

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตโอเลฟินส์จากเมทานอล

OLEFINS PRODUCTION FROM METHANOL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OLEFINS PRODUCTION FROM METHANOL



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง

การผลิตโอเลฟินส์จากเมทานอล

จัดทำโดย

นางสาวณิชา ตั้งชูพงศ์

รหัสประจำตัว 45010256

นายพิริยะ ทวีโชคทรัพย์สิน

รหัสประจำตัว 45010544

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

พ.ศ.

2548

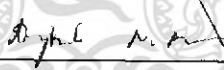
อาจารย์ที่ปรึกษา

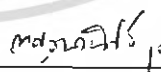
ดร. สุชาสินี เนรมิตตกพงศ์

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร


ประธานกรรมการ
(ดร. สุชาสินี เนรมิตตกพงศ์)


กรรมการ
(ผศ.ดร. ดวงกมล ณ ระนอง)


กรรมการ
(ดร. พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การผลิตโอเลฟินส์จากเมทานอล	
จัดทำโดย	นางสาวณิชา ตั้งชูพงศ์	รหัสประจำตัว 45010256
	นายพิริยะ ทวีโชคทรัพย์สิน	รหัสประจำตัว 45010544
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุชาสินี เนรมิตคทพงศ์	
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของเมทานอลเพื่อผลิต โอเลฟินส์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ซีโอไลต์ อะลูมิเนียมฟอสเฟต อะลูมินา และเหล็ก (II) ฟอสเฟต ที่อุณหภูมิ 300, 350, 400 และ 450 องศาเซลเซียส ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ จากการทดลองพบว่าซีโอไลต์ให้ค่าร้อยละผลได้ของโอเลฟินส์ (เอทิลีน) สูงที่สุดเท่ากับ 26.2 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่สร้างขึ้น โดยใช้อัตราการป้อนเมทานอลลงที่อัตราการไหลรวมเท่ากับ 9.4 มิลลิลิตรต่ออนาที ซึ่งสารป้อนมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 0.64 พบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่สร้างขึ้นมีอัตราการผลิตเอทิลีน 212.15 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในระยะเวลา 4.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Olefins Production from Methanol

BY Miss NICHIA TANGCHUPONG ID.NO. 45010256

 Mr. PIRIYA TAVEECHOKESAPSIN ID.NO. 45010544

Advisor Dr. Sutasinee Neramittagapong

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering

 Department of Chemical Engineering

 Faculty of Engineering

 King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project is concerned with production of ethylene by dehydration of methanols over zeolite, aluminium phosphate, alumina and iron (II) phosphate. The reaction was carried out in a pulse reactor at temperatures 300, 350, 400 and 450 °C. Zeolite showed the highest ethylene yield (26.2%) at 450 °C. It was selected to use for ethylene production in continuous reactor using a constant total feed rate of 9.4 cm³/min (molar ratio of methanol to nitrogen was 0.64). The ethylene production rate was 212.15 mg/h in 4.5 h at 450 °C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี หากปราศจากความกรุณาและความอนุเคราะห์ของหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณ

ดร. สุธาณี เนรมิตคกพงศ์ และดร. อาทิตย์ เนรมิตคกพงศ์อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่กรุณาให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ปัญหา ให้ความรู้และเอาใจใส่ดูแลเสมอมา ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณวัชรกรณ์ ปราณิ และคุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดีมาโดยตลอด

เพื่อนนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ

และต้องขอขอบพระคุณ บุคคลที่สำคัญที่สุด คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ผู้ซึ่งอบรมเลี้ยงดู ให้โอกาสในการศึกษา และเป็นกำลังใจให้ฟันฝ่าอุปสรรคจนกระทั่งมีวันนี้ ข้าพเจ้าขอระลึกถึงพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ณิชา ตั้งชูพงศ์

พิริยะ ทวีโชคทรัพย์สิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขั้นตอนการทำงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โอเลฟินส์.....	3
2.1.1 การเปลี่ยนเมทานอลไปเป็น โอเลฟินส์.....	3
2.1.2 ประโยชน์ของ โอเลฟินส์.....	4
2.2 แหล่งที่มา.....	5
2.2.1 แก๊สสังเคราะห์.....	5
2.2.2 วิธีการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากมีเทน.....	6
2.2.3 เมทานอล.....	7
2.2.4 การผลิตเมทานอล.....	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 ขั้นตอน และวิธีการดำเนินการวิจัย.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผล.....	17
4.1 การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตเอทีดีนจากเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ.....	17
4.1.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา.....	17
4.1.2 ผลของอุณหภูมิ.....	19
4.2 การผลิตเอทีดีนจากเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....	20
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	23
เอกสารอ้างอิง.....	24
ภาคผนวก ก.....	25
ภาคผนวก ข.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อุณหภูมิวิกฤต, ความดันวิกฤต, ปริมาณเชิงโมลวิกฤต ค่าคงที่ A, B และ C ของสมการ Antoine.....	13
4.1 ค่าการแปลงผัน และค่าการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 300, 350, 400 และ 450 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.05 กรัมในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ.....	18
ก.1 ข้อมูลปริมาณอะซีทัลดีไฮด์ (99.5%) และพื้นที่ได้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	27
ก.2 ข้อมูลปริมาณอะซีโตน(99.5%) และพื้นที่ได้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	28
ก.3 ข้อมูลปริมาณ ไดเอทิลอีเธอร์ (99.5%) และพื้นที่ได้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	29
ก.4 ข้อมูลปริมาณรเอทานอล(99.9%) และพื้นที่ได้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	30
ก.5 ข้อมูลปริมาณเอทิลีน(99.5%) และพื้นที่ได้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	31
ก.6 ข้อมูลปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์(40%) และพื้นที่ได้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	32
ก.7 ข้อมูลปริมาณเมทานอลและพื้นที่ได้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	33
ก.8 ข้อมูลปริมาณแก๊สไนโตรเจน(99.99%) และพื้นที่ได้กราฟที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	34
ก.9 ข้อมูลปริมาณน้ำ และพื้นที่ได้กราฟเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	35
ก.10 ความหนาแน่นและมวลโมเลกุล.....	36
ก.11 เวลาในการเกิดสาร.....	37
ข.1 สภาวะของเครื่องวิเคราะห์แบบแก๊สโครมาโทกราฟี.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นสารชนิดต่างๆ.....	3
3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ และการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิค	
การแยกทางโครมาโตกราฟีแบบใช้แก๊ส.....	11
3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....	12
3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันวิกฤต และอุณหภูมิ.....	14
3.4 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....	14
3.5 เครื่องเปลี่ยนสถานะของเมทานอลจากของเหลวให้กลายเป็นไอ.....	15
3.6 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยา.....	15
3.7 บริเวณที่ใส่แท่งแก้วที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา.....	16
3.8 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดปฏิกิริยา.....	16
4.1 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการแปลงผันของเมทานอล ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ด้วย	
ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ปริมาณ 0.05 กรัม.....	17
4.2 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะด้วยตัวเร่ง	
ปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ปริมาณ 0.05 กรัม.....	19
4.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าการแปลงผันของเมทานอล และค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีน	
เมื่อใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.05 กรัม.....	20
4.4 ความเข้มข้นของเมทานอลที่จุดเก็บสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์เครื่องปฏิกรณ์	
แบบต่อเนื่องก่อนเริ่มการผลิตเอทิลีน.....	21
4.5 ค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีน และค่าร้อยละการแปลงผันของเมทานอลจากการใช้	
ซีโอไลต์ 1 กรัม ที่ 450 องศาเซลเซียสในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ที่ความเข้มข้น	
ของเมทานอลคงที่ เท่ากับ 6.02 มิลลิโมลต่ออนาที.....	21
ก.1 กราฟมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์.....	27
ก.2 กราฟมาตรฐานอะซีโตน.....	28
ก.3 กราฟมาตรฐานไดเอทิลอีเธอร์.....	29
ก.4 กราฟมาตรฐานของเอทานอล.....	30
ก.5 กราฟมาตรฐานของเอทิลีน.....	31
ก.6 กราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์.....	32
ก.7 กราฟมาตรฐานของเมทานอล.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.8 กราฟมาตรฐานแก๊สไนโตรเจน.....	34
ก.9 กราฟมาตรฐานน้ำ.....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการผลิตโอเลฟินส์ได้มาจากการนำแก๊สธรรมชาติ หรือองค์ประกอบส่วนเบาของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ที่ผ่านปฏิริยาริฟอร์มมิงด้วยไอน้ำเพื่อผลิตโอเลฟินส์ที่ประกอบด้วยเอทิลีน โพรพิลีน และองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ [1-3] โอเลฟินส์มีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเคมีมาก เพราะว่าเอทิลีน และโพรพิลีนเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตสารเคมี เคมีภัณฑ์ และสินค้าอุปโภคบริโภคหลายชนิด ดังนั้นอุตสาหกรรมต่างๆ จึงมีความต้องการ โอเลฟินส์ปริมาณมาก แต่เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตโอเลฟินส์นี้เป็นทรัพยากรที่มีราคาสูง และเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป นั้นจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต จึงได้มีการศึกษาเพื่อจะผลิตโอเลฟินส์จากวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิต โอเลฟินส์ทดแทนวัตถุดิบเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการผลิตโอเลฟินส์ โดยใช้เมทานอลเป็นวัตถุดิบในการผลิต เนื่องจากเมทานอลเป็นสารเคมีที่จัดหาได้ง่าย มีราคาถูก และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อย [2] เมทานอลที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้นำมาจากการทำปฏิริยาของแก๊สสังเคราะห์ซึ่งเกิดสังเคราะห์นั้นผลิตได้จากการนำชีวมวล (Biomass) หรือถ่านหินผ่านปฏิริยา gasification [4] เมื่อได้เมทานอลแล้วจะนำไปผลิตเป็นโอเลฟินส์ จากปฏิริยาการขจัดน้ำออกจากเมทานอล (Methanol Dehydration) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือในการผลิตโอเลฟินส์อย่างง่าย โดยทำการศึกษาและเลือกตัวเร่งปฏิริยาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนจากเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์ และศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตโอเลฟินส์ของเครื่องที่สร้างขึ้นเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหาตัวเร่งปฏิริยาที่เหมาะสมกับปฏิริยาการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นต่อปฏิริยาการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์บนตัวเร่งปฏิริยาแต่ละชนิด
3. สร้างและพัฒนาชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิริยาเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์

1.3 ขั้นตอนของการทำงานวิจัย

1. รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบในการสร้างชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
3. ดำเนินการสร้างชุดอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลอง
4. ทดลอง โดยการเปลี่ยนชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และสถานะของปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อหาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม
5. นำชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาทำการทดลอง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการทดลองในข้อ 4 มาเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างชุดอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการทดลองและหาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์
2. ทำการทดลอง โดยการเปลี่ยนแปลงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเพื่อเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ได้แก่
 - อะลูมินา (Alumina; Kanto Chemical CO., INC.)
 - อะลูมิเนียมฟอสเฟต (Aluminium Phosphate; Nishio industry Tokyo CO., LTD.)
 - เหล็กฟอสเฟต (Iron (II) Phosphate; Soekwa chemical CO., LTD.)
 - ซีโอไลต์ (Zeolite; H-ZSM-5, HSZ-870HOA powder, SiO₂ 99.1, Al₂O₃ 0.83, Na₂O 0.03, SiO₂/Al₂O₃ 200)
3. ทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ จะทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะใช้อุณหภูมิ ได้แก่
 - ที่ 300, 350, 400 และ 450 องศาเซลเซียส
4. นำตัวเร่งปฏิกิริยาและสถานะที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะมาใช้ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเมทานอล ซึ่งอาศัยหลักการระเหยกลายเป็นไอของเมทานอลที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

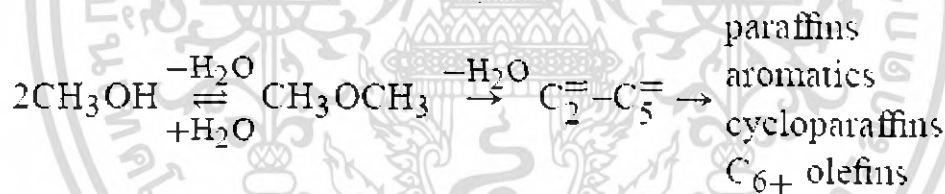
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โอลิฟินส์

โอลิฟินส์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอม ที่มีสูตรโมเลกุลคือ C_2H_{2n} โดยโอลิฟินส์นั้นจะประกอบด้วยคาร์บอนอย่างน้อย 2 อะตอม เช่น เอทิลีน โพรพิลีน บิวทีน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ [5] ซึ่งโอลิฟินส์นี้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เนื่องจากโอลิฟินส์เป็นสารตั้งต้นของสารเคมี และผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย

2.1.1 การเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นโอลิฟินส์ [6]

ในกระบวนการผลิตโอลิฟินส์จากเมทานอล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งในขั้นตอนแรกเมื่อปฏิกิริยาการคั่งน้ำออกจากเมทานอล จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์ และขั้นตอนต่อไปก็เป็นการคั่งน้ำออกจากไดเมทิลอีเทอร์เพื่อเปลี่ยนไปเป็น โอลิฟินส์เบา และจากโอลิฟินส์เบาก็จะเกิดปฏิกิริยาการถ่ายเทไฮโดรเจน(Hydrogen Transfer) กลายเป็น โอลิฟินส์ (Hydrocarbon Pool Mechanism) พาราฟิน อะโรมาติก และ โอลิฟินส์หนักซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันเป็นสายยาวหรือการจับตัวกันเป็นวง ของโอลิฟินส์เบาขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นดังรูปที่ 1

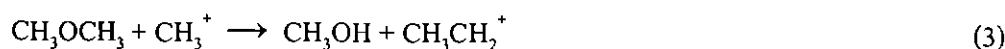
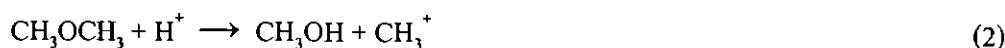
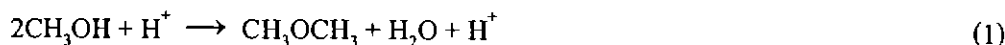


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นสารชนิดต่างๆ [1]

ในแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาช่วยในการเกิดปฏิกิริยา เมื่อทำการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไปเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะเกิดโค้กขึ้น สาเหตุของการเกิดโค้กก็จะมาจากปฏิกิริยาการจับตัวกันเป็นวงของสารจำพวกอะโรมาติก ซึ่งจะเกิดบน Hydrocarbon Pool ที่อยู่ในรูพรุน [6]

การควบคุมปริมาณการเกิดผลิตภัณฑ์ จะสามารถควบคุมที่ระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา หรืออาจจะพูดได้ว่าโอลิฟินส์เบาที่ต้องการควรถูกดึงออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาให้เร็วที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาต่อ ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จะส่งผลทำให้ค่าการเลือกเกิดเป็น โอลิฟินส์เบาลดลง [6]

ตำแหน่งว่องไวบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด (Bronsted acidity) เหมาะสมต่อการเร่งปฏิกิริยาการดึงน้ำออกจากแอลกอฮอล์ ซึ่งเรียกว่ากลไกของ Carbonium ion จะมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ (1-4) เป็นสมการที่แสดงการเกิดโอเลฟินส์เบาจากเมทานอล



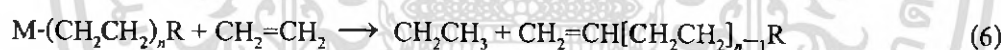
จากสมการกลไก Carbonium ion ในขั้นแรกจะเกิดเป็น ไดเมทิลอีเทอร์ บนตำแหน่งว่องไวที่เป็นกรดจากนั้นก็เกิดปฏิกิริยาถดถอยมาเป็นปฏิกิริยาแบบอนุกรมสิ่งที่สำคัญของ ปฏิกิริยาได้แก่ Carbonium ion ซึ่งเกิดจาก Bronsted acidity

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์คือ โอเลฟินส์เบาแล้วมีกระบวนการ Oligomerization หรือ Polymerization ต่อมาที่จะเปลี่ยน โอเลฟินส์เบาให้กลายเป็นโอเลฟินส์หนัก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาทั้ง 2 อาจเรียกรวมได้อีกชื่อว่า ปฏิกิริยาการรวมตัว (Chain growth) และปฏิกิริยาการแทนที่ (Displacement) ตามลำดับ ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังสมการต่อไปนี้ [2]

ปฏิกิริยาการรวมตัว



ปฏิกิริยาการแทนที่



เมื่ออัตราการเกิดแบบรวมตัวมีอัตราที่พอเหมาะ ก็จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโอเลฟินส์ [2] ถ้าหากว่าการรวมตัวมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่าการแทนที่จะทำได้ โพลีเอทิลีน

2.1.2 ประโยชน์ของโอเลฟินส์

ผลิตภัณฑ์หลักของโอเลฟินส์ คือ เอทิลีน โพรพิลีน และบิวทาไดอิน [7] ซึ่งสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดังนี้

เอทิลีน ใช้ในการผลิต โพลีเอทิลีน ไวนิลคลอไรด์ และเอทิลีนไกลคอล [8]

โพรพิลีน เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโพลีโพรพิลีน แบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่ โพรพิลีนเกรดโรงกลั่น (Refinery Grade Propylene) โพรพิลีนเกรดเคมี (Chemical Grade Propylene) และโพรพิลีนเกรดโพลีเมอร์ (Polymer Grade Propylene) [8]

บิวทาไดอิน ใช้ในการผลิตเอบีเอส (Acrylonitrile-butadiene-styrene:ABS) และยางสังเคราะห์ เช่น เอสบีอาร์ (Styrene-butadiene-rubber) เอบีอาร์ (Acrylonitrile-butadiene-rubber: ABR) โพลีบิวทาไดอิน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แหล่งที่มา

2.2.1 แก๊สสังเคราะห์ (Synthesis gas) [2]

แก๊สสังเคราะห์เป็นแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับไฮโดรเจนด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกันด้วยวิธีการผลิต และการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายทำให้ของผสมระหว่างไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีชื่อเรียกต่างๆ กันออกไปอีก ได้แก่ วอเตอร์แก๊ส (Water Gas) แคร็กแก๊ส (Crack Gas) แก๊สสังเคราะห์เมทานอล (Methanol Synthesis Gas) ออกโซแก๊ส (Oxo Gas) หรือชีวมวล (Biomass) ที่ได้มาจากการเผาพืช หรือขยะ

เมื่อพิจารณาจากสูตรทางเคมีของมีเทน จะเห็นว่ามีเทนประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน และไฮโดรเจนเท่านั้น ดังนั้นคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลจะต้องได้มาจากวัสดุอื่นที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ น้ำ และอากาศหรือแก๊สออกซิเจน กระบวนการที่ใช้ผลิตแก๊สสังเคราะห์โดยให้วัสดุป้อนทำปฏิกิริยากับไอน้ำ เรียกว่าปฏิกิริยารีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ (Steam Reforming) ถ้าวัสดุป้อนเป็นมีเทน หรือเนฟทา มักใช้รีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ เนื่องจากเนฟทาเป็นของผสมของสารไฮโดรคาร์บอน



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงซับซ้อนมากกว่าเมื่อใช้มีเทนเป็นวัสดุป้อน อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้กับไอน้ำจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉลี่ยแล้วเนฟทาจะมีอัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนเป็น 2.1:1 ดังนั้นจึงเขียนปฏิกิริยารีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำของเนฟทาได้ดังนี้



เนฟทา

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ จะได้สัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำลงในทั้งสองกรณี จะมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต โดยเกิดจากปฏิกิริยาชิฟต์ (Shift Reaction) ดังสมการที่ (9)



และยังมีปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ ที่ทำให้เกิดเป็นคาร์บอนดังนี้



โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้เนฟทาเป็นวัสดุป้อนจะมีคาร์บอนเกิดขึ้นปริมาณมากกว่าเมื่อใช้มีเทนเป็นวัสดุป้อน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำของเนฟทาจึงต้องมีสมบัติที่

ช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำเกิดขึ้นได้ดีด้วยเพื่อเป็นการกำจัดคาร์บอน โดยมักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลที่มีโปแตสเซียมออกไซด์ผสมอยู่ด้วย

นอกจากนี้แล้วแก๊สสังเคราะห์ยังสามารถผลิตจากถ่านหินและกากปิโตรเลียม โดยวิธีการผลิตอีกวิธีหนึ่ง คือให้ทำปฏิกิริยากับอากาศหรือแก๊สออกซิเจนแต่ต้องควบคุมไม่ให้เกิดออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ออกซิเดชันแบบไม่สมบูรณ์ (Partial Oxidation) โดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิในช่วง 1100-1500 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 20 บรรยากาศ ไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีการนี้ไม่นิยมใช้กับวัสดุป้อนที่เป็นแก๊สธรรมชาติ หรือแอฟทา เพราะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ ทั้งการลงทุนสร้างโรงงาน ค่าใช้จ่ายระหว่างการผลิต และค่าใช้จ่ายในการแยกออกซิเจนจากอากาศ

อย่างไรก็ตามวิธีการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากถ่านหินที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือให้ถ่านหินทำปฏิกิริยากับของผสมระหว่าง ออกซิเจนหรืออากาศกับไอน้ำ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า แก๊สซิฟิเคชันของถ่านหิน (Coal Gasification) ดังสมการ (13)



ในบางครั้งอาจเรียกแก๊สสังเคราะห์ว่า ซินแก๊ส (Syn Gas) ซึ่งเป็นคำเรียกอย่างสั้นของคำภาษาอังกฤษว่า synthesis gas แก๊สสังเคราะห์แตกต่างจากแก๊สธรรมชาติสังเคราะห์ (Synthetic Natural Gas) หรือที่เรียกชื่อย่อว่า SNG แก๊สธรรมชาติสังเคราะห์ หมายถึง แก๊สมีเทนที่ผลิตขึ้นจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น แอฟทา และ โพรเพน หรือผลิตจากถ่านหิน เพื่อใช้แทนแก๊สธรรมชาติที่ขาดแคลนในพื้นที่บางแห่ง ดังนั้นอาจเรียกว่า แก๊สธรรมชาติทดแทน (Substitute Natural Gas)

2.2.2 วิธีการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากมีเทน [2]

วิธีการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากมีเทนมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ (Steam Reforming) และออกซิเดชันแบบไม่สมบูรณ์

วิธีแรกทำได้โดยให้มีเทนหรือแอฟทาทำปฏิกิริยากับไอน้ำ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลอยู่ด้วย ถ้าใช้มีเทนเป็นวัสดุป้อนจะเขียนปฏิกิริยาได้ดังนี้



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนจึงต้องให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยา อุปกรณ์ที่ใช้ต้องทนความร้อนและความดันสูงได้ ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาอื่นที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นด้วย ทำให้ได้คาร์บอน และคาร์บอนไดออกไซด์ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองอย่างนี้ก่อให้เกิดปัญหาตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมประสิทธิภาพ

วิธีการผลิตแก๊สสังเคราะห์อีกวิธีหนึ่ง คือ ออกซิเดชันแบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งเขียนปฏิกิริยาได้ดังนี้



ปฏิกิริยานี้ต้องใช้สภาวะรุนแรงเช่นเดียวกัน แต่ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา การทำออกซิเดชันแบบไม่สมบูรณ์เป็นการควบคุมปริมาณออกซิเจนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ แต่มักพบว่ายังมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นบ้าง วิธีออกซิเดชันแบบไม่สมบูรณ์นี้มักใช้กับวัสดุป้อนหนักตั้งแต่เนฟทา ลงไปจนถึงน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก และมักใช้วิธีการนี้ในพื้นที่ที่ไม่มีแก๊สธรรมชาติหรือไฮโดรคาร์บอนเบา คือ อีเทน โพรเพน หรือบิวเทน

2.2.3 เมทานอล (Methanol)

เมทานอลเป็นของเหลวไม่มีสี ระเหยง่าย จุดติดไฟได้รวดเร็ว และละลายได้ในน้ำ เอทานอล และอีเทอร์ [2] มีคุณสมบัติทางกายภาพ [9] ดังนี้

มวลโมเลกุล 32.04 กรัมต่อ โมล

จุดเดือดที่ความดัน 1 บรรยากาศ 64.6 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิวิกฤต 239 องศาเซลเซียส

ความดันวิกฤต 78.5 เท่าของความดันบรรยากาศ

ความดันไอ

ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 0.126 เท่าของความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 0.167 เท่าของความดันบรรยากาศ

ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 0.7866

ค่าความร้อนจำเพาะของการกลายเป็นไอ

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 37.43 กิโลจูลต่อโมล

ที่อุณหภูมิ 64.6 องศาเซลเซียส 35.21 กิโลจูลต่อโมล

2.2.4 การผลิตเมทานอล [2]

ในสมัยแรกเมทานอลผลิตได้จากการกลั่น แต่ในปัจจุบันประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ของเมทานอลทั้งหมด ผลิตมาจากแก๊สธรรมชาติ เนฟทา และแก๊สเบาจาก โรงกลั่นน้ำมัน โดยผลิตจากแก๊สธรรมชาติมากที่สุด เพราะสำรวจพบปริมาณแก๊สธรรมชาติมาก ในขณะที่เนฟทาถูกนำไปใช้ผลิตสารเคมีอื่นได้มากมาย ดังนั้น โรงงานผลิตเมทานอลขนาดใหญ่ มักจะตั้งอยู่ในบริเวณที่มีแก๊สธรรมชาติราคาถูก เช่น ประเทศซาอุดีอาระเบีย เป็นต้น การผลิตเมทานอลจากสังเคราะห์เริ่มต้นขึ้นตั้งแต่ทศวรรษ 1930 โดยใช้แก๊สสังเคราะห์จากถ่านหิน จนกระทั่งหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงผลิตแก๊สสังเคราะห์จากธรรมชาติ และผลิตเมทานอลจากแก๊สสังเคราะห์ด้วยกระบวนการที่ใช้ความดันสูง แต่ปัจจุบันกระบวนการผลิตเมทานอลจากแก๊สสังเคราะห์ได้ถูกพัฒนาจนสามารถทำที่ความดันต่ำ และยังมีการพัฒนาต่อไปอีกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตเมทานอลจากแก๊สสังเคราะห์นั้นจะใช้ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน [10] ดังปฏิกิริยานี้



ถึงแม้ว่าเมทานอลนั้นจะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่การลงทุนในกระบวนการผลิตค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงนิยมใช้เมทานอลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสาร ไคเมทิลอีเทอร์เพื่อเป็นสารมัธยคันต์ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูงมากกว่า

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากบทความของ Xianchun Wu และคณะ [11] ได้กล่าวไว้ว่ากระบวนการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์นั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ คือ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และ Space Velocity โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด SAPO-34 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Reactor) โดยจะพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ระหว่างเอทิลีน และ โพรพิลีน ความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างเอทิลีน กับ โพรพิลีนนั้นสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ และการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงๆ หรือการเกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งพบว่า การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีสาเหตุสำคัญ คือ อุณหภูมิ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง จะเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นท่อทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 16.5 มิลลิเมตร และมีความยาวท่อ 300 มิลลิเมตร ภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด SAPO-34 หนัก 9.50 กรัม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้นั้นมีรูปร่างแบบเม็ดขาคี่มีขนาด 0.85-1.68 มิลลิเมตร ในการบรรจุต้องใส่ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่ด้านบนและด้านล่างของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า SAPO-34 นี้จะให้ร้อยละการเลือกเกิด (Selectivity) สูงในการเปลี่ยนไปเป็นโอเลฟินส์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ในกระบวนการเปลี่ยนเมทานอลเป็นโอเลฟินส์ (MTO) นั้นพบว่าสภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา และการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีผลต่อกระบวนการผลิตโอเลฟินส์ด้วย จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ป้อนสารตั้งต้นที่มีสัดส่วนระหว่างร้อยละโดย โมลของเมทานอล 20 และร้อยละโดย โมลของน้ำ 80 อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการทดลองคือ 400 องศาเซลเซียส โดยมีค่า Methanol Weight Hourly Space Velocity ประมาณ 2.6-3.6 h^{-1} ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะใช้แก๊สโครมาโทกราฟี ในการวิเคราะห์

P. Dutta และคณะกล่าวไว้ว่าการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์เบา (เอทิลีน และ โพรพิลีน) แล้วหลังจากนั้นเป็นการเปลี่ยนจากโอเลฟินส์เบาให้เป็นโอเลฟินส์หนัก โดยผ่านปฏิกิริยา Oligomerisation การเกิดปฏิกิริยาทั้ง 2 ขั้นนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับตัวเร่งปฏิกิริยา และการศึกษาของคณะนี้ให้ความสนใจกับการเกิดเอทิลีน และ โพรพิลีนมาก เนื่องจากมีความต้องการของตลาดมาก สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มาก และมีราคาสูง โดยศึกษาว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใดมีความ

เหมาะสมที่จะใช้ในการเร่งปฏิกิริยานั้นๆ และยังคงศึกษาถึงปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้อง เช่นความเป็นกรด และพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

การเปลี่ยนจากเมทานอลไปเป็นโอเลฟินส์เบา จะทำในระบบที่ประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุที่เป็นแก้ว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และมีความยาว 30 เซนติเมตร ภายในบรรจุด้วย Unglazed Porcelain Insulation Beads สูง 10 เซนติเมตร ชั้นกลางบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาสูง 7 เซนติเมตร ชั้นบนสุดบรรจุด้วย Unglazed Porcelain Insulation Beads สูง 5 เซนติเมตร ภายในเครื่องปฏิกรณ์จะมีการควบคุมอุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 1-4 อะตอม เป็นทั้งแบบเสถียร และไม่เสถียร ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนมาเป็นการเกิดปฏิกิริยา Oligomerisation ทำการเปลี่ยนจากโอเลฟินส์เบาให้กลายเป็นโอเลฟินส์หนัก ที่ความดันบรรยากาศ ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแก้วที่มีความยาวประมาณ 32 เซนติเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 20 มิลลิเมตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ประมาณ 2.0 กรัม ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ความเป็นกรด และพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะมีผลต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและการเลือกเกิดของปฏิกิริยา

สรุปได้ว่าการเปลี่ยนจากเมทานอลไปเป็น โอเลฟินส์เบา แล้วนำเอาโอเลฟินส์เบาส่วนนี้ไปเกิดปฏิกิริยา Oligomerisation จะได้โอเลฟินส์หนัก ควรทำในสภาวะที่เป็นของเหลว และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ $TiCl_4$ ซึ่งมีความว่องไว และค่าการเลือกเกิดไปเป็น โอเลฟินส์หนักค่อนข้างสูง และเกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้คือ โพลีโพรพิลีน [1]

Takao Masuda และคณะได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็น โอเลฟินส์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซีโอไลต์ (Zeolite) บนพื้นผิวเซรามิกอะลูมินาทรงกลม เพื่อให้เกิดโอเลฟินส์จากเมทานอล ต้องมีการปรับอัตราการแพร่ของแก๊สหาไปจนถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี วัตถุประสงค์หลักของการทำงานเพื่อเตรียมซีโอไลต์ (ZSM-5) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็น โอเลฟินส์ โดยที่ชั้นพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ โดยมีอัตราส่วนระหว่าง SiO_2/Al_2O_3 เป็น 20 ต้องมีการเตรียมตัวเร่ง โดยนำซีโอไลต์ ผสมกับ แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แล้วทำการปั่นกวนที่ 473 เคลวิน โดยอัตราในการให้ความร้อนเท่ากับ 0.1 เคลวินต่ออนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจากนั้นนำไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 803 เคลวิน

Masuda ค้นพบว่าซีโอไลต์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการสร้างสารมัธยันตร์ในปฏิกิริยาแบบอนุกรมคือ การเปลี่ยนเมทานอลไปเป็น ไคเมทิลอีเทอร์ จากนั้นเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้โอเลฟินส์ สารผลิตภัณฑ์ชนิดสุดท้ายคือ พาราฟินและอะโรมาติก เพราะฉะนั้น โอเลฟินส์คือสารมัธยันตร์ โดยการเกิด โอเลฟินส์ที่มีค่าการเลือกเกิดที่สูงประมาณร้อยละ 80-90 สามารถทำให้เกิดค่าการแปลงผันของเมทานอลเท่ากับร้อยละ 60-98 [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

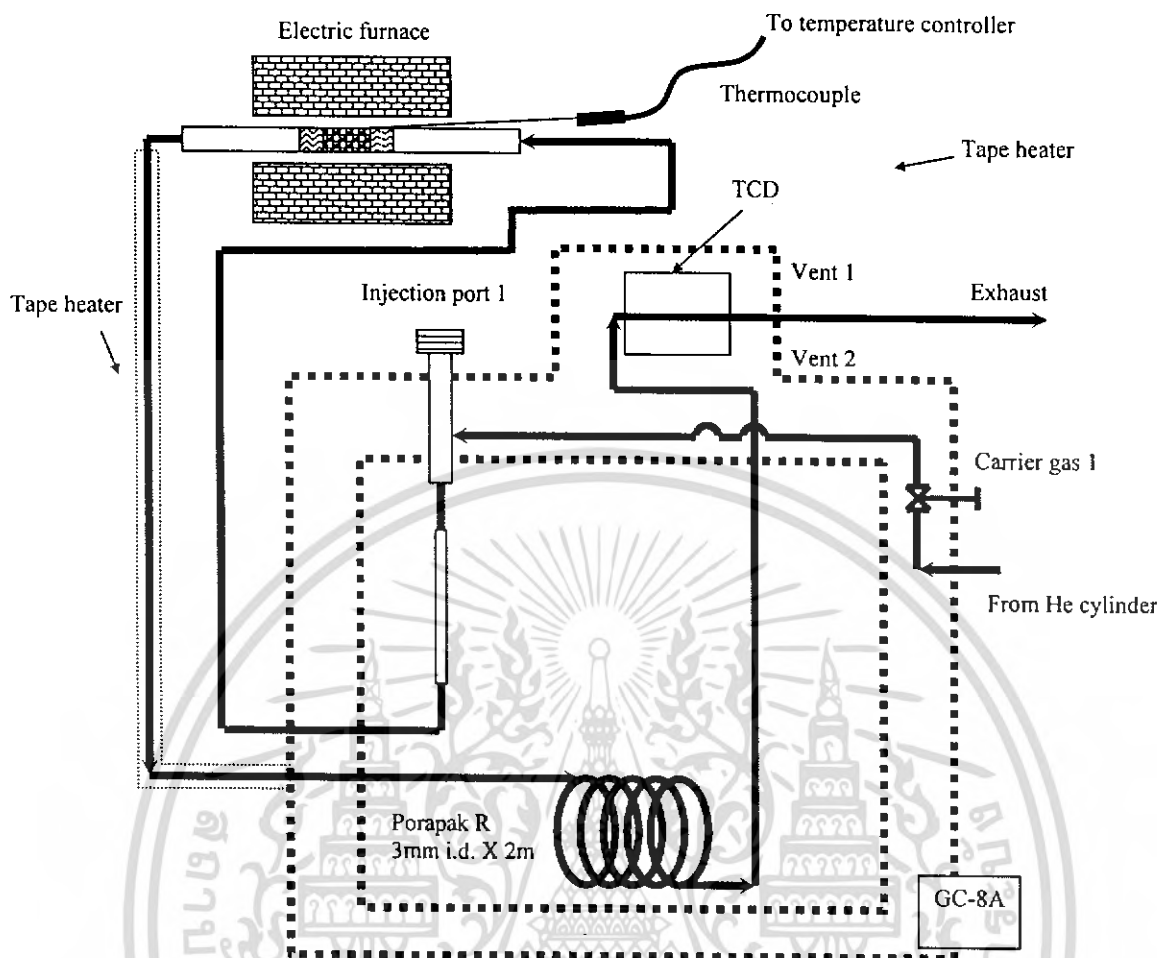
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

- 3.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปจากเมทานอลไปเป็น โอลีฟินส์ กำหนดขอบเขต และ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- 3.2 ทดลองเพื่อหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งสามารถแบ่งการดำเนินงานได้ดังนี้

3.2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยา

- อะลูมินา บดอะลูมินาให้ละเอียด และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- อะลูมิเนียมฟอสเฟต เผาอะลูมิเนียมฟอสเฟต ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- เหล็กฟอสเฟต ($Fe_3(PO_4)_2$) เตรียมจากการบด และเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- ซีโอไลต์เตรียมได้จากการนำซีโอไลต์ 5 กรัม กวนในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการกรอง และล้างตะกอนจน pH ของน้ำที่ผ่านการล้างตะกอนเท่ากับ 7 จากนั้นนำ ตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- 3.2.2 การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาทำได้โดยบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา (0.05 กรัม) ลงในหลอดแก้ว ของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ และทำการฉีดสารผ่านเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบกะให้ เกิดปฏิกิริยาเป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ ด้วยเทคนิคการแยกทางโครมาโทกราฟีแบบใช้แก๊ส (Gas Chromatography) ชุดเครื่อง ปฏิกรณ์แบบกะจะมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ และการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคการแยกทางโครมาโทกราฟีแบบใช้แก๊ส

3.2.3 การวิเคราะห์ผล จะใช้เครื่องวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการแยกทางโครมาโทกราฟีแบบใช้แก๊ส (Shimadzu GC 8A, TCD, Porapak R) มาวิเคราะห์หา ปริมาณเมทานอล และเอทีลีนที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ จะนำมาคำนวณหาค่าร้อยละการแปลงผัน (Conversion) และ ค่าร้อยละการเลือกเกิด (Selectivity) โดย ร้อยละการแปลงผันสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Conversion} = \frac{\text{จำนวน โมลของเมทานอลที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา}}{\text{จำนวน โมลของเมทานอลที่ฉีดเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ}} \times 100 \quad (17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

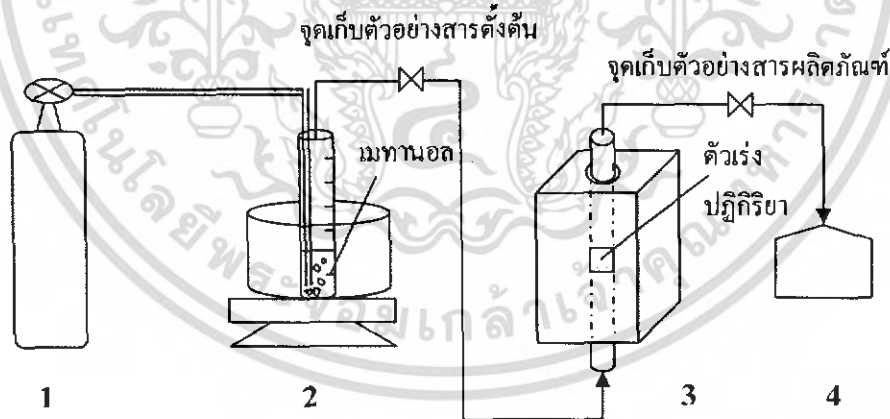
ค่าร้อยละการเลือกเกิด(Selectivity) สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Selectivity} = \frac{\text{จำนวนโมลอะตอมของคาร์บอนในเอทีลินที่เกิดขึ้นทั้งหมด}}{\text{จำนวนโมลอะตอมของคาร์บอนในเมทานอลที่ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยา}} \times 100 \quad (18)$$

จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ เปรียบเทียบผลเพื่อเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม สำหรับใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.3 นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกได้จาก 3.2 มาใช้งานกับเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องจะเริ่มจาก แก๊สใน โครเจนหรือแก๊สพา (Carrier gas) (1) จากถังจะไหลผ่านเข้าสู่ เครื่องเปลี่ยนสถานะเมทานอลจากของเหลวกลายเป็นไอ (2) โดยให้การให้ความร้อนแก่เมทานอล ทำให้เมทานอลระเหยกลายเป็นไอ ไอของเมทานอลจะถูก แก๊สใน โครเจนพาเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (3) ที่เครื่องปฏิกรณ์นี้จะบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ จากนั้น แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไหลผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น (4) ซึ่งอุปกรณ์หมายเลข (2) และ (3) จะมี เครื่องควบคุมอุณหภูมิ คอยปรับอุณหภูมิ เครื่องเปลี่ยนสถานะของเมทานอลจะให้การควบคุม อุณหภูมิเพื่อคอยปรับความเข้มข้น ของไอระเหยเมทานอล ลักษณะการทำงานของเครื่อง ปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเข้มข้นของเมทานอลนั้นใช้อัตราการระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเกิดจากความดันไอ ในการคำนวณจะค่าความดันไอดังคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะของการกลายเป็นไอเข้ามาช่วย ทำให้สามารถทำนายความสัมพันธ์ของความดันไอและอุณหภูมิได้ สมการที่นำมาใช้คือสมการของ Antoine [12] ดังสมการ (19)

$$\ln P_i^{Sat} = A_i - \frac{B_i}{T - C_i} \quad (19)$$

P_i^{Sat} คือ ความดันอิ่มตัวของไอระเหย ณ อุณหภูมิใดๆ

T คือ อุณหภูมิใดๆ

A_i, B_i, C_i คือ ค่าคงที่ ที่ได้จากการทดลอง ณ ช่วงอุณหภูมิใดๆ

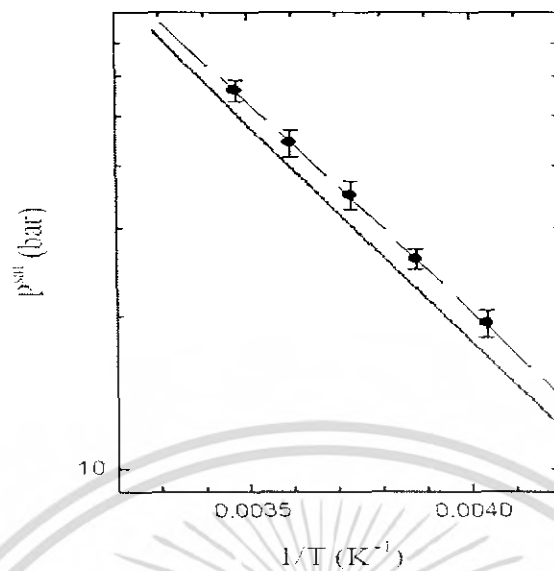
ค่าคงที่ของสมการ A_i, B_i และ C_i จะสามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดเท่านั้น หากอุณหภูมิเกินกว่าช่วงก็ไม่สามารถใช้ได้ ค่า A_i, B_i และ C_i ของเมทานอลได้มีผู้ที่ทำการทดลอง หามาตั้งแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิวิกฤต, ความดันวิกฤต, ปริมาตรเชิงโมลวิกฤต, ค่าคงที่ A, B และ C ของ สมการ Antoine [13]

Component	T_c (K)	P_c (bar)	v_c (cm ³ /mol)	A	B	C
Ethane [7]	328.4	61.80	165.7	9.1872229	-1546.5436	-22.962853
Ethane [31]	326.5	60.93	148.8	10.468059	-2341.8442	38.008706
Methanol [7, 28]	495.6	51.3	118	10.653432	-3023.3917	-45.393498
Methanol [32]	512	86.9	115.7	13.319871	-4533.7452	0
Ethanol [7, 28]	531.2	72.6	162.6	10.301614	-2378.3006	-135.94342
Water [29]	588.2	149.3	57.14	11.774845	-3563.6212	-61.71318
Carbon Dioxide [30]	302.5	76.4	92.96	9.6252521	-1394.0101	-38.901111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

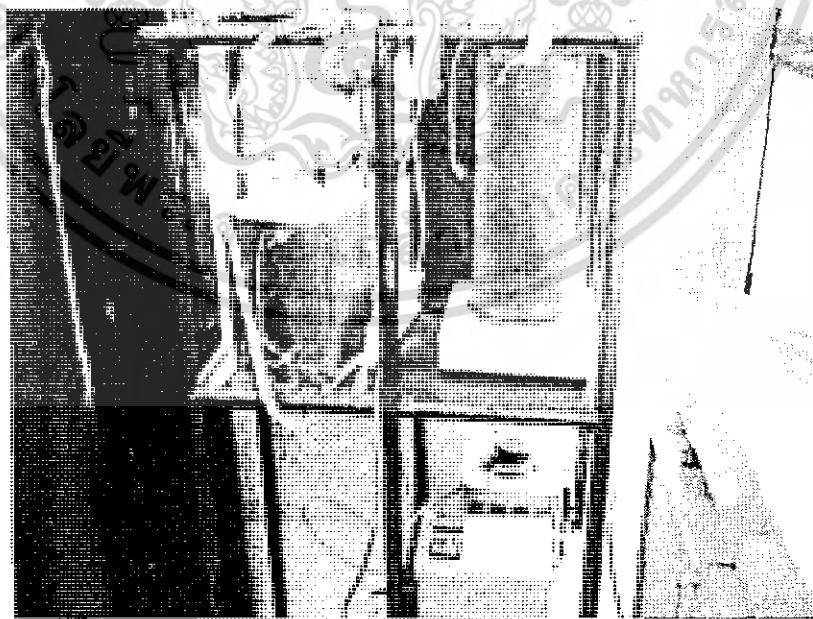
กราฟความสัมพันธ์ของ ความดันวิกฤต และ อุณหภูมิ จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันวิกฤต และ อุณหภูมิ [13]

เมื่อนำจากนั้นนำแก๊สที่ออกจากถังปฏิกรณ์มาฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการแยกทางโครมาโทกราฟีแบบใช้แก๊ส เพื่อหาว่ามีสารตัวใดเกิดขึ้นบ้างและเกิดปริมาณเท่าไร โดยนำกราฟจากเครื่องวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ ด้วยเทคนิคการแยกทางโครมาโทกราฟีแบบใช้แก๊ส มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน

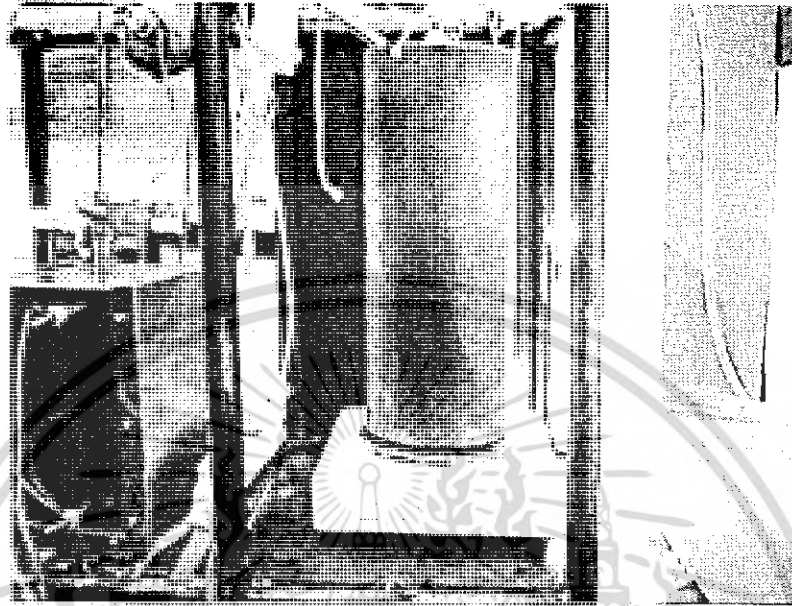
ลักษณะของอุปกรณ์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องจะประกอบด้วยเครื่องเปลี่ยนสถานะของเมทานอล อุปกรณ์นี้จะประกอบด้วยเครื่องทำความร้อน ภาชนะบรรจุสารตัวนำความร้อน ตัวนำความร้อน(น้ำ) และภาชนะบรรจุเมทานอล ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องเปลี่ยนสถานะของเมทานอลจากของเหลวให้กลายเป็นไอ สำหรับอุปกรณ์ต่อมาคือ เครื่องปฏิกรณ์ที่มีหน้าที่ในการควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยา โดยภายในจะมีขดลวดทำความร้อนหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนและมีช่องอยู่ตรงกลางเพื่อใส่แท่งแก้วที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7



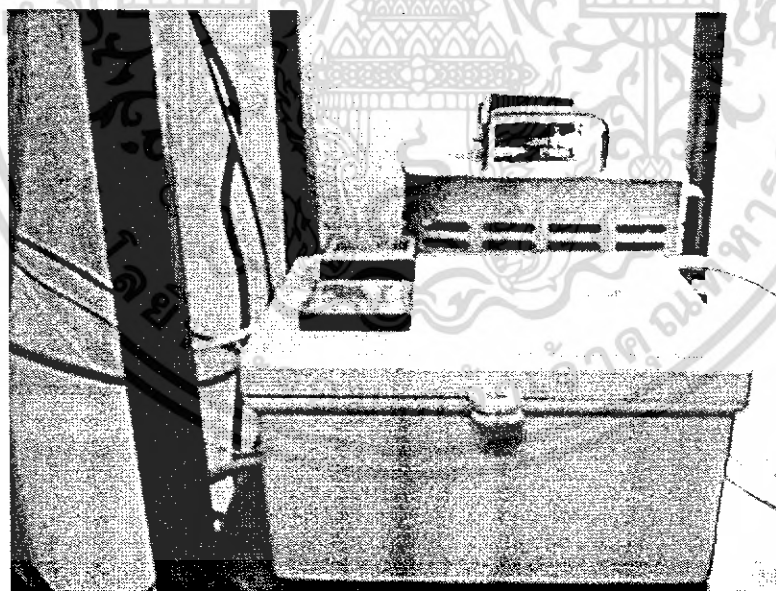
รูปที่ 3.6 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 บริเวณที่ใส่แท่งแก้วที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาทั้งสองจะมีอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้อุณหภูมิคงที่เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดในสถานะที่แน่นอนตลอดอุปกรณ์ควบคุมจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

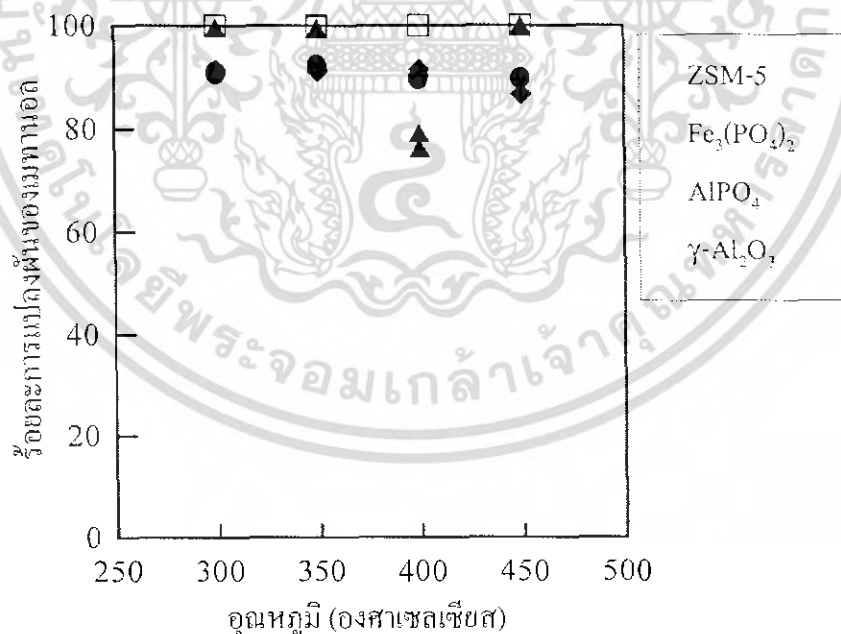
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตเอทิลีนจากเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

4.1.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเกิดเอทิลีนจากเมทานอลนั้น ควรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรด [2] จึงเลือกตัวเร่งปฏิกิริยา 4 ชนิด คือ ซีโอไลต์ (ZSM-5) อะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4) อะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) และเหล็กฟอสเฟต ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$) นี้มาใช้ในการทดสอบการผลิตเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 450 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาถึงค่าการแปลงผันของเมทานอล และค่าการเลือกเกิดของเอทิลีน จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าการเลือกเกิดของเอทิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆตามลำดับดังนี้ $\text{ZSM-5} > \text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 > \text{AlPO}_4 > \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ แต่ค่าการแปลงผันนั้นเรียงลำดับดังนี้คือ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 > \text{AlPO}_4 > \text{ZSM-5} > \text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของเอทิลีนจากการทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน พบว่า ซีโอไลต์ให้ค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีนมากที่สุดถึงร้อยละ 26.2 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.1

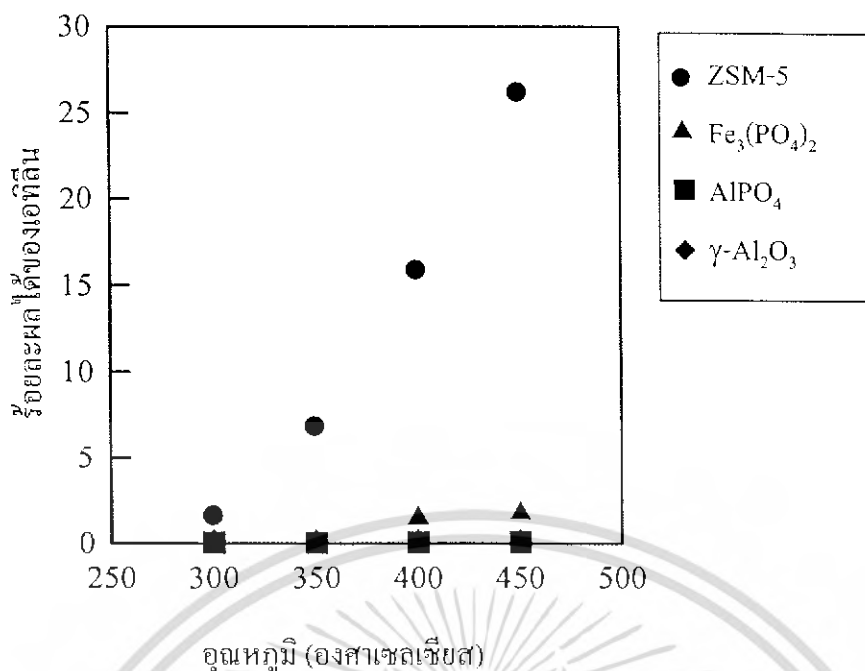


รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิระหว่างค่าการแปลงผันของเมทานอลกับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ปริมาณ 0.05 กรัม

ตารางที่ 4.1 ค่าการแปลงผัน และค่าการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 300, 350, 400 และ 450 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.05 กรัมใน เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

Catalyst	Temp (°C)	Conv (%)	Product Selectivity			
			Ethylene	Formaldehyde	Ethanol	Acetone
ZSM-5	300	90.7	0.30	0.88	0	0
	350	92.0	0.58	7.42	0	0
	400	89.6	1.27	17.73	0.6	0
	450	89.6	2.34	29.21	0.6	0
AlPO ₄	300	91.0	0.10	0.10	0	0
	350	91.3	0.09	0.09	0	0
	400	90.8	0.08	0.08	0	0
	450	86.6	0.19	0.19	0	0
γ-Al ₂ O ₃	300	100.0	0.07	0.57	0	5.8
	350	99.9	0.07	32.80	0	8.7
	400	100.0	0.10	0	0	3.5
	450	100.0	0.16	0	0	0
Fe ₃ (PO ₄) ₂	300	99.6	0.00	0	0	0
	350	99.5	0.00	0	0	0
	400	80.4	0.21	4.68	0	0
	450	100.0	0.25	13.52	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

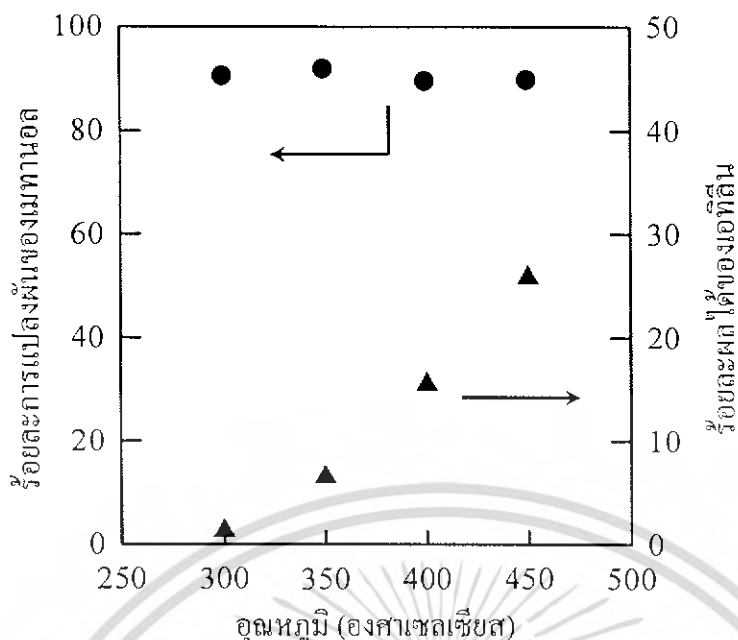


รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีนกับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการเกิดเอทิลีนจากปฏิกิริยาเปลี่ยนเมทานอล มีความน่าจะเป็นในการเกิดปฏิกิริยาอื่นเพื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น ฟอรั่มัลดีไฮด์ อะซีทัลดีไฮด์ อะซีโตน และ โอลิฟินส์เบา แต่ในการศึกษานี้สนใจผลิตภัณฑ์ คือ เอทิลีน พบว่าเมื่อพิจารณาจากการเกิดของเอทิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซี-โอไลด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีนได้สูงที่สุด

4.1.2 ผลของอุณหภูมิ

ในปฏิกิริยาการเกิดเอทิลีน อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยานั้นอยู่ในช่วง 300 ถึง 450 องศาเซลเซียส [11] จากตารางที่ 4.1 พบว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเกิดเอทิลีนน้อย หรือตัวเร่งปฏิกิริยาบางชนิดไม่เกิดเอทิลีน แต่เมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้น สามารถผลิตเอทิลีนได้ในปริมาณสูงขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดด้วย เช่น ฟอรั่มัลดีไฮด์ และผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 จากค่าร้อยละการแปลงผันของเมทานอล และค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีน เมื่อใช้ซีโอไลด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าการทำปฏิกิริยาที่ 450 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีนสูงที่สุด เท่ากับ 26.2 โดยค่าร้อยละการแปลงผันไม่เปลี่ยนแปลง

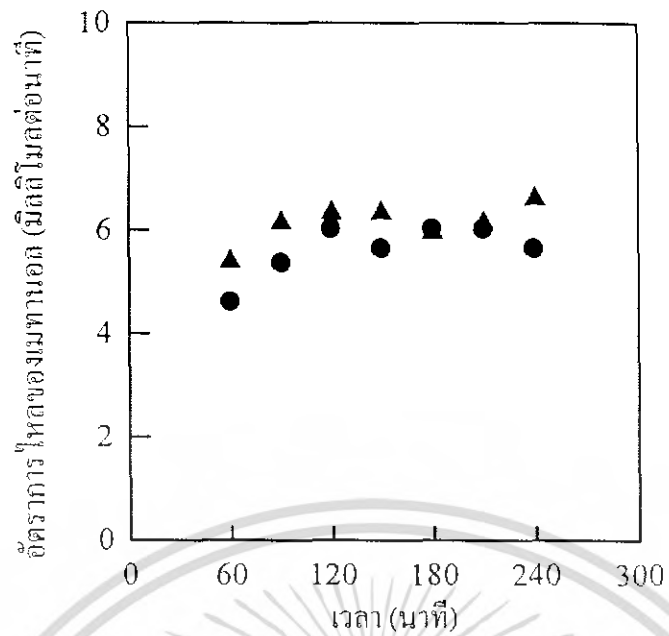


รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าการแปลงตัวของเมทานอล และค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีน เมื่อใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.05 กรัม

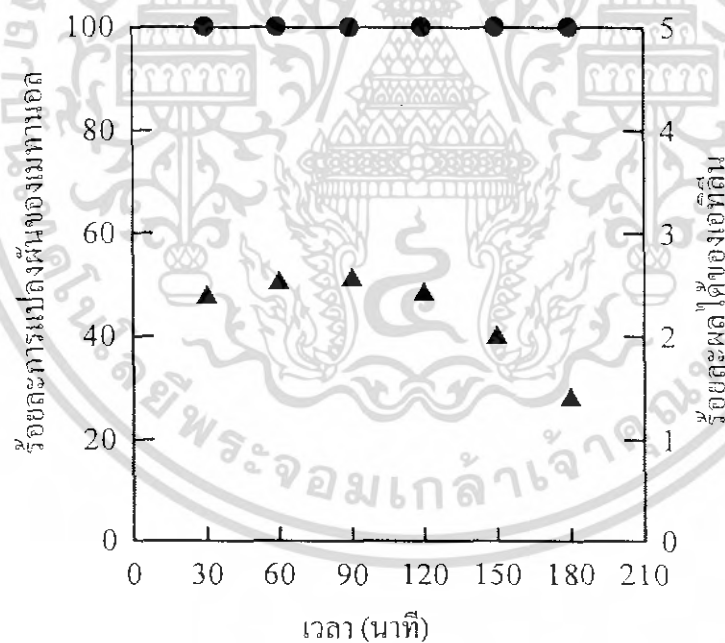
4.2 การผลิตเอทิลีนจากเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

การผลิตเอทิลีน โดยใช้เมทานอลเป็นสารตั้งต้น ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องนั้น เมทานอลเกิดปฏิกิริยาในสถานะแก๊ส ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนเมทานอลจากสถานะของเหลวให้เป็นไอ ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส ใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สพา ด้วยอัตราการไหลรวมเท่ากับ 9.4 มิลลิลิตรต่อนาที สถานะที่ทำการผลิตเอทิลีนนั้นต้องมีความเข้มข้นของเมทานอลคงที่ จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาทีความเข้มข้นของเมทานอลคงที่ โดยมีความเข้มข้นเมทานอลเฉลี่ยเท่ากับ 6.02 มิลลิโมลต่อนาที แต่ความเข้มข้นของเมทานอลที่จุดเก็บผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณสูงกว่าความเข้มข้นของเมทานอลที่จุดเก็บสารตั้งต้น แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างจำนวนโมลของเมทานอลกับไนโตรเจนที่ได้จากจุดเก็บสารทั้งสองจุด พบว่ามีค่าเท่ากัน คือเท่ากับ 0.024 แสดงว่าการไหลผ่านเครื่องปฏิกรณ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเนื่องจากปริมาตรเปลี่ยนแปลง จากนั้นเมื่อความเข้มข้นของเมทานอลคงที่แล้ว ทำปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซีโอไลต์น้ำหนัก 1 กรัม (ได้จากการศึกษาผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอทิลีน ฟอรัมัลดีไฮด์ น้ำ และสารชนิดอื่นๆ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของเมทานอลที่จุดเก็บสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องก่อนเริ่มการผลิตเอทิลีน



รูปที่ 4.5 ค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีน และค่าร้อยละการแปลงผันของเมทานอลจากการใช้ซีโอไลด์ 1 กรัม ที่ 450 องศาเซลเซียสในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ที่ความเข้มข้นของเมทานอลคงที่ เท่ากับ 6.02 มิลลิโมลต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 ในช่วงเวลาที่ 30-120 นาทีร้อยละผลได้ของเอทิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง จะคงที่ สามารถผลิตเอทิลีนในอัตราคงที่ คือสามารถผลิตเอทิลีนสูงสุดได้ 236.9 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง แต่เมื่อผลิตเอทิลีนเป็นเวลานานเกิน 120 นาทีร้อยละผลได้ของเอทิลีนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง จะลดลง สามารถผลิตเอทิลีนเฉลี่ยได้ชั่วโมงละ 212.5 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง แต่ตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองค่าการแปลงผันจะไม่ลดลงนั่นคือสาเหตุไม่ได้เกิดจากการเกิดโค้ก อาจเกิดจากสาเหตุอื่น ซึ่งเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอล เพื่อได้เอทิลีน ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซีโอไลต์ อะลูมิเนียมฟอสเฟต อะลูมินา และเหล็กฟอสเฟต ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ร้อยละผลได้ของเอทิลีนสูงที่สุดคือ ซีโอไลต์ มีค่าร้อยละผลได้เท่ากับ 2 ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ค่าร้อยละผลได้ของเอทิลีนก็จะสูงขึ้นจนค่าร้อยละผลได้มีค่าเท่ากับ 27 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ค่าร้อยละผลได้รองลงมาคือ เหล็กฟอสเฟต โดยจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นเอทิลีนที่อุณหภูมิ 400-450 องศาเซลเซียส ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินาและอะลูมิเนียมฟอสเฟต ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดเอทิลีนได้ในสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ค่าการเลือกเกิดสูงที่สุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.3 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินา อะลูมิเนียมฟอสเฟต และ เหล็กฟอสเฟต โดยจากการศึกษาจากผลงานเชิงวิชาการที่กล่าวว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูง จะสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดโอเลฟินส์ได้ดี [2] และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีค่าความเป็นกรดสูงที่สุดในตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการทดลองคือซีโอไลต์

สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการไหลรวมของแก๊สในโตรเจน และเมทานอล 9.4 มิลลิลิตรต่อนาที คิดเป็นอัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอล 11.6 กรัมต่อชั่วโมง จะสามารถผลิตเอทิลีนได้สูงสุด 236.9 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองพื้นที่ได้กราฟที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีจำนวนมากแต่ว่ามีจำนวนสารที่นำมาสร้างกราฟมาตรฐานจำกัดจึงควรหาโอเลฟินส์และสารชนิดต่างๆมาสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ละเอียดมากขึ้น สำหรับวิธีการป้อนสารตั้งต้นควรจะใช้วิธีที่มีความแน่นอน เพื่อให้การคำนวณมีความแม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dutta. P, Roy S.C., Nandi L.N., Samuel P., Muthukumar Pillai S., Bhat B.D., Ravindranathan M., "Synthesis of lower olefins from methanol and subsequent conversion of ethylene to higher olefins via oligomerisation", **J. Mol. Catal.**, 223(2004),India, pp. 231-235. (available online at www.sciencedirect.com)
- [2] ศุภวรรณ ตันตยานนท์, ปีโตรเคมี, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [3] Soundararajan S., Dalai A.K., Berruti F., "Modeling of methanol to olefins (MTO) process in a circulating fluidized bed reactor", **Fuel** 80(2001),Canada, pp.1187-1197. (available online at www.sciencedirect.com)
- [4] Sami Matar, Manfred J. Mirback, Hassan A. Tayin, **Catalysis in Petrochemical Process**, 1989, Kluwen Academic Publishers. (available online at www.sciencedirect.com)
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Olefin>
- [6] Patcas F.C., "The methanol to olefin conversion over zeolite-coated ceramic foams". **Journal of Catalysis**, Vol231 (2005), pp.194-200. (available online at www.sciencedirect.com)
- [7] Hydrocarbon Processing. 1975 **Petrochemical handbook** Vol. 54, No. 11, p. 141;
Hydrocarbon Processing. 1979 **Petrochemical handbook** Vol.58, No. 11, pp. 160- 165.
- [8] ปีโตรเคมีแห่งชาติ, ศัพท์บัญญัติปิโตรเคมีและคำอธิบายย่อ, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2534.
- [9] www.methanex.com
- [10] Stöcker Michael, "Methanol-to-hydrocarbons: catalytic materials and their behavior", **Microporous and Mesoporous Materials**, 29 (1999), Norway, pp. 3-48.
- [11] Wu Xianchun, Abraha G. Michael, Anthony G. Rayford, "Methanol conversion on SAPO-34: reaction condition for fixed-bed reactor", **App. Catal. A: Gen.**, 260(2004), USA, pp. 63-69.
- [12] Smith J.M., Van Ness H.C., Abbott M.M., **Chemical Engineering Thermodynamics**, Sixth ed., McGraw-Hill International ed., 2001, Chap 6.
- [13] Lísal Martín, Smith R. William, and Nezbebdba Ivo, **Fluid Phase Equilibria**, in press; accepted Mar. 14, 2001

- [14] Takao Masuda, Tadashi Asanuma, Mitsuru Shouji, Shin R. Mukai, Motoaki Kawase and Kenji Hashimoto. 2003. **Chemical Engineering Science** 58. pp649-656. (available online at www.sciencedirect.com).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



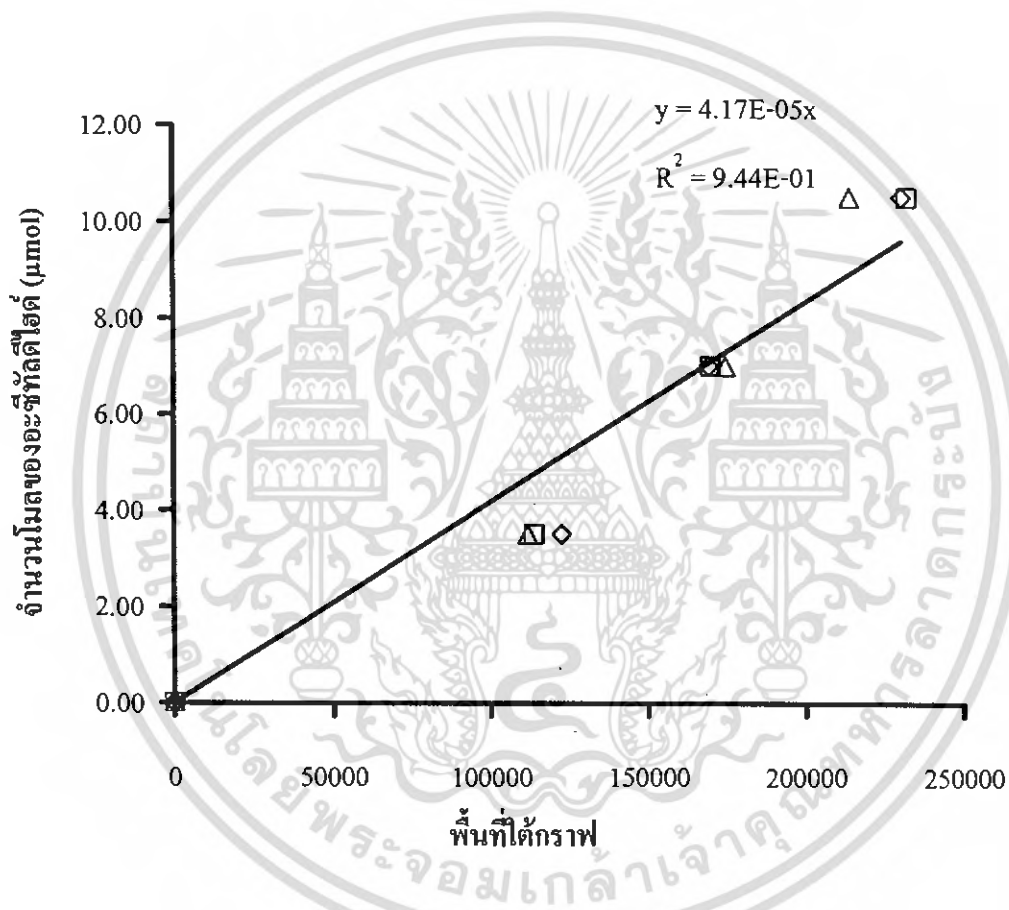
ภาคผนวก ก.

ข้อมูลกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลปริมาณอะซีทิลดีไฮด์ (99.5%) และพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μml)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวนโมล (μmol)
	1	2	3	
0.199	122606	113870	111805	0.15522
0.398	169607	170088	174828	0.31044
0.597	230202	231892	213843	0.46566

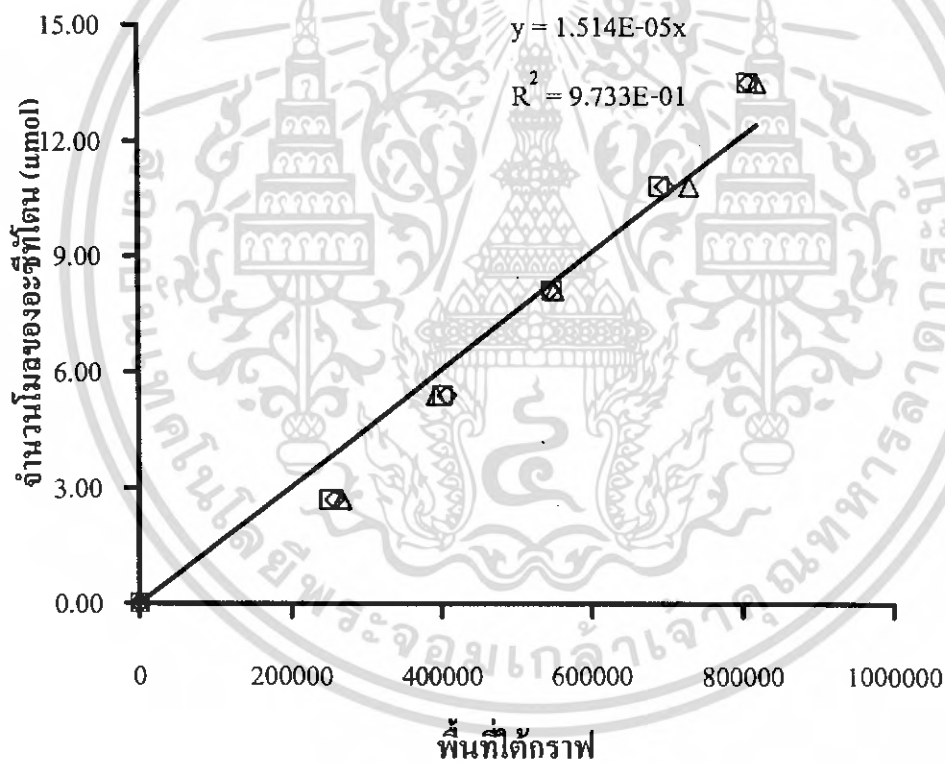


รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานอะซีทิลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลปริมาณอะซีโตน(99.5%) และพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μl)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวน โมล (μmol)
	1	2	3	
0.199	256919	250746	266723	0.15721
0.398	408610	402677	393700	0.31442
0.597	545527	549255	552047	0.47163
0.796	699165	691851	731368	0.62884
1.0	810054	808745	820643	0.78605

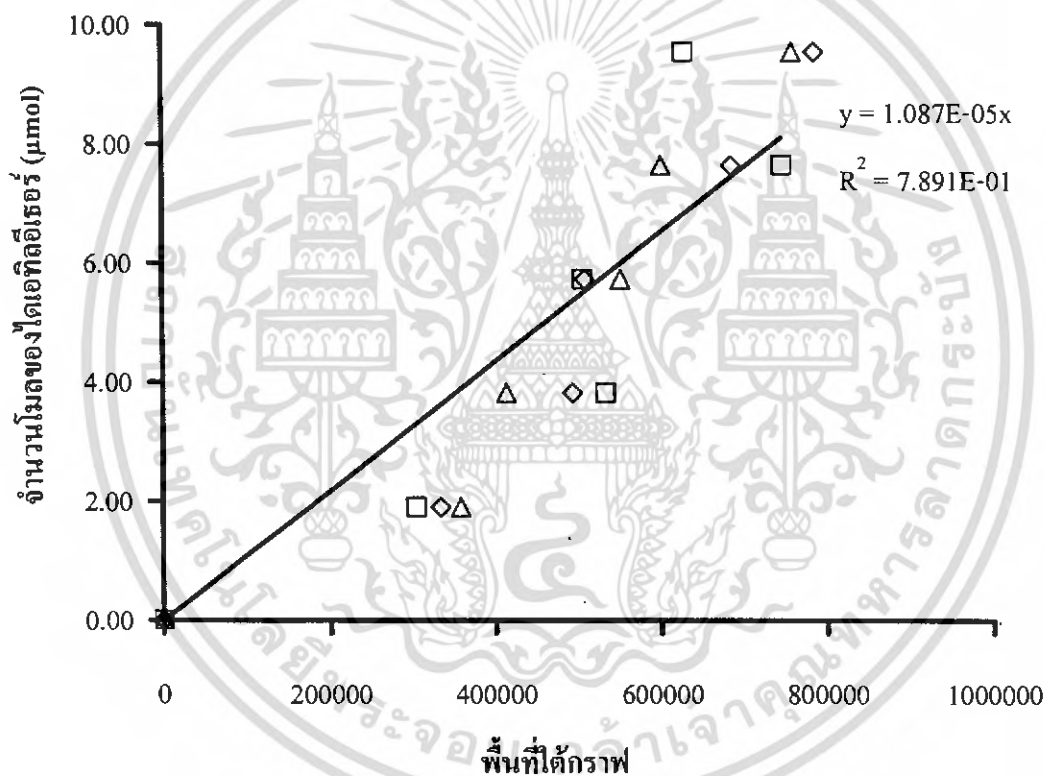


รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานอะซีโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลปริมาณโคเอทิลอีเธอร์ (99.5%) และพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μl)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวนโมล (μmol)
	1	2	3	
0.199	332544	303760	357310	0.142086
0.398	492882	533288	413838	0.284172
0.597	508261	505959	551484	0.426258
0.796	685706	745903	601287	0.568344
0.995	786282	629162	759335	0.71043

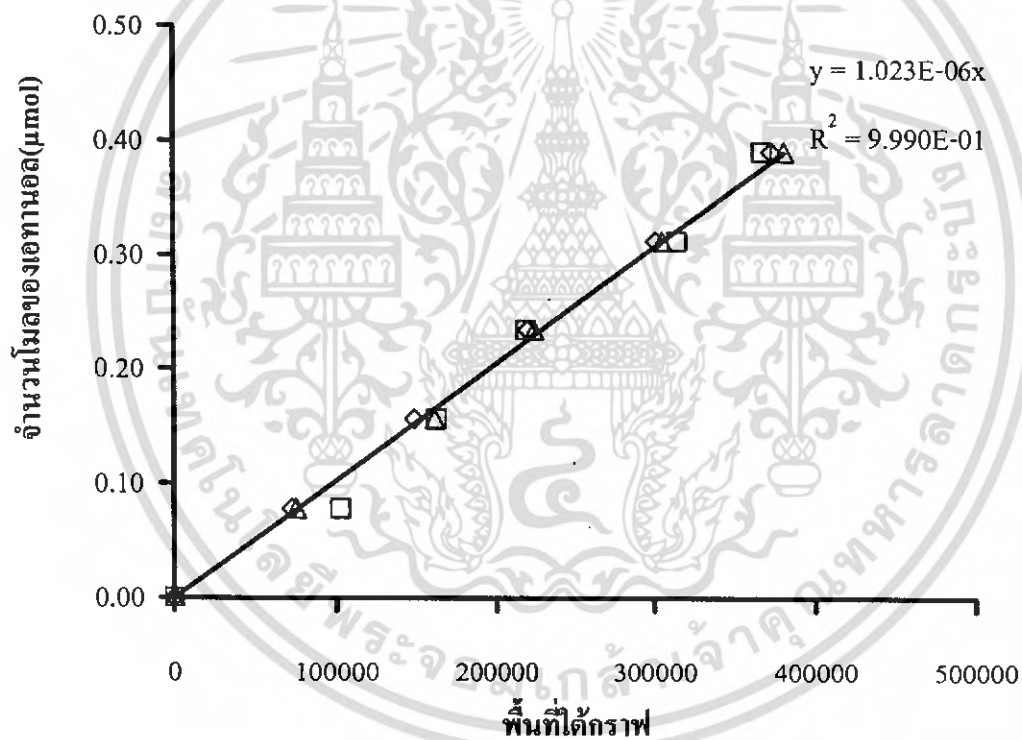


รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานโคเอทิลอีเธอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลปริมาณเอทานอล(99.9%) และพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μ l)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวน โมล (μ mol)
	1	2	3	
0.099	72498	102470	75132	0.078111
0.198	148645	162543	161468	0.156222
0.297	220031	218989	224374	0.234333
0.396	301242	314508	305342	0.312444
0.495	373035	367482	381161	0.390555

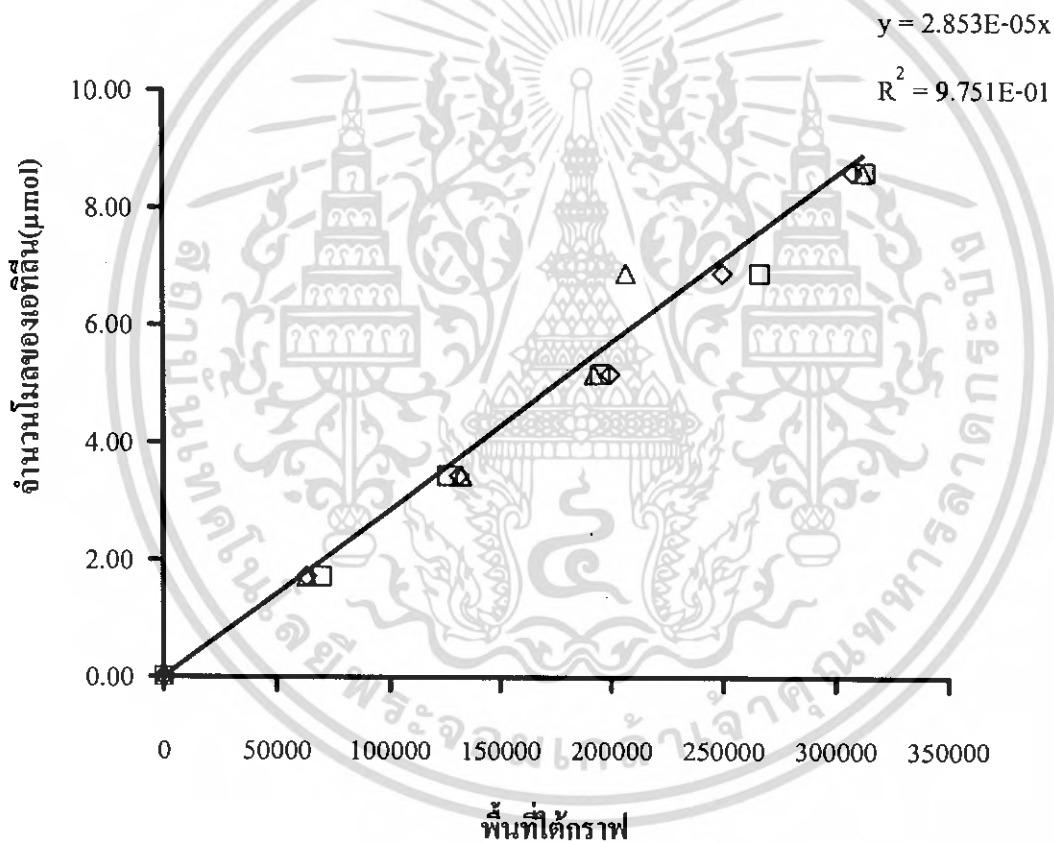


รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐานของเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลปริมาณเอทิลีน(99.5%) และพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μl)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวน โมล (μmol)
	1	2	3	
0.0498	63244	69722	63384	0.02587
0.0995	131545	126272	132559	0.05174
0.1493	199910	195613	192707	0.07761
0.1990	249972	266623	206924	0.10348
0.2488	308108	313447	312435	0.12935

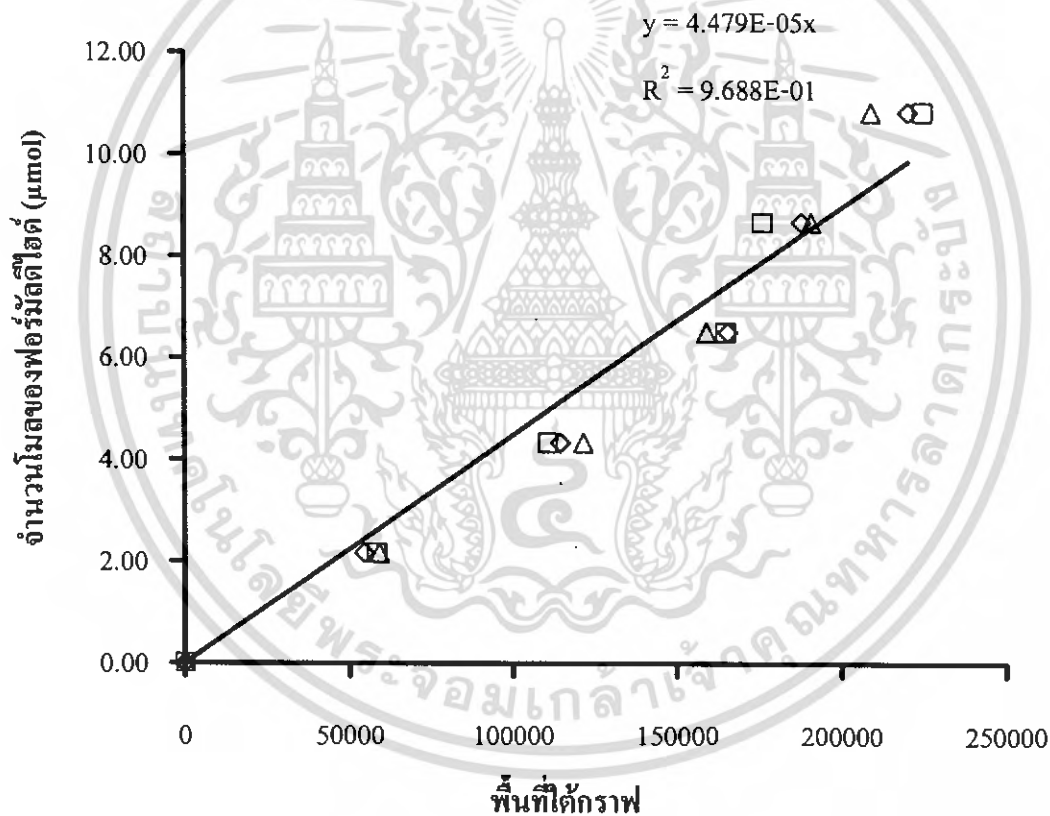


รูปที่ ก.5 กราฟมาตรฐานของเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์(40%) และพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μl)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวน โมล (μmol)
	1	2	3	
0.08	54473	58246	59030	0.0656
0.16	114701	110925	121809	0.1312
0.24	165756	165121	159335	0.1968
0.32	188062	176212	190921	0.2624
0.40	220322	224738	209201	0.328

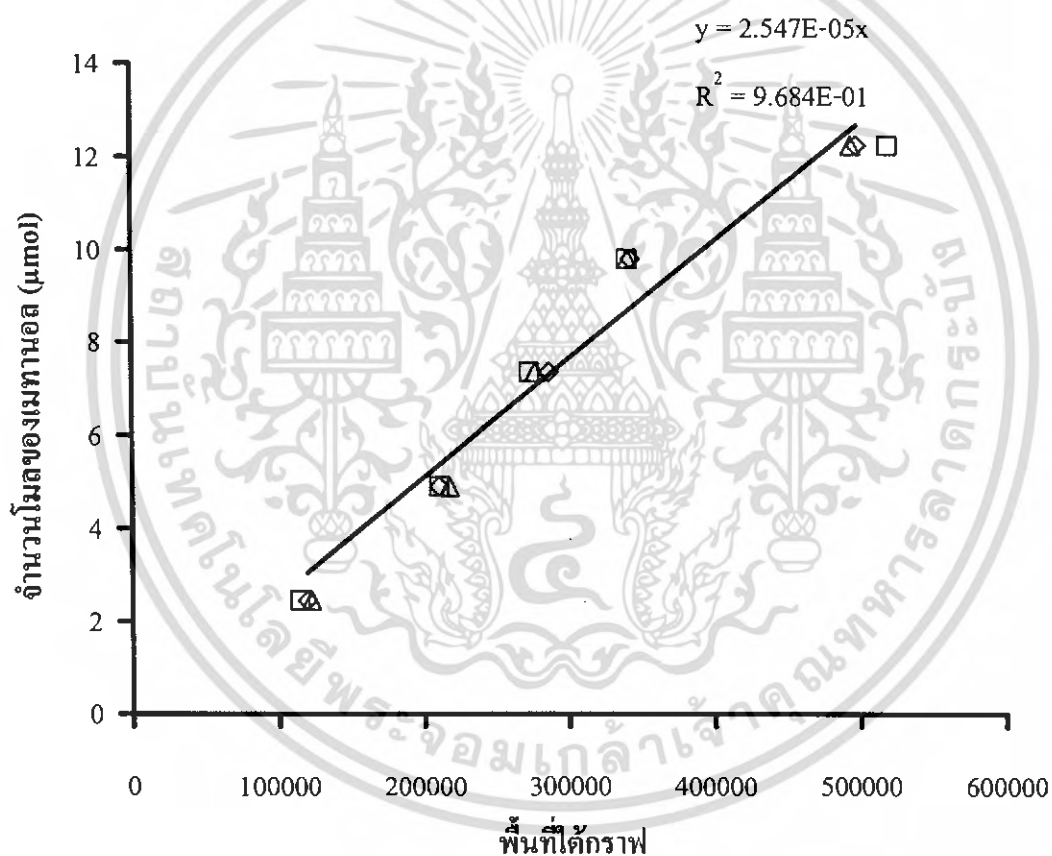


รูปที่ ก.6 กราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลปริมาณเมทานอลและพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μ l)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวนโมล (μ mol)
	1	2	3	
0.02	28237	22482	25947	0.01582
0.04	46690	45154	47106	0.03164
0.06	72829	72110	71218	0.04746
0.08	96748	87730	101687	0.06328
0.1	147423	154749	128227	0.0791

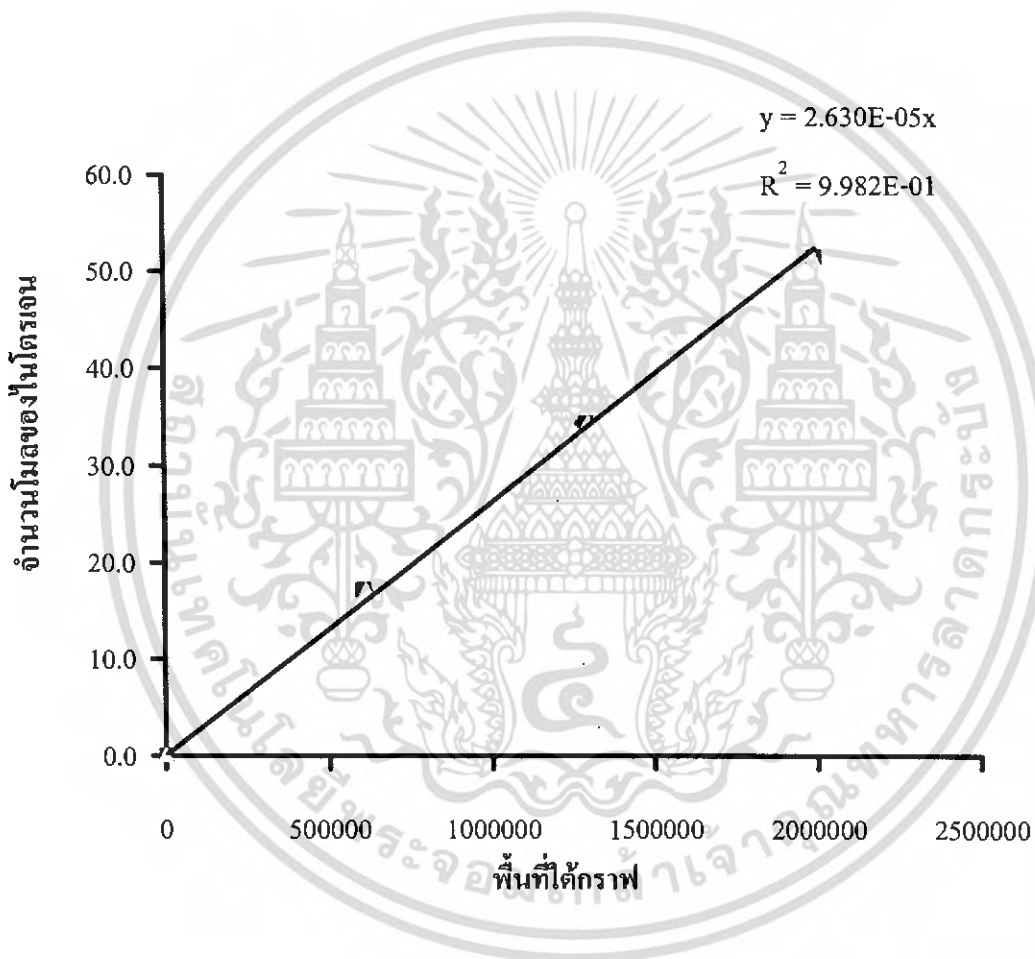


รูปที่ ก.7 กราฟมาตรฐานของเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลปริมาตรแก๊สไนโตรเจน(99.99%) และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาตร (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวน โมล (mmol)
	1	2	3	
0.5	610001	603565	612934	17.200
1	1278813	1291270	1298775	34.400
1.5	1994296	1993941	1989195	51.6

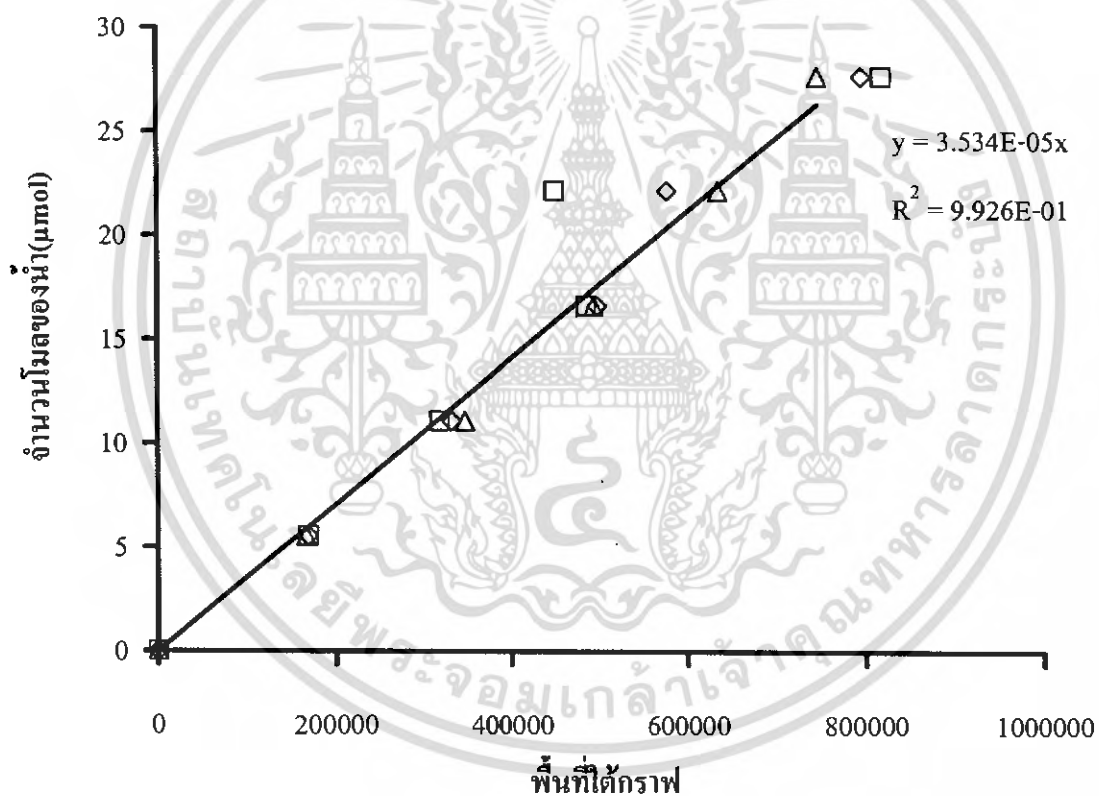


รูปที่ ก.8 กราฟมาตรฐานแก๊สไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลปริมาณน้ำ และพื้นที่ใต้กราฟเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณ (μl)	Peak Area			จำนวน โมล (μmol)
	1	2	3	
0.1	169111	169439	166601	0.1
0.2	331032	317676	345860	0.2
0.3	497673	485733	493925	0.3
0.4	577036	449426	634504	0.4
0.5	795507	818136	746093	0.5



รูปที่ ก.9 กราฟมาตรฐานน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$n = \frac{\rho \cdot V}{MW}$$

โดยที่

n = จำนวน โมล (mol)

ρ = ความหนาแน่น (g/cm³)

V = ปริมาตรของสารที่ฉีด (cm³)

MW = น้ำหนัก โมเลกุล (g/mol)

ตารางที่ ก.10 ความหนาแน่นและมวลโมเลกุล

	ความหนาแน่น (g/cm ³)	มวลโมเลกุล (g/mol)
อะซีทัลดีไฮด์	0.788	44.05
อะซีโตน	0.79	58.09
ไดเอทิลอีเธอร์	0.7134	74.12
เอทานอล	0.789	46.07
เอทิลีน	0.00118	28.05
ฟอร์มัลดีไฮด์	0.001	30.03
เมทานอล	0.7918	32.04
แก๊สไนโตรเจน	0.00125	28.01
น้ำ	1	18.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 เวลาในการเกิดสาร

สาร	เวลา (นาที)
99.5% Ethanol	6.5-7.2
10% Methanol	3.0-1.2
99.5% Ethylene	0.9-1.2
99.5% Diethyl Ether	8.0
50% Water	2.1-2.3
99.5% Acetone	7.6
40% Formaldehyde	1.7
99.5% Acetaldehyde	3.1
99.9% Nitrogen	0.6-0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข. 1 สภาวะของเครื่องวิเคราะห์แบบแก๊สโครมาโทกราฟี

รายการ	รายละเอียด
คอลัมน์แยก	Porapak R 3 mm i.d. × 2 mm
เครื่องตรวจหา	Thermal Conductivity Detector
แก๊สพา	ไนโตรเจน
อัตราการไหลของแก๊สพา	33 มิลลิลิตรต่อนาที
ปริมาตรสารตัวอย่าง	0.5 ไมโครลิตร สภาวะของเหลว
	1 มิลลิลิตร สภาวะแก๊ส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้