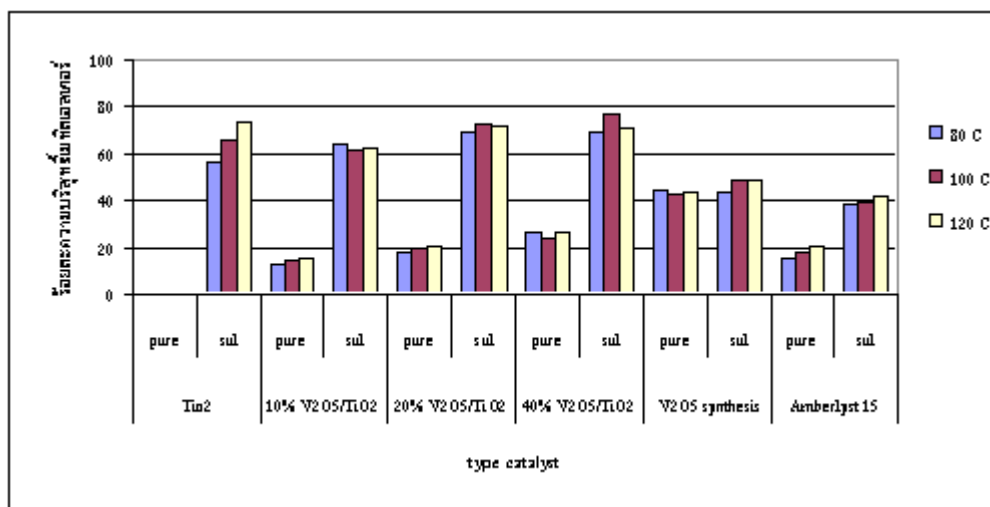
ภาพประกอบที่ 19 ผลของอุณหภูมิและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ที่เวลา 4 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ 20 ผลของอุณหภูมิและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ที่เวลา 6 ชั่วโมง



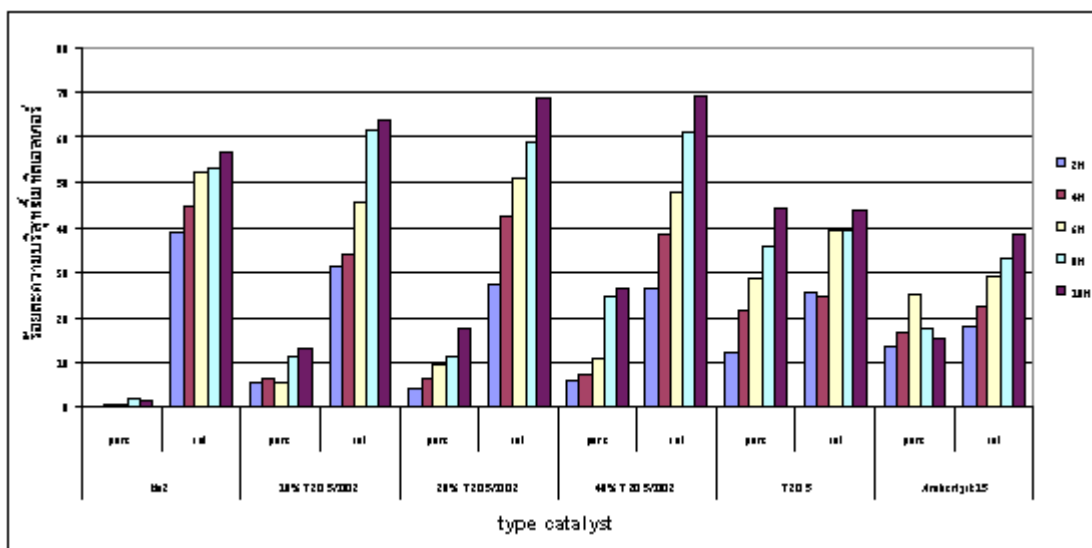
ภาพประกอบที่ 21 ผลของอุณหภูมิและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ที่เวลา 8 ชั่วโมง



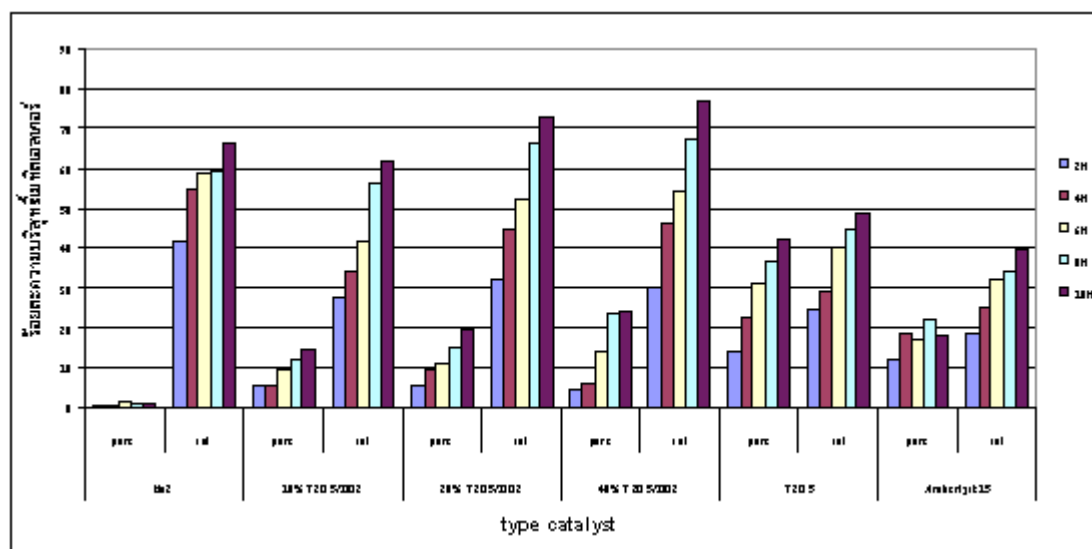
ภาพประกอบที่ 22 ผลของอุณหภูมิและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ที่เวลา 10 ชั่วโมง

#### ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

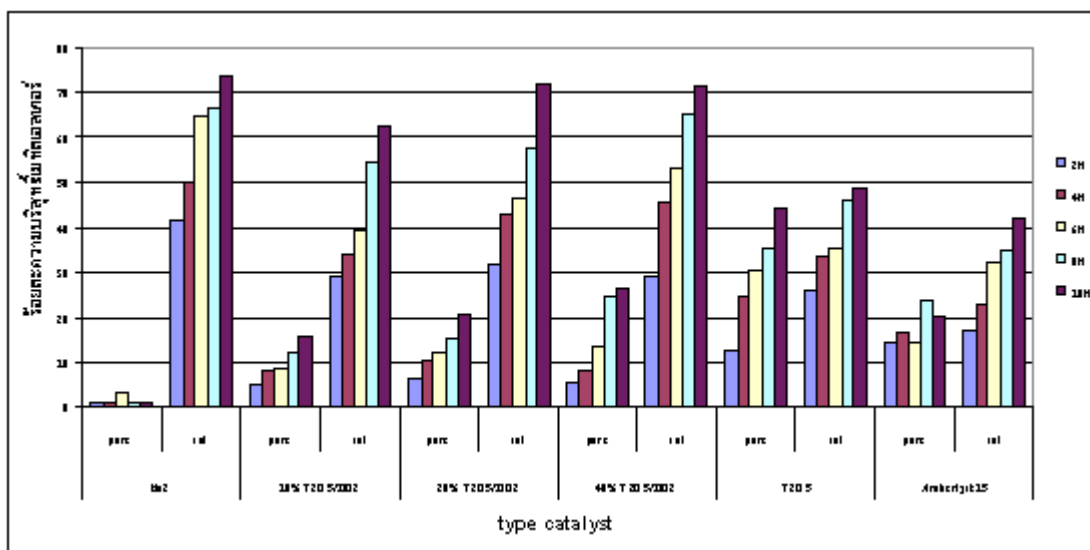
จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา พบว่า การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทั้งการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำการซัลโฟเนต และไม่ซัลโฟเนต ทำให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบที่ 23-25 โดยเวลาที่ใช้เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือ 10 ชั่วโมง และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ 20% 40% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub> ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน โดยผลการทดลองสอดคล้องกับการงานวิจัยของ S. Zullaikah และคณะ (2005) ซึ่งใช้น้ำมันจากเมล็ดข้าวและมีกรดไขมันอิสระสูงตั้งแต่ 6.6% ถึง 75.8% โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาการทดลอง อย่างไรก็ตาม S. Zullaikah พบว่า เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามากกว่า 12 ชั่วโมง ทำให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มคงที่



ภาพประกอบที่ 23 ผลของเวลาและชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์  
ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



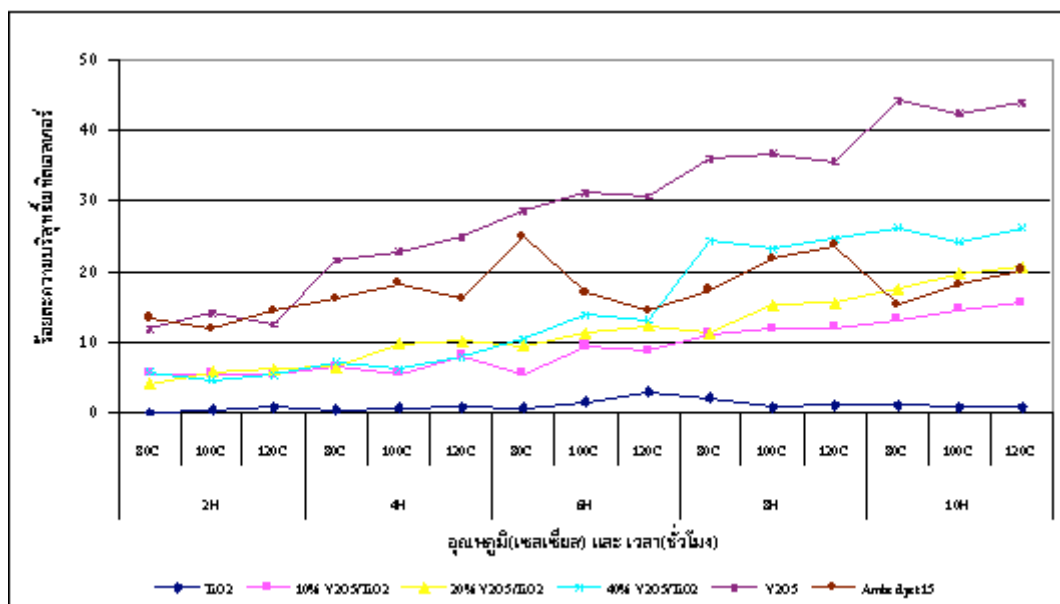
ภาพประกอบที่ 24 ผลของเวลาและชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์  
ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



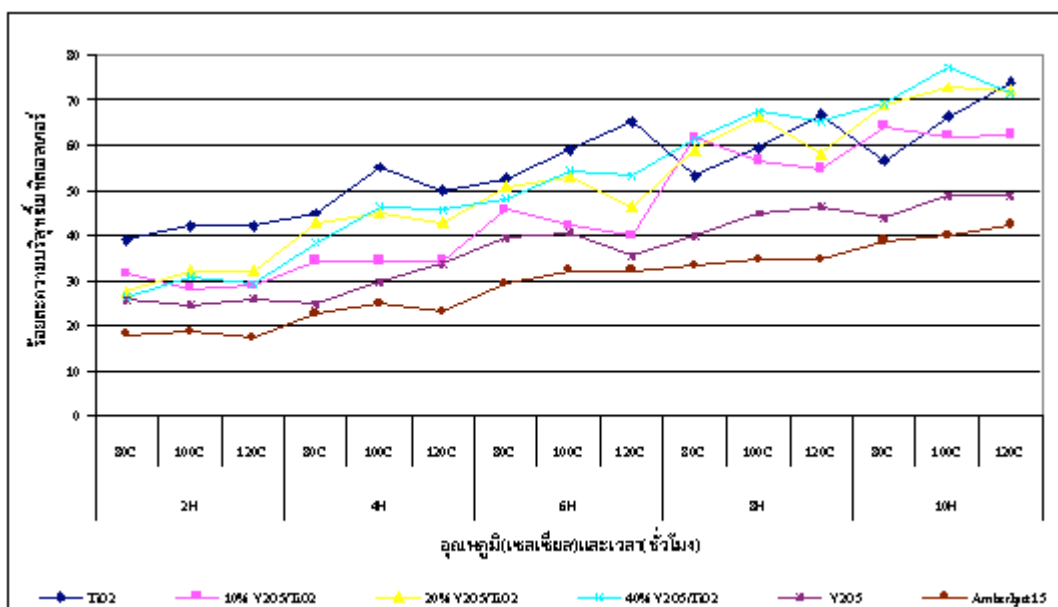
ภาพประกอบที่ 25 ผลของเวลาและชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์  
ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

#### ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

จากภาพประกอบที่ 26 และ 27 แสดงผลของอุณหภูมิ เวลา และชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนต และไม่ทำการซัลโฟเนตต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ พบว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์  $V_2O_5$  ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ทำการซัลโฟเนต ส่งผลให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเป็นกรดของ  $V_2O_5$  มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับกรดซัลฟิวริก โดยความเป็นกรดของ  $SO_4^{2-} > WO_3 > MoO_3 > V_2O_5$  (M. Niwa, 2003) แต่การเพิ่มเปอร์เซ็นต์  $V_2O_5$  ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนตมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ และการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนต มีผลให้เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์ที่สูงกว่าการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ทำการซัลโฟเนต ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการซัลโฟเนตตัวเร่งปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนตและไม่ได้ทำการซัลโฟเนต พบว่า การทำการซัลโฟเนตจะเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยา



ภาพประกอบที่ 26 ผลของอุณหภูมิ เวลา และชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ทำการซัลโฟเนตต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์



ภาพประกอบที่ 27 ผลของอุณหภูมิ เวลา และชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการซัลโฟเนตต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

จากภาพประกอบที่ 26 พบว่าแนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อเวลาทำการทดลองมากกว่า 8 ชั่วโมง แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์ค่อนข้างคงที่ โดยความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์เมื่อเวลาทำการทดลองมากกว่า 8 ชั่วโมง มีความแตกต่างน้อย และแนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุภามิต (2547) ซึ่งได้ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดขางพารา โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 98 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เมทิลเอสเทอร์เข้าสู่สภาวะสมดุล โดยให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 92.41 อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามากกว่า 98 องศาเซลเซียส พบว่า ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มคงที่ มีค่าไม่ต่างจากการทดลองซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 98 องศาเซลเซียส เนื่องจากปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล

จากผลการทดลอง (ภาคผนวก ก) พบว่า เมื่อใช้  $V_2O_5/TiO_2$  หรือ  $TiO_2$  ที่ไม่ได้ซัลโฟเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณไตรกลีเซอไรด์มีแนวโน้มลดลง เมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาทำการทดลอง แต่การใช้ Amberlyst-15 เป็นคะตะลิสต์ ปริมาณ ไตรกลีเซอไรด์มีแนวโน้มคงที่ แต่กรดไขมันอิสระมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก Amberlyst-15 มีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นเมทิลเอสเทอร์ และการเพิ่มเวลาทำการทดลอง สำหรับการทดลองซึ่งใช้  $TiO_2$  และ  $V_2O_5/TiO_2$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นทุกอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม การทดลองที่ใช้ Amberlyst-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์ค่อนข้างคงที่ เมื่อทำการ ซัลโฟเนตตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดซัลฟิวริก พบว่า เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Zhiqiang Xu (2003) ซึ่งได้ทำการซัลโฟเนตคาร์บอนเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน พบว่า การทำการซัลโฟเนตจะเพิ่มความว่องไวของการเกิดปฏิกิริยาและเพิ่มอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ด้วย

อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นเมทิลเอสเทอร์ได้ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จำเป็นต้องผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งวิธีการนี้เป็นการผลิต เมทิลเอสเทอร์แบบ 2 ขั้นตอน โดยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน มีวัตถุประสงค์เพื่อลดกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และนำผลผลิตที่ได้ผ่านเข้าสู่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิ-เคชัน เพื่อผลิตเมทิลเอสเทอร์ต่อไป

สำหรับขั้นตอนปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ได้เลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมจากตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด คือ  $TiO_2$ ,  $20\%V_2O_5/TiO_2$  และ  $40\% V_2O_5/TiO_2$  เวลาที่ทำการทดลอง 8 ชั่วโมง และ

อุณหภูมิทำการทดลอง 100 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองในขั้นตอนปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไป

### 2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสถานะที่เหมาะสมของซัลโฟเนต วานาเดีย ไททาเนีย และแอมเบอร์ลิสต์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

Ma และ Hanna (1999) ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชสกัดส่วนเชิงโมเลททานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่า เกิดร้อยละเมทิลเอสเทอร์ 93–98 และระยะเวลา 1–5 นาที ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วมากและลดลง โดยมีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ 15 นาที

ดังนั้นปัจจัยที่เลือกทำการศึกษา คือ เวลาที่ทำปฏิกิริยา ทำการศึกษาที่เวลา 10 15 และ 20 นาที ชนิดของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลทำการศึกษาในช่วง 1:2 ถึง 1:6 โดยทำการศึกษปัจจัยดังกล่าว เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันมีองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ ดังนั้นจึงมีเป็นไปได้ในการลดปัจจัยทางด้านเวลา และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอล เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ โดยอุณหภูมิและร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันอ้างอิงจากข้อมูลของ Ma และ Hanna (1999) คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 2.3.1 การศึกษาปัจจัยที่มีต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสถานะที่เหมาะสมของซัลโฟเนต วานาเดีย ไททาเนียและอะลูมินา ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม RSM (Respond Surface Method) และกำหนดการทดลองเป็น 3 Factors คือ น้ำมันซึ่งได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ เวลาที่ทำปฏิกิริยา และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอล ผลการทดลองดังตารางที่ 14 และภาพประกอบที่ 28–



ตารางที่ 14 แสดงชุดการทดลองการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสภาวะที่เหมาะสมของซัลโฟเนต วา  
นาเดียไททาเนียคะตะลิสต์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โปรแกรม RSM

การทดลอง ที่	น้ำมันซึ่งได้จากการ ซัลโฟเนตตัวเร่ง ปฏิกิริยาชนิดต่างๆ	เวลา (นาที)	สัดส่วนเชิงโมล Palm oil : MeOH	ร้อยละความ บริสุทธิ์เมทิล เอสเทอร์	% Yield
1	TiO <sub>2</sub>	10	1 : 4	96.9	84.2
2	TiO <sub>2</sub>	15	1 : 2	61.6	78.4
3	TiO <sub>2</sub>	15	1 : 6	100.0	89.2
4	TiO <sub>2</sub>	20	1 : 4	97.0	86.1
5	20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	10	1 : 2	59.9	77.7
6	20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	10	1 : 6	96.2	83.5
7	20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	15	1 : 4	86.9	80.1
8	20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	15	1 : 4	86.3	84.4
9	20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	15	1 : 4	82.5	81.3
10	20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	20	1 : 2	59.7	85.6
11	20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	20	1 : 6	100.0	85.9
12	40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	10	1 : 4	82.4	81.0
13	40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	15	1 : 2	61.7	78.9
14	40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	15	1 : 6	100.0	90.8
15	40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	20	1 : 4	91.3	84.8

$$\% \text{ Yield} = \frac{(AC + BD)}{(E + F) \times 100} \quad \text{สมการที่ 4}$$

A = น้ำหนักผลผลิตที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน, (กรัม)

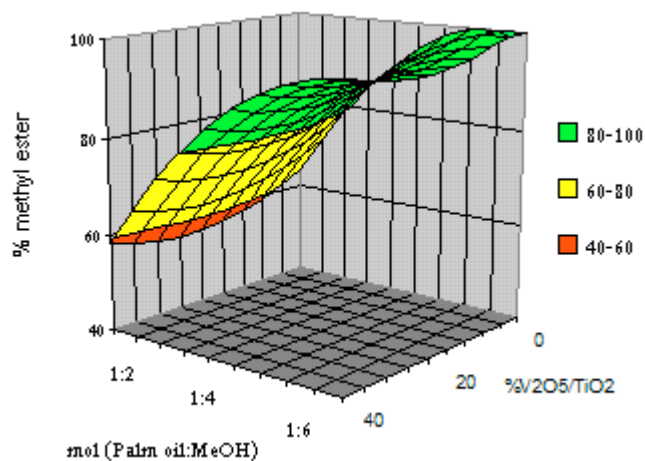
B = น้ำหนักผลผลิตที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน, (กรัม)

C = เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ในชั้นตอนเอสเตอริฟิเคชัน

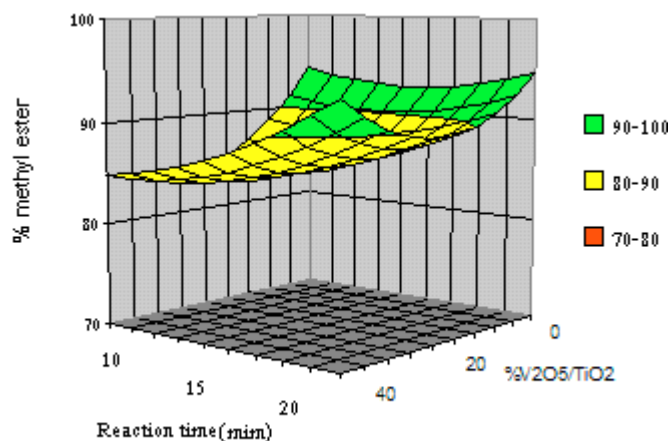
D = เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ในชั้นตอนทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน,

E = น้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบก่อนกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน, (กรัม)

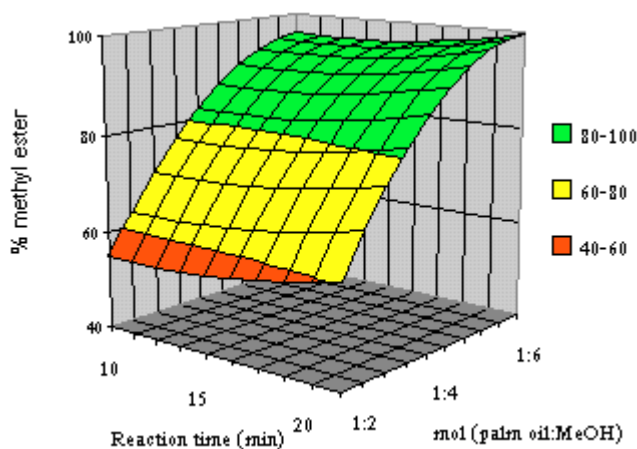
F = น้ำหนักน้ำมันจากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันก่อนกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน,  
(กรัม)



ภาพประกอบที่ 28 ผลของสัดส่วนเชิง โมลเมทานอลต่อน้ำมัน และการซัลโฟเนตตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดต่างๆที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์จากระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน



ภาพประกอบที่ 29 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา และการซัลโฟเนตตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์จากระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน



ภาพประกอบที่ 30 ผลของสัดส่วนเชิง โมลน้ำมันต่อเมทานอล และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์จากระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

จากการศึกษาผลของสัดส่วนเชิง โมลของน้ำมันต่อเมทานอล เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และชนิดของซัลโฟเนตตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เตรียมน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ผลจากการทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆที่ระบุไว้ในตารางที่ 14 ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 28-30 พบว่า การเพิ่มสัดส่วนเชิง โมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล มีผลทำให้การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มคงที่เมื่อสัดส่วนเชิง โมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการ เอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล มีค่าเท่ากับ 1:6 และที่สัดส่วนนี้ให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด สำหรับเวลาที่ใช้ในการทดลองมีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์เล็กน้อย โดยเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แนวโน้มเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการเพิ่มขึ้นของ  $\%V_2O_5/TiO_2$  มีผลต่อการเพิ่มเมทิลเอสเทอร์เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนเชิง โมลของน้ำมันต่อเมทานอล

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยน้ำมันผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วย เปอร์เซนต์โซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ สัดส่วนเชิง โมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล เท่ากับ 1:6 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 15 นาที เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเวลามีผลเพียงเล็กน้อยกับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ โดยเวลา 15 และ 20 นาที เปอร์เซนต์เมทิลเอสเทอร์ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการทดลอง ควรเลือกเวลา 15 นาที เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม

ค่าสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล น้ำมันที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ และเวลา มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเตอ์จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งสามารถเขียนร้อยละเมทิลเอสเตอ์ให้อยู่ในรูปของสมการ ดังนี้

$$\% \text{ methyl ester} = 55.21 + 0.274t - 148.11c + 29.44m + 0.06895t^2 - 2.117tc - 0.04525tm + 120.59c^2 - 0.131cm - 2.34m^2$$

$$R^2 = 0.983$$

t = เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)

c = เปอร์เซ็นต์ของ  $\text{TiO}_2$  ( $\text{TiO}_2 = 1$ ,  $20\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2 = 0.8$  และ  $40\% \text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2 = 0.6$ )

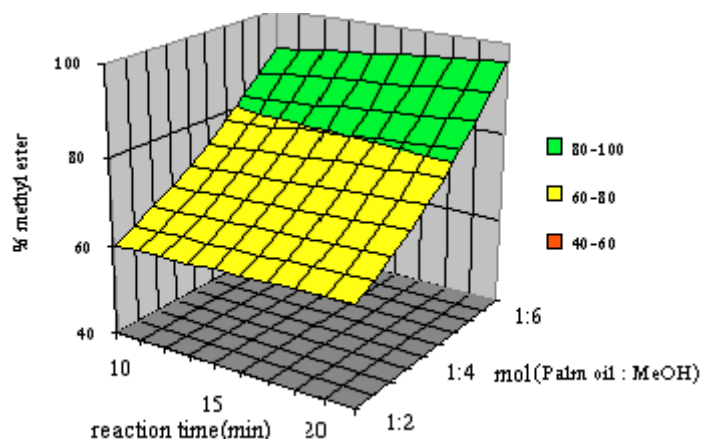
m = สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล

### 2.3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเมทิลเอสเตอ์จากสภาวะที่เหมาะสมของซัลโฟเนตแอมเบอร์ลิสต์ 15 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม RSM (Respond Surface Method) และกำหนดการทดลองเป็น 2 Factors คือ เวลาที่ปฏิกิริยา และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล แสดงดังตารางที่ 15 และภาพประกอบที่ 31

ตารางที่ 15 แสดงชุดการทดลองการผลิตเมทิลเอสเตอ์จากสภาวะที่เหมาะสมของ Sulfonated Amberlyst-15 ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โปรแกรม RSM

การทดลอง ที่	เวลา (นาที)	สัดส่วนเชิงโมล Palm oil : MeOH	ร้อยละความบริสุทธิ์ เมทิลเอสเตอ์	% Yield
1	10	1 : 2	60.3	77.5
2	10	1 : 6	92.3	87.6
3	15	1 : 4	67.6	85.4
4	15	1 : 4	72.8	84.3
5	20	1 : 2	67.3	79.3
6	20	1 : 6	97.8	91.3



ภาพประกอบที่ 31 ผลของสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล และเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

จากตารางที่ 15 และภาพประกอบที่ 31 พบว่า สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อการเกิด เมทิลเอสเทอร์จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอลทำให้อัตราของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล เท่ากับ 1:6 ทำให้ อัตราของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด และการเพิ่มขึ้นของเวลา มีผลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราของเมทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยเวลา 15 และ 20 นาที มีผลต่ออัตราของเมทิลเอสเทอร์ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการทดลอง ควรเลือกเวลา 15 นาทีเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม และสามารถเขียนอัตราของเมทิลเอสเทอร์ให้อยู่ในรูปของสมการ ดังนี้

$$\% \text{ methyl ester} = 55.35 + 0.08821tm + 0.842m^2$$

$$R^2 = 0.935$$

t = เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)

m = สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันต่อเมทานอล

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันด้วย Sulfonated  $V_2O_5/TiO_2$  และ Amberlyst-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันซึ่งผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน เท่ากับ 6:1 เวลาที่ทำปฏิกิริยา คือ 15 นาที และผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ตามมาตรฐาน ASTM 6751-02 ต่อไป

### 2.3 การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งผลิตจากกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบ 2 ขั้นตอน โดยทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์และน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 16 และอธิบายได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 205 ถึง 220 องศาเซลเซียส เป็นไปตามมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์ แต่มากกว่าค่ามาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า จึงทำให้เมทิลเอสเทอร์ที่ได้สามารถขนถ่ายและเก็บได้อย่างปลอดภัยกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากการมีจุดวาบไฟที่สูงจึงมีความเสี่ยงต่อการระเบิดหรือการติดไฟน้อยกว่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า ซึ่งมีจุดวาบไฟ เท่ากับ 52 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์จุดขุ่นของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 องศาเซลเซียส อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์ และน้ำมันดีเซลไม่ได้กำหนด ส่วนจุดไหลเทมีค่า -2 ถึง 0 องศาเซลเซียส เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า ( $16^{\circ}\text{C max}$ ) และหมุนเร็ว ( $10^{\circ}\text{C max}$ ) ซึ่งหากนำไปใช้กับเครื่องยนต์ ดีเซลจะไม่เกิดการแข็งตัวได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ( $30^{\circ}\text{C}$ ) ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0.908 ถึง 0.922 ตามมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์ไม่ได้กำหนด แต่มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซล

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ( $40^{\circ}\text{C}$ ) ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 5.8 ถึง 6.5 cSt ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้ส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์ (6.0 max) และน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (1.8-4.1 cSt) แต่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า (8.0 max) เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ชนิดรอบต่ำ (300 รอบต่อ

นาที) และชนิดรอบปานกลาง (300-1000 รอบต่อนาที) (กนกอร รัตนากิจ และ จินดา เจริญพรพานิชย์, 2545)

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้กับ มาตรฐานเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของเมทิลเอสเทอร์	ค่าความหนืด (40°C) cSt	จุดจุดขึ้น (°C)	จุดไหลเท (°C)	จุดวาบไฟ (°C)	ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 30 °C	อุณหภูมิการกลั่นเทียบเท่าที่ความดันบรรยากาศกลั่นได้ร้อยละ 95 (°C)
จากซัลโฟเนต						
คะตะลิสต์						
TiO <sub>2</sub>	6.5	1	-1	205	0.921	340
20% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	6.2	1	-1	211	0.915	337
40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	6	2	-1	204	0.918	333
Amberlyst 15	5.8	2	-2	220	0.922	334
มาตรฐานเมทิลเอสเทอร์						
ASTM 6751-02 <sup>a</sup>	1.9-6.0	3 to 12	-15 to 10	min 130	na	182-338
DIN EN 14214	3.5-5.0	na	na	min 120	0.86-0.90	na
มาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว <sup>b</sup>	1.8-4.1	na	max 10	min 52	0.81-0.87	max 357
ดีเซลหมุนช้า <sup>b</sup>	max 8.0	na	max 16	min 52	max 0.92	na

na = not available

ที่มา <sup>a</sup> คณะกรรมาธิการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร (2545)

<sup>b</sup> ศิริพร คำนคร (2544)

อุณหภูมิการกลั่น (เทียบเท่าที่ความดันบรรยากาศกลั่นได้ร้อยละ 90) มีค่า 334 ถึง 340 องศาเซลเซียส เป็นไปตามมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลจะมีค่าต่ำกว่า ซึ่งทำให้เมทิลเอสเทอร์มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล

ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ 95-100 ตามมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์และน้ำมันดีเซลไม่ได้กำหนด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งผ่านกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบ 2 ขั้นตอน ด้วย GC/MS แสดงดังตารางที่ 17 พบว่า เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งใช้ 40%V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub> เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ เมทิลปาล์มิเตต ร้อยละ 48.7 และเมทิลโอเลอิต ร้อยละ 42.3 ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบสอดคล้องกับองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบที่มีองค์ประกอบของกรดปาล์มิติก ร้อยละ 46.5 และกรดโอเลอิก ร้อยละ 40.0

พิจารณาองค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบที่ศึกษาเปรียบเทียบกับชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในเมทิลเอสเทอร์จากรายงานวิจัยต่างๆ แสดงดังตารางที่ 17 พบว่า ชนิดของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบสอดคล้องกับชนิดของเมทิลเอสเทอร์จากรายงานวิจัย เช่น จากงานวิจัยของ Darnoko and Munir Cheryan (2000) กล่าวว่า องค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย เมทิล-ปาล์มิเตต และเมทิลโอเลอิตเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ทดสอบได้

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบเทียบกับ เมทิลเอสเทอร์จากรายงานวิจัยต่างๆ

Type of Methyl ester	Structure	Methyl ester Composition (%)				
		Palm oil (a)	CPO (b)	Sulfonated TiO <sub>2</sub>	Sulfonated 40% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	Sulfonated Amberlyst 15
Methyl laurate	12:0	0.2	0.3	-	-	-
Methyl myristate	14:0	1.1	0.8	-	0.9	1.3
Methyl palmitate	16:0	44.0	44.3	43.4	45.7	44.0
Methyl stearate	18:0	4.5	5.0	5.9	3.8	5.1
Methyl arachidate	20:0	0.4	-	-	-	-
Methyl palmitoleate	16:1	0.1	0.2	-	-	0.3
Methyl oleate	18:1	39.2	39.1	43.6	42.3	44.7
Methyl linoleate	18:2	10.1	10.1	7.1	7.3	6.9
Methyl linolenate	18:3	0.4	0.1	-	-	-

ที่มา a = Darnoko and Munir Cheryan (2000)



b = Choo and Ma (1996)

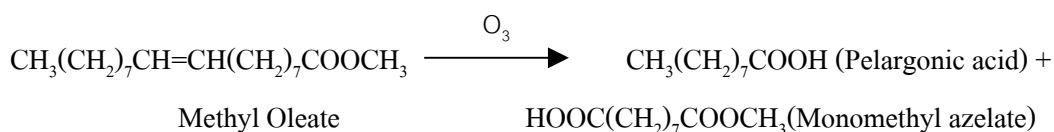
### 3. การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าจากเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาไอโซเนชัน

จากการทดลองนำเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน โดยเลือกเมทิลเอสเทอร์จากสถานะที่เหมาะสมซึ่งใช้ Sulfonated TiO<sub>2</sub> Sulfonated 40%V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub> และ Sulfonated Amberlyst-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน และผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำการเติม Methyl Laurate และให้ก๊าซไอโซนไหลผ่านเป็นเวลา 60 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเนชัน ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยใช้ GC/MS ผลดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ซึ่งทำปฏิกิริยาไอโซเนชัน

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาและผ่านปฏิกิริยาไอโซเนชัน	ร้อยละองค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์ซึ่งผ่านปฏิกิริยาไอโซเนชันด้วย GC/MS				
	Methyl myristate	Monomethyl Azelate	Methyl Palmitate	Methyl Stearate	Pelargonic Acid
Sulfonated TiO <sub>2</sub>	3.4	20.4	56.6	6.4	13.2
Sulfonated 40%V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>	4.0	15.5	61.2	6.8	12.5
Sulfonated Amberlyst-15	3.9	17.6	59.0	6.5	13.0

จากการทดลองใช้ปฏิกิริยาไอโซเนชันกับเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบพบว่า เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ Monomethyl Azelate และ Pelargonic acid ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไอโซเนชันของ Methyl Oleate ดังสมการ



ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการวิจัยของ K. Gunvachai (1996) ซึ่งใช้ปฏิกิริยาไอโซเนชันกับเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน โดยองค์ประกอบหลักของน้ำมันเมล็ดทานตะวัน คือ กรดไลโนเลอิก ร้อยละ 53.0 กรดโอเลอิก ร้อยละ 24.5 กรดปาล์มติก ร้อยละ 11.5 กรดไลโนเลนิก ร้อยละ 7.0 และ กรดสเตียริก ร้อยละ 4.0 เมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันทำปฏิกิริยาไอโซเนชัน องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เมทิล-ปาล์มเตต ร้อยละ 8.7 เมทิลสเตียเรต ร้อยละ 3.0 และเกิดสารใหม่ คือ กรดเพอလာโกนิก ร้อยละ 9.8 กรดคาโปรอิก ร้อยละ 15.7 กรดโพรไพโอนิก ร้อยละ 1.3 กรดมาโลนิก ร้อยละ 17.8 และ โมโนเมทิลอะซิเลต ร้อยละ 60.87

จากผลการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีมูลค่า ซึ่งหากทำการแยกสารเหล่านี้ ออกมาทำให้สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ส่งผลให้การผลิตเมทิลเอสเทอร์มีความคุ้มค่าและมีความเป็นไปได้ในเชิงธุรกิจต่อไป