



การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง  
จากกระบวนการโอไลโกเมอไรเซชันแอลคีน

โดย

นางสาวเจนจิรา กุลพานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง  
จากกระบวนการโอไลโกเมอไรเซชันแอลคีน

โดย

นางสาวเจนจิรา กุลพานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



ECONOMIC ANALYSIS OF FUEL PRODUCTION FROM ALKENE  
OLIGOMERIZATION REACTION

BY

MISS JENJIRA GULPANICH



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ENGINEERING  
ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY MANAGEMENT  
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
THAMMASAT UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2016

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวเจนจิรา กุลพานิช

เรื่อง

การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง  
จากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

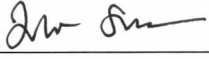
ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559

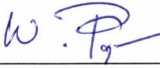
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรัตน์ ปัตตประกร)


กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาลี สันติคุณารัตน์)

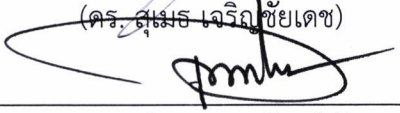
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี แผงจันทิก)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(ดร. สุ่มเชษฐ์ เจริญชัยเดช)

คณบดี

  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภัสสร วังศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน
ชื่อผู้เขียน	นางสาวเจนจิรา กุลพานิช
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาลี สันติคุณภรณ์
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

การพัฒนาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกกำลังได้รับความสนใจในทางเศรษฐศาสตร์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน โดยพิจารณาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ รวมถึงการวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุน การศึกษาแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้ (1) การเปรียบเทียบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนในเครื่องปฏิกรณ์สองแบบที่แตกต่างกัน (ถังกวนและเบตนิ่ง) (2) การเปรียบเทียบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงด้วยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันจากสารตั้งต้นสองชนิดที่แตกต่างกัน (เอทิลีนและเฮกซีน) ในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน ผลการศึกษา พบว่าโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันจากเฮกซีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนเป็นโรงงานที่ให้ผลกำไรมากที่สุด โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 353 ล้านบาทอัตราผลตอบแทนภายใน 36.2 และระยะเวลาคืนทุน 3.75 ปี จากการวิเคราะห์ความไหวตัวของอัตราคิดลด รายได้และราคาสารตั้งต้นแอลคีน รายได้และราคาสารตั้งต้นแอลคีนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิอย่างมีนัยสำคัญ

**คำสำคัญ:** การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ เฮกซีน เอทิลีน โอลิโกเมอไรเซชัน

Thesis Title	ECONOMIC ANALYSIS OF FUEL PRODUCTION FROM ALKENE OLIGOMERIZATION REACTION
Author	Miss Jenjira Gulpanich
Degree	Master of engineering
Major Field/Faculty/University	Energy and environmental technology management Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Malee Santikunaporn, Ph.D.
Academic Years	2016

### ABSTRACT

A development of alternative fuel production routes is becoming more economically attractive. This research work aimed to evaluate the feasibility of the establishment of fuel production plant from alkene oligomerization reaction considering the economic feasibility of the project and the sensitivity analysis of parameters such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and payback period (PBP). Two scenarios were studied as follows: (1) comparison of fuel production plants from hexene oligomerization reaction using two different reactors; a stirred tank reactor and a fixed-bed reactor and (2) comparison of fuel production plants from oligomerization reaction of two different feeds; ethylene and hexene, in a stirred tank reactor. The study results indicated that the fuel production plant from hexene oligomerization in a stirred tank reactor is the most profitable plant with the NPV of 353 million baht, IRR of 36.2 and PBP of 3.75 yrs. From the sensitivity analysis of discount rate, revenue and price of alkene feed, revenue and price of feed significantly affected on the change of NPV

**Keywords:** Economic evaluation, Hexene, Ethylene, Oligomerization

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาลี สันติคุณภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ในการทำการวิจัยและการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงคำแนะนำ ข้อคิดและประสบการณ์ต่างๆในชีวิตของท่านเอง เพื่อเป็นแนวทางการดำเนินชีวิตของผู้วิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์และขอขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูง และขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรัตน์ ปัตตประกร ท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราณี แพ่งจันทิก และท่าน ดร.สุเมธ เจริญชัยเดช ทั้ง 3 ท่านได้แนะนำแนวทางการทำวิจัยนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยถือโอกาส ณ ที่นี้ ขอขอบคุณน้องๆนักศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการ Catalysis and Environmental อาคารปฏิบัติการและวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วยเหลือ ให้กำลังใจและพูดคุยกับผู้วิจัยขณะทำการทดลองรวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดลอง ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนสาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 7 ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แลกเปลี่ยนความรู้และให้กำลังใจทั้งในขณะที่เรียนและทำการวิจัย และขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ให้กำลังใจกันมาตลอด ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเคมี แม่บ้านและพี่เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในการอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยในขณะที่เรียนและทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย รวมถึงคำสอนหรือคำกล่าวเตือนของท่าน ผู้วิจัยก็นำปรับใช้ในชีวิตปัจจุบัน

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบพระคุณมารดา บิดา พี่น้องและญาติๆ ที่ให้ความรัก อบรมเลี้ยงดูและเป็นกำลังใจในการดำเนินชีวิตของผู้วิจัย

คุณประโยชน์อันใดที่พึงเกิดจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาพระคุณของมารดาบิดา บรรพบุรุษ พระมหากษัตริย์และครูบาอาจารย์ทุกท่าน

นางสาวเจนจิรา กุลพานิช

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(10)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 วรรณกรรม	5
2.1.1 เอทิลีน	5
2.1.2 เฮกซีน	9
2.1.3 แก๊สปิโตรเลียมเหลว	10
2.1.4 น้ำมันเบนซิน	11
2.1.4.1 น้ำมันเบนซินออกเทน 91	11
2.1.4.2 น้ำมันเบนซินออกเทน 95	11



2.1.4.3 ลักษณะและคุณสมบัติของน้ำมันเบนซิน	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
2.2.1 การโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา	13
2.2.1.1 การโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา H-ZSM-5	13
2.2.1.2 การโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเบต้าซีโอไลต์	16
2.2.1.3 การโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ	18
2.3 เครื่องมือในการประเมินโครงการ	20
2.3.1 เครื่องมือหรือเกณฑ์ในการประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์	20
1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)	20
2 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PB)	21
3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)	22
2.4 การวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการ (Sensitivity analysis)	23
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	25
3.2 ข้อมูลงานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	26
3.2.1 งานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	26
3.2.2 งานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	27
3.3 การทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	28
3.3.1 การทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ	28
3.3.1.1 วิธีการศึกษา	28
3.3.1.2 ผลการทดลอง	30
3.4 ข้อมูลการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์	32
3.4.1 โครงการที่ 1 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน	32
3.4.2 โครงการที่ 2 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	34

3.4.3	โครงการที่ 3 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลีโอเมอไรเซชัน เอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง	36
3.5	ผลการศึกษาการปฏิกริยาโอลีโอเมอไรเซชันของโครงการผลิตเชื้อเพลิงจาก กระบวนการโอลีโอเมอไรเซชันแอลคีนโครงการที่ 1 2 และ 3	38
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	39
4.1	รายละเอียดโครงการ	41
4.2	ออกแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลีโอเมอไรเซชันแอลคีน	42
4.3	สมมูลมวล	46
4.4	ประเมินต้นทุนการผลิต	47
4.4.1	การเปรียบเทียบต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการ โอลีโอเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิด	48
4.4.2	การเปรียบเทียบต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการ โอลีโอเมอไรเซชันแอลคีนที่มีสถานะต่างกัน	50
4.5	ราคาแก๊สแอลพีจีและน้ำมันเบนซิน	52
4.6	การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	52
4.6.1	โครงการที่ 1 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลีโอเมอไรเซชัน เฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน	52
4.6.2	โครงการที่ 2 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลีโอเมอไรเซชัน เฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง	55
4.6.3	โครงการที่ 3 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลีโอเมอไรเซชัน เอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง	57
4.6.4	การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ	59
4.6.5	การประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน	60
4.6.6	การประเมินระยะเวลาคืนทุน	61
4.7	การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลง	62
4.7.1	การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงพิจารณาถึงมูลค่าปัจจุบัน สุทธิ(NPV) ต่อความผันแปรของอัตราคิดลด	62
4.7.2	การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงพิจารณาถึงมูลค่าปัจจุบัน สุทธิ(NPV) ต่อความผันแปรของรายได้	63

4.7.3 การวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงพิจารณาถึงมูลค่าปัจจุบัน สุทธิ(NPV) ต่อความผันแปรของต้นทุน	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผล	65
5.1.1 ด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชัน แอลคีน	65
5.1.1.1 การเปรียบเทียบกรณีที่ 1 การผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการ โอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน	65
5.1.1.2 การเปรียบเทียบกรณีที่ 2 การผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการ โอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนที่มีสถานะแตกต่างกัน	66
5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียน	78

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แนวโน้มความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูป (MTOE) ประเทศในกลุ่มอาเซียน	2
2.1	แสดงร้อยละการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมื่อใช้วัตถุดิบต่างชนิดกัน	6
3.1	ผลการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเบต้าซีโอไลต์	26
3.2	ผลการทดลองทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ	27
3.3	ผลการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ	30
3.4	ผลที่ได้จากปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนจากโครงการต่างๆ	38
4.1	ข้อสมมติในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	41
4.2	ปริมาณผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	42
4.3	การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน	48
4.4	การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	49
4.5	การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	50
4.6	อธิบายค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งโรงงาน	51
4.7	ราคาแก๊สแอลพีจีและน้ำมันเบนซิน	52
4.8	กระแสเงินสดสุทธิจากโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน	53
4.9	กระแสเงินสดสุทธิจากโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	55
4.10	กระแสเงินสดสุทธิจากโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	57
ก-1	การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน	72

- ก-2 การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชัน  
เฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง 74
- ก-3 การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชัน  
เอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง 76



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ปริมาณร้อยละการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วโลกในปี 2557	1
2.1	สมการกระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนและไอน้ำ	6
2.2	กระบวนการแตกตัวโมเลกุลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย	7
2.3	เครื่องแตกตัวโมเลกุลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งใช้ผลิตแอลคีนต่างๆจากแก๊สออย	8
2.4	สมการปฏิกิริยาขจัดน้ำของแอลกอฮอล์เพื่อสังเคราะห์เอทิลีน	9
2.5	การรวมโมเลกุลของเอทิลีนจากปฏิกิริยาโอลิโกเมโรไซเซชันเอทิลีน	9
2.6	สมการปฏิกิริยาขจัดน้ำของแอลกอฮอล์เพื่อสังเคราะห์เฮกซีน	9
2.7	ภาพรวมของการเกิดปฏิกิริยาหลากหลายประเภทของการแปลงแอลคีนบนซีโอไลต์กรด	13
2.8	รูปแบบกลไกการเกิดปฏิกิริยาไดเมอไรเซชัน (Dimerization) แบบ Eley-Rideal	15
2.9	ความน่าจะเป็นของปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูป (Transformation) จากเอทิลีนเป็นผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-exchanged Al-MCM-41	18
2.10	เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาของเอทิลีนบน Ni-Y ที่ 30-70 องศาเซลเซียส (o) oligomerization (i) isomerization	19
3.1	กระบวนการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมโรไซเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา	29
3.2	การเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาโอลิโกเมโรไซเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	31
3.3	กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรไซเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน	33
3.4	กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรไซเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง	35
3.5	กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรไซเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง	37
4.1	แผนผังความเชื่อมโยงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรไซเซชันแอลคีน	40

4.2	แบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน (โครงการที่ 1)	41
4.3	แบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 2)	42
4.4	แบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 3)	43
4.5	สมดุลมวลของการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน (โครงการที่ 1)	44
4.6	สมดุลมวลของการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 2)	44
4.7	สมดุลมวลของการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 3)	44
4.8	เปรียบเทียบค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	57
4.9	เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนภายในของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	58
4.10	เปรียบเทียบระยะเวลาการคืนทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	59
4.11	ผลการวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราคิดลดของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	60
4.12	ผลการวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของรายได้ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	61
4.13	ผลการวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน	62

### รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
NPV	Net present value (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ)
IRR	Internal rate of return (อัตราผลตอบแทนภายใน)
PBP	Payback period (ระยะเวลาคืนทุน)



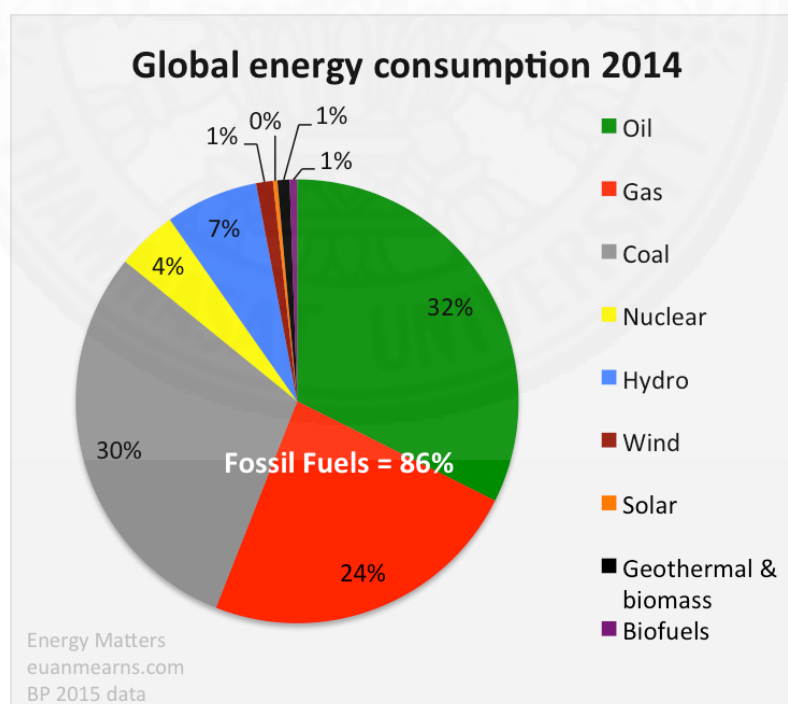


## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

พลังงานฟอสซิลเป็นพลังงานขับเคลื่อนให้โลกใบนี้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม เป็นรากฐานความทันสมัยสะดวกสบายของมนุษย์ มนุษย์นำเชื้อเพลิงฟอสซิลขึ้นมาใช้ประโยชน์จำนวนมาก จากความต้องการน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปที่กำลังเพิ่มขึ้นทั้งภายในประเทศและระดับโลก ทำให้ปริมาณของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่อยู่ใต้ผิวโลกมีปริมาณลดลงมากและใกล้จะหมดลง อาจกล่าวได้ว่าโลกอาจจะไม่สามารถพัฒนาได้เท่าปัจจุบันนี้หากไม่มีเชื้อเพลิงฟอสซิล น้ำมันและแก๊สธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานฟอสซิลที่มีความสำคัญและมีบทบาทต่อสังคมมนุษย์เป็นอย่างยิ่งทั้งในด้านการคมนาคมขนส่ง การผลิตกระแสไฟฟ้าและในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ ปัจจุบันมนุษย์จึงพยายามค้นหาและค้นคว้าเกี่ยวกับเชื้อเพลิงชนิดใหม่หรือแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ ที่จะนำมาใช้ทดแทนหรือเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลให้น้อยลง



ภาพที่ 1.1 ปริมาณร้อยละการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วโลกในปี 2557. จาก <http://euanmearns.com/global-energy-trends-bp-statistical-review-2015/>

## ตารางที่ 1.1

แนวโน้มความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูป (MTOE) ประเทศในกลุ่มอาเซียน

ประเทศ	ปี					
	2533	2543	2548	2549	2558	2573
บรูไน	0.3	0.5	0.6	0.5	0.7	0.9
กัมพูชา	0.4	0.6	0.9	1.0	1.8	4.3
อินโดนีเซีย	27.6	47.2	52.4	48.7	66.1	109.2
ลาว	0.2	0.2	0.3	0.2	0.7	1.5
มาเลเซีย	10.0	19.6	23.0	22.9	31.0	52.3
พม่า	0.6	1.5	1.8	1.7	3.0	6.8
ฟิลิปปินส์	7.3	13.6	12.7	12.0	14.7	21.2
สิงคโปร์	5.7	7.9	12.9	13.4	15.7	18.9
ไทย	16.7	30.2	38.8	39.1	46.0	74.0
เวียดนาม	2.4	6.8	12.0	11.9	21.5	54.7

หมายเหตุ. จาก <http://www.freightmaxad.com/magazine/?p=4260>

แนวโน้มความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูปของประเทศไทย มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการทำนายแนวโน้มความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูป ระหว่างปี 2548-2558 และระหว่างปี 2558-2573 พบว่าความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากอัตราการเจริญเติบโตของความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูป

การโอลิโกเมโรเซชัน (Oligomerization) แอลคีนตัวเล็กๆ เช่น เอทิลีน โพรพิลีน บิวทีนและเฮกซีน ซึ่งแอลคีนเหล่านี้เป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันและเป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการขจัดน้ำจากแอลกอฮอล์ (แอลกอฮอล์เป็นพลังงานทางเลือกที่ผลิตได้จากพืชเช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพดและมันฝรั่ง) ผลผลิตจากการโอลิโกเมโรเซชันแอลคีนทำให้ได้เชื้อเพลิงที่สะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปราศจากกำมะถันและอะโรมาติก Tabak, Krambeck, and Garwood (1986) และ Zhang, Barri, and Chadwick (2011) และแอลฟาโอเลฟินสายโซ่ตรง (Linear alpha olefins) ซึ่งมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้ได้หลากหลาย อุตสาหกรรมและผลิตภัณฑ์ เช่น โพลีเอทิลีน (LLDPE, HDPE) น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ สารตัวกลางผลิตผงซักฟอก อุตสาหกรรมกระดาษและสารเติมแต่งอื่นๆ

วิธีโอลิโกเมอไรเซชันเป็นวิธีที่นักวิชาการและอุตสาหกรรมสนใจนำมาใช้กับไฮโดรคาร์บอนพหุวัฏจักรเพื่อผลิตเชื้อเพลิงและ/หรือแอลฟาโอเลฟินสายยาว กระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันโดยการนำเอทิลีนทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ถูกใช้อย่างแพร่หลาย เช่น Shell higher olefin process (SHOP) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของนิกเกิล (Nickel-phosphine complex) Albemarle และ Chevron ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมและ Idemitsu Kosan ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมและเซอร์โคเนียม (Zirconium)

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนที่มีสถานะต่างกัน จากงานวิจัยต่างๆที่ได้มีผู้ศึกษาเผยแพร่ไว้ก่อนแล้ว แอลคีนที่สนใจศึกษา ได้แก่ เอทิลีนและเฮกซีน
- 2) ศึกษาทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆกัน
- 3) ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชัน โดยศึกษา 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 สารตั้งต้นที่มีสถานะต่างกัน (เอทิลีนและเฮกซีน) และกรณีที่ 2 เครื่องปฏิกรณ์ต่างชนิดกัน (แบบถังกวนและแบบเบดนิ่ง)

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนต่างๆ ซึ่งมีผู้ศึกษาเผยแพร่ไว้ก่อนแล้ว โดยมุ่งศึกษาปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนและเฮกซีน ซึ่งเป็นแอลคีนต่างสถานะกัน
- 2) ทำการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆกัน เพื่อหาสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดไปประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์
- 3) ประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนทั้ง 2 กรณี โดยกรณีที่ 1 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิดที่แตกต่างกันได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนและแบบเบดนิ่ง และกรณีที่ 2 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากแอลคีนที่มีสถานะแตกต่างกัน ได้แก่ เอทิลีนและเฮกซีน ในที่นี้เอทิลีนจะเป็นตัวแทนของแอลคีนที่มีสถานะเป็นแก๊ส และเฮกซีนจะเป็นตัวแทนแอลคีนที่มีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งการประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 2 กรณีนี้จะประกอบไป

ด้วย การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PBP) เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนในประเทศไทย รวมถึงวิเคราะห์ความไหวตัว (Sensitivity analysis) ของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่จะส่งผลกระทบต่อค่า NPV

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงมูลค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และผลตอบแทนจากการตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน
- 2) ทราบถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน
- 3) สามารถนำข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน จากกรณีต่างๆมาเปรียบเทียบ เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการลงทุนโรงงานผลิตเชื้อเพลิงกับผู้ที่สนใจ

## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วรรณกรรม

##### 2.1.1 เอทิลีน

เอทิลีน ( Ethylene หรือ Ethene ) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เบาที่สุด มีสูตรทางเคมี  $C_2H_6$  เอทิลีนมีสถานะเป็นแก๊สที่ไม่มีสีและไวไฟ พบแก๊สเอทิลีนเป็นปริมาณมากในแหล่งแก๊สธรรมชาติใต้ดิน พีชและจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตแก๊สเอทิลีนได้ การผลิตเอทิลีนเพื่อใช้ทางการค้าผลิตจากกระบวนการสตีมแครกกิง (Steam cracking) ในยุโรปและเอเชียเอทิลีนส่วนใหญ่ผลิตจากกระบวนการแครกกิงของแนฟทาและคอนเดนเสทจากการผลิตร่วมของโพรพิลีน โอเลฟินและอะโรมาติก เอทิลีนยังเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการกลั่นแยกปิโตรเลียม นอกจากนี้สามารถผลิตเอทิลีนจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีจากแอลกอฮอล์

##### การผลิตเอทิลีน

1) วิธีแตกตัวโมเลกุล (Cracking) ใช้วัตถุดิบ ตัวอย่างเช่น

ก. อีเทน โพรเพน และบิวเทนจากแก๊สธรรมชาติ

ข. แนฟทา ไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่  $C_5-C_{10}$  ที่ได้จากการกลั่น

น้ำมันดิบ

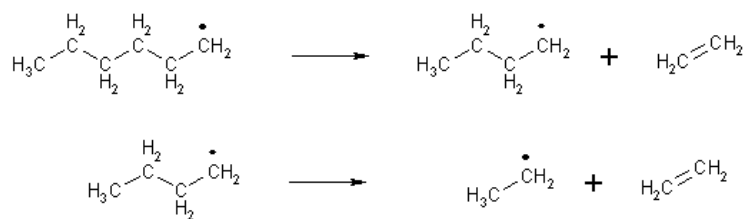
ค. แก๊สออยและส่วนที่เหลือที่ได้มาจากขั้นตอนการกลั่นน้ำมัน

ขั้นต้น

(1) กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนและไอน้ำ

(Thermal steam cracking)

กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนและไอน้ำหรือ สตีมแครกกิงเป็นกระบวนการแตกตัวโมเลกุลของวัตถุดิบ เช่น อีเทนและโพรเพน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญ คือ เอทิลีนและโพรพิลีน นอกจากนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ร่วม เช่น มิกซ์ซีโพรไฟโรไลซิสแก๊สโซลีน แก๊สมีเทนและแก๊สไฮโดรเจน



ภาพที่ 2.1 สมการกระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนและไอน้ำ

ตารางที่ 2.1

ร้อยละการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมื่อใช้วัตถุดิบต่างชนิดกัน

Typical Steam Cracker Yields Based On Various Feedstocks

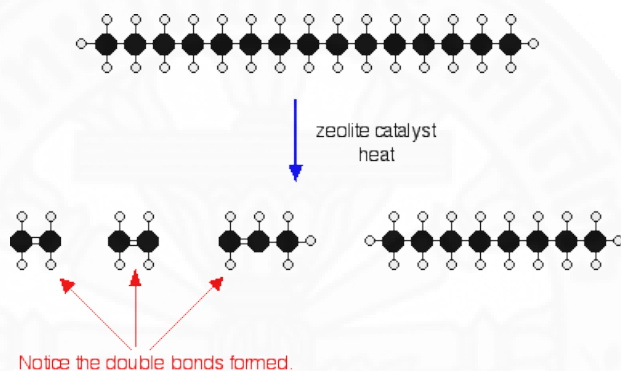
(Yield by weight)	Light feeds			Heavy feeds	
	Ethane	Propane	Butane	Naphtha	Gasoline
Hydrogen&Methane	13%	28%	24%	26%	18%
Ethylene	80%	45%	37%	30%	25%
Propylene	2%	15%	18%	13%	14%
Butadiene	1%	2%	2%	5%	5%
Mixed butenes	2%	1%	6%	8%	6%
C <sub>5</sub> +	2%	9%	13%	8%	7%
Benzene	0%	0%	0%	5%	5%
Toluene	0%	0%	0%	4%	3%
Fuel oil	0%	0%	0%	2%	18%

หมายเหตุ. จาก [http://www.usaee.org/usaee2013/submissions/OnlineProceedings/USAEE2013\\_NGLNA.31may13.v2.pdf](http://www.usaee.org/usaee2013/submissions/OnlineProceedings/USAEE2013_NGLNA.31may13.v2.pdf)

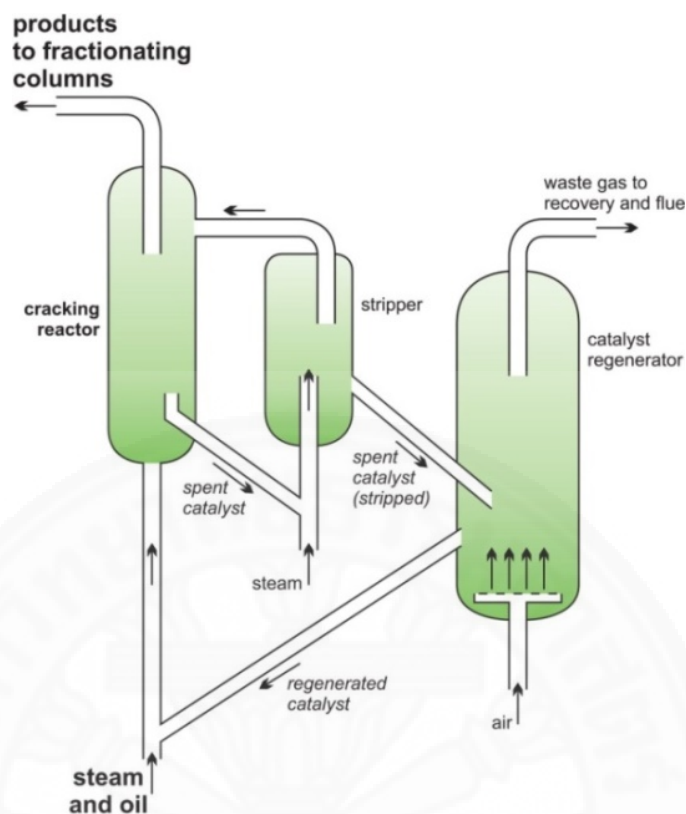
## (2) กระบวนการแตกตัวโมเลกุลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย

## (Catalytic Cracking)

กระบวนการแตกตัวโมเลกุลของวัตถุดิบโมเลกุลใหญ่ที่ ยากต่อการแตกตัวจำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย เช่น วัตถุดิบจำพวกแก๊สออยและน้ำมันเตาที่ได้ จากการกลั่นน้ำมันดิบตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิในการเกิดกฏิกิริยา เมื่อนำวัตถุดิบมาระเหยผ่าน ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีความร้อนประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส จะได้น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลเป็นหลักและเกิดโพรพิลีนเป็นผลพลอยได้ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกแยกออกจากผลผลิต และถูกนำกลับไปใช้ใหม่



ภาพที่ 2.2 กระบวนการแตกตัวโมเลกุลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย



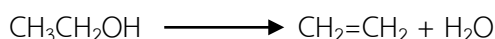
ภาพที่ 2.3 เครื่องแตกตัวโมเลกุลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งใช้ผลิตแอลคีนต่างๆจากแก๊สออย. จาก <http://www.essentialchemicalindustry.org/processes/cracking-isomerisation-and-reforming.html>

ผลผลิตที่ได้ ได้แก่ แก๊สซึ่งมีเอทิลีนและโพรพิลีนเป็นส่วนประกอบหลัก ของเหลวซึ่งใช้สำหรับรถยนต์ และประกอบด้วยแอลเคนสายโซ่กิ่ง ไซโคลแอลเคนและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ส่วนที่เหลือมีจุดเดือดสูงจะใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง



## 2) การผลิตเอทิลีนจากแอลกอฮอล์

วิธีสังเคราะห์เอทิลีนโดยกระบวนการขจัดน้ำ (Dehydration) แอลกอฮอล์ ปฏิกริยาขจัดน้ำของแอลกอฮอล์เพื่อสังเคราะห์เอทิลีนโดยการให้ความร้อนสูงในสภาวะกรดที่รุนแรง เช่น กรดซัลฟูริกหรือกรรอฟอสฟอริก สำหรับสมการนี้ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพที่ 2.4 สมการปฏิกิริยาขจัดน้ำของแอลกอฮอล์เพื่อสังเคราะห์เอทิลีน

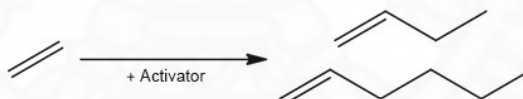
### 2.1.2 เฮกซีน

เฮกซีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีสูตรเคมี  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  เป็นของเหลวใสไม่มีสี ไร้ไฟ ใช้เป็นตัวทำละลาย ทินเนอร์สีและตัวกลางในปฏิกิริยาเคมี

#### การผลิตเฮกซีน

##### 1) การโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีน

การโอลิโกเมอไรเซชันของเอทิลีน คือ การรวมโมเลกุลของเอทิลีนเพื่อผลิตแอลฟาโอเลฟินสายยาวซึ่งจะให้คาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่

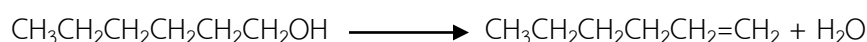


ภาพที่ 2.5 การรวมโมเลกุลของเอทิลีนจากปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีน. จาก

<http://www.ifpenergiesnouvelles.com/Expertise/Research-divisions/Catalysis-and-separation/Iron-is-best>

## 2) กระบวนการขจัดน้ำจากเฮกซานอล

วิธีสังเคราะห์เฮกซีนโดยกระบวนการขจัดน้ำเฮกซานอลใช้หลักการเดียวกับวิธีสังเคราะห์เอทิลีนโดยกระบวนการขจัดน้ำ (Dehydration) แอลกอฮอล์



ภาพที่ 2.6 สมการปฏิกิริยาขจัดน้ำของแอลกอฮอล์เพื่อสังเคราะห์เฮกซีน

### 2.1.3 แก๊สปิโตรเลียมเหลว

หมายถึง แก๊สไฮโดรคาร์บอนเหลว ได้แก่ โพรเพน นอร์มัลบิวเทน ไอโซบิวเทน หรือบิวทีน อย่างไม่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน โดยทั่วไปเรามักเรียกแก๊สปิโตรเลียมเหลวนี้ว่า แก๊สหุงต้ม ส่วนในชื่อทางการค้าและอุตสาหกรรม คือ แอลพีจี (LPG) ซึ่งเป็นอักษรย่อมาจาก Liquefied Petroleum Gas แก๊สปิโตรเลียมเหลวมีสภาพเป็นแก๊สที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีน้ำหนักประมาณ 1.5-2 เท่าของอากาศ การที่ได้ชื่อว่าปิโตรเลียมเหลวเนื่องจากแก๊สจะถูกอัดให้อยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันเพื่อสะดวกต่อการเก็บและการขนส่ง เมื่อลดความดันแก๊สเหลวนี้จะกลายเป็นไอสามารถนำไปใช้งานได้

แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร พาณิชยกรรม อุตสาหกรรมและในรถยนต์ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ขนส่งสะดวกไม่เปลืองที่เก็บและที่สำคัญเมื่อเผาไหม้แล้วเกิดเขม่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น

#### แหล่งที่มาของแก๊สปิโตรเลียมเหลว

แหล่งที่มาของแก๊สมี 2 แหล่ง ได้แก่

1) ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งจะได้แก๊สโพรเพนและบิวเทนประมาณร้อยละ 1-2 ก่อนที่จะนำน้ำมันดิบเข้ากลั่นต้องแยกน้ำและเกลือแร่ที่ปนอยู่ก่อนเสียก่อนจากนั้นนำน้ำมันดิบมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 340-400 องศาเซลเซียส และจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นซึ่งภายในประกอบด้วยถาดเป็นชั้นๆหลายสิบชั้น ไอร้อนที่ลอยขึ้นไปเมื่อเย็นตัวลงจะกลั่นตัวเป็นของเหลวบนถาดตามชั้นต่างๆ และจะอยู่ชั้นใดขึ้นอยู่กับจุดเดือดต่ำจะลอยขึ้นสู่เบื้องบนของหอกลั่น คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นแก๊ส (แอลพีจีรวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย) ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดปานกลางและสูงก็จะแยกตัวออกมาทางตอนกลางและตอนล่างของหอกลั่น ซึ่งได้แก่ แนพทา (Naphtha) น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซลและน้ำมันเตา ตามลำดับ

ไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นแก๊สที่ออกจากด้านบนของหอกลั่นรวมเรียกว่า แก๊สปิโตรเลียม ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของ แก๊สไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 1 อะตอมถึง 4 อะตอมและมีแก๊สไฮโดรเจน ซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ไนโตรเจน ( $N_2$ ) ไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และอื่นๆปนอยู่ จำเป็นต้องกำจัดหรือแยกออกโดยนำแก๊สปิโตรเลียมผ่านเข้าหน่วยแยกแก๊สแอลพีจี (Gas recovery unit) เพื่อแยกเอาโพรเพนและบิวเทน (แอลพีจี) ออกมา จากนั้นแอลพีจีจะถูกส่งเข้าหน่วยฟอก ซึ่งใช้โซดาไฟเพื่อแยกเอากรดเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์และคาร์บอนไดออกไซด์ออก และแอลพีจีจะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บซึ่งมีสภาพเป็นของเหลวภายใต้ความดัน

**2) ได้จากกระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติ** ซึ่งจะมีแก๊สโพรเพนและบิวเทนในแก๊สธรรมชาติประมาณร้อยละ 6-10 แก๊สธรรมชาติที่นำขึ้นมาจะส่งเข้าสู่โรงแยกแก๊ส (Gas separation plant) เพื่อทำการแยกเอาสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในแก๊สธรรมชาติ ออกเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ คือ มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน แอลพีจีและแก๊สโซลีนธรรมชาติ (Natural gasoline, NGL) กระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติเริ่มต้นด้วยการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และน้ำที่เจือปนอยู่ในแก๊สธรรมชาติออกก่อน แก๊สธรรมชาติที่แห้งจากหน่วยนี้ถูกลดอุณหภูมิและลดความดันลงก่อนแล้วจึงเข้าสู่หอแยกมีเทน มีเทนจะถูกกลั่นแยกออกไปและส่วนที่เหลือ คือ ส่วนผสมของแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและจะออกทางส่วนล่างของหอ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหอดังกล่าวจะถูกนำเข้าสู่หอแยกอีเทนและหอแยกโพรเพน โพรเพนจะถูกแยกออกทางด้านบนของหอส่วนแอลพีจี ซึ่งเป็นส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทนจะถูกแยกออกมาจากส่วนกลางของหอ และส่วนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอทางด้านล่าง คือ แก๊สโซลีนธรรมชาติ (Natural gasoline)

#### 2.1.4 น้ำมันเบนซิน

น้ำมันเบนซินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมีจำนวน 8 อะตอมใน 1 โมเลกุล เรียกว่า ไอโซออกเทน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยที่คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อให้ทันกับวิวัฒนาการของเครื่องยนต์ที่เจริญก้าวหน้าอย่างไม่หยุดยั้งเช่นกัน เครื่องยนต์แต่ละชนิดมีความต้องการออกเทนสูงไม่เท่ากัน

##### 2.1.4.1 น้ำมันเบนซินออกเทน 91

น้ำมันเบนซินออกเทน 91 มีค่าออกเทน 91 มีสีแดง ใช้กับน้ำมันเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดต่ำกว่า 8:1 ซึ่งได้แก่ รถยนต์นั่งขนาดเล็ก รถมอเตอร์ไซค์เครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น เครื่องปั่นไฟ รถตัดหญ้า หรือ ปั้มน้ำขนาดเล็ก

##### 2.1.4.2 น้ำมันเบนซินออกเทน 95

น้ำมันเบนซินออกเทน 95 มีค่าออกเทน 95 มีสีเหลืองอ่อน เหมาะสมกับเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดสูงกว่า 8:1 ขึ้นไปซึ่งได้แก่ รถยนต์นั่งทั่วไป รถบรรทุกเล็ก (เครื่องยนต์เบนซิน)

##### 2.1.4.3 ลักษณะและคุณสมบัติของน้ำมันเบนซิน

1) ค่าออกเทน คือ ตัวเลขแสดงคุณสมบัติด้านทานการน็อกหรือการเคาะ (Anti-knock Quality) ในสภาพการเผาไหม้ปกติ เมื่อส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงถูกจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน การเผาไหม้เริ่มต้นขึ้นและดำเนินติดต่อกันไปจนสุดห้องเผาไหม้ กรณีบางส่วนของเชื้อเพลิงที่เปลวไฟยังลามไปไม่ถึงทนความร้อนสูงและความดันสูงไม่ได้จะจุดระเบิด

ขึ้นเอง (Self-Ignition) โดยเป็นการจุดระเบิดอย่างรุนแรงที่ไม่สามารถควบคุมได้ เกิดคลื่นความถี่สูงมากวิ่งเข้าปะทะกับเปลวไฟที่กำลังลามมาจากหัวเทียนเกิดการน็อกหรือเคาะมีเสียงดัง (Pinging Sound) เครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) สูงขึ้น อุณหภูมิและความดันในห้องเผาไหม้ก็จะสูงขึ้นตาม จะมีความต้องการน้ำมันที่มีค่าออกเทนสูงขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดการน็อก โดยประมาณอัตราส่วนการอัดเกิน 9:1 ขึ้นไปควรใช้น้ำมันออกเทน 95 อัตราส่วนการอัด 8:1-9:1 ควรใช้น้ำมันออกเทน 91 โดยทั่วไปผู้ผลิตรถยนต์จะให้คู่มือแนะนำว่าควรใช้น้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนอย่างต่ำเท่าใด

2) เลขออกเทน น้ำมันเบนซินส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 6-12 อะตอมต่อ 1 โมเลกุล แต่ในน้ำมันเบนซินประกอบด้วยชนิดและไอโซเมอร์ที่ต่างกันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ทำให้เกิดการติดไฟและระเบิดในเครื่องยนต์ไม่พร้อมกัน น้ำมันเบนซินที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่กิ่งหรือแบบอะโรมาติกจัดเป็นน้ำมันเบนซินที่มีประสิทธิภาพในการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ดีกว่าไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรง เพราะสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรงติดไฟได้ง่ายกว่าและเกิดการระเบิดเร็วกว่าจังหวะที่ควรเป็นในกระบอกสูบ ทำให้เครื่องเกิดอาการเดินไม่เรียบ ซึ่งเรียกว่า การชิงจุดระเบิด การกำหนดคุณภาพเบนซินกำหนดเป็นเลขออกเทนใช้ไอโซเมอร์ของออกเทนที่มีชื่อสามัญว่าไอโซออกเทน (Isooctane) เป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเพราะช่วยป้องกันการชิงจุดระเบิด ทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เหมาะสมเป็นเชื้อเพลิง คือ เฮปเทนชนิดโซ่ตรง เพราะทำให้เครื่องยนต์เกิดการชิงจุดระเบิดได้ง่าย ถ้าน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนสูงจะมีผลดีต่อการใช้งานและต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดังนี้

- ก) การเผาไหม้สมบูรณ์ให้พลังงานสูง
- ข) ป้องกันการเสียหายจากการน็อกของเครื่องยนต์
- ค) เครื่องยนต์สะอาด ปราศจากเขม่า
- ง) ประหยัดน้ำมันเบนซิน
- จ) อายุการใช้งานเครื่องยนต์ยาวนาน
- ฉ) ลดสภาวะมลพิษในสิ่งแวดล้อม
- ช) ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันเครื่อง

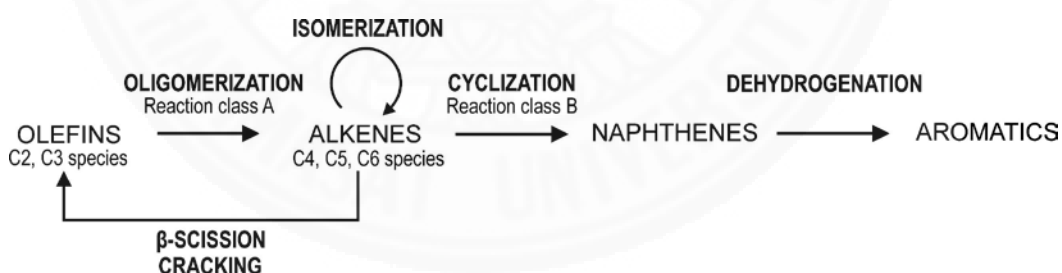
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การโอลิโกเมโรเซชันโอเลฟินชนิดเบา ( $C_3$ - $C_6$ ) บนตัวเร่งปฏิกิริยากรด มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่า เพื่อใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง (เช่น เบนซินและดีเซล) และสารหล่อลื่น ตัวเร่งปฏิกิริยากรดทั้งบรอนสเตด (Brønsted acid) และลูอิส (Lewis acid) ถูกใช้ในการโอลิโกเมโรเซชันเพราะง่ายต่อการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรกับธรรมชาติสิ่งแวดล้อม Catani, Mandreoli, Rossini, and Vaccari (2002) ปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการโอลิโกเมโรเซชันที่เปลี่ยนแนฟทาเบา  $C_5$ - $C_6$  (Light cracked naphtha: LCN) ที่ได้จากกระบวนการ FCCU (Fluid Catalytic Cracking Unit) เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพสูงอีกด้วย Bellussi, Mizia, Calemma, Pollesel, and Millini (2012)

### 2.2.1 การโอลิโกเมโรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 2.2.1.1 การโอลิโกเมโรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา H-ZSM-5

โอลิโกเมโรเซชันไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่ ย้อนกลับไปในปีค.ศ.1934 โพรพิลีนและบิวทีนถูกโอลิโกเมโรเซชันบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ipatieff ได้ผลิตภัณฑ์เป็น  $C_6$ - $C_{10}$  ไอโซโอเลฟิน Ipatieff, Corson, and Egloff (1935)



ภาพที่ 2.7 ภาพรวมของการเกิดปฏิกิริยาหลากหลายประเภทของการแปลงแอลคีนบนซีโอไลต์กรด. จาก Vandichel, Lesthaeghe, Mynsbrugge, Waroquier, and Speybroeck, (2010)

1) อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันบนตัวเร่งปฏิกิริยา H-ZSM-5

ในปีค.ศ. 1989 มีการศึกษาอุณหภูมิของการโอลิโกเมโรเซชันโอเลฟินบน H-ZSM-5 โดย Kolke และคณะ พบว่าที่อุณหภูมิ 295 เคลวิน โพรพิลีนทำปฏิกิริยาภายใน

ซีโอไลต์อย่างรวดเร็วได้สายโซ่โพลิโกลิเมอร์ขนาดใหญ่ ในขณะที่เอทิลีนต้องให้ความร้อนกับซีโอไลต์ถึง 370 เคลวินทั้งเอทิลีนและโพรพิลีนให้ช่วงผลิตภัณฑ์ C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub> เหมือนกัน Kolke and Gorte (1989) และงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลง (Conversion) โดยคณะวิจัยของ Yarlagadda ศึกษาเกี่ยวกับการโพลิโกลิเมอร์ไรเซชันเอทิลีนและโพรพิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีองค์ประกอบของซีโอไลต์ Yarlagadda, Lund, and Ruckenstein (1990) รั้อยละ 1-10 โดยน้ำหนักของ H-Al-ZSM-5 ถูกฝังบนซิลิกาอะลูมินา (รั้อยละ 15 โดยน้ำหนัก Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งโดยทำการทดลองในสถานะแก๊สช่วงอุณหภูมิ 200–600 องศาเซลเซียส และค่าความเร็วของการป้อน (Weight hourly space velocity) 3.4±0.1 กรัมแอลคีน/กรัมตัวเร่งปฏิกิริยา/ชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศ พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลีนและโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา และที่รั้อยละ 10 โดยน้ำหนักของ ZSM-5 ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิแคบๆ Yamamura, Chaki, Wakatsuki, Okado, and Fujimoto (1994)

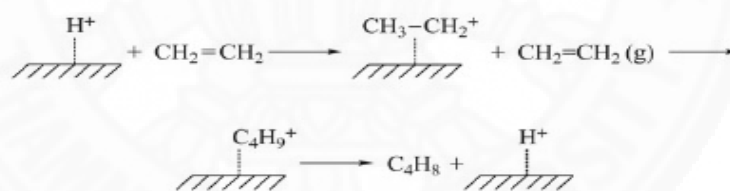
ต่อมาในปีค.ศ. 1998 Jeong และคณะทำการทดลองการโพลิโกลิเมอร์ไรเซชันเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์กรด H-ZSM-5 ที่ความดัน 17.8 กิโลปาสคาล ให้ผลดังนี้ ที่อุณหภูมิ 298 เคลวินพบแอลคีนสายยาว (คาร์บอนมากกว่า 18 อะตอม) และการเกิดปฏิกิริยากับเอทิลีนที่ 420 เคลวินผลิตสารผสมแอลคีนสายตรง แอลแคนชนิดกิ่งและโมโนนิวเคลียร์อะโรมาติก ที่ 560 เคลวินผลิตภัณฑ์ตัวหลักๆที่พบ คือ แอลคิลเบนซีน (Alkylbenzenes) และแอลคิลแนฟธาเลน (Alkyl naphthalenes) Jeong, Fisher, Howe, and Willett (1998) และ Stepanov และคณะทำการทดลองที่อุณหภูมิ 296 เคลวิน ใช้อุณหภูมิใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Jeong และคณะ (298 เคลวิน) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารผสมไฮโดรคาร์บอน C<sub>5</sub>-C<sub>14</sub> Stepanov, Luzgin, Romannikov, Sidelnikov, and Paukshtis (1998) และในปีค.ศ. 2013 Coelho และคณะได้ทดลองเปลี่ยน 1-บิวทีนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธีโพลิโกลิเมอร์ไรเซชันบนตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน C<sub>8</sub><sup>+</sup> ของงานวิจัยนี้ คือ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 0.5 บาร์ พบว่า ZSM-5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมและเกือบจะเป็นกระบวนการสถานะคงตัว (Steady-state) การยับยั้งกัมมันต์ (Deactivation) เกิดขึ้นเมื่อภาวะความเป็นกรดลดลง ที่อุณหภูมิต่ำประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาดูเหมือนว่าถูกขัดขวางจากการกลายเป็นไอของผลิตภัณฑ์ Coelho, Caeiro, Lemos, and Ribeiro (2013)

2) อิทธิพลของขนาดของผลึก ขนาดของรูพรุน จำนวนกรดบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาโพลิโกลิเมอร์ไรเซชันบนตัวเร่ง ZSM-5

ในปีค.ศ. 1985 งานวิจัยของ Occeci และคณะศึกษาการโพลิโกลิเมอร์ไรเซชันโพรพิลีนบนโมเลกุลาร์ซีฟ (ซีโอไลต์; ZSM-5, Boralite, Offertite, H-Y,

Mordenite and omega) แบบเบตนิ่ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้สัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของซีโอไลต์ ได้แก่ C<sub>6</sub>-C<sub>12</sub> และโอลิโกเมอร์ที่ยาวกว่า Occeli, Hsu, and Galaya (1985) และงานวิจัยของ Grieken และคณะใช้ 1-เฮกซีนเป็นสารตั้งต้นและใช้ออกเทนเป็นตัวทำละลาย Grieken, Escola, Moreno, and Rodriguez (2006) โดยทั่วไปสภาวะที่ใช้สำหรับ Mobil Olefin to Gasoline and Distillate (MOGD) ใช้อุณหภูมิและความดันอยู่ระหว่าง 200-280 องศาเซลเซียส และ 1-5 เมกะปาสคาล ตามลำดับ โดยงานวิจัยดังกล่าวนี้ใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และความดัน 5 เมกะปาสคาล ตัวเร่งปฏิกิริยา  $\mu$ -HZSM-5 ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงแคร์้อยละ 8.4 ซึ่งตัวอื่นๆจะให้ค่ามากกว่าร้อยละ 75 เพราะว่ามีผลึกขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสภายนอกน้อยและทำในสภาวะที่ทำให้เกิดการยับยั้งกัมมันต์สูง จากการวิเคราะห์การจำลองการกลั่น n-HZSM-5 ให้เชื้อเพลิงชนิดหนักที่สุด (C<sub>28</sub>-C<sub>40</sub> = ร้อยละ 11.7)

ปีค.ศ. 2006 ได้มีการศึกษาอิทธิพลความหนาแน่นของกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนในแก๊สแห่ง FCC อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ความดัน 0.4 เมกะปาสคาล โดย Ding และคณะพบว่าค่าความหนาแน่นของกรดมีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลง โดยค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลีนเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพิลีน บิวทีนและ C<sub>5</sub><sup>+</sup> Ding, Geng, Li, Yang, and Wang (2009)



ภาพที่ 2.8 รูปแบบกลไกการเกิดปฏิกิริยาไดเมอไรเซชัน (Dimerization) แบบ Eley-Rideal

ซึ่งสอดคล้องกับ Corma และคณะที่ได้ทำการศึกษาการออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยา MFI เพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการโอลิโกเมอไรเซชัน C<sub>3</sub><sup>=</sup> และ C<sub>5</sub><sup>=</sup> เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลวคุณภาพสูง จากการทดลอง ZSM-5 แสดงถึงการมีความหนาแน่นของตำแหน่งกรด บรอนสเตดสูง และมีผลึกขนาดเล็กซึ่งให้ค่าการเปลี่ยนแปลงโอเลฟินสูงและความเสถียรต่อการยับยั้งกัมมันต์ในขณะกระบวนการผลิต การทำโพรซินธีสิสพรีตเมนต์ (Postsynthesis) ทำให้สูญเสียความเป็นกรด แม้ว่า จะให้ทางเข้าที่สูงกว่าแต่ก็ไม่สามารถชดเชยการลดลงของจำนวนตำแหน่งกัมมันต์ (Active site) ได้ ถ้าหากโอเลฟินที่ใช้มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้น เช่น เพนทีนก็จะเกิดผลิตภัณฑ์ที่ใหญ่ขึ้นจึงมีความเสี่ยงที่รูพรุนจะถูกอุดตันได้สูงและการยับยั้งกัมมันต์ก็เกิดเร็วขึ้น ซีโอไลต์สำหรับการ

โอลิโกเมอโรเซชันต้องเหมาะสมกับสารตั้งต้นและเมโสพอร์ัส (Mesoporous) ลำดับ 2 จะมีประโยชน์มากกว่าถ้าใช้ในการโอลิโกเมอโรเซชันโอเลฟินที่ใหญ่กว่า Corma, Martinez, and Dorskocil (2013) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งกรดบรอนสเตดโดย Mlinar และคณะในการโอลิโกเมอโรเซชันโพรพิลีนพบว่าความใกล้ชิดของตำแหน่งกรดบรอนสเตดและการดูดซับโอลิโกเมอร์ใน H-MFI ที่มีสัดส่วนซิลิกา/อะลูมินาต่ออาจจำกัดโอลิโกเมอร์ภายในรูพรุนของซีโอไลต์นำไปสู่การเกิดเป็นอะโรมาติก Mlinar, Zimmerman, Celik, Head-Gardon, and Bell (2012)

### 3) กลไกการเกิดปฏิกิริยา

ในปีค.ศ. 2003 Klepel และคณะศึกษาโครงสร้างการไอโซเมอโรเซชัน (Isomerization) ของนอมอลบิวทีนใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด H-ZSM-5 ที่มีสัดส่วนซิลิกา/อะลูมินา 90 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและอุณหภูมิ 548 ถึง 673 เคลวิน พบว่าเกิด  $C_8$  ชนิดพื้นผิวในชั้นแรกและจะสลายตัวเป็นโพรพิลีนและเพนทีน และดูดซับ  $C_3$  หลายชนิดเกิดไดเมอไรซ์ที่กลายเป็นเฮกซีน นอกจากนี้ยังมีการโอลิโกเมอโรเซชันเป็น  $C_{12}$  ชนิดพื้นผิวที่เกิดจากการสลายของเพนทีน เฮกซีนและเฮปทีน แนวโน้มการเกิดโอลิโกเมอโรเซชันลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น วิธีการเกิดปฏิกิริยาของโอเลฟินชนิดเบา เช่น โพรพินและเอทิลีนเหมือนที่เกิดขึ้นกับนอมอลบิวทีน คือ การเพิ่มขึ้นที่ละน้อยของการโอลิโกเมอโรเซชันกับเวลาการเกิดปฏิกิริยาตามด้วยการสลายตัวทันที Klepel, Loubentsov, Bohlmann, and Papp (2003)

#### 2.2.1.2 การโอลิโกเมอโรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเบต้าซีโอไลต์

การโอลิโกเมอโรเซชันโอเลฟินชนิดเบา  $C_3$  เป็น  $C_5$  เพื่อนำสู่การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงออกเทนสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ถูกใช้เพื่อกำหนดความยาวสายโซ่เป็นหน่วยโมโนเมอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผิวสัมผัสเป็นกรดเช่น H-Y และ ZSM-5 ล้วนมีข้อบกพร่องจากมีอัตรายับยั้งกัมมันต์สูง แม้ว่าจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงแต่ก็เกิดการยับยั้งกัมมันต์อย่างรวดเร็วซึ่งน่าจะเป็นเพราะการผลิตโอลิโกเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สอดคล้องกับเหตุผลที่ซีโอไลต์มีรูพรุนขนาดเล็กจึงเกิดถูกยับยั้งกัมมันต์ได้เร็วนั่นเอง อีกทั้งการเกิดเขม่า (Coke) ขึ้นในระหว่างการโอลิโกเมอโรเซชันและปฏิกิริยาไฮโดรคาร์บอนดีไฮโดรจีเนชัน (Hydrocarbon dehydrogenation reaction) หรือจากการแตกตัวของสายโซ่ยาว ลักษณะจำเพาะของซีโอไลต์เมมเบรน คือ มีรูพรุนขนาดเล็กและสม่ำเสมอซึ่งเหมาะกับปฏิกิริยาการรวมและการแยก Hauge, Bergene, Chen, Frediksen, and Holmen (2005)

งานวิจัยในช่วงปีค.ศ. 2003 มุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตของออกเทนสูงในกระบวนการโอลิโกเมอโรเซชันไอโซบิวทีนเพื่อทดแทนเบนซีนและ/หรือสารเติมแต่งเมทิลเทอเชียรีบิวทิลอีเทอร์ (Methyl tertiary-butyl ether) ในน้ำมันเบนซินออกเทนสูง ปฏิกิริยาโอลิโกเมอโรเซชันผลิตไอโซออกทีนจากไอโซบิวทีนและยังได้สารประกอบ  $C_{12}^+$  และ/หรือ  $C_{16}^+$  อีก



ด้วย การควบคุมเวลาคงอยู่ของสารตั้งต้นในรูพรุนเพิ่มค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ (Selectivity) เป็น  $C_8$  และผลผลิตอื่น เป้าหมายที่ 2 คือ การลดการยับยั้งกัมมันต์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเมมเบรน ถ้าไอโซบิวทีนค้างอยู่ในรูพรุนเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการโอลิโกเมโรเซชันผลิตไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวซึ่งจะปิดกั้นรูพรุนและยับยั้งกัมมันต์ของตัวเร่งปฏิกิริยา Torres, Gutierrez, Lopez, et al. (2003)

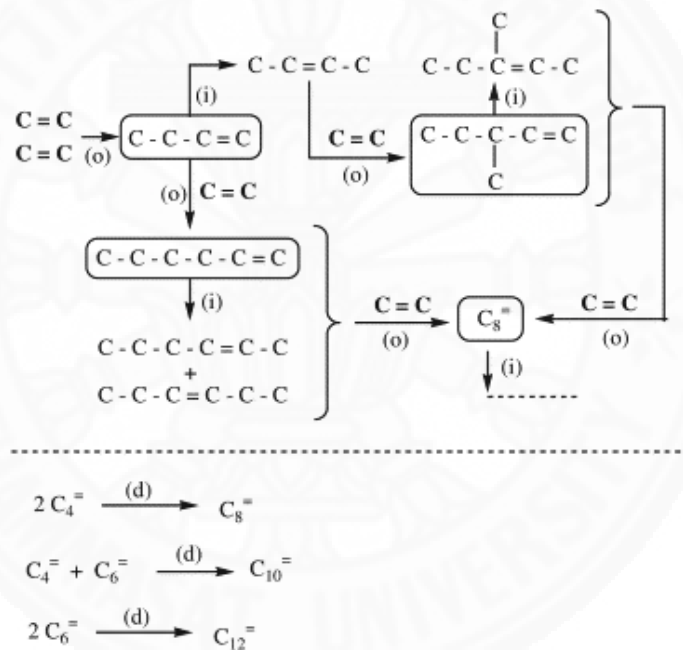
งานวิจัยใช้เบต้าซีโอไลต์ฟิล์มรองรับบน  $\alpha$ - $Al_2O_3$  เมมเบรนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการโอลิโกเมโรเซชันโอเลฟิน การซึมเข้าไปในรูพรุนของไอโซบิวทีนและนอมอลบิวทีนผ่านเบต้าซีโอไลต์เมมเบรนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ประมาณ 500 เคลวิน เปรียบเทียบเครื่องปฏิกรณ์แบบเมมเบรนและเบตติงที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 373 เคลวิน อัตราการไหล 30 มิลลิลิตรต่ออนาที และความเร็วของการป้อนเดียวกัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตติงมีอัตราการผลิต  $C_8 = 1.4 \times 10^{-4}$  โมล วินาที<sup>-1</sup> กรัม<sup>-1</sup> และเครื่องปฏิกรณ์แบบเมมเบรนมีอัตราการผลิต  $1.2 \times 10^{-4}$  โมล วินาที<sup>-1</sup> กรัม<sup>-1</sup> จากการสังเคราะห์เบต้าซีโอไลต์เคลือบบนตัวรองรับเซรามิกเมมเบรน คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากรดประกอบด้วยอะลูมินาซีโอไลต์ใช้ในปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันไอโซบิวทีน สารตั้งต้นซึมผ่านเข้าสู่เมมเบรนที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นชั้นบางๆมีการควบคุมเวลาคงอยู่ได้ดีซึ่งอาจจะมีส่วนในการเพิ่มของการเลือกเกิดเป็น  $C_8$  ลดการเกิดของปฏิกิริยาที่ไม่ปรารถนาซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Torres และคณะในปีค.ศ. 2011 เบต้าซีโอไลต์เมมเบรนซึ่งถือได้ว่าเป็นกรดของพื้นผิวและการควบคุมเวลาคงอยู่ภายในรูพรุนแอคทีฟซีโอไลต์เมมเบรนให้สั้นลงช่วยกำจัดบิวเทนโอลิโกเมอร์  $C_{16}$  ขนาดใหญ่ Torres, Gutierrez, Lopez, et al. (2011) และการทดลอง Kumar และคณะแสดงถึงอิทธิพลของความเป็นกรด ขนาดรูพรุนและโครงสร้างของ H-BEA ต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของนอมอลบิวทีนและการเลือกเกิดเป็นไฮโดรคาร์บอน ( $C_8$ ) จากการศึกษาเบื้องต้นได้  $C_8$  ถึงร้อยละ 6 ที่อุณหภูมิมากกว่า 370 เคลวิน ส่วนแบบเบตติงเกิดการยับยั้งกัมมันต์ได้ง่าย ซึ่งแบบเมมเบรนไม่มีการเกิดการยับยั้งกัมมันต์ Kumar, Maki-Arvela, Ylasami, Villegas, Heikkila, Leino, Kordas, and Salmi (2012) และ Yoon และคณะในปีค.ศ. 2007 ได้ศึกษาการโอลิโกเมโรเซชันไอโซบิวทีนเพื่อผลิตไตรไอโซบิวทีน เบต้าซีโอไลต์ที่มีความเข้มข้นของกรดสูงให้ค่าการเปลี่ยนแปลงที่เสถียรและมีค่าการเลือกเกิดเป็นไตรเมอร์สูงไอโซบิวทีนที่ถูกโอลิโกเมโรเซชันเชิงปริมาณบนตัวเร่งปฏิกิริยาเบต้าซีโอไลต์มีการเลือกเกิดเป็นไตรเมอร์สูงกว่าร้อยละ 50 สภาวะที่ใช้ คือ ใช้ไอโซบิวทีนในสถานะของเหลวอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความดัน 15 บาร์ เบต้าซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเสถียรสูง ค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์สูงและสังเคราะห์ได้ง่าย Yoon, Chang, Lee, Kim, and Jhung (2007)

ในปีค.ศ. 2013 Martinez และคณะศึกษาการโอลิโกเมโรเซชันเอทีลินบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเบต้าซีโอไลต์เพื่อทดแทนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์

(Homogenous) ที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 120 องศาเซลเซียส ความดันเอทิลีนที่ 3.5 เมกะปาสคาล ความเร็วของการป้อนเท่ากับ 2.1 ชั่วโมง<sup>-1</sup> ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดถึงร้อยละ 87.2 ณ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ชุ่มเอิบนิกเกิลสูงสุด (ร้อยละ 5) Martínez, Arribas, Concepción, and Moussa (2013)

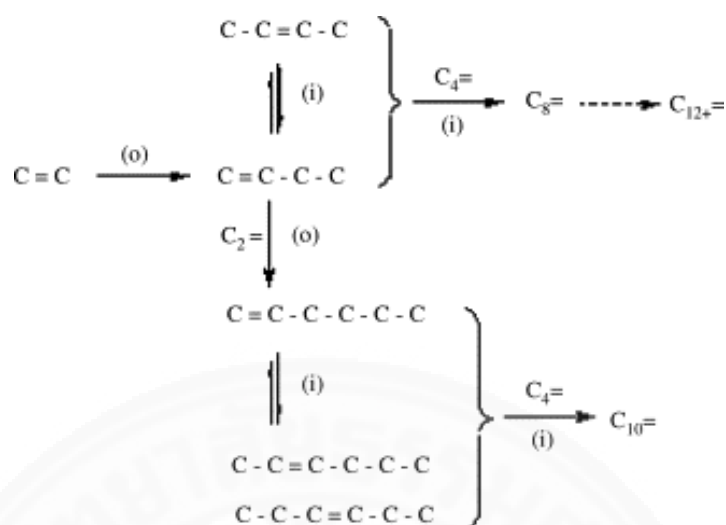
### 2.2.1.3 การโอลิโกเมโรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ

Hulea และคณะทำการทดลองโอลิโกเมโรเซชันของเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-exchanged ALMCM-41 การกัมมันต์ (Activation) สูง (63.2 กรัม/กรัมตัวเร่งปฏิกิริยา ชั่วโมง) และเป็นปฏิกิริยาที่มีค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์สูงได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนอะตอมเลขคู่ C<sub>4</sub>-C<sub>12</sub>



ภาพที่ 2.9 ความน่าจะเป็นของปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูป (Transformation) จากเอทิลีนเป็นผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-exchanged Al-MCM-41. จาก Hulea and Fajula (2004)

ในปี.ศ. 2006 มีการศึกษาการโอลิโกเมโรเซชันของเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-Y zeolite โดย Lallemand และคณะ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีการกัมมันต์สูง (30 กรัม/กรัมตัวเร่งปฏิกิริยา ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียสเป็นปฏิกิริยาที่มีค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์สูง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนอะตอมเลขคู่ C<sub>4</sub>-C<sub>12</sub>



ภาพที่ 2.10 เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาของเอทิลีนบน Ni-Y ที่ 30-70 องศาเซลเซียส (o) oligomerization (i) isomerization. จาก *Lallemand, Finiels, Fajula, et al. (2006)*

ในปีค.ศ. 2008 พวกเขาศึกษาการโอเลฟินโอเลฟินเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-MCM-36 และ Ni-MCM-22 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-MCM-36 ซึ่งมีทางเข้าเป็นโครงสร้างแบบเมโสพอร์รัสและมีความเป็นกรดอ่อนแสดงการกัมมันต์ (46 กรัม/กรัมตัวเร่งปฏิกิริยา ชั่วโมงที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส) และค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ที่ดีเยี่ยม ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-MCM-22 มีโครงสร้างเป็นแบบไมโครพอร์รัส (Microporous structure) และความเข้มข้นของพื้นที่กรดสูง แสดงการกัมมันต์และค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่า *Lallemand, Finiels, Fajula, et.al. (2008)* Klerk ศึกษาการโอเลฟินโอเลฟินเฮกซีนและออกทีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เพื่อนำไปสู่การผลิตเชื้อเพลิงและลดความซับซ้อนของการกลั่นน้ำมันลง เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นแบบเบดนิ่ง การโอเลฟินโอเลฟินเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 6 เมกะปาสคาล ความเร็วของการป้อนเท่ากับ 1 ชั่วโมง<sup>-1</sup> ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงถึงร้อยละ 87 (*Klerk, 2005, pp. 3887-3893*)

## 2.3 เครื่องมือในการประเมินโครงการ

การวิเคราะห์โครงการมีส่วนช่วยต่อการตัดสินใจในการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์โครงการจะมีการประเมินถึงผลตอบแทน (Benefit) และค่าใช้จ่าย (Cost) ต่างๆของแต่ละโครงการ ถ้าผลตอบแทนมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายแสดงว่าโครงการนั้นเป็นโครงการที่มีผลตอบแทนคุ้มค่า

- การวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคเป็นการวิเคราะห์เรื่องที่เกี่ยวข้องกับชนิดและปริมาณการผลิตประเภทต่างๆที่จะนำมาใช้ในโครงการรวมทั้งผลผลิตที่เกิดขึ้น
- การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้นในความเป็นจริงแล้วผู้เตรียมโครงการจะต้องกำหนดให้ได้ว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่มีส่วนร่วมอย่างไรต่อการพัฒนาประเทศหรือผลที่ได้คุ้มค่างบกับการใช้ทรัพยากร ดังนั้นการพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์จึงเป็นการมองในแง่ของสังคมเป็นส่วนรวม
- การวิเคราะห์ระยะเวลาเงินทุนเป็นวิธีการที่ง่ายที่นิยมใช้กัน ระยะเวลาเงินทุนหมายถึง ระยะเวลาที่นับตั้งแต่จุดเริ่มต้นของโครงการไปจนกระทั่งมูลค่าสุทธิของผลตอบแทนมีค่าเท่ากับมูลค่าต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุน

### 2.3.1 เครื่องมือหรือเกณฑ์ในการประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์

การประเมินหาความคุ้มค่าของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (Cost Benefit analysis) เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่

#### 1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ รายได้รวมจากการลงทุนในระหว่างช่วงอายุของโครงการ ซึ่งวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธินี้เป็นหนึ่งวิธีการวิเคราะห์โครงการการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่น่าเชื่อถือที่สุดที่ใช้ในการลงทุน เนื่องจากวิเคราะห์ค่าเวลาของเงินโดยใช้กระแสเงินสด

กำหนดให้  $NPV =$  มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจากโครงการ

$B_t =$  ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่  $t$

$C_t =$  ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่  $t$

$t =$  ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง  $n$

$n =$  อายุโครงการมีค่าตั้งแต่ (project life)

$r =$  อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

สูตรแบบที่ 1

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

สูตรแบบที่ 2

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

สูตรแบบที่ 3

$$NPV = -C_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n}$$

กรณีโครงการมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (initial cost :  $C_0$ )

หลักการตัดสินใจเพื่อการลงทุนในโครงการ

ถ้า  $NPV > 0$    คุ่มค่าแก่การลงทุน

$NPV < 0$    ไม่สมควรลงทุน

$NPV = 0$    เท่าทุน

## 2) ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PBP)

ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสดรับจากโครงการสามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุนจะมีลักษณะการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรกและให้ผลตอบแทนเท่ากันทุกปี การหาค่า PBP สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

ข้อบกพร่องของเกณฑ์ระยะคืนทุน

1) เกณฑ์นี้ไม่พิจารณาผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นหลังระยะคืนทุน โดยข้อสมมติของเกณฑ์นี้ คือ เลือกโครงการลงทุนที่มีระยะคืนทุนยิ่งเร็วยิ่งดี ลักษณะเช่นนี้จะนำไปสู่การเรียงลำดับการลงทุนที่ผิดพลาด เพราะบางโครงการใช้ระยะคืนทุนนานก็จริง แต่หลังระยะคืนทุนแล้วอาจให้ผลประโยชน์เข้ามามหาศาลก็เป็นได้ ขณะที่โครงการซึ่งมีระยะคืนทุนสั้นอาจให้ผลประโยชน์เข้ามาหลังระยะคืนทุนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2) ไม่วัดความสามารถในการสร้างกำไรของโครงการ แต่ชี้ให้เห็นสภาพคล่องของโครงการเท่านั้น

3) เกณฑ์นี้ไม่ให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงิน ทั้งด้านค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นต่างเวลากัน นั่นคือให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินจำนวนเท่ากันในปัจจุบัน

### 3) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

จากเกณฑ์ NPV จะเห็นได้ว่ามีข้อเสียประการหนึ่ง คือ NPV บอกเพียงว่าโครงการนี้จะสามารถทำกำไรให้แก่ผู้เป็นเจ้าของโครงการได้หรือไม่ ถ้าได้จะได้มากน้อยเพียงใด โดยเรากำหนดอัตราคิดลด (Discount rate:  $r$ ) ลงไปในสูตร NPV แต่ NPV ไม่สามารถบอกได้ว่าโครงการที่กำลังพิจารณาจะคืนทุนในอัตราเท่าใด เมื่อเป็นเช่นนี้ ผู้ลงทุนโดยทั่วไปจึงหันมานิยมใช้เกณฑ์อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) โดยที่ IRR หมายถึง

: อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย

: อัตราความสามารถของเงินทุนที่ทำให้ผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน

: อัตราคิดลดที่ทำให้  $NPV = 0$

IRR คือ  $r$  ที่ทำให้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$$

การพิจารณาตัดสินใจลงทุนกระทำโดยนำค่า IRR ไปเปรียบเทียบกับอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งอาจเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของสถาบันการเงิน อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจยอมรับได้ หรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุนในระยะยาวตามที่กฎหมายกำหนด อาทิ อัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล

หลักในการตัดสินใจลงทุนมีดังนี้

$IRR > r$  คุ้มค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

$IRR < r$  ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุนและไม่ยอมรับข้อเสนอโครงการ

$IRR = r$  เสมอตัว

การคำนวณหาค่า IRR ให้ใช้วิธีลองผิดลองถูก ควบคู่กันกับเข้าสู่ตรรกะ บัญญัติไตรยางค์ประมาณค่าในช่วง (Interpolation) โดยเราต้องดู NPV เป็นหลัก นั่นคือเลือกอัตราคิดลด (r) อัตราหนึ่งมาคำนวณ

ถ้าอัตราคิดลด ( $r_1$ ) ที่เลือกมาทำให้ NPV ติดลบแสดงว่า  $r_1$  ที่เลือกมามีค่าสูงเกินไป นั่นคือ ต้องจ่ายดอกเบี้ยสำหรับเงินลงทุนแพงมากไม่คุ้ม

ถ้าอัตราคิดลด ( $r_2$ ) ที่เลือกมาทำให้ NPV เป็นบวกแสดงว่า  $r_2$  ที่เลือกมามีค่าต่ำเกินไป นั่นคือ ต้องเสียดอกเบี้ยสำหรับเงินลงทุนไปแล้วในอัตราร้อยละ  $r_2$  ผลประโยชน์ยังคงมากกว่าค่าใช้จ่าย

ดังนั้น อัตราคิดลด (r) ที่ทำให้ NPV เท่ากับศูนย์ได้นั้นน่าจะอยู่ระหว่าง  $r_1$  และ  $r_2$  โดยนำค่า  $r_1$ ,  $r_2$  และ NPV จาก  $r_1$  และ  $r_2$  มาเข้าสู่ตรรกะประมาณค่าในช่วงดังนี้

$$IRR = r \text{ ตัวต่ำ} + \text{ผลต่างของ } r \text{ ทั้งสอง} \left\{ \frac{NPV \text{ ของ } r \text{ ตัวต่ำ}}{\text{ผลต่างของ NPV ที่ใช้ } r \text{ ทั้งสอง}} \right\}$$

อย่างไรก็ตาม การคำนวณหาค่า IRR สามารถกระทำได้ง่ายด้วยการใช้โปรแกรม Microsoft Excel อนึ่ง ในกรณีเป็นการวิเคราะห์โครงการของรัฐบาลหรือการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจจะให้ใช้ค่า EIRR (economic internal rate of return) แทนค่า IRR โดยรายการต้นทุนและผลประโยชน์ที่จะนำมาคำนวณหาค่า EIRR นั้นต้องเป็นรายการทางเศรษฐกิจ ไม่ใช่รายการทางการเงิน (ไพบูลย์ แยมเพื่อน, 2548)

## 2.4 การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity analysis)

การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการ เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนและผลตอบแทน ซึ่งมีผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายใน ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการทำให้ผู้ประเมินโครงการทราบว่า หากมีปัจจัยใดที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้แล้วนั้น จะมีผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในอย่างไรบ้าง ทั้งนี้จะได้หาทางควบคุม ป้องกัน หรือแก้ไขตัวแปรต่างๆ เหล่านั้นล่วงหน้า เพื่อที่จะทำให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

$$\text{ต้นทุนรวม} = \text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน} + \text{ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ}$$

ขั้นตอนนี้ประเมินสถานการณ์หรือทิศทางในอนาคตที่มีผลต่อโครงการซึ่งปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน ได้แก่ ความผันแปรของต้นทุน ความผันแปรของรายได้ และความผันแปรของอัตราคิดลด การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยดังกล่าว อาจเกิดขึ้นเฉพาะปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งหรืออาจเกิดขึ้นพร้อมๆกันก็ได้ ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อโครงการ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการ ช่วยให้ผู้ประเมินโครงการหรือผู้ที่ตัดสินใจจะลงทุนทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผันแปรของโครงการ เพื่อใช้ประกอบในการประเมินโครงการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและควรพิจารณาว่าผลตอบแทนหรือประโยชน์ที่จะได้รับคุ้มค่าพอที่จะชดเชยกับความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นหรือตัดสินใจจากอัตราผลตอบแทนที่พึงรับได้ภายใต้ความเสี่ยงที่รับผิตชอบได้





### บทที่ 3 วิธีการวิจัย

ในการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน เป็นการนำปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยามาศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อต่อยอดงานวิจัย แอลคีนที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ เอทิลีนและเฮกซีน ซึ่งเป็นแอลคีนที่ต่างสถานะกัน โดยรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาเผยแพร่ไว้แล้ว ประกอบกับวิเคราะห์ทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างทางด้านเศรษฐศาสตร์จึงทำการเปรียบเทียบเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน และกรณีที่ 2 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากแอลคีน 2 ชนิดที่มีสถานะแตกต่างกัน

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

การวิเคราะห์แนวทางการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคีนที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ เอทิลีนและเฮกซีน
- 2) ศึกษาทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิต่างๆกัน
- 3) ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชัน โดยศึกษา 2 กรณี
  - กรณีที่ 1 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนและแบบเบดนิ่ง
  - กรณีที่ 2 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันจากแอลคีนที่มีสถานะต่างกัน ได้แก่ เอทิลีนและเฮกซีน

### 3.2 ข้อมูลงานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยของมาร์ติเนซ Martinez et al. (2013) และเคลิร์ก Klerk (2005)

#### 3.2.1 งานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง

งานวิจัยของมาร์ติเนซ เป็นการศึกษาทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเบต้าซีโอไลต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งมีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสและมีความดันรวม 35 บาร์ โดยใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สควบคุมสมดุล

2) ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 นิกเกิลเบต้าซีโอไลต์ปริมาณ 1 กรัม

3) อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 120 องศาเซลเซียส

4) ป้อนเอทิลีนที่มีความเร็วของการป้อน (Weight hourly space velocity) เท่ากับ 2.1 กรัมเอทิลีนต่อกรัมตัวเร่งปฏิกิริยา ชั่วโมง

5) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ตารางที่ 3.1

ผลการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเบต้าซีโอไลต์

	Ni (1.1)	Ni (2.7)	Ni (5.0)	Ni (10.0)
การเปลี่ยนแปลงเอทิลีน (ร้อยละ)	10	65.7	87.2	86.6
จำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์	ร้อยละ			
C <sub>3</sub>	6.0	0.2	0.10	0.1
C <sub>4</sub>	72.1	47.1	34.40	37.4
C <sub>5</sub>	0.4	0.3	0.30	0.3
C <sub>6</sub>	13.5	11.5	8.90	10.6
C <sub>7</sub>	0.2	0.3	0.30	0.2
C <sub>8</sub>	5.7	10.4	13.00	12.7
C <sub>9</sub>	0.0	1.4	1.40	0.8
C <sub>10</sub>	2.1	11.5	16.00	15.2
C <sub>11</sub>	0.0	0.6	0.80	0.6
C <sub>12</sub>	0.0	8.3	11.9	10.0
C <sub>13+</sub>	0.0	8.4	12.9	12.1

จากผลการทดลองงานวิจัยข้างต้น สามารถสรุปได้ว่านิกเกิลเบต้าซีโอไลต์ที่ร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก ให้ผลที่น่าสนใจที่สุด โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงเอทิลีน (Conversion) เท่ากับร้อยละ 87.2 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิง สำหรับโครงการที่ 3 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

### 3.2.2 งานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

งานวิจัยของเคลิร์ก เป็นการศึกษาทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งได้แก่ ซัลเฟตเตตเซอร์โคเนีย ( $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ ) H-ZSM-5 และ H-Y โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ปริมาณ 1 กรัม
- 2) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 100 องศาเซลเซียส
- 3) ป้อนเอทิลีนที่มีความเร็วของการป้อน (Liquid hourly space velocity) เท่ากับ  $1.2 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$
- 4) ความดัน 0.8 เมกะปาสกาล
- 5) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ตารางที่ 3.2

ผลการทดลองทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ

ตัวเร่งปฏิกิริยา	การเปลี่ยนแปลง ของเอทิลีน	ร้อยละการเกิดผลิตภัณฑ์			
		C <sub>12</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>24</sub>	C <sub>30+</sub>
$\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$	87	78	22	0	0
H-ZSM-5	23	85	9	1	0
H-Y	48	80	5	4	11

จากผลการทดลองงานวิจัยปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีน แสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตตระเซอโรโคเนียให้ผลที่น่าสนใจที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเอทิลีนสูงที่สุด ซึ่งเท่ากับร้อยละ 87 ผู้วิจัยจึงเลือกสถานะการศึกษาดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณทางด้าน เศรษฐศาสตร์ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิง สำหรับโครงการที่ 2 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจาก กระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

### 3.3 การทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

#### 3.3.1 การทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ

##### 3.3.1.1 วิธีการศึกษา

สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เฮกซีน และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ได้แก่ วายซีโอไลต์ (Y zeolite) และซัลเฟตเตตระเซอโรโคเนีย ( $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ ) สถานที่ศึกษา คือ ห้องปฏิบัติการ Catalysis and Environmental อาคารปฏิบัติการและวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์

##### ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 1 กรัม
- 2) ให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อนแบบหลุมและมีเครื่องคนแม่เหล็ก
- 3) เติมเฮกซีน 10 กรัม
- 4) กวนด้วยความเร็วรอบ 120 rpm เพื่อช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับเฮกซีนได้ทั่วถึง
- 5) ทิ้งให้ทำปฏิกิริยานาน 6 หรือ 11 ชั่วโมง
- 6) รวณผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
- 7) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี



ภาพที่ 3.1 กระบวนการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันบนตัวเร่งปฏิกิริยา

### 3.3.1.2 ผลการทดลอง

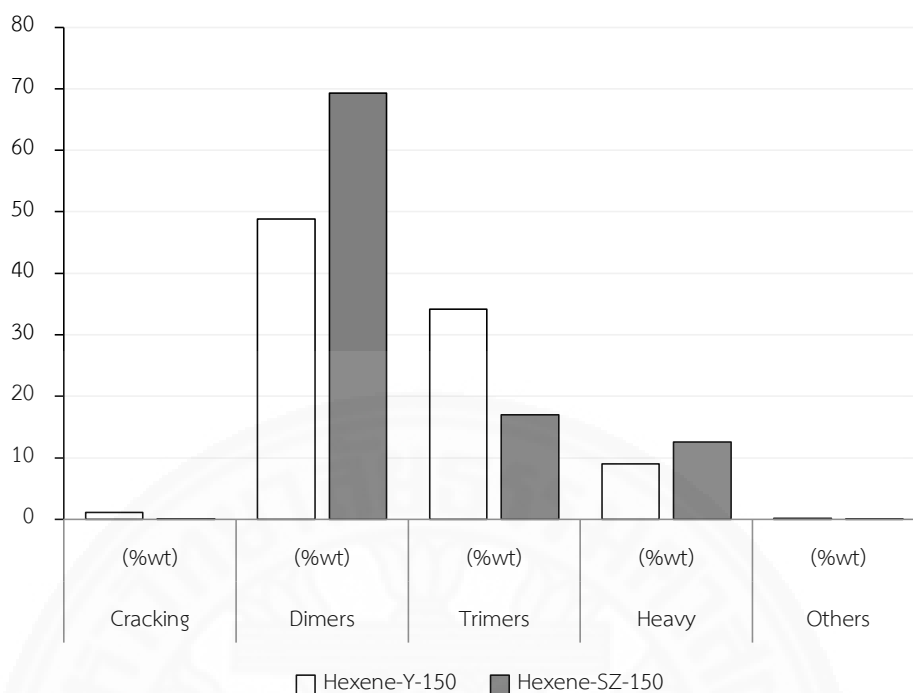
ตารางที่ 3.3

ผลการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	การเปลี่ยนแปลงเฮกซีน (ร้อยละ)
Y	100	11	27.42
Y	125	11	65.37
Y	150	11	93.05
Y	175	11	55.42
$\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$	150	6	98.93

ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิมีผลกับค่าการเปลี่ยนแปลงเฮกซีน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสตัวเร่งปฏิกิริยาวยซีโอไลต์ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเฮกซีนเพียงร้อยละ 27.42 เท่านั้น แต่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ค่าการเปลี่ยนแปลงเฮกซีนมีค่าสูงถึงร้อยละ 98.93 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดของปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาวยซีโอไลต์และซัลเฟตเตดเซอร์โคเนีย พบว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตดเซอร์โคเนียให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเฮกซีนเท่ากับร้อยละ 98.93 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาวยซีโอไลต์

จากผลการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกันสามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตดเซอร์โคเนียที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นสถานะที่ดีที่สุด เพื่อความชัดเจนถึงประโยชน์สูงสุดในการเลือกศึกษาเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการเหล่านี้ การเปรียบเทียบค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ (Selectivity) เป็นเรื่องที่น่าสนใจ



ภาพที่ 3.2 การเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเอทิลอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 3.2 การเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเอทิลอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา วายซีโอไลต์และซัลเฟตเตตระเออร์โคเนีย

- ตัวเร่งปฏิกิริยา วายซีโอไลต์ ให้ค่าการเลือกเกิดไดเมอร์ (Dimer) เท่ากับร้อยละ 49 ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตตระเออร์โคเนีย ให้ค่าการเลือกเกิดไดเมอร์สูงถึงร้อยละ 69

- ตัวเร่งปฏิกิริยา วายซีโอไลต์ มีค่าการเลือกเกิดไตรเมอร์ (Trimer) สูงถึงร้อยละ 34 ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตตระเออร์โคเนีย ให้ค่าการเลือกเกิดไตรเมอร์เพียงร้อยละ 17

- ตัวเร่งปฏิกิริยา วายซีโอไลต์ มีค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์  $C_{13+}$  เท่ากับร้อยละ 9 แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตตระเออร์โคเนีย มีค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์  $C_{13+}$  สูงถึงร้อยละ 12.6

### 3.4 ข้อมูลการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสามารถสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตตระเออร์โคเนียให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเฮกซีนสูงสุดและค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสูงที่สุด ดังนั้นการทดลองนี้จึงนำมาใช้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงสำหรับโครงการที่ 1 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน ภายใต้สมมติฐานเครื่องปฏิกรณ์ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนขนาด 5 ตัน โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะกล่าวถึงในบทที่ 4

#### 3.4.1 โครงการที่ 1 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน

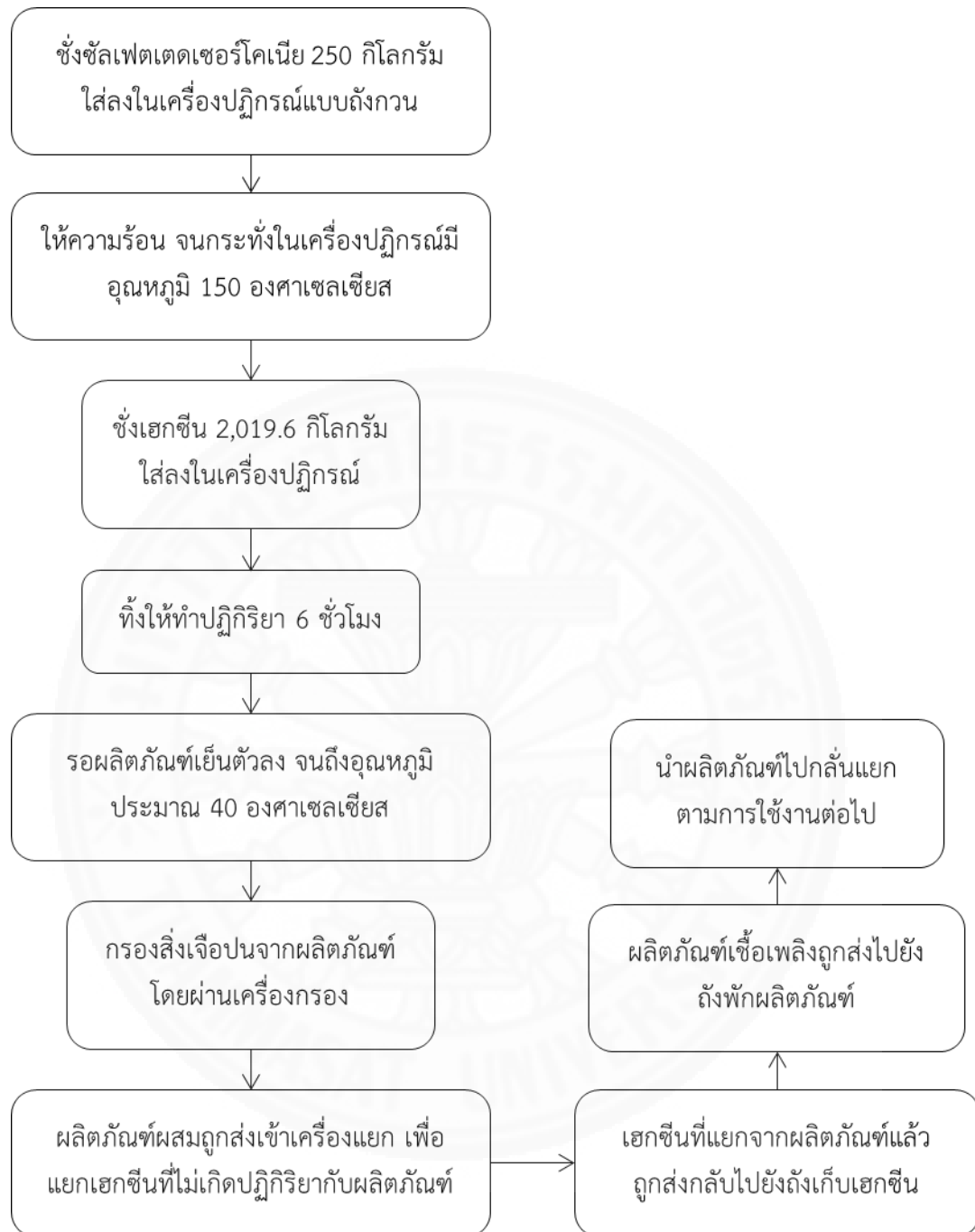
ผลการทดลองปฏิกิริยาโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตตระเออร์โคเนียถูกนำมาประเมินทางเศรษฐศาสตร์การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีน

สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เฮกซีน และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ ซัลเฟตเตตระเออร์โคเนียปริมาณ 250 กิโลกรัมต่อเดือน

##### ขั้นตอนการผลิต

- 1) ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตตระเออร์โคเนียปริมาณ 250 กิโลกรัม บรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน
- 2) ให้ความร้อน จนกระทั่งในเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
- 3) ชั่งเฮกซีน 2,019.6 กิโลกรัม บรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์
- 4) ทิ้งให้ทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง
- 5) รอผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง จนถึงอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส
- 6) กรองสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์โดยผ่านเครื่องกรอง
- 7) ผลิตภัณฑ์ผสมถูกส่งเข้าเครื่องแยก เพื่อแยกเฮกซีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ออกจากกัน
- 8) เฮกซีนที่แยกจากผลิตภัณฑ์แล้ว ถูกส่งกลับไปยังถังเก็บเฮกซีน
- 9) ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงถูกส่งไปยังถังพักผลิตภัณฑ์
- 10) นำผลิตภัณฑ์ไปกลั่นแยกตามการใช้งานต่อไป





ภาพที่ 3.3 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน

### 3.4.2 โครงการที่ 2 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอไลโกเมอไรเซชัน เฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง

ข้อมูลงานวิจัยของเคลิร์ก (หัวข้อที่ 3.2.2) ถูกนำมาใช้ประเมินทาง  
เศรษฐศาสตร์การผลิตเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดดังนี้

สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เฮกซีน และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตด  
เซอร์โคเนียปริมาณ 100 กิโลกรัมต่อเดือน

#### ขั้นตอนการผลิต

1) ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเตดเซอร์โคเนียปริมาณ 100 กิโลกรัม บรรจุลงใน  
เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง

2) ให้ความร้อน จนกระทั่งในเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3) ป้อนเฮกซีนที่มีอัตราการไหล 336.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

4) ผลิตผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ถูกควบแน่นโดยเครื่องควบแน่น

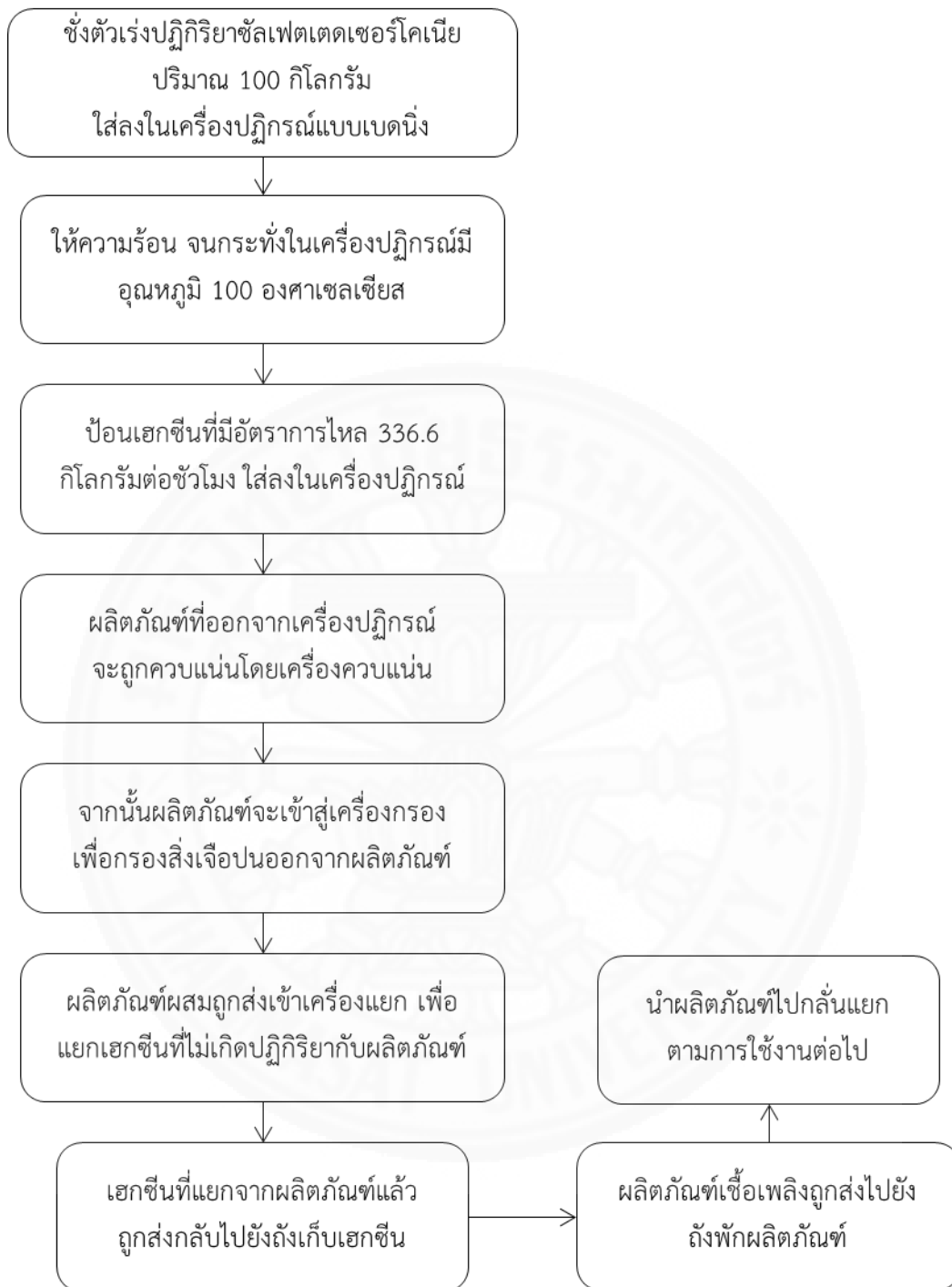
5) จากนั้นผลิตภัณฑ์ถูกส่งเข้าสู่เครื่องกรอง เพื่อกรองสิ่งเจือปนออกจาก  
ผลิตภัณฑ์

6) ผลิตผลิตภัณฑ์ผสมถูกส่งเข้าเครื่องแยก เพื่อแยกเฮกซีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับ  
ผลิตภัณฑ์ออกจากกัน

7) เฮกซีนที่แยกจากผลิตภัณฑ์แล้ว ถูกส่งกลับไปยังถังเก็บเฮกซีน

8) ผลิตผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงถูกส่งไปยังถังพักผลิตภัณฑ์

9) นำผลิตภัณฑ์ไปกลั่นแยกตามการใช้งานต่อไป



ภาพที่ 3.4 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากการบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง

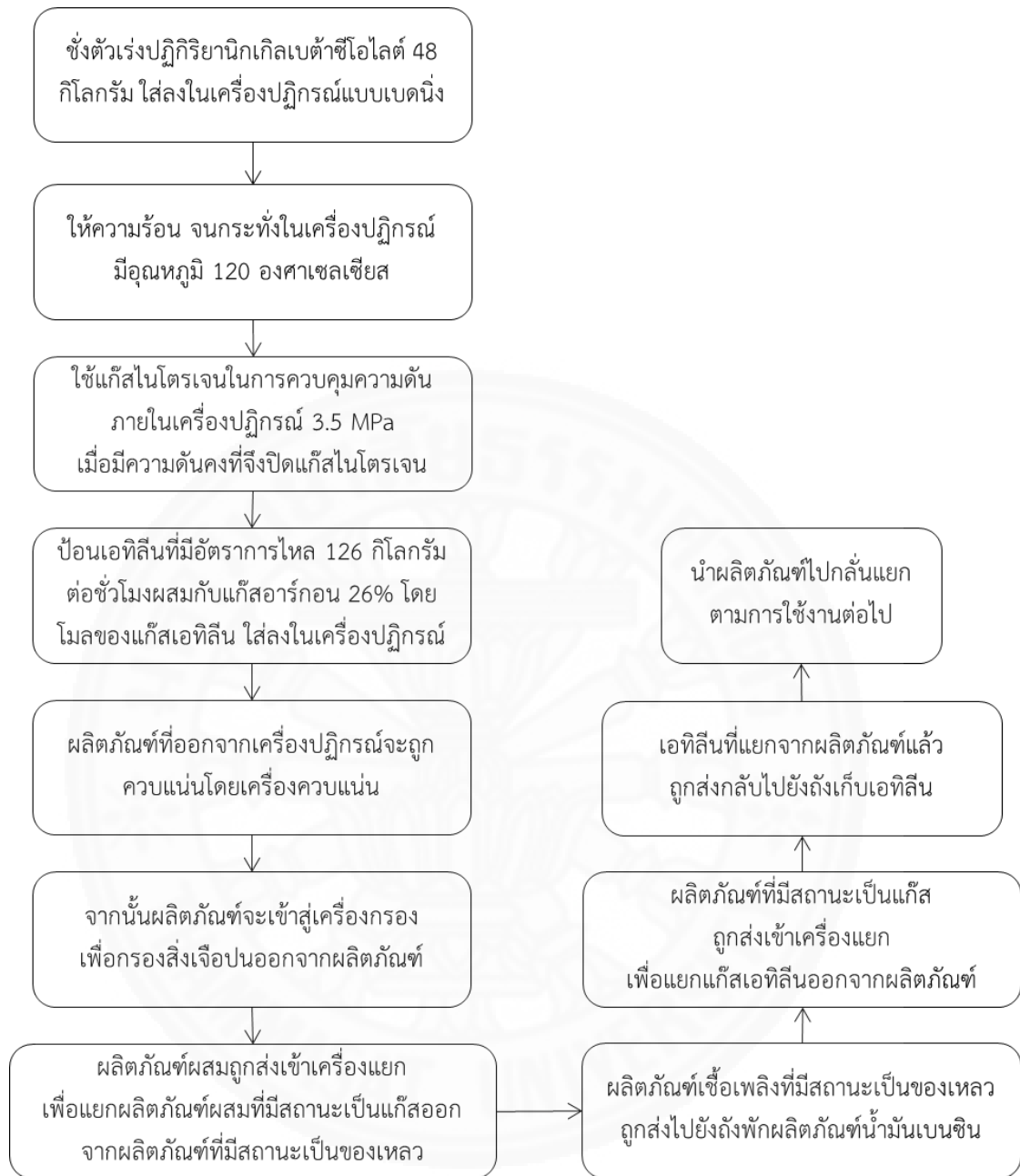
### 3.4.3 โครงการที่ 3 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิง

ข้อมูลจากงานวิจัยของมาร์ติเนส (หัวข้อที่ 3.2.1) ถูกนำมาใช้ประเมินทางเศรษฐศาสตร์การผลิตเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดดังนี้

สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เอทิลีน และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ นิกเกิลเบต้าซีโอไลต์ปริมาณ 48 กิโลกรัมต่อเดือน

#### ขั้นตอนการผลิต

- 1) ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเบต้าซีโอไลต์ปริมาณ 48 กิโลกรัม บรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิง
- 2) ให้ความร้อน จนกระทั่งในเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส
- 3) ใช้แก๊สไนโตรเจนในการควบคุมความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ 3.5 เมกะปาสคาล เมื่อภายในถึงปฏิกรณ์มีความดันคงที่จึงปิดแก๊สไนโตรเจน
- 4) ป้อนเอทิลีนที่มีอัตราการไหล 126 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปิดระบบแก๊สอาร์กอนเข้าผสมกับแก๊สเอทิลีนโดยมีความเข้มข้นโดยโมลร้อยละ 26 ของอัตราการไหลของแก๊สเอทิลีน
- 5) ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ถูกควบแน่นโดยเครื่องควบแน่น จากนั้นผลิตภัณฑ์ถูกส่งเข้าสู่เครื่องกรอง เพื่อกรองสิ่งเจือปนออกจากผลิตภัณฑ์
- 6) ผลิตภัณฑ์ผสมถูกส่งเข้าเครื่องแยก เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ผสมที่มีสถานะเป็นแก๊สออกจากผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะเป็นของเหลว
- 7) ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของเหลวถูกส่งไปยังถังพักผลิตภัณฑ์น้ำมันเบนซิน
- 8) ผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะเป็นแก๊สถูกส่งเข้าเครื่องแยก เพื่อแยกแก๊สเอทิลีนออกจากผลิตภัณฑ์
- 9) เอทิลีนที่แยกจากผลิตภัณฑ์แล้ว ถูกส่งกลับไปยังถังเก็บเอทิลีน
- 10) นำผลิตภัณฑ์ไปกลั่นแยกตามการใช้งานต่อไป



ภาพที่ 3.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตตึง

### 3.5 ผลการศึกษาการปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันของโครงการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันแอลคีนโครงการที่ 1 2 และ 3

ตารางที่ 3.4

ผลที่ได้จากปฏิกิริยาโอลิโกเมโรเซชันแอลคีนจากโครงการต่างๆ

โครงการที่	สารตั้งต้น	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	ผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)		อ้างอิง
			C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub> ขึ้นไป	
1	เฮกซีน	98.9	-	100.0	จากการทดลอง
2	เฮกซีน	87.0	-	100.0	Martínez et al. (2013)
3	เอทิลีน	87.2	34.5	65.5	Klerk (2005)

หมายเหตุ. : ผลิตภัณฑ์ที่มีช่วง C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> จะถูกขายเท่ากับราคาแก๊สแอลพีจี

: ผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงตั้งแต่ C<sub>5</sub> เป็นต้นไปจะถูกขายเท่ากับราคาน้ำมันเบนซิน

ตารางที่ 3.4 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาโครงการทั้ง 3 ซึ่งได้แก่ โครงการที่ 1 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน โครงการที่ 2 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง และโครงการที่ 3 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเอทิลีนใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ซึ่งโครงการที่ 1 มีค่าการเปลี่ยนแปลงเฮกซีนร้อยละ 98.9 ให้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด คือ C<sub>5</sub> ขึ้นไป โครงการที่ 2 มีค่าการเปลี่ยนแปลงเฮกซีนร้อยละ 87.0 ให้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด คือ C<sub>5</sub> ขึ้นไป และโครงการที่ 3 มีค่าการเปลี่ยนแปลงเอทิลีนร้อยละ 87.2 ให้ผลิตภัณฑ์ C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> ร้อยละ 34.5 และผลิตภัณฑ์ C<sub>5</sub> ขึ้นไปร้อยละ 65.5 โดยผลสรุปดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

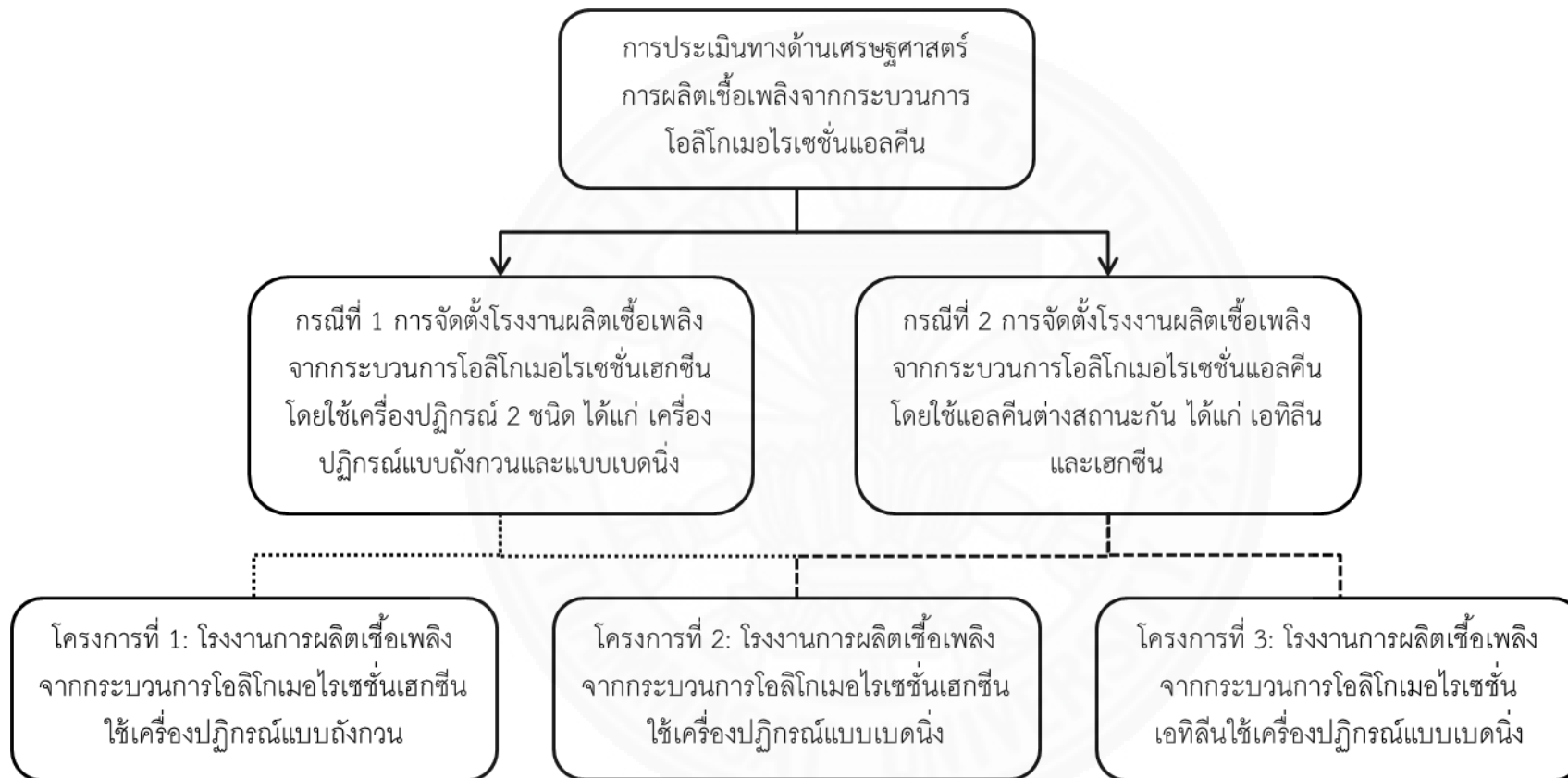
ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาวิจัยโดยใช้ทฤษฎีและการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน และกรณีที่ 2 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากแอลคีน 2 ชนิดที่มีสถานะแตกต่างกัน ซึ่ง 2 กรณีนี้สามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 โครงการ ดังนี้

- โครงการที่ 1 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน

- โครงการที่ 2 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิง

- โครงการที่ 3 โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิง

โดยกรณีที่ 1 เน้นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบเศรษฐศาสตร์ระหว่างโครงการที่ 1 และ 2 และกรณีที่ 2 เน้นศึกษาเพื่อเปรียบเทียบเศรษฐศาสตร์ระหว่างโครงการที่ 2 และ 3



ภาพที่ 4.1 แผนผังความเชื่อมโยงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคิน



#### 4.1 รายละเอียดโครงการศึกษา

ตารางที่ 4.1

ข้อสมมติในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการ  
โอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

ข้อสมมติ	โครงการที่ 1	โครงการที่ 2	โครงการที่ 3
1. อายุของโครงการ (ปี)	20	20	20
2. อัตราคิดลด (ร้อยละ)	7	7	7
3. ค่าซากที่ดิน (บาท)	0	0	0
4. ค่าจ้างแรงงาน (ปีที่ 1-20)	คงที่	คงที่	คงที่
5. ดอกเบี้ยเงินกู้	ไม่พิจารณา	ไม่พิจารณา	ไม่พิจารณา
6. กำลังการผลิต (ปีที่ 1-20)	คงที่	คงที่	คงที่
7. ค่าซาก (บาท)	500,000	500,000	500,000

โครงการที่ 1 : โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีน  
 เครื่องปฏิกรณ์ : แบบถังกวน  
 ขนาดเครื่องปฏิกรณ์ : 5 ตัน  
 ปริมาณเฮกซีน : 2.7 พันตันต่อปี  
 จำนวนชั่วโมงการผลิต : 8,000 ชั่วโมงต่อปี  
 ระยะเวลาก่อสร้าง : 1 ปี  
 ผลิตภัณฑ์ : เชื้อเพลิงน้ำมันเบนซิน

โครงการที่ 2 : โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีน  
 เครื่องปฏิกรณ์ : แบบเบดนิ่ง  
 ขนาดเครื่องปฏิกรณ์ : 5 ตัน  
 ปริมาณเฮกซีน : 2.7 พันตันต่อปี  
 จำนวนชั่วโมงการผลิต : 8,000 ชั่วโมงต่อปี  
 ระยะเวลาก่อสร้าง : 1 ปี  
 ผลิตภัณฑ์ : เชื้อเพลิงน้ำมันเบนซิน

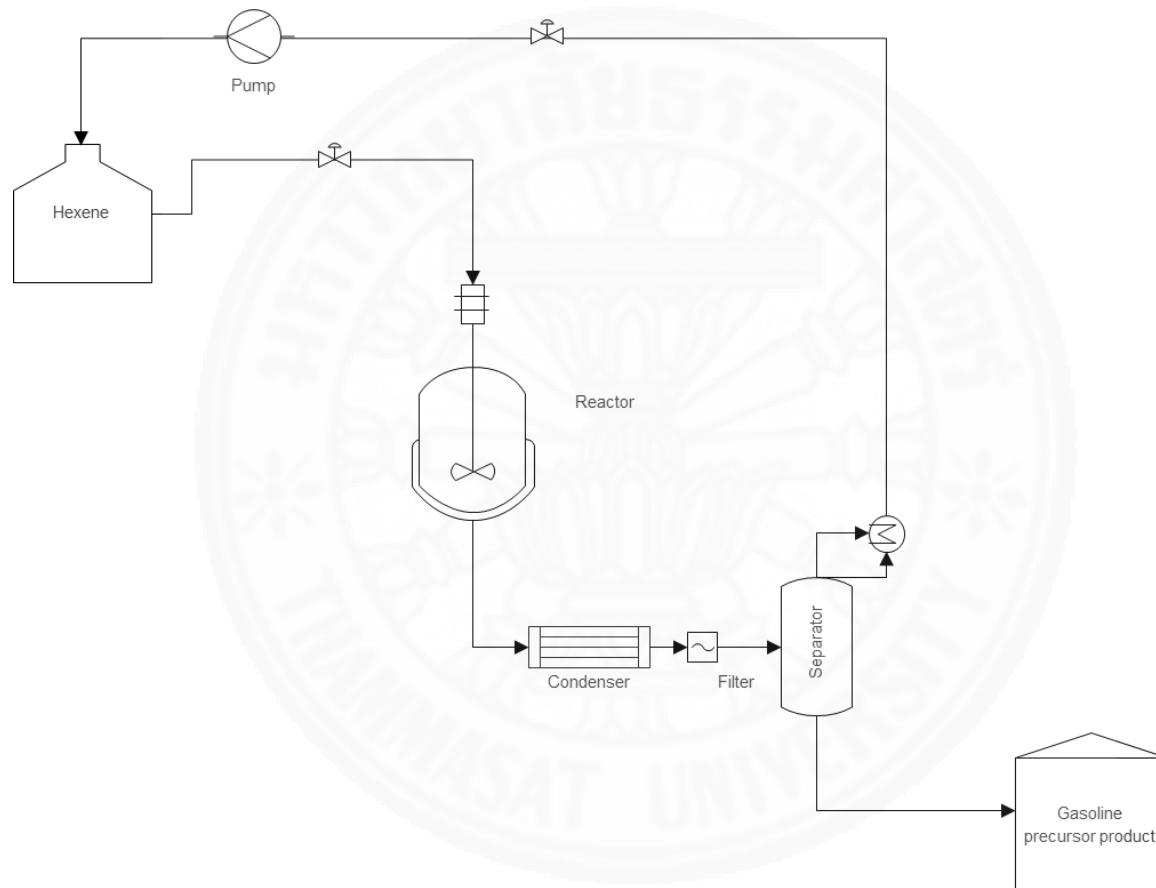
โครงการที่ 3	: โรงงานการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอร์ไรเซชันเอทีลิน
เครื่องปฏิกรณ์	: แบบเบตนิง
ขนาดเครื่องปฏิกรณ์	: 5 ตัน
ปริมาณเอทีลิน	: 1,008 ตันต่อปี
จำนวนชั่วโมงการผลิต	: 8,000 ชั่วโมงต่อปี
ระยะเวลาก่อสร้าง	: 1 ปี
ผลิตภัณฑ์	: เชื้อเพลิงแอลพีจีและน้ำมันเบนซิน

#### 4.2 ออกแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอร์ไรเซชันแอลคีน

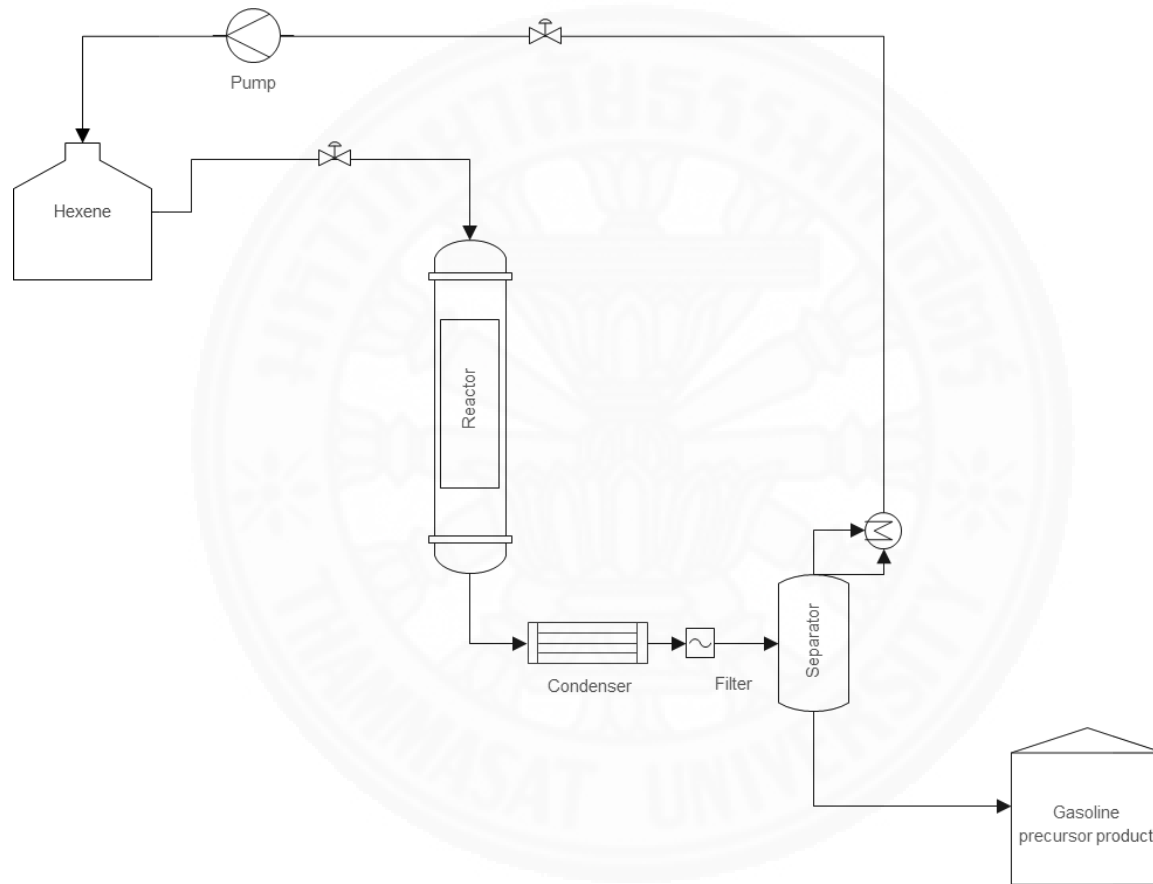
ตารางที่ 4.2

ปริมาณผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอร์ไรเซชันแอลคีน

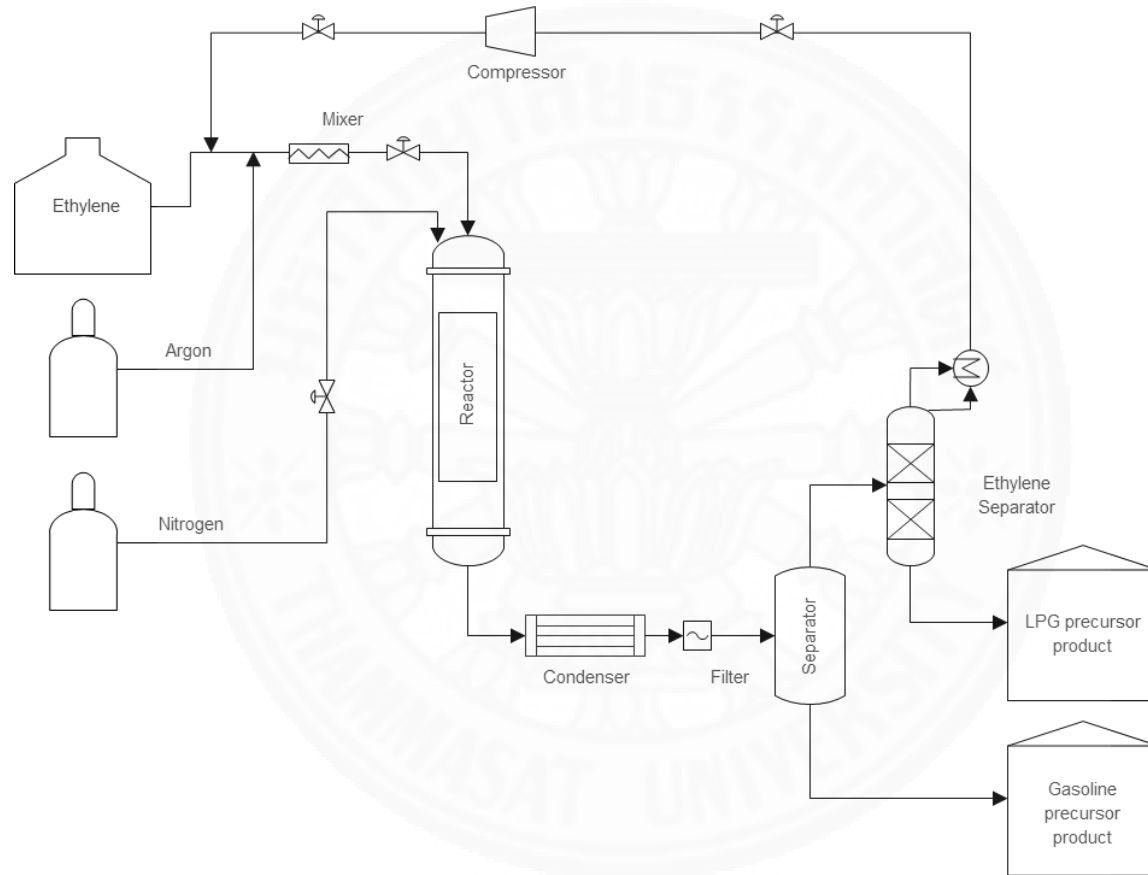
โครงการที่	วัตถุดิบ	ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม (ตันต่อปี)	ผลิตภัณฑ์ (ตันต่อปี)	
			แอลพีจี	น้ำมันเบนซิน
1	เฮกซีน	2,662,000	-	2,662,000
2	เฮกซีน	2,350,000	-	2,350,000
3	เอทีลิน	879,000	303,225	575,745



ภาพที่ 4.2 แบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน (โครงการที่ 1)

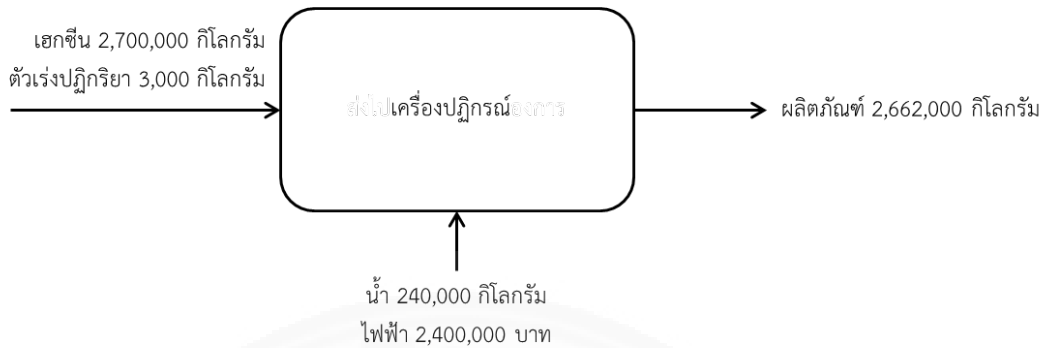


ภาพที่ 4.3 แบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 2)



ภาพที่ 4.4 แบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอร์ไรเซชันเอทิลีนโดยใช้ปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 3)

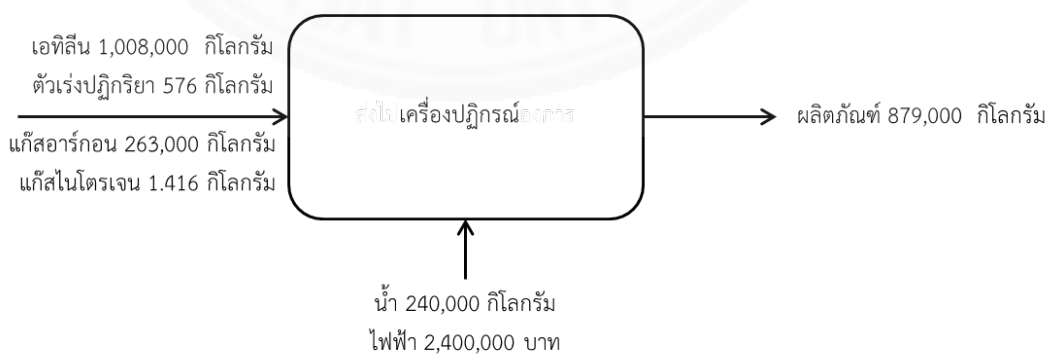
### 4.3 สมดุลมวล



ภาพที่ 4.5 สมดุลมวลของการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน (โครงการที่ 1)



ภาพที่ 4.6 สมดุลมวลของการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 2)



ภาพที่ 4.7 สมดุลมวลของการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (โครงการที่ 3)

#### 4.4 ประเมินต้นทุนการผลิต

การคำนวณค่าใช้จ่ายซึ่งแบ่งเป็น ค่าลงทุนเริ่มต้น (Initial capital cost) และค่าดำเนินการ (Total operating cost)

##### 1) ค่าลงทุนเริ่มต้น

การลงทุนเริ่มต้น ได้แก่ ราคาที่ดิน สิ่งปลูกสร้าง เครื่องจักร โรงงาน สำนักงาน อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ ยานพาหนะและค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งโรงงาน (รายละเอียดราคาในภาคผนวก)

##### 2) ค่าดำเนินการ

ประกอบด้วยค่าสาธารณูปโภค ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ค่าเสื่อมสภาพ ค่าประกันภัย ค่าวัตถุดิบและค่าจ้างแรงงาน โดยค่าจ้างที่จ่ายให้กับพนักงานต่อเดือนซึ่งประกอบไปด้วยผู้จัดการโรงงาน (วิศวกร) 1 คน วิศวกรเคมี 1 คน พนักงานฝ่ายผลิต 6 คน พนักงานบัญชีและธุรการ 1 คน พนักงานรักษาความปลอดภัย 1 คน

#### 4.4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการ โอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิด

ตารางที่ 4.3

การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่อง  
ปฏิกรณ์แบบถังกวน

ลำดับ	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1	เงินลงทุนเริ่มต้น	
	1.1 ที่ดิน	5,000,000
	1.2 ค่าเครื่องจักรและอาคารโรงงานสำนักงานและ อุปกรณ์สำนักงาน	48,499,000
	เงินลงทุนรวม	53,499,000
2	ค่าดำเนินการ	จำนวนเงิน (บาทต่อปี)
	2.1 ค่าเชื้อเพลิงยานพาหนะ	100,000
	2.2 ค่าบำรุงรักษา	72,000
	2.3 ค่าจ้างแรงงาน	2,400,000
	2.4 ค่าประกันโรงงาน	27,000
	2.5 ค่าเสื่อม	2,149,950
	2.6 ค่าน้ำ	26,000
	2.7 ค่าไฟฟ้า	2,400,000
	2.8 วัสดุดิบ	150,822,600
	ค่าดำเนินการรวม	157,997,550
	ต้นทุนรวม	211,496,550



## ตารางที่ 4.4

การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิง

ลำดับ	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1	เงินลงทุนเริ่มต้น	
	1.1 ที่ดิน	5,000,000
	1.2 ค่าเครื่องจักรและอาคารโรงงานสำนักงานและ อุปกรณ์สำนักงาน	48,499,000
	เงินลงทุนรวม	53,499,000
2	ค่าดำเนินการ	จำนวนเงิน (บาทต่อปี)
	2.1 ค่าเชื้อเพลิงยานพาหนะ	100,000
	2.2 ค่าบำรุงรักษา	72,000
	2.3 ค่าจ้างแรงงาน	2,400,000
	2.4 ค่าประกันโรงงาน	27,000
	2.5 ค่าเสื่อม	2,484,450
	2.6 ค่าน้ำ	26,000
	2.7 ค่าไฟฟ้า	2,400,000
	2.8 วัสดุดิบ	138,040,000
	ค่าดำเนินการรวม	145,549,450
	ต้นทุนรวม	199,048,450

การศึกษาต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนและแบบเบตนิง พบว่าเงินลงทุนเริ่มต้นของการผลิตเชื้อเพลิงทั้ง 2 วิธีเท่ากับ 53,499,000 บาท มีค่าดำเนินการของวัสดุดิบที่แตกต่างกันโดยโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนมีค่าดำเนินการที่สูงกว่าแบบเบตนิงมากกว่า 12 ล้านบาทและมีค่าเสื่อมแตกต่างกันโดยค่าเสื่อมราคาของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิงสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนเนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิงมีอายุการใช้งาน 10 ปี จึงมีการลงทุนเครื่องปฏิกรณ์ใหม่ในปี 11

#### 4.4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนที่มีสถานะต่างกัน

การเปรียบเทียบต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนโดยใช้สารตั้งต้นที่มีสถานะต่างกัน โดยใช้สารตั้งต้น 2 สถานะ ได้แก่ แก๊ส และของเหลว ซึ่งเอทิลีนเป็นตัวแทนสารตั้งต้นสถานะแก๊ส และเฮกซีนเป็นตัวแทนสารตั้งต้นสถานะของเหลว ต้นทุนโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนอ้างอิงข้อมูลตามตารางที่ 4.4

#### ตารางที่ 4.5

การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

ลำดับ	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1	เงินลงทุนเริ่มต้น	
	1.1 ที่ดิน	5,000,000
	1.2 ค่าเครื่องจักรและอาคารโรงงานสำนักงานและ อุปกรณ์สำนักงาน	48,499,000
	เงินลงทุนรวม	53,499,000
2	ค่าดำเนินการ	จำนวนเงิน (บาทต่อปี)
	2.1 ค่าเชื้อเพลิงยานพาหนะ	100,000
	2.2 ค่าบำรุงรักษา	72,000
	2.3 ค่าจ้างแรงงาน	2,400,000
	2.4 ค่าประกันโรงงาน	27,000
	2.5 ค่าเสื่อม	2,484,450
	2.6 ค่าน้ำ	26,000
	2.7 ค่าไฟฟ้า	2,400,000
	2.8 วัสดุดิบ	37,205,240
	ค่าดำเนินการรวม	44,714,690
	ต้นทุนรวม	98,713,650

การศึกษาต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชัน แอลคีนที่ใช้สารตั้งต้นต่างสถานะกัน พบว่าเงินลงทุนเริ่มต้นของ 2 วิธีเท่ากับ 53,499,000 บาทแต่ใน ส่วนของค่าดำเนินการแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่มี เอทิลีนเป็นสารตั้งต้นมีค่าน้อยกว่าการผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้เฮกซีนเป็นสารตั้งต้นประมาณ 100 ล้านบาท และเนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิงมีอายุการใช้งาน 10 ปี จึงมีการลงทุนเครื่องปฏิกรณ์ใหม่ในปี 11

#### ตารางที่ 4.6

##### อธิบายค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งโรงงาน

ลำดับ	รายการ	รายละเอียด
1	ที่ดินและการปรับพื้นที่	ที่ดินขนาด 2 ไร่ อำเภอคลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี พร้อมปรับพื้นที่
2	เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต	เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตต่างๆ อาทิเช่น เครื่องปฏิกรณ์ หม้อไอน้ำ เครื่องควบแน่นและถัง เก็บสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ เป็นต้น
3	สร้างอาคารโรงงานและสำนักงาน	อาคารโรงงานสำหรับการผลิต ห้องปฏิบัติการ เคมี คลังเก็บสารเคมีและสินค้า แผนกซ่อมบำรุง และสำนักงาน ขนาดพื้นที่ 2,000 ตารางเมตรและเป็นอาคารขนาด 3 ชั้น.
4	ยานพาหนะ	รถโฟคลิฟท์ 1 คัน รถกระบะ 1 คัน รถบรรทุก 6 ล้อ 1 คัน ใช้ในการขนส่งสินค้าและขนถ่ายในการผลิต
5	คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน	เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร (เครื่องปริ้นเตอร์และสแกนเนอร์) โต๊ะเก้าอี้ ตู้เอกสาร เครื่องเขียนสำนักงานต่างๆ
6	ระบบสาธารณูปโภค	ระบบประปาและระบบไฟฟ้า น้ำใช้ในระบบหม้อต้มไอน้ำและหอหล่อเย็น
7	ใบอนุญาตจัดตั้งโรงงาน/CSR	ค่าขอใบอนุญาตต่างๆกับหน่วยงานราชการและทำโครงการสร้างสัมพันธ์ที่ดีกับชุมชนรอบโรงงาน

#### 4.5 ราคาแก๊สแอลพีจีและน้ำมันเบนซิน

ตารางที่ 4.7

ราคาแก๊สแอลพีจีและน้ำมันเบนซิน

ผลิตภัณฑ์	ราคา (บาทต่อตัน)	อ้างอิง
แก๊สแอลพีจี	25,696*	ราคา ณ มกราคม 2559
น้ำมันเบนซิน	62,922**	ราคาเฉลี่ย 3 ปีย้อนหลัง 4 มกราคม 2557 8 มกราคม 2558 และ 8 มกราคม 2559

หมายเหตุ. จาก IMF commodity price forecasts, January 2016 \*ราคาขายแก๊สแอลพีจีจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.8 ต่อปี

จาก [www.eia.gov](http://www.eia.gov) \*\*ราคาน้ำมันเบนซินจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.6 ต่อปี

#### 4.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ 3 ด้านที่ใช้วิเคราะห์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุน

4.6.1 โครงการที่ 1 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีน โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน

1) กระแสเงินสดสุทธิ (Cash flow)

## ตารางที่ 4.8

กระแสเงินสดสุทธิจากโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่อง  
ปฏิกรณ์แบบถังกวน

ปีที่	กระแสเงินสดรับสุทธิ	เงินลงทุน	กำไร	กำไรสะสม
0	0	-53,499,000	-53,499,000	-53,499,000
1	167,446,597	-157,997,506	9,449,091	-44,049,909
2	171,800,209	-158,968,880	12,831,329	-31,218,580
3	176,267,014	-159,947,540	16,319,474	-14,899,106
4	180,849,957	-160,933,539	19,916,417	5,017,312
5	185,552,056	-161,926,934	23,625,122	28,642,434
6	190,376,409	-162,927,779	27,448,630	56,091,064
7	195,326,196	-163,936,130	31,390,066	87,481,130
8	200,404,677	-164,952,044	35,452,633	122,933,763
9	205,615,198	-165,975,577	39,639,622	162,573,385
10	210,961,194	-167,006,787	43,954,407	206,527,791
11	216,446,185	-174,735,730	41,710,454	248,238,246
12	222,073,785	-169,092,466	52,981,319	301,219,565
13	227,847,704	-170,147,053	57,700,651	358,920,216
14	233,771,744	-171,209,548	62,562,196	421,482,412
15	239,849,810	-172,280,013	67,569,797	489,052,209
16	246,085,905	-173,358,506	72,727,399	561,779,607
17	252,484,138	-174,445,088	78,039,051	639,818,658
18	259,048,726	-175,539,819	83,508,907	723,327,565
19	265,783,993	-176,642,760	89,141,232	812,468,797
20	272,694,376	-177,753,974	94,940,403	907,409,200

หน่วย : บาท

## 2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)

จากสูตร

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$$NPV = 353,544,912 \text{ บาท}$$

ในการเลือกลงทุนโครงการใดๆ ค่า NPV เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงว่าโครงการที่กำลังพิจารณานั้นมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นเท่าไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าโครงการดังกล่าวมีค่า NPV เป็นบวกผู้ลงทุนสมควรที่จะลงทุน และเลือกโครงการที่ให้ค่า NPV สูงที่สุด แต่การใช้ค่า NPV เป็นเกณฑ์ตัดสินใจการลงทุนโครงการในกรณีที่แต่ละโครงการมีขนาดต่างกัน แต่ให้ค่า NPV ในทิศทางบวก จึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าทางเศรษฐศาสตร์อื่นๆประกอบการตัดสินใจ

## 3) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

ค่า IRR คือ อัตราคิดลดที่ทำให้ NPV = 0

IRR คือ r ที่ทำให้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$$

$$IRR = \text{ร้อยละ } 36.2$$

## 4) ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PBP)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{14,899,105}{19,916,417} + 3 \text{ ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 3 \text{ ปี } 9 \text{ เดือน}$$

4.6.2 โครงการที่ 2 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีน  
โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง

1) กระแสเงินสดสุทธิ (Cash flow)

ตารางที่ 4.9

กระแสเงินสดสุทธิจากโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่อง  
ปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง

ปีที่	กระแสเงินสดรับสุทธิ	เงินลงทุน	กำไร	กำไรสะสม
0	0	-53,499,000	-53,499,000	-53,499,000
1	147,409,817	-145,548,406	1,861,411	-51,637,589
2	151,242,472	-146,519,780	4,722,692	-46,914,897
3	155,174,777	-147,498,440	7,676,337	-39,238,560
4	159,209,321	-148,484,439	10,724,881	-28,513,679
5	163,348,763	-149,477,834	13,870,929	-14,642,750
6	167,595,831	-150,478,679	17,117,152	2,474,403
7	171,953,323	-151,487,030	20,466,293	22,940,696
8	176,424,109	-152,502,944	23,921,165	46,861,861
9	181,011,136	-153,526,477	27,484,659	74,346,520
10	185,717,425	-154,557,687	31,159,739	105,506,259
11	190,546,078	-162,286,630	28,259,448	133,765,707
12	195,500,277	-156,643,366	38,856,910	172,622,617
13	200,583,284	-157,697,953	42,885,331	215,507,948
14	205,798,449	-158,760,448	47,038,001	262,545,949
15	211,149,209	-159,830,913	51,318,296	313,864,245
16	216,639,088	-160,909,406	55,729,682	369,593,927
17	222,271,704	-161,995,988	60,275,717	429,869,644
18	228,050,769	-163,090,719	64,960,050	494,829,694
19	233,980,089	-164,193,660	69,786,429	564,616,123
20	240,063,571	-165,304,874	74,758,697	639,374,820

หน่วย : บาท

## 2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)

จากสูตร

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$$NPV = 226,678,190 \text{ บาท}$$

## 3) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

ค่า IRR คือ อัตราคิดลดที่ทำให้ NPV = 0

IRR คือ r ที่ทำให้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$$

$$IRR = \text{ร้อยละ } 25.3$$

## 4) ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PBP)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{14,642,749}{17,117,152} + 5 \text{ ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 5 \text{ ปี } 11 \text{ เดือน}$$



4.6.3 โครงการที่ 3 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีน  
โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิง

1) กระแสเงินสดสุทธิ (Cash flow)

ตารางที่ 4.10

กระแสเงินสดสุทธิจากโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่อง  
ปฏิกรณ์แบบเบตนิง

ปีที่	กระแสเงินสดรับสุทธิ	เงินลงทุน	กำไร	กำไรสะสม
0	0	-53,499,000	-53,499,000	-53,499,000
1	44,018,514	-44,714,686	-696,172	-54,195,172
2	45,178,580	-44,557,619	620,961	-53,574,211
3	46,369,244	-44,401,322	1,967,922	-51,606,289
4	47,591,314	-44,245,791	3,345,523	-48,260,766
5	48,845,619	-44,091,022	4,754,597	-43,506,169
6	50,133,011	-43,937,011	6,195,999	-37,310,170
7	51,454,361	-43,783,755	7,670,606	-29,639,564
8	52,810,568	-43,631,250	9,179,317	-20,460,247
9	54,202,551	-43,479,493	10,723,058	-9,737,188
10	55,631,255	-43,328,479	12,302,777	2,565,588
11	57,097,650	-49,868,204	7,229,446	9,795,034
12	58,602,731	-43,028,667	15,574,064	25,369,098
13	60,147,518	-42,879,862	17,267,657	42,636,754
14	61,733,062	-42,731,786	19,001,276	61,638,030
15	63,360,437	-42,584,435	20,776,002	82,414,032
16	65,030,749	-42,437,807	22,592,942	105,006,975
17	66,745,132	-42,291,897	24,453,235	129,460,209
18	68,504,749	-42,146,702	26,358,046	155,818,256
19	70,310,794	-42,002,219	28,308,575	184,126,831
20	72,164,495	-41,858,443	30,306,052	214,432,883

หน่วย : บาท

## 2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)

จากสูตร

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$$NPV = 51,542,394 \text{ บาท}$$

## 3) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

ค่า IRR คือ อัตราคิดลดที่ทำให้ NPV = 0

IRR คือ r ที่ทำให้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$$

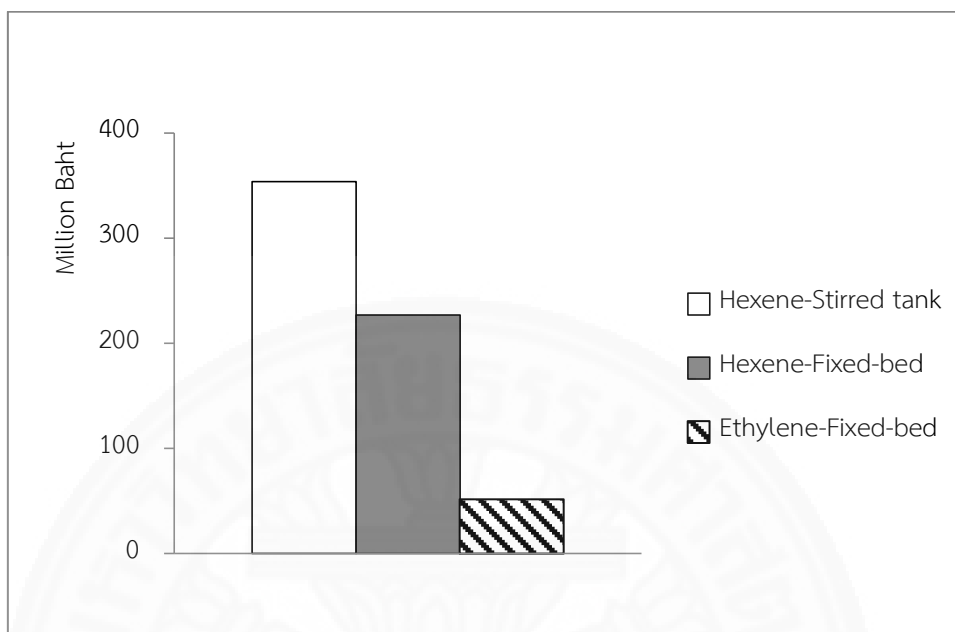
$$IRR = \text{ร้อยละ } 12.9$$

## 4) ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PBP)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{9,737,188}{12,302,777} + 9 \text{ ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 9 \text{ ปี } 10 \text{ เดือน}$$

#### 4.6.4 การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ



ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันแอลคีน

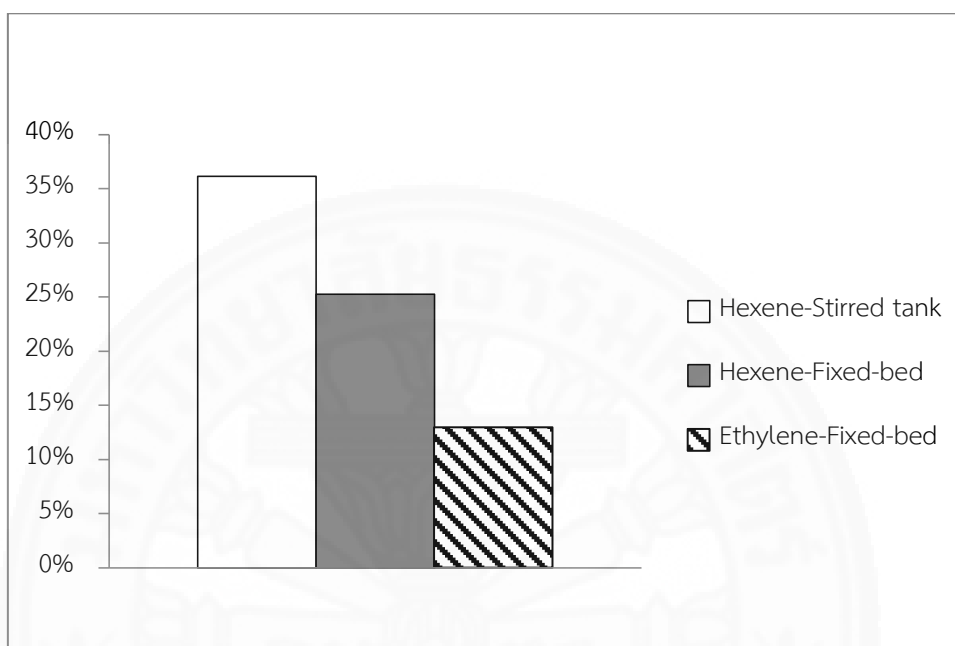
จากภาพที่ 4.8 ค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน เท่ากับ 353,544,912 บาท ซึ่งมีค่า NPV มากกว่าโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนโดยใช้แบบเบดนิ่งที่มีค่า NPV เท่ากับ 226,678,190 บาท และค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเท่ากับ 51,542,394 บาท ซึ่งน้อยกว่าค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีน

ปัจจัยที่มีผลทำให้ค่า NPV ต่างกัน ได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงแอลคีนของแต่ละกระบวนการที่มีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์และราคาตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลจากค่า NPV ทั้ง 3 โครงการมีค่ามากกว่าศูนย์ จึงคุ้มค่าแก่การลงทุนทั้ง 3 โครงการ

#### 4.6.5 การประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน

หลักการตัดสินใจในการลงทุน โครงการต้องมี  $IRR > r$  จึงคุ้มค่าแก่การลงทุน และยอมรับข้อเสนอโครงการ



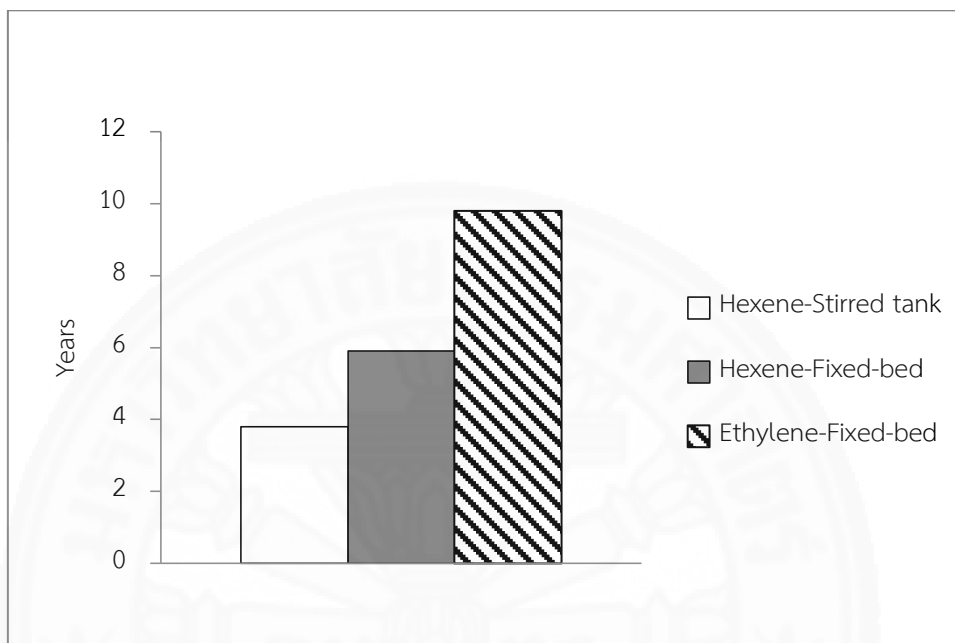
ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนภายในของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันแอลคีน

ค่า IRR โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งและแบบถังกวนเท่ากับร้อยละ 36.2 และร้อยละ 25.3 ตามลำดับ และค่า IRR โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเอทิลีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเท่ากับร้อยละ 12.9

จากหลักการตัดสินใจในการลงทุน โครงการต้องมี  $IRR > r$  จึงคุ้มค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ ซึ่งจากทั้ง 3 โครงการมีค่า IRR มากกว่า 7 (อัตราคิดลดของโครงการ) มีผลให้ทั้ง 3 โครงการคุ้มค่าแก่การลงทุน

#### 4.6.6 การประเมินระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่จะได้เงินลงทุนคืนจากเงินลงทุนและผลตอบแทนที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

จากภาพที่ 4.10 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งใช้ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 11 เดือน โรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนใช้ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 9 เดือน ซึ่งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนจะคืนทุนเร็วกว่าโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง และโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งมีระยะเวลาคืนทุน 9 ปี 10 เดือน

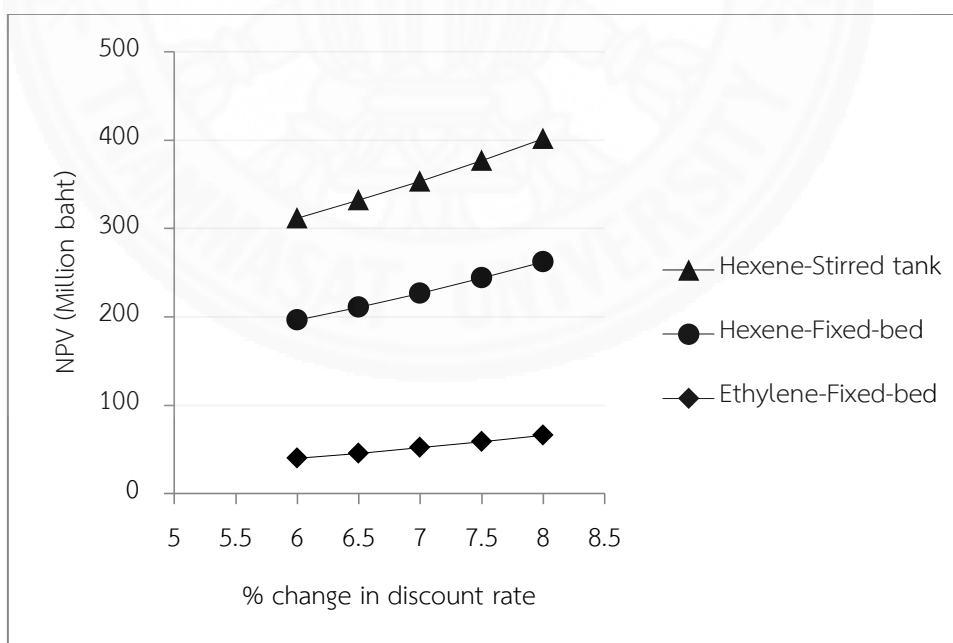
#### 4.7 การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์ความเคลื่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นการวิเคราะห์เพื่อลดความเสี่ยงหรือลดขอบเขตความไม่แน่นอนจากการเปลี่ยนแปลงผลรายได้และต้นทุนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรายรับและรายจ่ายที่เกิดจากการดำเนินงาน ว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด จึงทำให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปตามเกณฑ์ของการตัดสินใจลงทุน

ปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน ซึ่งได้แก่ ความผันแปรของต้นทุน ความผันแปรของรายได้และความผันแปรของอัตราคิดลด

##### 4.7.1 การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงพิจารณาถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ต่อความผันแปรของอัตราคิดลด

การวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราคิดลด จะพิจารณาความผันแปรในช่วงร้อยละ 6 ถึง 8 (ช่วงร้อยละ 0.5) เพื่อให้ทราบถึงการลดหรือเพิ่มของอัตราคิดลดจะส่งผลอย่างไรกับค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนทั้ง 3 โครงการ

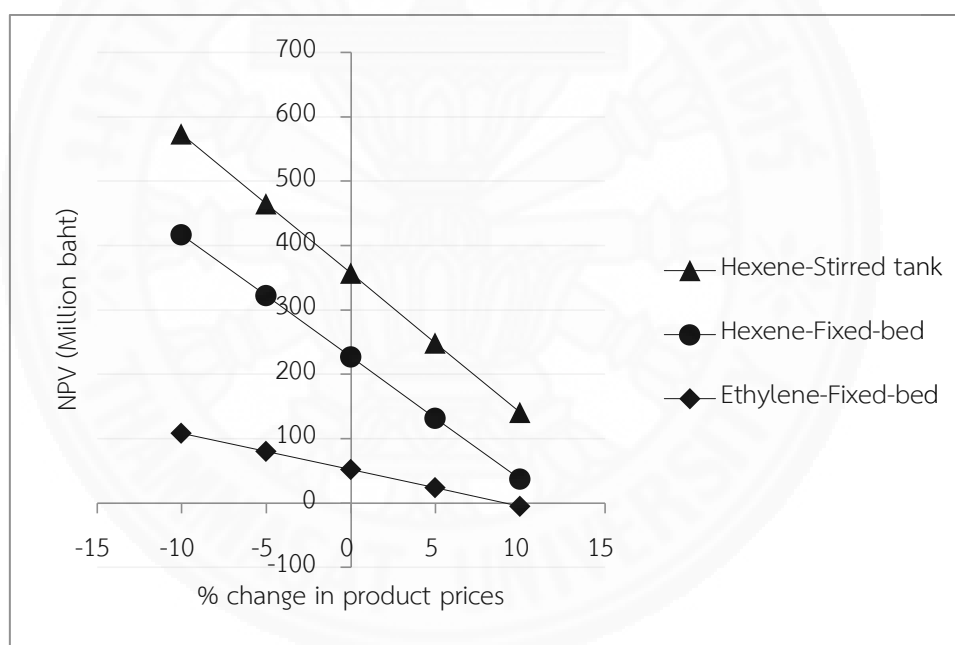


ภาพที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราคิดลดของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

จากภาพที่ 4.11 พบว่าในการลดหรือเพิ่มของอัตราคิดลดส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชนิด ในระดับปานกลาง และมีนัยสำคัญต่อการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนในระดับต่ำ

#### 4.7.2 การวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงพิจารณาถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ต่อความผันแปรของรายได้

การวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของรายได้ ซึ่งพิจารณาความผันแปรในช่วงร้อยละ -10 ถึง 10 ( $\pm 5$ ) เพื่อให้ทราบถึงการลดหรือเพิ่มของรายได้ส่งผลอย่างไรต่อค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนทั้ง 3 โครงการ



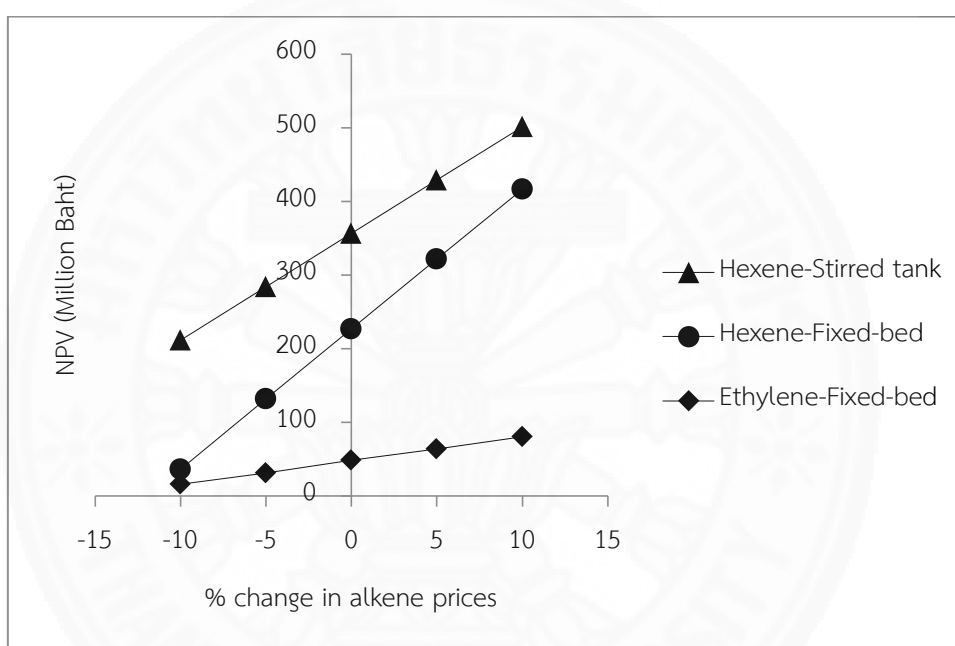
ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของรายได้ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

จากผลการวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของรายได้ พบว่าในการลดหรือเพิ่มของรายได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนในระดับค่อนข้างสูง และการลดหรือเพิ่มของรายได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนในระดับปานกลาง

### 4.7.3 การวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงพิจารณาถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

#### (NPV) ต่อความผันแปรของต้นทุน

การวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน ซึ่งพิจารณาความผันแปรในช่วงร้อยละ -10 ถึง 10 ( $\pm 5$ ) เพื่อให้ทราบถึงการลดหรือเพิ่มของรายได้ส่งผลอย่างไรต่อค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนทั้ง 2 กรณี ต้นทุน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของราคาเอทิลีนและเฮกซีน



ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

จากผลการวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน ซึ่งพิจารณาความผันแปรในช่วงร้อยละ -10 ถึง 10 พบว่าราคาของวัตถุดิบหลักมีความไหวต่อค่า NPV ค่อนข้างสูง หากราคาเฮกซีนมีการลดหรือเพิ่มของต้นทุนจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่า NPV โดยการลดหรือเพิ่มของราคาเฮกซีนส่งผลต่อค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนในระดับสูง และการลดหรือเพิ่มของราคาเอทิลีนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนในระดับปานกลาง



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

การศึกษาการโอลิโกเมอไรเซชันของแอลคีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จากการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนโดยใช้ผลการทดลองจากการทดลองในห้องปฏิบัติการและผลการทดลองจากงานวิจัย แม้ว่าในปัจจุบันราคาน้ำมันในประเทศจะลดลง การโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนเพื่อผลิตเชื้อเพลิงจะเป็นทางเลือกหนึ่งของการผลิตเชื้อเพลิง เพื่อช่วยบรรเทาความขาดแคลนเชื้อเพลิงในอนาคตและนอกจากนี้ยังให้ผลิตภัณฑ์เป็นพลังงานที่สะอาด

#### 5.1.1 ด้านเศรษฐศาสตร์ของการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน

โดยจัดตั้งโรงงานขึ้นในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี อายุของโครงการ 20 ปี ที่อัตราคิดลดร้อยละ 7 เครื่องมือที่ใช้ประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของงานวิจัยนี้ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน

##### 5.1.1.1 การเปรียบเทียบกรณีที่ 1 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งให้ค่า NPV เท่ากับ 226,678,190 บาท ค่า IRR เท่ากับร้อยละ 25.3 ซึ่งใช้ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 11 เดือน และการโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนมีค่า NPV เท่ากับ 353,544,912 บาท มีค่า IRR เท่ากับร้อยละ 36.2 ซึ่งจะคืนทุนหลังจากดำเนินการแล้ว 3 ปี 9 เดือน จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 2 โครงการ พบว่าค่า NPV ของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนมีค่ามากกว่าค่าของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งประมาณ 127 ล้านบาท หรือสูงกว่าร้อยละ 36 และผลจากค่า NPV ของทั้ง 2 โครงการมีค่าเป็นบวก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการลงทุนในโครงการทั้ง 2 นั้น ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าแก่การลงทุนในโครงการดังกล่าว

### 5.1.1.2 การเปรียบเทียบกรณีที่ 2 การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีน 2 ชนิดที่มีสถานะแตกต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งมีค่า NPV เท่ากับ 226,678,190 บาท ค่า IRR เท่ากับร้อยละ 25.3 ซึ่งใช้ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 11 เดือน และโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งให้ค่า NPV เท่ากับ 51,542,394 บาท ค่า IRR ร้อยละ 12.9 ซึ่งจะคืนทุนหลังจากดำเนินการแล้ว 9 ปี 10 เดือน เนื่องจากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าค่า NPV ของโครงการทั้ง 2 มีค่าเป็นบวก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการลงทุนในโครงการทั้ง 2 นี้ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าแก่การลงทุนในโครงการดังกล่าว

จากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์โครงการการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ต่างชนิดกัน พบว่ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนให้ผลกำไรที่สูงกว่า ในขณะที่เดียวกันก็มีค่าดำเนินการที่สูงกว่าเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนที่มีสถานะแตกต่างกัน กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้เอทิลีนเป็นสารตั้งต้นจะลงทุนด้านการดำเนินการน้อยกว่าการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีน แต่ใช้ระยะเวลาในการคืนทุนที่ยาวนานกว่า และเมื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นพบว่า การจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนให้ผลกำไรที่สูงกว่า

จากผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าโครงการการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนทั้ง 3 เป็นโครงการที่คุ้มค่าแก่การลงทุน นอกจากนี้การวิเคราะห์ความไหวตัวของการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันแอลคีนทั้ง 3 โครงการ แสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงของอัตราคิดลด ต้นทุนและรายได้ที่มีต่อโครงการ

## 5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาและเปรียบเทียบการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากปฏิกิริยาโอไลโกเมอไรเซชันแอลคีนขนาดเล็กตัวอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดโครงการที่หลากหลายแก่ผู้ประกอบการ

2) งานวิจัยนี้ศึกษาจากปฏิกิริยาโอไลโกเมอไรเซชันแอลคีน ซึ่งราคาวัตถุดิบเป็นราคาอ้างอิงในตลาด หากใช้วัตถุดิบแอลคีนที่ผลิตได้เองจากแอลกอฮอล์ธรรมชาติ นอกจากได้ราคาที่ถูกลงและยังได้เชื้อเพลิงที่เป็นพลังงานสะอาด



## รายการอ้างอิง

### หนังสือและบทความในหนังสือ

ไพบุลย์ แยมเฟื่อน. (2548). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

### บทความวารสาร

Bellussi, G., Mizia, F., Calemma, V., Pollesel, P. & Millini, R. (2012). Oligomerization of olefins from Light Cracking Naphtha over zeolite-based catalyst for the production of high quality diesel fuel. *Microporous and Mesoporous Material*, 164, 127-134.

Catani, R., Mandreoli, M., Rossini, S. & Vaccari, A. (2002). Mesoporous catalysts for the synthesis of clean diesel fuels by oligomerisation of olefins. *Catalysis Today*, 75, 125.

Coelho, A., Caeiro, G., Lemos, M. A. N. D. A., Lemos, L. & Ribeiro, F. R. (2013). 1-Butene oligomerization over ZSM-5 zeolite: Part 1 – Effect of reaction conditions. *Fuel*, 111, 449-460.

Corma, A., Martinez, C. & Doscocil, E. (2013). Designing MFI-based catalysts with improved catalyst life for  $C_3$  and  $C_5$  oligomerization to high-quality liquid fuels. *Journal of Catalysis*, 300, 183-196.

Ding, X., Geng, S., Li, C., Yang, C. & Wang, G. (2009). Effect of acid density of HZSM-5 on the oligomerization of ethylene in FCC dry gas. *Journal of natural gas chemistry*, 18, 156-160.

Grieken, R. V., Escola, J. M., Moreno, J. & Rodriguez, R. (2006). Liquid phase oligomerization of 1-hexene over different mesoporous aluminosilicates (Al-MTS, Al-MCM-41 and Al-SBA-15) and micrometer/nanometer HZSM-5 zeolites. *Applied Catalysis A: General*, 305, 176-188.

Hauge, K., Bergene, E., Chen, D., Frediksen, G. R. & Holmen, A. (2005). Oligomerization of isobutene over solid acid catalysts. *Catalysis Today*, 100, 463-466.

- Hulea, V. & Fajula, F. (2004). Ni-exchanged AlMCM-41-An efficient bifunctional catalyst for ethylene oligomerization. *Journal of catalysis*, 225, 213-222.
- Ipatieff, V. N., Corson, B. B. & Egloff, G. (1935). Polymerization, a new source of gasoline. *J. Ind. Eng. Chem.*, 27, 1077-1081.
- Jeong, S., Fisher, K., Howe, R. & Willett, G. (1998). A Fourier transform mass spectrometry study of ethene oligomers in HMFI zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 22, 369-377.
- Klepel, O., Loubentsov, A., Bohlmann, W. & Papp, H. (2003). Oligomerization as an important step and side reaction for skeletal isomerization of linear butenes on H-ZSM-5. *Applied Catalysis A: General*, 255, 349-354.
- Klerk, A. D. (2005). Oligomerization of 1-Hexene and 1-Octene over Solid Acid Catalysts. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44, 3887-3893.
- Kolke, T. J. G. & Gorte, R. J. (1989). A temperature programmed desorption study of olefin oligomerization in H-ZSM-5. *Journal of Catalysis*, 155, 233-243.
- Kumar, K., Maki-Arvela, P., Ylasami, T., Villegas, J., Heikkila, T., Leino, A.-R., Kordas, K. & Salmi, T. (2012). Dimerization of 1-butene in liquid phase reaction: Influence of structure, pore size and acidity of beta-zeolite and MCM-41 mesoporous material. *Microporous and Mesoporous Material*, 147, 127-134.
- Lallemand, M., Finiels, A., Fajula, F. & Hulea, V. (2006). Catalytic oligomerization of ethene over Ni-containing dealuminated Y zeolites. *Applied catalysis A: General*, 301, 196-201.
- Lallemand, M., Rusu, O. A., Dumitriu, E., Finiels, A., Fajula, F. & Hulea, V. (2008). NiMCM-36 and NiMCM-22 catalysts for the ethene oligomerization: Effect of zeolite texture and nickel cations/acid sites ratio. *Applied catalysis A: General*, 338, 37-43.
- Martínez, A., Arribas, M. A., Concepción, P. & Moussa, S. (2013). New bifunctional Ni-H-Beta catalysts for the heterogeneous oligomerization of ethylene. *Applied Catalysis A: General*, 467, 509-518.
- Mlinar, A. N., Zimmerman, P. M., Celik, F., Head-Gardon, E. M. & Bell, A. T. (2012). Effect of Brønsted-acid site proximity on the oligomerization of propene in H-MFI. *Journal of Catalysis*, 288, 65-73.

- Occeli, M. L., Hsu, J. T. & Galaya, L. G. (1985). Propylene oligomerization over molecular sieves: Part i. zeolite effects on reactivity and liquid product selectivities. *Molecular Catalysis*, 32, 377-390.
- Stepanov, A. G., Luzgin, M. V., Romannikov, V. N., Sidelnikov, V. N. & Paukshtis, E. A. (1998). The nature, structure and composition of adsorbed hydrocarbon products of ambient temperature oligomerization of ethylene on acid zeolite H-ZSM-5. *Journal of catalysis*, 178, 466-477.
- Tabak, S. A., Krambeck, F. J. & Garwood, W. E. (1986). Conversion of propylene and butylene over ZSM-5 catalyst. *AIChE Journal*, 32(9), 1526-1531.
- Torres, M., Lopez, L., Dominguez, J.M., Mantilla, A., Ferrat, G., Gutierrez, M. & Maubert, M. (2003). Olefin catalytic oligomerization on new composites of beta-zeolite film supported on  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> membranes. *Chemical Engineering Journal*, 92, 1-6.
- Torres, M., Gutierrez, M., Mugica, V. & Lopez L. (2011). Oligomerisation of with isobutene with a beta zeolite membrane: Effect of the acid properties of catalytic membrane. *Catalysis Today*, 166, 205-208.
- Vandichel, M., Lesthaeghe, D., Mynsbrugge, J. V., Waroquier, M. & Speybroeck, V. V. (2010). Assembly of cyclic hydrocarbons from ethene and propene in acid zeolite catalysis to produce active catalytic sites for MTO conversion. *Journal of catalysis*, 271, 67-78.
- Yamamura, M., Chaki, K., Wakatsuki, T., Okado, H., & Fujimoto, K. (1994). Synthesis of ZSM-5 zeolite with small crystal size and its catalytic performance for ethylene oligomerization. *Zeolites*, 14, 643-649.
- Yarlagadda, P., Lund, C. R. F. & Ruckenstein. E. (1990). Oligomerization of ethene and propene over composite zeolite catalysts. *Applied Catalysis*, 62, 125-139.
- Yoon, J. W., Chang, J. S., Lee, H. D., Kim, T. J. & Jhung, S. H. (2007). Trimerization of isobutene over zeolite beta catalyst. *Journal of Catalysis*, 245, 253-256.
- Zhang, D., Barri, S. A. I. & Chadwick, D. (2011). n-Butanol to iso-butene in one step over zeolite catalyst. *Applied catalysis A: General*, 403, 1-11.

## สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ราคาน้ำมันขายปลีกกรุงเทพและปริมณฑล. (8 มีนาคม 2559). สืบค้นจาก [www.pttplc.com  
/TH/Media-Center/Oil-Price/Pages/Bangkok-Oil-Price.aspx](http://www.pttplc.com/TH/Media-Center/Oil-Price/Pages/Bangkok-Oil-Price.aspx)

สรุปราคาประเมินทุนทรัพย์ที่ดินจังหวัดปทุมธานีรอบบัญชี 2555-2558. (3 มีนาคม 2559).

*กรมธนารักษ์*, สืบค้นจาก [http://www.treasury.go.th/download/property\\_valuation  
/pathumthani.pdf](http://www.treasury.go.th/download/property_valuation/pathumthani.pdf)

Ballal, G. (2012). 1-hexene production by Axens alphahexol Process. สืบค้นจาก [https://www.ihs.com/products/chemical-technology-pep-reviews-1-hexene-  
production-axens-alpha-hexol.html](https://www.ihs.com/products/chemical-technology-pep-reviews-1-hexene-production-axens-alpha-hexol.html)

(D. Heneghan, personal communication [e-mail], April 7, 2016)

Ethylene price continue to quote lower in Asia. (2 February 2016) *Polymerupdate intelligence analysis conferences*, สืบค้นจาก [https://www.polymerupdate.com/  
blog/plastic-news/2016-02-06-Ethylene-prices-continue-to-quote-lower-in-  
Asia.aspx?id=4378&year=2016](https://www.polymerupdate.com/blog/plastic-news/2016-02-06-Ethylene-prices-continue-to-quote-lower-in-Asia.aspx?id=4378&year=2016)

Price of certain manufactured goods. (29 February 2016). *ธนาคารแห่งประเทศไทย*, สืบค้นจาก <https://www.bot.or.th>

(T. Echaroj, personal communication [e-mail], February 19, 2016)

(T. Echaroj, personal communication [e-mail], March 9, 2016)

(W. Wichaporn, personal communication [e-mail], March 1, 2013)

Zirconia oxide price. (5 เมษายน 2559). สืบค้นจาก [http://www.advancedmaterials.us  
/40R-0801.htm](http://www.advancedmaterials.us/40R-0801.htm)

**ภาคผนวก**  
**การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์**

ตารางที่ ก-1

การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอไลโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่อง  
ปฏิกรณ์แบบถังกวน

รายการ	ราคาต่อหน่วย (USD)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1. สิ่งปลูกสร้าง ไบโอนูญาตาและยานพาหนะ		
1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 5 ตัน*	188,200	6,690,000
1.2 เครื่องควบแน่น (Condenser)*	23,500	835,000
1.3 เครื่องกรอง (Filter)*	35,900	1,275,000
1.4 ถังเก็บผลิตภัณฑ์*	41,300	1,467,000
1.5 ถังเก็บตัวเร่งปฏิกิริยา*	11,600	412,000
1.6 หอหล่อเย็น (Cooling tower)*	-	2,000,000
1.7 หม้อน้ำ (Boiler)*	-	9,490,000
1.8 ท่อและวาล์วต่างๆ (Piping and Valves)*	-	400,000
1.9 ระบบการวัด (Monitoring system)*	-	1,200,000
1.10 ป้อม*	-	1,200,000
1.11 ค่าติดตั้ง*	-	3,000,000
1.12 ยานพาหนะ	-	5,530,000
1.13 ขอบิโอนูญาตจัดตั้งโรงงานพวก 3 /CSR	-	5,000,000
1.14 สร้างอาคารโรงงานและสำนักงาน	-	10,000,000
1.15 ราคาที่ดินขนาด 2 ไร่และค่าปรับปรุงพื้นที่ กรมธนารักษ์ (2559)	-	5,000,000



รายการ	ราคาต่อหน่วย (USD)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
2. วัสดุดิบ		
2.1 เฮกซีน (บาทต่อตัน) Ballal (2012)	-	48,000
2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา (บาทต่อตัน) D. Heneghan (personal communication, April 7, 2016)	-	7,102,000
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ		
3.1 ค่าเชื้อเพลิงยานพาหนะ	-	100,000
3.2 ค่าบำรุงรักษา	-	72,000
3.3 ค่าจ้างแรงงาน	-	2,400,000
3.4 ค่าประกันโรงงาน	-	27,000
3.5 ค่าเสื่อม	-	2,149,950
3.6 ค่าน้ำ*	-	26,000
3.7 ค่าไฟฟ้า*	-	2,400,000

หมายเหตุ. : \* ข้อมูลจากโรงงานแห่งหนึ่งในอำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

## ตารางที่ ก-2

การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมอไรเซชันเฮกซีนโดยใช้เครื่อง  
ปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

รายการ	ราคาต่อหน่วย (USD)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1. สิ่งปลูกสร้าง ใบอนุญาตฯและยานพาหนะ		
1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 5 ตัน*	188,200	6,690,000
1.2 เครื่องควบแน่น (Condenser)*	23,500	835,000
1.3 เครื่องกรอง (Filter)*	35,900	1,275,000
1.4 ถังเก็บผลิตภัณฑ์*	41,300	1,467,000
1.5 ถังเก็บตัวเร่งปฏิกิริยา*	11,600	412,000
1.6 หอหล่อเย็น (Cooling tower)*	-	2,000,000
1.7 หม้อน้ำ (Boiler)*	-	9,490,000
1.8 ท่อและวาล์วต่างๆ (Piping and Valves)*	-	400,000
1.9 ระบบการวัด (Monitoring system)*	-	1,200,000
1.10 ปัม*	-	1,200,000
1.11 ค่าติดตั้ง*	-	3,000,000
1.12 ยานพาหนะ	-	5,530,000
1.13 ขอใบอนุญาตจัดตั้งโรงงานพวก 3 /CSR	-	5,000,000
1.14 สร้างอาคารโรงงานและสำนักงาน	-	10,000,000
1.15 ราคาที่ดินขนาด 2 ไร่และค่าปรับปรุงพื้นที่ กรรมนารักษ์ (2559)	-	5,000,000

รายการ	ราคาต่อหน่วย (USD)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
2. วัสดุดิบ		
2.1 เฮกซีน (บาทต่อตัน) Ballal (2012)	-	48,000
2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา (บาทต่อตัน) D. Heneghan (personal communication, April 7, 2016)	-	7,102,000
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ		
3.1 ค่าเชื้อเพลิงยานพาหนะ	-	100,000
3.2 ค่าบำรุงรักษา	-	72,000
3.3 ค่าจ้างแรงงาน	-	2,400,000
3.4 ค่าประกันโรงงาน	-	27,000
3.5 ค่าเสื่อม	-	2,484,450
3.6 ค่าน้ำ*	-	26,000
3.7 ค่าไฟฟ้า*	-	2,400,000

หมายเหตุ. : \* ข้อมูลจากโรงงานแห่งหนึ่งในอำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

## ตารางที่ ก-3

การประเมินต้นทุนของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการโอลิโกเมโรเซชันเอทิลีนโดยใช้เครื่อง  
ปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

รายการ	ราคาต่อหน่วย (USD)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1. สิ่งปลูกสร้าง ใบอนุญาตฯและยานพาหนะ		
1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 5 ตัน*	188,200	6,690,000
1.2 เครื่องควบแน่น (Condenser)*	23,500	835,000
1.3 เครื่องกรอง (Filter)*	35,900	1,275,000
1.4 ถังเก็บผลิตภัณฑ์*	41,300	1,467,000
1.5 ถังเก็บตัวเร่งปฏิกิริยา*	11,600	412,000
1.6 หอหล่อเย็น (Cooling tower)*	-	2,000,000
1.7 หม้อน้ำ (Boiler)*	-	9,490,000
1.8 ท่อและวาล์วต่างๆ (Piping and Valves)*	-	400,000
1.9 ระบบการวัด (Monitoring system)*	-	1,200,000
1.10 ป้อม*	-	1,200,000
1.11 ค่าติดตั้ง*	-	3,000,000
1.12 ยานพาหนะ	-	5,530,000
1.13 ขอใบอนุญาตจัดตั้งโรงงานพวก 3 /CSR	-	5,000,000
1.14 สร้างอาคารโรงงานและสำนักงาน	-	10,000,000
1.15 ราคาที่ดินขนาด 2 ไร่และค่าปรับปรุงพื้นที่ กรรมนารักษ์ (2559)	-	5,000,000

รายการ	ราคาต่อหน่วย (USD)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
2. วัสดุดิบ		
2.1 เอทิลีน (บาทต่อตัน) Polymerupdate intelligence analysis conferences (2016)	-	31,800
2.2 แก๊สไนโตรเจน (บาทต่อตัน) T. Echaroj (personal communication [e-mail], February 19, 2016)	-	91,320
2.3 แก๊สอาร์กอน (บาทต่อตัน) W. Wichaporn (personal communication [e-mail], March 1, 2013)	-	56,000
2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (บาทต่อตัน) T. Echaroj (personal communication [e-mail], March 9, 2016)	-	8,800,000
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ		
3.1 ค่าเชื้อเพลิงยานพาหนะ	-	100,000
3.2 ค่าบำรุงรักษา	-	72,000
3.3 ค่าจ้างแรงงาน	-	2,400,000
3.4 ค่าประกันโรงงาน	-	27,000
3.5 ค่าเสื่อม	-	2,484,450
3.6 ค่าน้ำ*	-	26,000
3.7 ค่าไฟฟ้า*	-	2,400,000

หมายเหตุ. : \* ข้อมูลจากโรงงานแห่งหนึ่งในอำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวเจนจิรา กุลพานิช
วันเดือนปีเกิด	26 เมษายน 2530
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2551: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ตำแหน่ง	นักวิทยาศาสตร์ Bromsgrove international school Thailand
ผลงานทางวิชาการ	<p>Gulpanich, J. &amp; Santikunaporn, M. (2016). <i>Economic analysis of fuel production from hexene oligomerization: Comparison between continuous flow fixed bed and continuous stirred tank reactor</i>. The ISER international conference, Hong Kong, China.</p> <p>Gulpanich, J. &amp; Santikunaporn, M. (2016). <i>Economic analysis of fuel production from alkene oligomerization</i>. The 43<sup>rd</sup> IRES international conference, Bangkok, Thailand.</p>
ประสบการณ์ทำงาน	2554-ปัจจุบัน: นักวิทยาศาสตร์ Bromsgrove international school Thailand 2552-2554: เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ MRC resin Thailand