

แอมมอกซีเดชันของโพรเพนบนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบหลายองค์ประกอบ



นาย วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

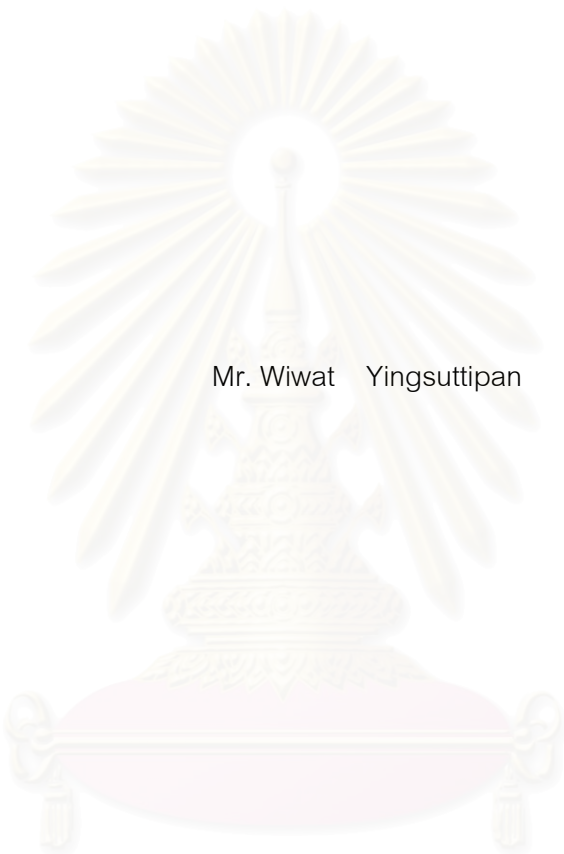
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-5976-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AMMOXIDATION OF PROPANE ON MULTICOMPONENT CATALYST



Mr. Wiwat Yingsuttipan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-5976-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แอมมอกซิเดชันของโพรเพนบนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบหลายองค์ประกอบ
โดย นายวิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ไชยเวช

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ไชยเวช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พฤกษาทอ)

นายวิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์: แอมมอกซิเดชันของโพรเพนบนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบหลายองค์ประกอบ (Ammoxidation of propane on multicomponent catalyst) อ. ที่ปรึกษา: ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, อ. ที่ปรึกษาร่วม: ศ.ดร.ปราโมทย์ ไชยเวช ,102หน้า. ISBN 974-17-5976-2.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสังเคราะห์อะคริโลไนทริลในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดความจุ 30 มิลลิลิตรซึ่งได้ออกแบบการทดลองเป็นสองกระบวนการดังนี้

กระบวนการแรกทำการเปลี่ยนโพรเพนไปเป็นโพรพิลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon พบว่าภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 1 บรรยากาศ เวลา 30 นาที หลังจากนั้นได้ทำการเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริโลไนทริลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ตัว ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Multicomponent Bismuth Phosphate โดยมีภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 1 บรรยากาศ เวลา 30 นาที สามารถผลิตอะคริโลไนทริลได้ร้อยละ 31.27 โดยน้ำหนัก จากนั้นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite ผลิตอะคริโลไนทริลได้ร้อยละ 6.29 โดยน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Multicomponent Bismuth Phosphate ให้ร้อยละอะคริโลไนทริลมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite ประมาณ 5 เท่า ดังนั้นกระบวนการที่สองจึงเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Pd/Multicomponent Bismuth Phosphate ในการเปลี่ยนโพรเพนไปเป็นอะคริโลไนทริล โดยมีภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 1 บรรยากาศ เวลา 30 นาที สามารถผลิตอะคริโลไนทริลได้ร้อยละ 14.57 โดยน้ำหนัก

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ...เคมีเทคนิค...

สาขาวิชา ...เคมีเทคนิค...

ปีการศึกษา ...2547...

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4572499023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD : Ammoxidation/Multicomponent bismuth phosphate/Selective oxidation

WIWAT YINGSUTTIPAN : AMMOXIDATION OF PROPANE ON MULTICOMPONENT

CATALYST. THESIS ADVISOR : PROFESSOR Dr. SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D.

THESIS CO-ADVISOR PROFESSOR Dr. PRAMOTE CHAIYAVECH, Ph.D. 102 pp.

ISBN 974-17-5976-2

This research was aimed at the kind synthesis of acrylonitrile from propane in 30 ml. reactor. This study was divided into two steps.

In the first step, propane was converted to propylene by using Pd/Activated carbon as a catalyst. The optimum condition was operated at 420 degree celcius, initial pressure 1 atm, and reaction time of 30 minute. Then propylene was converted to acrylonitrile by using two types of catalysts (Cu/multicomponent bismuth phosphate, Cu/Zeolite) respectively. For Cu/multicomponent bismuth phosphate the optimum condition was operated at 400 degree celcius, 1 atm and reaction time 30 minute. The reaction of 31.27% by weight of acrylonitrile was formed. In case of Cu/Zeolite, acrylonitrile was formed only 6.29% by weight, five times yield less than Cu/ multicomponent bismuth phosphate.

Second step, Pd-Cu/ multicomponent bismuth phosphate was used as the catalyst to convert propane directly to acrylonitrile. The reaction condition was 430 degree celcius 1 atm and reaction time 30 minute. The production of acrylonitrile was formed 14.57% by weight.

Department ...ChemicalTechnology...

Student's signature.....

Field of study ...ChemicalTechnology...

Advisor's signature.....

Academic year ... 2004...

Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ และ ศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไชยเวท ที่กรุณาให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ กองทุนสนับสนุนงานวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ ทำให้การทำงานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา-มารดาและทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ, ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ที่มาของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	4
2.1.1 อัลเคน(Alkanes) หรือพาราฟิน(Paraffins).....	4
2.1.2 อัลคีน(Alkenes).....	5
2.2 ปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	5
2.2.1 ปฏิกิริยาการเติม.....	5
2.2.2 ปฏิกิริยาการแทนที่	6
2.2.3 ปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน	6
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยา.....	9
2.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	9
2.3.2 หลักของปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะ	10
2.3.3 ปฏิกิริยาของสารประกอบไพโรฟิน	17
2.4 กระบวนการในการสังเคราะห์อะคริไลไนทริล.....	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 รูปแบบการศึกษา	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	24
3.3 สารเคมี	28
3.4 วัตถุประสงค์	28
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	29
3.5.1 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีน	29
3.5.2 การเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริโลไนทริล	30
3.5.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/MBP).....	30
3.5.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/Zeolite).....	32
3.5.3 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริโลไนทริล.....	33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลของการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา	35
4.1.1 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Chemisorption Analysis	35
4.1.2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง SEM	36
4.2 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของโพรเพนไปเป็นโพรพิลีนโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	40
4.2.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรเพน ในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	40
4.2.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อผลของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน ที่ได้จากโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	41
4.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน	45

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.4 ผลของน้ำหนัของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ต่อผล
ได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน..... 46

4.2.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน..... 47

4.3 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนไปเป็นอะคริไลไนทริลโดย
ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP..... 48

4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของ
โพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP..... 48

4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์
อะคริไลไนทริลที่ได้จากโพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP..... 48

4.3.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล 52

4.3.4 ผลของน้ำหนัของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์
อะคริไลไนทริล..... 53

4.3.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล 54

4.4 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนไปเป็นอะคริไลไนทริลโดย
ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite 55

4.4.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของ
โพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite..... 55

4.4.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์
อะคริไลไนทริลที่ได้จากโพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite..... 55

4.4.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล 59

4.4.4 ผลของน้ำหนัของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์
อะคริไลไนทริล 60

4.4.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล 61

4.5 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนไปเป็นอะคริไลไนทริลโดย
ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper , Palladium บน MBP 62

4.5.1การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรเพน
ในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาCopper ,Palladium บน MBP..... 62

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ อะคริลไนทริลที่ได้จากโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper , Palladium บน MBP .	62
4.5.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริลไนทริล	66
4.5.4 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper , Palladium บน MBP ต่อผลได้ของ ผลิตภัณฑ์อะคริลไนทริล	67
4.5.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริลไนทริล	68
4.6 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์	69
4.6.1 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีน	69
4.6.2 การเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริลไนทริล	70
4.6.3 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริลไนทริล	73
4.7 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	76
5.1.1 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีน	76
5.1.2 การเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริลไนทริล	77
5.1.3 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริลไนทริล	78
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	83
ภาคผนวก ข.....	89
ภาคผนวก ค	96
ภาคผนวก ง.....	100
ภาคผนวก จ.....	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	102

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การจำแนกประเภทของปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตามลักษณะของปฏิกิริยา	12
2.2 สารประกอบของระบบบิสมัท-โมลิบดีนัม	15
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP , Copper บน Zeolite และ Copper,Palladium บน MBP ด้วยเครื่อง chemisorption	36
4.2 แสดงผลของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่ได้จากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	42
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon.....	44
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ผลิตภัณฑ์โพรพิลีนจากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	44
4.5 แสดงผลของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลที่ได้จากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP.....	49
4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP.....	51
4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลจากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP	51
4.8 แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลที่เกิดจากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite.....	56
4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite.....	58
4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลจากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite	58
4.11 แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลจากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper , Palladium บน MBP	63

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP	65
4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลจากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper , Palladium บน MBP.....	65
4.14 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน	75



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบไพโรฟินเกิดเป็นสารประกอบอะโครลีน โดยคะตะลิสต์ บิสมัท – โมลิบดีนัม	16
2.2 ปฏิกิริยาที่สำคัญของสารประกอบในทางอุตสาหกรรม	17
2.3 ปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของไซไฮโอและมอนซานโต	20
3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบBatch.....	25
3.2 เครื่อง Gas Chromatography	25
3.3 Column Polarpack Q.....	26
3.4 เครื่อง Chemisorption.....	26
3.5 ที่เขย่าเครื่องปฏิกรณ์แบบ Batch	27
3.6 เตาอบ(oven).....	27
4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon ก่อนการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน.....	36
4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon หลังการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน	37
4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน.....	37
4.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP หลังการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน	38
4.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน.....	38
4.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite หลังการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน.....	39
4.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน	39
4.8 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP หลังการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน.....	40
4.9 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงของไพโรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	43
4.10 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์ไพโรฟีนจากการสังเคราะห์ ไพโรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	43
4.11 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ไพโรฟีนที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon.....	45

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.12 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ต่อ ผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาที	46
4.13 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	47
4.14 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP	50
4.15 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนทริลจากการสังเคราะห์ โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP	50
4.16 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนทริลที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาทีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP	52
4.17 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ อะคริไลนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาที	53
4.18 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP	54
4.19 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite	57
4.20 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนทริลจากการสังเคราะห์ โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite	57
4.21 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนทริลที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite	59
4.22 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ อะคริไลนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์และเวลา 60 นาที	60

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.23 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite	61
4.24 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยา Copper,Palladium บน Zeolite	64
4.25 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลจากการสังเคราะห์ โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper,Palladium บน MBP.....	64
4.26 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาทีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper,Palladium บน MBP.....	66
4.27 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper,Palladium บน MBP ต่อผลได้ของผลิต ภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์และเวลา 60 นาที....	67
4.28 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper,Palladium บน MBP	68
4.29 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon.....	69
4.30 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon.....	70
4.31 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP	71
4.32 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่ อุณหภูมิ 450องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP.....	71
4.33 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่ อุณหภูมิ 400องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite.....	72

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.34 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite.....	73
4.35 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP	74
4.36 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP	74



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความเจริญเติบโตของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่สำคัญเป็นจำนวนมาก อันได้แก่ โรงงานแยกแก๊ส โรงงานผลิตสารโพลีฟิน โรงงานผลิตสารเคมี สารอะคริโลไนทริลเป็นสารเคมีอินทรีย์ที่มีความจำเป็นต้องใช้ใช้ในการผลิตสารปิโตรเคมีและพลาสติกที่สำคัญหลายชนิดซึ่งเป็นวัสดุที่สำคัญในการสร้างสาธารณูปโภคหลายประเภท เช่น

1. พอลิอะคริโลไนทริล (Polyacrylonitrile) เป็นส่วนประกอบสำคัญของไฟเบอร์และที่ใช้ประโยชน์ในการทำสิ่งทอซึ่งผสมด้วยพอลิเอสเตอร์สำหรับเสื้อกันหนาวและเสือกีฬา ซึ่งให้ความอบอุ่นคล้ายกับขนสัตว์นอกจากนี้ยังสามารถช่วยแก้ปัญหาซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับขนสัตว์ด้วย และยังใช้ประโยชน์ในการทำพรมและผ้าปูที่นอน
2. พลาสติก (ABS [acrylonitrile – butadiene – styrene]) เป็นประโยชน์สำหรับชิ้นส่วนของรถยนต์และยานยนต์ต่างๆ ท่อ ข้อต่อ และเครื่องใช้ไฟฟ้า
3. SAN (styrene – acrylonitrile) เป็นเรซินที่มีความโปร่งใสมากโดยจะนำมาใช้แทนที่สำหรับแก้วในแผงควบคุมของอุปกรณ์ยานยนต์ เครื่องมือเกี่ยวกับเลนส์และกระจกที่ใช้ตามบ้านเรือน
4. อะดิโปไนทริล (Adiponitrile) ผลิตโดยปฏิกิริยาไฮโดรเมอไรเซชัน (hydromerization) ของอะคริโลไนทริลซึ่งนำมาใช้ทำประโยชน์ในการสร้างเฮกซะ – เมทิลีน – ไดเอมีน (hexa – methylene – diamine) สำหรับไนลอน 66
5. อะคริลามิด (Acrylamide) ผลิตโดยกระบวนการพาเซิลไฮโดรไลซิส (partial hydrolysis) ของอะคริโลไนทริลเป็นประโยชน์ในการนำมาทำตัวทำละลายกับน้ำและพอลิเมอร์สำหรับการทำกระดาษ

6. ไนไตรด์รับเบอร์ (Acrylonitrile – butadiene copolymer) เป็นประโยชน์สำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมชนิดพิเศษที่ต้องการตัวต่อต้านน้ำมัน มีลักษณะที่ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำและเป็นตัวต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 120°C ประเทศไทยยังไม่มีโรงงานผลิตอะคริไลไนไตรล ดังนั้นจึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศปีละเป็นจำนวนมาก

ในทางอุตสาหกรรมอะคริไลไนไตรลมีกระบวนการผลิตหลายแบบ ได้แก่ ปฏิกริยา Addition ระหว่างกรด Hydrocyanic(HCN) กับ สาร Acetylene($\text{HC}=\text{CH}$) และ ปฏิกริยา Ammoxidation ของสาร โพรพิลีนด้วยแอมโมเนียและออกซิเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 723 K โดยมี Iron, Antimony, Vanadium, Tellurium, Copper บนตัวรองรับ Bismuth-molybdenum หรือ Bismuth Phosphate เป็นตัวเร่งปฏิกริยาจะเห็นได้ว่ยังไม่มีการสังเคราะห์อะคริไลไนไตรลจากสารโพรเพนโดยตรงเพราะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกริยาในการสังเคราะห์มากกว่า 1 ชนิดเพราะต้องมีการเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีนก่อนหลังจากนั้นจึงทำการสังเคราะห์อะคริไลไนไตรลซึ่งทำให้มีความสิ้นเปลืองเป็นอันมากในการสังเคราะห์อะคริไลไนไตรลจากโพรเพน

การทำปฏิกริยา Ammoxidation ของสาร โพรเพน แอมโมเนียและ ออกซิเจน เป็นการนำ Palladium มา Impregnation ลงบนตัว Multicomponent Bismuth Phosphate ซึ่ง Palladium จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกริยาในการเปลี่ยน โพรเพนให้เป็นโพรพิลีน และนำ Copper มา Impregnation ลงบนตัว Multicomponent Bismuth Phosphate จะใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกริยาในการเปลี่ยนโพรพิลีน ให้เป็นอะคริไลไนไตรล

ในงานวิจัยนี้ได้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาตัวเร่งปฏิกริยาเพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์อะคริไลไนไตรลในกระบวนการ ammoxidation ของสารโพรเพน แอมโมเนียและ ออกซิเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเพียงชนิดเดียวในการเกิดปฏิกริยารวมถึงการศึกษาคัดแปรที่มีผลต่อการสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางสถิติเข้ามาช่วย เพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตอะคริไลไนไตรลของโรงงานอุตสาหกรรมในเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาตัวเร่งปฏิกริยาเพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์อะคริไลไนไตรลโดยตรงจากโพรเพน
2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกริยา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการสังเคราะห์อะคริไลไนทริลด้วยปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน
2. วิเคราะห์วัตถุดิบ, ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์อะคริไลไนทริลด้วยปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) รวมถึงวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์อะคริไลไนทริลด้วยปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมสารเคมี, ตัวเร่งปฏิกิริยา และอุปกรณ์ในการทำการทดลอง
3. วิเคราะห์วัตถุดิบ และวางแผนการทดลอง
4. สังเคราะห์อะคริไลไนทริลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) โดยมีตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้คือ อุณหภูมิ ความดัน เปอร์เซ็นต์ตัวเร่งปฏิกิริยา
5. ศึกษาถึงภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา
6. สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสังเคราะห์อะคริไลไนทริลในปฏิกิริยา Ammoxidation ของไพโรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงชนิดเดียว
2. ลดขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์อะคริไลโนทริล ปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์รวมถึงการประยุกต์ใช้อะคริไลโนทริลในทางอุตสาหกรรมและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มาจากอะคริไลโนทริล

2.1 ที่มาของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

2.1.1 แอลเคน (Alkanes) หรือ พาราฟิน (Paraffins) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวซึ่งมีพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน สูตรทั่วไป คือ C_nH_{2n+2} เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มใด ๆ หรือ เป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอน หรือ RH โดยที่ R เป็นหมู่แอลคิลมีสูตรทั่วไปคือ C_nH_{2n+1}

แหล่งกำเนิดของแอลเคนคือ ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) และน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum) ซึ่งเกิดจากซากพืชและสัตว์ที่ตายทับถมกันอยู่ใต้พื้นดินเป็นเวลานานนับล้านปี

ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของแอลเคน

1. ปฏิกิริยาการสันดาป (Combustion) ถ้าเกิดแบบสมบูรณ์จะให้ผลิตภัณฑ์เป็น CO_2 กับ H_2O และพลังงานหรือบางครั้งเรียกปฏิกิริยาออกซิเดชัน
2. ปฏิกิริยาแทนที่ (Substitution) หมายถึง ปฏิกิริยาที่ไฮโดรเจนในแอลเคนถูกแทนที่ด้วยอะตอมหรือกลุ่มอะตอมอื่น ๆ
3. ปฏิกิริยาขจัดไฮโดรเจน (Dehydrogenation) เป็นการขจัดไฮโดรเจนสองอะตอมของแอลเคนออกไปเป็นโมเลกุลของไฮโดรเจน และเกิดพันธะคู่ภายในโมเลกุลของสารประกอบแอลเคน เกิดเป็นสารประกอบแอลคีน
4. ปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือ แตกตัวด้วยความร้อน (Cracking) หมายถึง ปฏิกิริยาแตกสลายโมเลกุลของแอลเคนด้วยความร้อนจะได้โมเลกุลเล็กลง และได้สารประกอบแอลคีน

2.1.2 แอลคีน (Alkenes) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเกิดพันธะคู่กับคาร์บอนอย่างน้อย 1 พันธะจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว มีสูตรทั่วไปคือ C_nH_{2n} เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มหรือเป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอนเมื่อ n เริ่มตั้งแต่ 2,3,4,5...
ปฏิกิริยาของแอลคีน

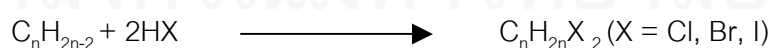
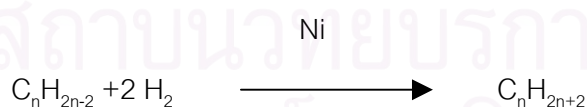
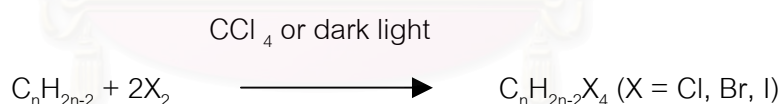
1. ปฏิกิริยาการรวมตัวจะเปลี่ยนพันธะจากสามเป็นพันธะคู่เป็นพันธะเดี่ยว
2. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยาการสันดาป ถ้าเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ให้ CO_2, H_2O และพลังงาน
3. ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

2.2 ปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์อะคริไลนทริล

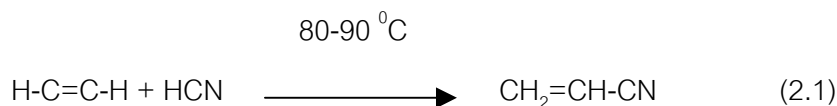
ปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์อะคริไลนทริล อาจแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ ปฏิกิริยาการเติม (Addition Reaction) ปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution Reaction) และปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน (Ammoxidation Reaction)

2.2.1 ปฏิกิริยาการเติม (Addition Reaction), (Strikmiller, 2000)

ปฏิกิริยาการเติม (Addition reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการที่อะตอมของธาตุหรือหมู่ฟังก์ชันเข้าไปรวมในแอลคีน เช่น



โดยในการผลิตอะคริไลนทริลก่อนปี ค.ศ. 1960 ปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตได้แก่ ปฏิกิริยาการเติม (Addition Reaction) ระหว่างแอสทิลีน (Acetylene) กับ ไฮโดรเจนไซยานิก (HCN), (Strikmiller, 2000) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้



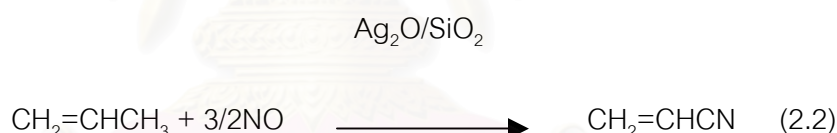
โดยใช้ความร้อนที่ 80-90 °C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.2 ปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution Reaction), (Howard, 1993)

ปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution Reaction) หรือปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน (Halogenation reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการที่ไฮโดรเจนอะตอมถูกแทนที่ด้วยฮาโลเจนโดยมีแสงหรือความร้อนเป็นตัวช่วย



โดยในการผลิตอะคริโลไนทริลเป็นการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution Reaction) ระหว่างโพรพิลีน (Propylene) กับ ไนตรัสออกไซด์ (NO), (Howard, 1993) ซึ่งปฏิกิริยาเป็นดังนี้



โดยใช้ Ag₂O หรือ SiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ในอดีตการผลิต Acrylonitrile จะใช้สมการทั้งสองปฏิกิริยานี้แต่ในปัจจุบันทางอุตสาหกรรมใช้ปฏิกิริยา Ammono-oxidation หรือปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน (Amoxidation Reaction) ในการผลิต Acrylonitrile เพราะทั้งสองปฏิกิริยามีอันตรายสูง

2.2.3 ปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน (Amoxidation Reaction), (Strikmiller, 2000)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากในทางปิโตรเลียม (Petroleum) และก๊าซธรรมชาติ ประมาณได้ว่าร้อยละสี่สิบของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมีเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเฮเทอโรจีเนียส สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันจำแนกได้หลายชนิดได้แก่ปฏิกิริยาอัลลิลิก – ออกซิเดชัน (Allylic oxidation)

แอมมอกซิเดชัน (Ammoxidation Reaction) อีพอกซิเดชัน (epoxidation) อะโรมาติก - ออกซิเดชัน (Aromatic oxidation) และปฏิกิริยาพาราฟฟินิกออกซิเดชัน (Paraffinic oxidation) เป็นต้น

ในทางอุตสาหกรรมการผลิตอะคริไลไนไตรด์ปฏิกิริยาที่สำคัญได้แก่ ปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของสารประกอบโพรพิลีน (Propylene) กับแอมโมเนียและออกซิเจนในอากาศซึ่งปฏิกิริยานี้พบโดยกระบวนการของไซไฮโอ (Strickmiller, 2000) ดังสมการ

ตัวเร่งปฏิกิริยา



ปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันตามสมการที่ (2.3) หากแทนสารประกอบโพรพิลีนด้วยสารประกอบโอลีฟิน (Olefin) ตัวอื่นๆ เช่น สารประกอบไอโซบิวทีน (Isobutene) และสารประกอบแอลฟา - เมทิลสไตรีน (α - methylstyrene) พบว่าได้สารประกอบไนไตรด์เช่นกัน ดังสมการที่ (2.4) และ (2.5)



เมทิลอะคริไลไนไตรด์

(Methylacrylonitrile)

ตัวเร่งปฏิกิริยา



อะโทรโปไนไตรด์

(Atroponitrile)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพรพิลีน ไอโซบิวทีน และแอลฟา – เมทิลสไตรีน สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาที่คล้ายคลึงกับปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน ดังปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบดังนี้



เมทาโครลีน

(Methacrolein)



อะโทรปัลดีไฮด์

(Atropaldehyde)

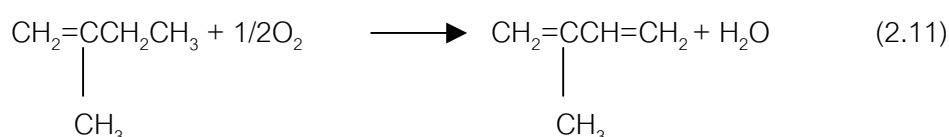
ปฏิกิริยาออกซี – ดีไฮโดรจีเนชัน (Oxydehydrogenation) ของสารประกอบโอลีฟินซึ่งได้แก่สารประกอบเอ็น – บิวทีน และ ไอโซเพนทีน (Isopentene) สามารถเกิดได้ดังนี้



หรือ



และ



โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาออกซีดีไฮโดรจีเนชัน ได้แก่สารประกอบออกไซด์ของสารกึ่งตัวนำ และออกไซด์ของโลหะ

2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยา

2.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา (วิทยา, 2534)

สิ่งจำเป็นพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอะตอมิกที่ดัดแปรตัวเร่งปฏิกิริยาต้องมีสมบัติสองประการกล่าวคือ ประการที่หนึ่ง ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ และมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่สูงเพียงพอที่ยอมรับได้ภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิและความดันขณะทำการทดลอง โดยให้ปฏิกิริยาข้างเคียง (side-reaction) เกิดขึ้นน้อยที่สุดหรือไม่เกิดเลย ประการที่สองคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องคงทนต่อปฏิกิริยาอาจเนื่องมาจากการเกิดพิษของตัวเร่งปฏิกิริยาอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาผันกลับและการผันกลับของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical change) รวมทั้งการสึกกร่อนของพื้นผิวอันเนื่องมาจากการเผา (sintering)

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามีด้วยกันหลายวิธี แต่จะขอกล่าวถึงวิธีการเตรียมโดยวิธีการแพร่ซึม (Impregnation) เพราะเป็นวิธีที่ง่ายในการเตรียม โดยมีขั้นตอนการทำดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมพื้นผิว (Precursor) หรือการทำให้สะอาดโดยทำในตัวกลางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (aqueous medium)
2. ขั้นตอนการทำให้แห้ง(drying)
3. ขั้นตอนการทำแคลซิเนชัน (calcination) ซึ่งเป็นการเผาที่อุณหภูมิสูง สำหรับในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่ขั้นตอนนี้อาจไม่สำคัญ
4. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction)

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของโลหะนั้นขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ หากใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แนวโน้มจะทำให้เกิดอนุภาคขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของรูพรุนซึ่งเป็นพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นสัดส่วนกับปริมาตรของรูพรุน อัตราเร็วของปฏิกิริยาอะตอมิกเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ผิวของส่วนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Active phase) ดังนั้นในการเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาอะตอมิกจึงจำเป็นต้องทำให้อนุภาคของสารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดเล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ค่าการกระจาย (dispersion) หรือสัดส่วนพื้นผิว (fraction exposed) มากสำหรับโลหะที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญได้แก่ โลหะโนเบิล ซึ่งมีราคาแพงมากแต่มีความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสูง เช่น แพลทินัม พาลาเดียม เป็นต้น

ขั้นตอนการทำให้แห้งมีความสำคัญมากต่อการกระจายตัวของโลหะบนผิวของแกนพวยง หากการทำให้แห้งเป็นไปอย่างช้า ๆ จะทำให้เกิดลือของโลหะถูกเคลื่อนย้ายมาบริเวณปากรูปพวยงซึ่งทำให้การกระจายตัวของโลหะบนผิวของแกนพวยงไม่สม่ำเสมอ แต่ถ้าต้องการให้เกิดการกระจายของตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างสม่ำเสมอ (Uniform distribution) บนแกนพวยง จะต้องระเหยไล่ตัวทำละลายอย่างรวดเร็วในขั้นตอนการทำให้แห้ง

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแกนพวยงนั้น ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดได้แก่ การทำปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสารประกอบโลหะให้เป็นโลหะ ในขั้นตอนการทำแคลซิเนชันจะทำให้แกนพวยงเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ซึ่งทำให้ง่ายต่อการรีดักชันโดยสารละลายไฮดราซีน (Hydrazine) ไฮดรอกซีลามีน (hydroxylamine) หรือฟอร์มेटไอออน (formate ion) สำหรับสารประกอบคลอไรด์ของโลหะเหล่านี้สามารถรีดิวซ์ได้ด้วยแก๊สไฮโดรเจนซึ่งสามารถทำไปพร้อม ๆ กับขั้นตอนของการทำให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 370 และ 470 K

ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะชนิดที่มีแกนพวยง ได้แก่

1. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถจัดการหรือเตรียมขึ้นได้ง่ายและปลอดภัย
2. สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์หลายชนิด
3. อนุภาคที่เป็นโลหะสามารถถูกแยกจากกันได้เป็นอย่างดีโดยกรอบแบบซินเทอริง (Sintering)
4. แกนพวยงของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเตรียมขึ้นโดยการนำเอาตัวโปรโมเตอร์ (Promoter) ไปต่อติดเข้ากับโลหะ

2.3.2 หลักการของปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะ (The principle of selective oxidation), (วิทยา, 2534)

สารเคมีที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันดิบ ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารประกอบแอลคีนจำนวนหนึ่งซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการเตรียมสารประกอบพอลิเมอร์และสารเคมีอื่น ๆ มากมาย สำหรับปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารประกอบแอลคีนให้เป็นสารเคมีที่เป็นประโยชน์ทางอุตสาหกรรมนั้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบบางชนิด ได้แก่ สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว แต่

สำหรับปฏิริยาแบบเลือกเฉพาะนั้นทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์อย่างมากในทางอุตสาหกรรมมาก ดังนั้นปฏิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจึงเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวาง สำหรับปฏิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอาจแบ่งตามประเภทของปฏิริยาที่เกิดดังแสดงในตารางที่ 2.1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

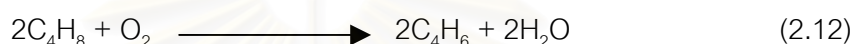
ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตามลักษณะของปฏิกิริยา, (วิทยา, 2534)

ประเภท	ปฏิกิริยาการเกิดผลิตภัณฑ์
<p>(ก)</p> <p>ปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน-ออกซิเดชัน (Oxidation dehydrogenation)</p>	<p>1. โพรพีน → เฮกซะไดอีน (Propene) (hexadiene)</p> <p>หรือเกิดปฏิกิริยาไดเมอร์ไรเซชัน (dimerization) ได้เบนซีน (benzene)</p> <p>2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน บิวเทนหรือบิวทีน → บิวตะไดอีน (butane) (butane) (butadiene)</p>
<p>(ข)</p> <p>การสร้างผลิตภัณฑ์ออกซีจีเนตโดยไม่ เกิดปฏิกิริยาแตกสลายพันธะ C – C (Formation of oxygenated products without C – C bond fission)</p>	<p>1. เอทีน → ออกไซด์เรน (ethene) (oxirane)</p> <p>2. อีทีน → อะเซททัลดีไฮด์ (ethane) (acetaldehyde)</p> <p>3. โพรเพน → อะโครลีน และ อะซีโตน (propane) (acrolein) (acetone)</p> <p>4. โพรพีน → อัลคิลแอลกอฮอล์ (propene) (alkyl alcohol)</p>

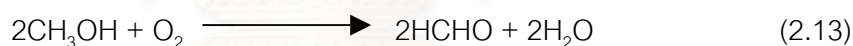
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ประเภท	ปฏิกิริยาการเกิดผลิตภัณฑ์
(ค) การสร้างผลิตภัณฑ์ออกซิเจนต์โดยทำให้เกิด ปฏิกิริยาการแตกสลายพันธะ C – C (Formation of oxygenated products with C – C bond fission) (ง) ปฏิกิริยาดีพออกซิเดชัน	5. โพรพีน → กรดอะครีลิก (propene) (acrylic acid) 6. บิวตะไดอีน → มัลลึอิก-แอนไฮไดรด์ (butadiene) (maleic anhydride) 7. โอ-ไซเลน → พัลลึอิก-แอนไฮไดรด์ (o-xylene) (phthalic anhydride) 1. โพรพีน → อะเซททาลดีไฮด์ 2. เบนซีน → มัลลึอิก-แอนไฮไดรด์ 3. แนพทาลีน → พัลลึอิก-แอนไฮไดรด์ เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันจนเกิดก๊าซ CO ₂ และ น้ำโดยปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

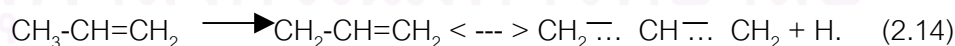
ปฏิกิริยาประเภท (ก) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนถูกออกซิไดซ์ โดยการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน (dehydrogenation) ระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดสารประกอบไดอีน (diene) หรือโมเลกุลวงแหวน (cyclic molecule) หรือสารประกอบไดเมอร์ (dimer) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นต้องการอุณหภูมิสูงๆ เพื่อให้คาร์บอนที่เกาะติดบนตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเผาไหม้และออกไปจากผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่ามักเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของสารประกอบไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) เกิดเป็นสารประกอบเบนซีน (benzene) หรืออาจเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจนเกิดโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวกับน้ำดังตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบบิวทีน



การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์นั้นเป็นเรื่องที่ยากโดยเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำๆ สำหรับปฏิกิริยาที่สำคัญอีกปฏิกิริยาหนึ่งได้แก่ ปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันชนิดดีพออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเปลี่ยนสารประกอบเมทานอลให้เป็นฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ได้ดังสมการ

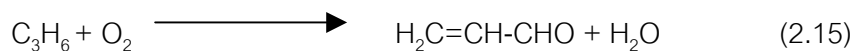


ในกรณีของสารประกอบอีทีนปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะเกิดขึ้นโดยการแทรกออกซิเจนตรงพันธะคู่โดยตรงแต่สำหรับสารประกอบโพรพีนและแอลคีนที่น้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า (higher alkene) อะตอมของไฮโดรเจนบนหมู่เมทิล (methyl group) หรือหมู่เมทิลีน (methylene group) ที่อยู่ติดกับพันธะที่ไม่อิ่มตัวสามารถหลุดออกจากหมู่แอลคิลดังกล่าวได้ง่ายและให้ π -แอลลิลเรดิคัล (π -allyl radical) ถ้าหากไฮโดรเจนที่หลุดออกมานั้นถูกดูดซับได้ดี ซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



ปฏิกิริยาประเภท (ค) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่ ปฏิกิริยาประเภทนี้มีค่าการเลือก (selectivity) ที่ค่อนข้างต่ำเช่นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบเบนซีนเพื่อเกิดเป็นสารประกอบมัลลิก-แอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) โดยที่จำนวนอะตอมหนึ่งในสามของอะตอมทั้งหมดหกอะตอมกลายเป็นออกไซด์ สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพรพีนเพื่อทำให้เกิดสารประกอบอะโครลีน (acrolein) นั้นเป็น

ปฏิกิริยาที่ค้นพบโดยกระบวนการไซไฮโอ (Strickmiller, 2000) ซึ่งพบว่าบิสมัท-โมลิบเดต เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีแบบการเลือกเฉพาะสูงดังเช่นปฏิกิริยาต่อไปนี้



แต่สารประกอบโพรฟีนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในบรรยากาศของแอมโมเนีย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาขั้นตอนเดียวทำให้เกิดอะคริโลไนทริล (acrylonitrile)



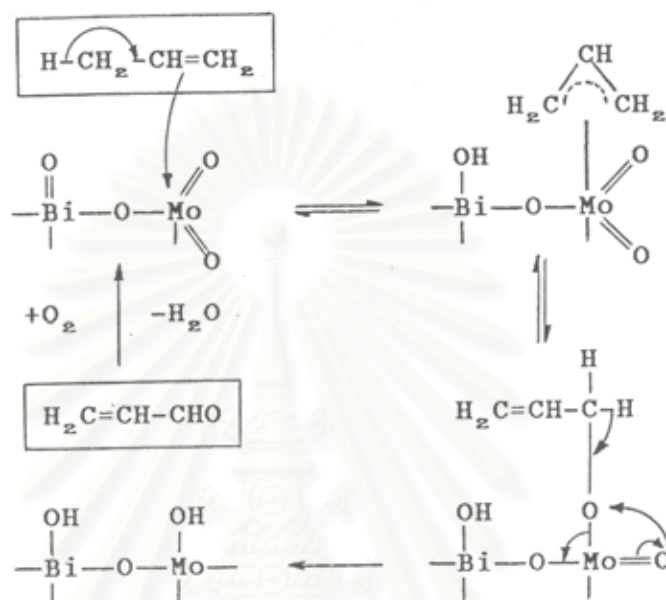
สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นโมโนเมอร์ (monomer) ของสารประกอบอะคริโลไนทริลนั้นเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมการสังเคราะห์ไฟเบอร์

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสารประกอบออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก และความแตกต่างทางโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ทำให้เกิดความแตกต่างของแบบการเลือกเฉพาะของปฏิกิริยาอะตะไลติก ดังตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของระบบบิสมัท-โมลิบเดต ซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างกันถึง 3 แบบดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับโครงสร้างที่แตกต่างกันดังกล่าวนี้ย่อมมีความไวต่อปฏิกิริยา และความเป็นแบบเลือกเฉพาะที่แตกต่างกันด้วย โครงสร้างที่มีความไวต่อปฏิกิริยามากที่สุดและมีแบบเลือกเฉพาะสูงที่สุดได้แก่ ไอออนของโมลิบเดตที่มีโครงสร้างเป็นเตตระฮีดรอล

ตารางที่ 2.2 สารประกอบของระบบบิสมัท-โมลิบเดต, (วิทยา, 2534)

สูตร	ชื่อ	โคออร์ดิเนชันของ Mo
$\text{Bi}_2\text{MO}_2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{MoO}_3$	เคอร์ชลิไนท์ (koechlinite)	ออกตะฮีดรอล (octahedral)
$\text{BiMo}_3\text{O}_{12}\text{Bi}(\text{MoO}_4)_3$	ซีไลท์ (Scheelite)	เตตระฮีดรอล (tetrahedral)
$\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{MoO}_3$	-	ออกตะฮีดรอล+เตตระฮีดรอล

สำหรับบิสมัทออกไซด์เป็นส่วนที่เปลี่ยนโพर्फินให้เป็นเฮกซะไดอิน เนื่องจากมันสามารถดึงอะตอมของไฮโดรเจนออกจากหมู่เมทิล (methyl group) ได้ และเกิด π - แอลลิลเรดิเคิลตรงตำแหน่งของโมลิบดีนัม ทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนสารประกอบโพर्फินให้เป็นอะโครลีนในขั้นสุดท้าย สำหรับขั้นตอนของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาได้แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพर्फินเกิดเป็นสารประกอบอะโครลีนโดย

ตัวเร่งปฏิกิริยา บิสมัท - โมลิบดีต (วิทยา, 2534)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้สถานะทางประจุ (Oxidation state) ของไอออนทั้ง Bi และ Mo มีค่าลดลง ซึ่งขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาในวงจรคะตะไลติกเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) และรีออกซิเดชัน (reoxidation) บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา สิ่งสำคัญของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาชนิดนี้ได้แก่ ความไวต่อปฏิกิริยาระหว่างไอออนทั้งสองและลักษณะของออกซิเจนในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกใช้ในปฏิกิริยา และเสถียรภาพของสารผลิตภัณฑ์ระหว่างปฏิกิริยาชนิดแอลลิล (allyl intermediate)

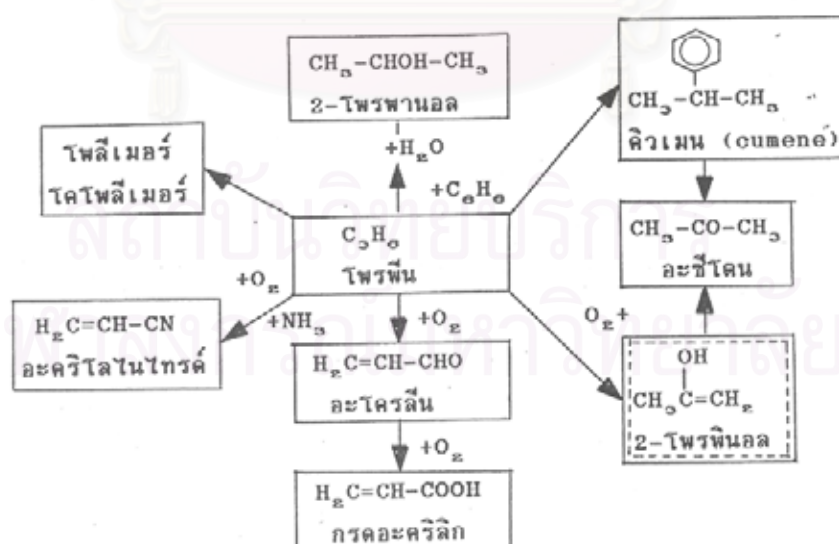
ลักษณะของสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเฉพาะนั้นประกอบด้วยธาตุคู่จากหมู่ที่แตกต่างกันของตารางธาตุ ซึ่งได้แก่คู่ของธาตุ ดีบุก-แอนติโมนี (Tin - antimony) และ ยูเรเนียม-แอนติโมนี (uranium - antimony) ธาตุคู่เหล่านี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์อะโครลีน แต่สำหรับคู่ของธาตุเหล็ก-โมลิบดีนัมทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลเพื่อ

สังเคราะห์ฟอร์มดีไฮด์ สำหรับสารประกอบออกไซด์ของธาตุคู่อื่น ๆ ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีอีกจำนวนมากแต่ที่นิยมนำมาใช้กันบ่อย ๆ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของวานาเดียม-โมลิบดีนัม (V – Mo) วานาเดียม-ติตานิยม (V – Ti) และเหล็ก-ดีบุก (Fe – Sn) ตัวเร่งปฏิกิริยาบางตัวประกอบด้วยโลหะจำนวน 4 ธาตุหรือมากกว่าซึ่งไม่กล่าวถึงในที่นี้ ธาตุที่ประกอบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวนั้นพบว่าโมลิบดีนัมหรือดีบุกเป็นธาตุที่ให้ผลต่อปฏิกิริยาประเภท (ก) และ (ข) แต่สำหรับธาตุวานาเดียมให้ผลต่อปฏิกิริยาประเภท (ค) มากที่สุด

อาจสรุปได้ว่าออกไซด์ชนิด p ซึ่งได้แก่ ออกไซด์ของนิกเกิลและแมงกานีส ต่างมีความเป็นแบบเลือกเฉพาะต่ำ ขณะที่ออกไซด์ชนิด n ซึ่งได้แก่พวก MoO_3 , Sb_2O_5 , V_2O_5 และ ZnO แสดงค่าการเลือกเฉพาะสูง โดยเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะจำนวนมากกว่าหนึ่งธาตุจะได้แสดงค่าการเลือกเฉพาะที่ดีและมีประโยชน์มาก

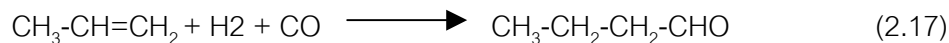
2.3.3 ปฏิกิริยาของสารประกอบโพรพีน (Reaction of propene)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพรพีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาพัลลาเดียม ทำให้เกิดสารประกอบอะซิโตน (Acetone) เป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญในทางอุตสาหกรรม และปฏิกิริยาการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่สำคัญหลายชนิดดังแผนภาพในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาที่สำคัญของสารประกอบในทางอุตสาหกรรม(วิทยา, 2534)

ปฏิกิริยาของสารประกอบแอลคีนกับไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบแอลดีไฮด์และแอลกอฮอล์เกิดขึ้นได้ดีโดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเนื้อเดียวกัน ได้แก่



หรือ



ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเนื้อเดียวกันที่ใช้กันมานานได้แก่ $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ หรือ $\text{HCo}(\text{CO})_4$ และสารประกอบเชิงซ้อนโรเดียม-ฟอสฟีน (Rhodium-phosphene) ได้ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความไวต่อปฏิกิริยามากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดก่อน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาตัวนี้สามารถทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์แอลดีไฮด์และแอลกอฮอล์ชนิดสองที่ สองที่มีปริมาณต่ำๆ ได้ด้วย

อย่างไรก็ตามได้มีความพยายามในการนำเอาสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโฮโมจีเนียสไปต่อดัด (graft) กับผิวของซิลิกาหรือพอลิเมอร์สังเคราะห์และนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไม่เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารเคมีดังกล่าว การนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโฮโมจีเนียสไปต่อดัดกับผิวของของแข็งจนเกิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเฮเทอโรจีเนียสเช่นนี้เรียกว่าเฮเทอโรจีเนซิง (heterogenizing) ของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเฮเทอโรจีเนียส การเตรียมทำได้โดยผ่านสารละลายซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ไม่ระเหยลงไปบนรูพรุนของของแข็งในลักษณะที่เป็นคอลัมน์ของแก๊ส-ลิกวิด โครมาโทกราฟี โดยวิธีนี้สามารถทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้นยังไม่สามารถทำในระดับอุตสาหกรรมการผลิตได้

ความแตกต่างที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพर्फินได้แก่ สารประกอบเมทิล-ออกซิเรนไม่สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพर्फินบนผิวของโลหะเงิน แต่สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยากับสารประกอบเทอร์ท-บิวทิล-ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (tert-butyl hydroperoxide) โดยมีโมลิบดีนัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพर्फินสำหรับการสังเคราะห์สารประกอบอะโครลีนอาจกล่าวได้ว่ามีความสำคัญมากกว่าปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน (ammoxidation) ของสารประกอบโพर्फินเพื่อการสังเคราะห์อะคริไลไนทริล (acrylonitrile) แต่ในทางอุตสาหกรรมการสังเคราะห์สารประกอบกลีเซอรอลซึ่งสารที่ใช้เป็นสารตั้งต้นอาจเป็นสารประกอบอะโครลีนหรืออะคริไลไนทริล แต่เนื่องจากสารประกอบอะโครลีนเป็นสารที่มีพิษร้ายแรงมากดังนั้นจึงไม่นิยม

ใช้ในการเตรียมเกลือเซอร์รอล เพราะสารพิษที่เกิดขึ้นเหล่านี้ย่อมยากต่อการควบคุมและจัดการ ในทางอุตสาหกรรมนั้นสารประกอบอะครีโลไนทริลสามารถเกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชัน (copolymerization) กับสารประกอบ 2-ไวนิลไพริดีน (2-vinyl pyridine) เพื่อเตรียมอะครีลิก-ไฟเบอร์ (acrylic fiber) ซึ่งได้สารประกอบอะครีเลน (acrilan) หากเกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันกับสารประกอบบิวตาไดเอน (butadiene) และสไตรีน (styrene) ทำให้เกิดยางสังเคราะห์

2.4 กระบวนการในการสังเคราะห์อะครีโลไนทริล (Strikmiller, 2000)

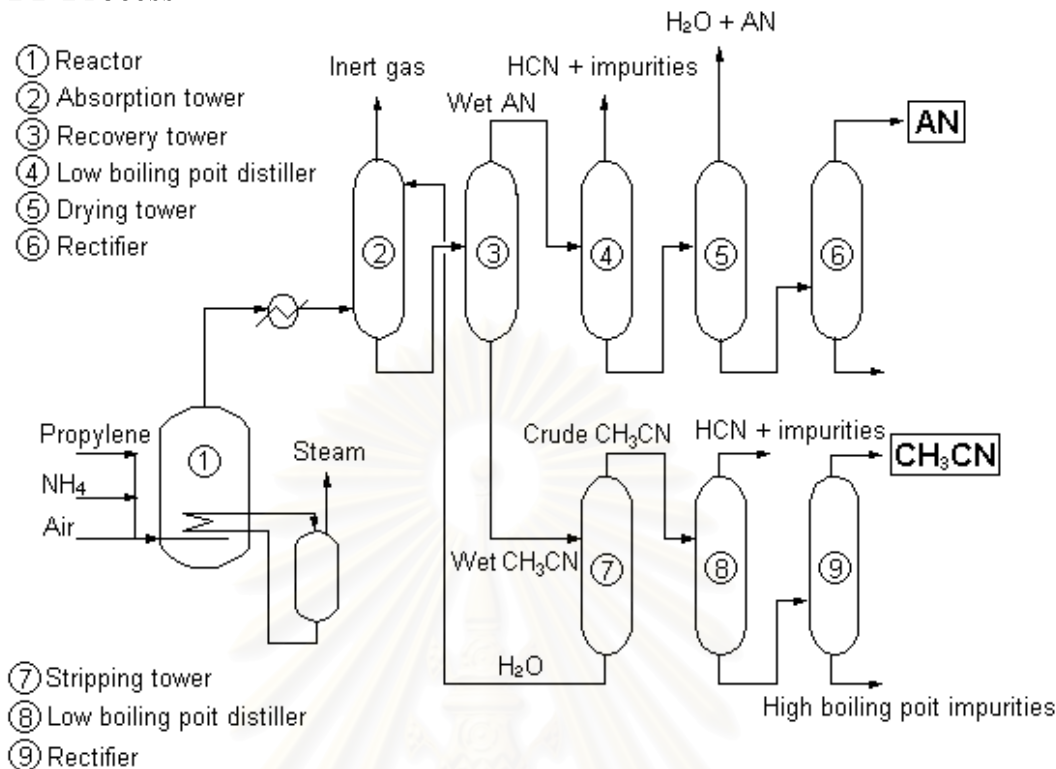
ในกระบวนการของไซไฮโอไซโพรพิลีน, ออกซิเจน, แอมโมเนียและน้ำเป็นสารตั้งต้นที่ใส่เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดเบดที่ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเมทอล – ออกไซด์ ปริมาณของน้ำเล็กน้อยนั้นเป็นสิ่งที่ใส่เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการเลือกเฉพาะ (selectivity) ของอะครีโลไนทริลและลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์

โดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์จะอยู่ในช่วงของ 400 °C ถึง 500 °C และความดันของเครื่องปฏิกรณ์เป็น 0.3 – 2 บาร์จะทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์เป็น 80 – 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้

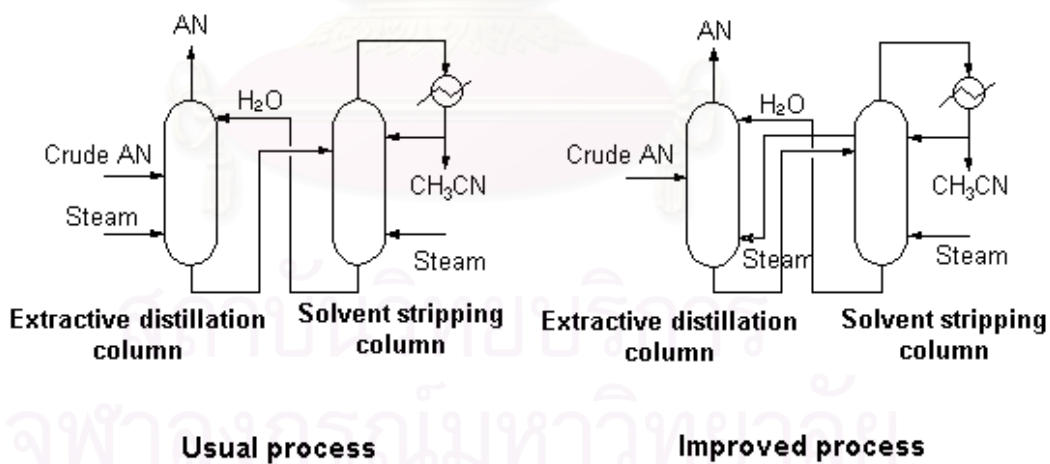
กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่มีการเลือกเฉพาะที่สูงและไม่ต้องการการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้กลับมาใช้ใหม่ โดยสารแต่ละตัวที่ใส่เข้าไปจะมีการเปลี่ยนแปลงในการทำปฏิกิริยาเคมีขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนทางเคมี (stoichiometric ratios) ซึ่งสารผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์และอะซิโตนไนทริลโดยจะแยกส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการได้ดังรูป 2.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BP Process



Steam reduction process(Monsanto)



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาแอมมอกซิเดชันของไซไฮโอและมอนซานโต (Howard, 1993)

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Strikmiller (2000) พุดถึงกระบวนการของปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโซไฮโอโดยใช้โพรพิลีน ออกซิเจน แอมโมเนียและน้ำในการสังเคราะห์อะคริโลไนทริลโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์อยู่ในช่วง 400°C ถึง 500°C และความดันของเครื่องปฏิกรณ์เป็น 0.2 – 3 บาร์ ซึ่งจะทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์เป็น 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้งานและยังได้นำกระบวนการนี้ไปใช้กับสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนด้วยเพื่อขยายไปสู่สเกลที่ใหญ่ขึ้นในทางอุตสาหกรรม

Chang และคณะ (2001) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของโลหะ Transition ไอออนบนวบบนตัวเร่งปฏิกิริยา Multicomponent Bismuth Phosphate ในปฏิกิริยา Propylene Amoxidation เพื่อแสดงถึงการดูดซับของ ออกซิเจน (O_2) บน Multicomponent Bismuth Phosphate สำหรับปฏิกิริยา Amoxidation Propylene เป็นความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นมาจาก electronegativity มากกว่า Ionization potential ของไอออนโลหะที่ใส่เข้าไปโดย electronegativity ของไอออนโลหะจะมีผลกับการดูดซับทางเคมีของออกซิเจนไอออนที่แตกตัวมาจากออกซิเจนโดยเฟสของ bismuth phosphate จะเป็นตัวปรับความเป็นกรดของ Mo^{6+} ใน MoO_4^{2-} ให้เหมาะสม ลำดับการเพิ่มขึ้นของการสันตะเทียนที่ขยายออกของพันธะ Mo – O และความสามารถของการดูดซับทางเคมีของ Oxygen บน Multicomponent Bismuth Phosphate ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงของไอออนโลหะที่ใส่เข้าไปเป็นความสัมพันธ์ที่มาจากค่า electronegativity ของไอออนโลหะ ดังนั้นวิถีทางสำหรับปฏิกิริยา Amoxidation ของ Propylene ในตัวเร่งปฏิกิริยา Multicomponent Bismuth Phosphate ดูเหมือนจะเป็นการเปลี่ยนแปลงโดยความสำคัญของพลังงานพันธะ Mo – O ที่ใส่เข้าไปโดยขึ้นกับค่า electronegativity ของไอออนโลหะ

Centi และคณะ (2001) ศึกษาถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบเลือกเฉพาะในหลายขั้นตอนของปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันบนผิวหน้าของออกไซด์เป็นการอ้างอิงหลักฐานการอภิปรายทางวิทยาศาสตร์และทฤษฎีของปฏิกิริยาสำหรับการประยุกต์ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนที่มีความซับซ้อนเป็นการชี้แสดงของตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมปฏิกิริยาที่ผิวหน้าและจะใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงกระบวนการคะตะไลติก โดยมีลักษณะเฉพาะในหัวข้อของการดูดซับทางเคมีแบบพิเศษในการปรับปรุงปฏิกิริยาที่ผิวหน้าและการเข้าร่วมนี้จะช่วยเพิ่มทางเลือกของปฏิกิริยาซึ่งเป็นหลักฐานเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของตัวเร่งปฏิกิริยา V-Based ใน $\text{C}_3\text{-C}_4$ ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลเคนและแอลคีน

Lopez Nieto และคณะ (2003) ได้ศึกษาถึงตัวเร่งปฏิกิริยา Mo-V-Te-Nb-O ที่มีวิธีเตรียมโดยการสังเคราะห์แบบ Hydrothermal และมีการทดสอบในปฏิกิริยา selective oxidation ของโพรเพนไปเป็น Acrylic acid โดยตัวเร่งปฏิกิริยามีการเตรียมโดยใช้สารประกอบ Te และ Mo เป็นสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองจะให้ลักษณะพิเศษตามผลของ XRD, SEM-EDX, FTIR และ XPS ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้เตรียมจากสารประกอบของ Te (VI) ตัวอย่างเช่น telluric acid หรือ Anderson-type telluromolybdate อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากสารประกอบ Te (IV) เช่น TeO_2 หรือ $(\text{NH}_4)_4\text{TeMo}_6\text{O}_{22} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ นั้นมีสิ่งทีสารทั้งสองแสดงออกคือมีค่าการกระตุ้น selectivity ต่ำในการเปลี่ยนเป็น Acrylic acid จึงไม่ค่อยมีการนำมาใช้ ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีสังเกตได้ว่ามีเฟสของผลึกเกิดขึ้นมาก เช่น $\text{Mo}_3\text{TeO}_{16}, (\text{Mo}_{0.93}\text{V}_{0.07})_5\text{O}_{14}, \text{Nb}_{0.09}\text{Mo}_{0.91}\text{O}_{2.80}$ มีเฟสของออกไซด์ Te-V-Nb-Mo ที่เป็นผลึกเกิดขึ้นใหม่และมีการเข้าร่วมของผลึกเล็ก ๆ ของ MoO_3 ในการกระตุ้นและ selective ของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเสนอได้เหมือนกัน โดยความแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของ Te, V และ Nb ไอออน

Ushikubo (2003) ได้ศึกษาการกระตุ้นของ Propane และ Butanes บนตัวเร่งปฏิกิริยา Niobium และ Tantalum based oxide เพื่อแสดงว่า Niobium และ Tantalum เป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับการกระตุ้นของ Alkanes ในจุดสังเกตของคุณสมบัติที่ทำให้เกิดสภาพเป็นกรดและองค์ประกอบของลักษณะโลหะผสม oxides ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีจุดที่แตกต่างกันคือคุณสมบัติความเป็นกรดที่แข็งแรงตัว Tantalum จะมีมากกว่าตัว Niobium โดยจะทำให้มีผลต่อการกระตุ้นของปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนในการสังเคราะห์อะคริลโนล

Zheng และคณะ (2003) ได้ศึกษาถึงระบบของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Me}_n\text{Ag}_{0.3}\text{Mo}_{0.5}\text{P}_{0.3}\text{O}_y$ โดย (Me = Cu, Zn, Mn, W, Ce, Pr, Nd) และ $\text{Ag}_{0.3}\text{Mo}_{0.5}\text{P}_{0.3}\text{O}_x$ เป็นการเตรียมโดยการเกิดปฏิกิริยาการเติมของ Ce ในตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ag}_{0.3}\text{Mo}_{0.5}\text{P}_{0.3}\text{O}_x$ ซึ่งจะทำให้การเลือกเฉพาะของปฏิกิริยาออกซิเดชันของโพรเพนไป เป็นอะคริลโนลมีการพัฒนาขึ้นและตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ce}_{0.1}\text{Ag}_{0.3}\text{Mo}_{0.5}\text{P}_{0.3}\text{O}_y$ แสดงให้เห็นถึงค่าการเลือกเฉพาะที่สูงของอะคริลโนล (28.7%) และผลิตภัณฑ์ (4.4%)

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2542) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติและกรรมวิธีการผลิต Acrylonitrile ไร่ 2 ชนิดได้แก่ปฏิกิริยา Ammono-oxidation และ ปฏิกิริยา Addition ซึ่งอะคริลโนลที่ผลิตได้นั้นจะนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตไฟเบอร์, แผ่นพลาสติกชนิด Acrylics และแผ่นพลาสติกชนิด Copolymer และยังได้ระบุถึงวิธีทดสอบการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมถึง 7 วิธีคือ การย่อยสลายโดยชีวภาพและการเปลี่ยนรูปโดยชีวภาพ, การย่อยสลายโดยแสง, การแตกสลายด้วยน้ำ, การรวมตัว, การกลายเป็นไอ, การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน, การศึกษารูปแบบทางระบบนิเวศ ได้มีการศึกษาถึงความเป็นพิษต่อสัตว์

เลี้ยงลูกด้วยนม ศึกษาความเป็นพิษเฉพาะด้านถึง 11 วิธี ทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมและวิธีการบำบัดเมื่อโดนสารอะคริไลโนทริลรวมถึงการกำจัดกากของเสียที่เกิดขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อะคริไลโนทริลด้วยปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงชนิดเดียว โดยอาจนำมาเป็นข้อมูลในระดับขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรมหรือใช้ประโยชน์ในการศึกษาต่อไป

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) รูปที่ 3.1
2. เครื่อง Gas Chromatography (รุ่น GC 14B, ยี่ห้อ Shimadzu) รูปที่ 3.2
3. Column polarpack Q รูปที่ 3.3
4. เครื่อง Chemisorption (รุ่น Autochem 2, ยี่ห้อ Micromeritics) รูปที่ 3.4
5. ที่เขย่าเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ รูปที่ 3.5
6. ตู้อบ (Oven) รูปที่ 3.6
7. เครื่องชั่ง
8. นาฬิกาจับเวลา
9. เตาเผา (furnace)
10. Hot plate
11. ฮีทเตอร์ 350 W
12. Bulk เก็บ Gas



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)



รูปที่ 3.2 เครื่อง Gas Chromatography



รูปที่ 3.3 Column Polarpack Q



รูปที่ 3.4 เครื่อง Chemisorption



รูปที่ 3.5 ที่เขย่าเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)



รูปที่ 3.6 เตาอบ (Oven)

3.3 สารเคมี

ชื่อสาร	บริษัท
1. Palladium (II) Chloride (PdCl_2)	Fluka
2. Copper (II) nitrate ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	BDH
3. Bismuth (II) nitrate ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	BDH
4. Nickel (II) nitrate ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	BDH
5. Ammonia molybdate ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	BDH
6. Ammonia (NH_3)	BDH
7. Oxygen (O_2)	Praxair
8. Silica solution	BDH
9. Zeolite Powder 5A Type	
10. Actevated Carbon ชนิด Gigantic	
11. กรดไนตริก (HNO_3)	
12. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)	

3.4 วัสดุดิบ

วัสดุดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทปิโตรเคมีแห่งชาติ (NPC) โดยวัสดุดิบที่นำมาได้แก่ สารโพรเพนและสารโพรพิลีนซึ่งมีความบริสุทธิ์ 100%

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

ในส่วนนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ การเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีน การเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริโลไนทริล การเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริโลไนทริล

3.5.1 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีน

1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Carbon

- นำ Palladium Chloride 1 กรัม ละลายใน 1 มิลลิลิตรของกรด hydrochloric ในน้ำ 12 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 1)
- จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปให้ความร้อนใน water bath 2 ชั่วโมง
- นำ Activated Carbon 18 กรัม มาละลายในกรดไนตริก 10% ปริมาตร 30 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 2) โดยให้ความร้อนที่ประมาณ 100-110 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมงจนสารละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- นำ Sodium acetate trihydrate 10 กรัม มาละลายในน้ำ 117 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 3)
- นำสารละลายที่ 1, 2, 3 มาผสมกันในขวด Hydrogenation flash ขนาด 500 มิลลิลิตร
- หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
- นำส่วนที่เหลือบนกระดาษกรองไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2. ทำการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Chemisorption และ SEM

3. ออกแบบการทดลองและกำหนดตัวแปรซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ (350-450 องศาเซลเซียส)

ความดัน (1-2 บาร์) น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (10-30 มิลลิกรัม) และเวลา (30-90 นาที)

4. ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- นำตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Carbon ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์พร้อมกับป้อนสารโพรเพนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ให้ได้เท่ากับความดันที่ต้องการ
- เพิ่มอุณหภูมิด้วย Heater จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด
- ทำการทดลองแล้วจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้
- หลังจากทำการทดลองเสร็จรอให้เครื่องปฏิกรณ์เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
- จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองด้วย Bulk เก็บแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี อุณหภูมิของคอลัมน์ 100 องศาเซลเซียส Injector 140 องศาเซลเซียส Detector 140 องศาเซลเซียส

5. วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง

3.5.2 การเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริลไนทริล

ในส่วนนี้จะทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด ได้แก่ Copper บน Multicomponent Bismuth Phosphate (Cu/MBP) และ Copper บน Zeolite (Cu/ Zeolite)

3.5.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/MBP)

1.เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/MBP)

- เตรียมสารละลายผสมของ $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5 กรัม
- $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 5 กรัม
- $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5 กรัม

ใน 10% กรดไนตริกปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 1)

- เตรียมสารละลายผสมของ

Ammonium molybdate 5กรัม

กรดฟอสฟอริก 10 มิลลิลิตร

Silica solution 10 มิลลิลิตร

ละลายในน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 2)

- นำสารละลายที่ 1 และ 2 ผสมเข้าด้วยกันและให้ความร้อนที่ Hot plate ประมาณ 100 องศาเซลเซียสเพื่อทำการระเหยตัวทำละลาย
- นำส่วนที่เหลือไปอบให้แห้งในเตาอบ
- หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
- นำมาบดให้เป็นผง

2. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Chemisorption และ SEM

3. ออกแบบการทดลองและกำหนดตัวแปรซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ (350-450 องศาเซลเซียส) ความดัน (1-2 บาร์) น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (10-30 มิลลิกรัม) และเวลา (30-90 นาที)

4. ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- นำตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/MBP) และแอมโมเนียใส่ในเครื่องปฏิกรณ์พร้อมกับป้อนสารโพรพิลีนและออกซิเจนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ให้ได้เท่ากับความดันที่ต้องการ
- เพิ่มอุณหภูมิด้วย Heater จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด
- ทำการทดลองแล้วจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้
- หลังจากทำการทดลองเสร็จรอให้เครื่องปฏิกรณ์เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
- จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองด้วย Bulk เก็บแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ให้อุณหภูมิของคอลัมน์ 140 องศาเซลเซียส Injector 200 องศาเซลเซียส Detector 200 องศาเซลเซียส

5. วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง

3.5.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/Zeolite)

1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/Zeolite)

- เตรียมสารละลายผสมของ Zeolite 5 กรัม

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 5 กรัม

$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5 กรัม

ใน 10% กรดไนตริกปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 1)

- เตรียมสารละลายผสมของ

Ammonium molybdate 5 กรัม

กรดฟอสฟอริก 10 มิลลิลิตร

silica solution 10 มิลลิลิตร

ละลายในน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 2)

- นำสารละลายที่ 1 และ 2 ผสมเข้าด้วยกันและให้ความร้อนที่ Hot plate ประมาณ 100 องศาเซลเซียสเพื่อทำการระเหยตัวทำละลาย

- นำส่วนที่เหลือไปอบให้แห้งในเตาอบ

- หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

- นำมาบดให้เป็นผง

2. ทำการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Chemisorption และ SEM

3. ออกแบบการทดลองและกำหนดตัวแปรซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ (350-450 องศาเซลเซียส) ความดัน (1-2 บาร์) น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (10-30 มิลลิกรัม) และเวลา (30-90 นาที)

4. ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- นำตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/Zeolite) และแอมโมเนียใส่ในเครื่องปฏิกรณ์พร้อมกับป้อนสารโพรพิลีนและออกซิเจนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ให้ได้เท่ากับความต้องการที่ต้องการ
- เพิ่มอุณหภูมิด้วย Heater จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด
- ทำการทดลองแล้วจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้
- หลังจากทำการทดลองเสร็จรอให้เครื่องปฏิกรณ์เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
- จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองด้วย Bulk เก็บแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ให้อุณหภูมิของคอลัมน์ 140 องศาเซลเซียส Injector 200 องศาเซลเซียส Detector 200 องศาเซลเซียส

5.วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง

3.5.3 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริโลไนทริล

1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu,Pd/MBP)

-เตรียมสารละลายผสมของ $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5 กรัม

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 5 กรัม

$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5กรัม

PdCl_2 1กรัม

ใน 10% กรดไนตริกปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 1)

- เตรียมสารละลายผสมของ

Ammonium molybdate 5กรัม

กรดฟอสฟอริก 10 มิลลิลิตร

silica solution

10 มิลลิลิตร

ที่ละลายในน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารละลายที่ 2)

- นำสารละลายที่ 1 และ 2 ผสมเข้าด้วยกันและให้ความร้อนที่ Hot plate ประมาณ 100 องศาเซลเซียสเพื่อทำการระเหยตัวทำละลาย
- นำส่วนที่เหลือไปอบให้แห้งในเตาอบ
- หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
- นำมาบดให้เป็นผง

2. ทำการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Chemisorption และ SEM

3. ออกแบบการทดลองและกำหนดตัวแปรซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ (350-450 องศาเซลเซียส) ความดัน (1-2 บาร์) น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (10-30 มิลลิกรัม) เวลา (30-90 นาที)

4. ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- นำตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/MBP) และแอมโมเนียใส่ในเครื่องปฏิกรณ์พร้อมกับป้อนสารโพเทนและออกซิเจนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ให้ได้เท่ากับความต้องการที่ต้องการ
- เพิ่มอุณหภูมิด้วย Heater ตามที่ได้กำหนด
- ทำการทดลองแล้วจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้
- หลังจากทำการทดลองเสร็จรอให้เครื่องปฏิกรณ์เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
- จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองด้วย Bulk เก็บแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีให้อุณหภูมิของคอลัมน์ 140 องศาเซลเซียส Injector 200 องศาเซลเซียส Detector 200 องศาเซลเซียส

5. วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์อะคริไลโนทริลจากโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบหลายองค์ประกอบโดยออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการทดลองในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ซึ่งดำเนินการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ คือ ระดับสูงและระดับต่ำ เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อผลได้ของอะคริไลโนทริล โดยตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ ความดัน เวลาในการทำปฏิกิริยา และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ตลอดจนศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบสารผลิตภัณฑ์

4.1 ผลของการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.1 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Chemisorption Analysis

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ Copper บน MBP, Copper บน Zeolite, Copper, Palladium บน MBP โดยจากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวรองรับที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาจากการศึกษาสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับทั้ง 2 ชนิด ตัวรองรับชนิด MBP มีคุณสมบัติดีกว่าตัวรองรับ Zeolite เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ควรมีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาสูงดังนั้นจะเห็นได้ว่า

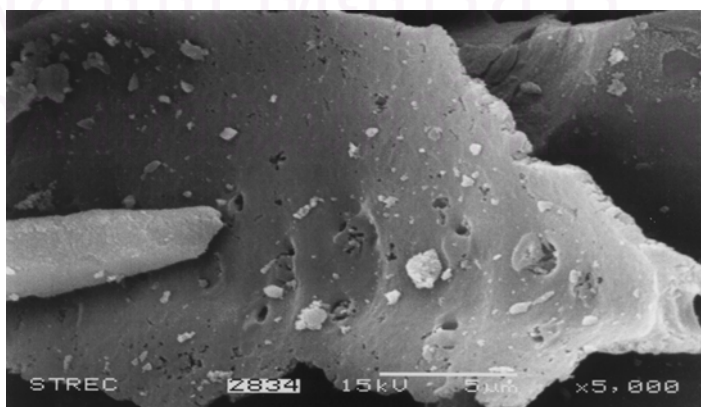
ตัวรองรับชนิด MBP มีค่าปริมาตรสะสม (Cumulative volume) เท่ากับ 15.6 ml/g STP การกระจายตัวของโลหะ (Metal Dispersion) เท่ากับ 22.12% พื้นที่ผิวโลหะเท่ากับ 28.51 m²/g sample ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคที่เกิดปฏิกิริยา (Active particle diameter) เท่ากับ 4.72 nm เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของตัวรองรับชนิด Zeolite แล้วพบว่าตัวรองรับชนิด MBP เป็นตัวรองรับที่ดีกว่า เนื่องจากตัวรองรับชนิด Zeolite มีการกระจายตัวของโลหะที่น้อยกว่าและมีพื้นที่ผิวโลหะที่น้อยกว่าจึงน่าจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไม่ดีเท่าตัวรองรับชนิด MBP

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP, Copper บน Zeolite และ Copper, Palladium บน MBP ด้วยเครื่อง chemisorption

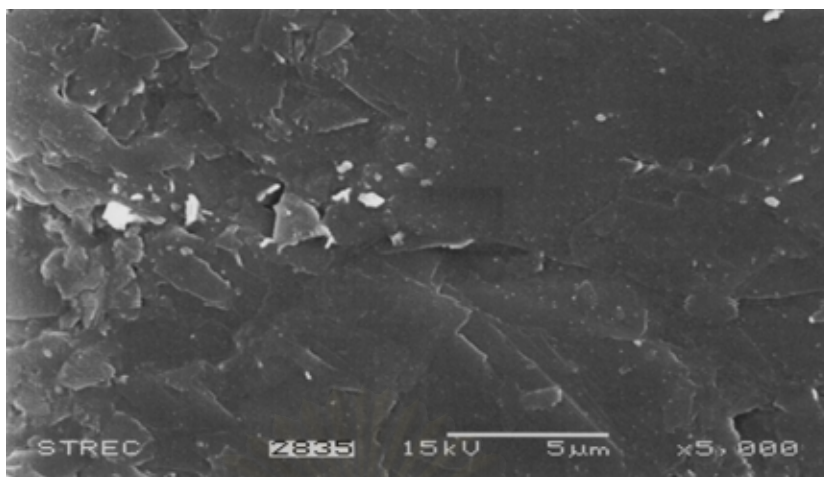
	(Cu / MBP)	(Cu / Zeolite)	(Cu, Pd / MBP)
Active loop volume (ml STP)	0.04135	0.04135	0.04135
Cumulative volume (ml/g STP)	15.60287	11.0304	15.0624
Metal dispersion (%)	22.1158	13.6037	20.9687
Metallic surface area (m ² /g sample)	28.5106	20.5675	27.9523
Metallic surface area (m ² /g metal)	142.5532	82.27	136.2581
Active particle diameter (nm)	4.7186	7.8229	5.0123

4.1.2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง SEM

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงภาพตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon ก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันเห็นได้ว่าในรูปที่ 4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon ก่อนการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันนั้นมีการกระจายตัวของโลหะที่ผิวหน้าค่อนข้างมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon หลังการเกิดปฏิกิริยาในรูปที่ 4.2 ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาจะทำได้ดีในผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาและจะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon มีรูพรุนค่อนข้างน้อยดังนั้นในการทำปฏิกิริยาควรใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่ค่อนข้างมากจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้ดี



รูปที่ 4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon ก่อนการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน

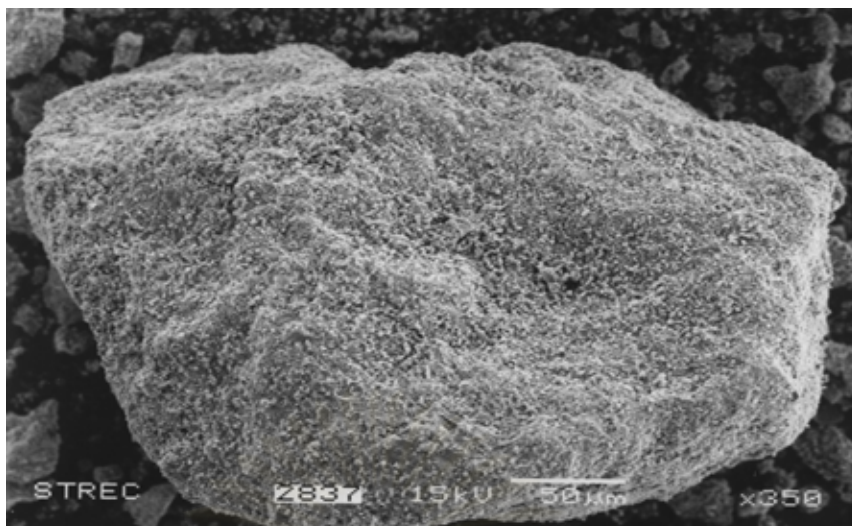


รูปที่ 4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon หลังการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงภาพตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP ก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันซึ่งจะเห็นได้ว่าในรูปที่ 4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันนั้นมีการกระจายตัวของโลหะที่ผิวหน้าค่อนข้างมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP หลังการเกิดปฏิกิริยาในรูปที่ 4.4

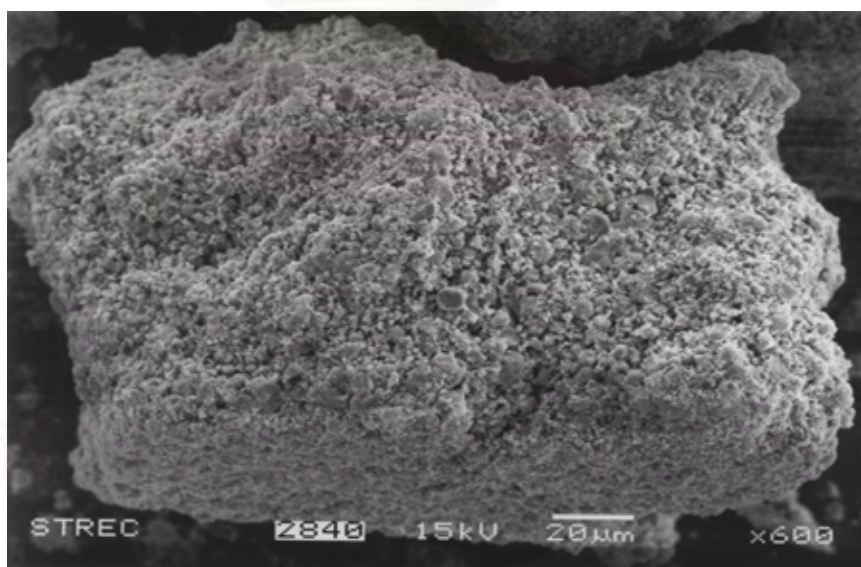


รูปที่ 4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน

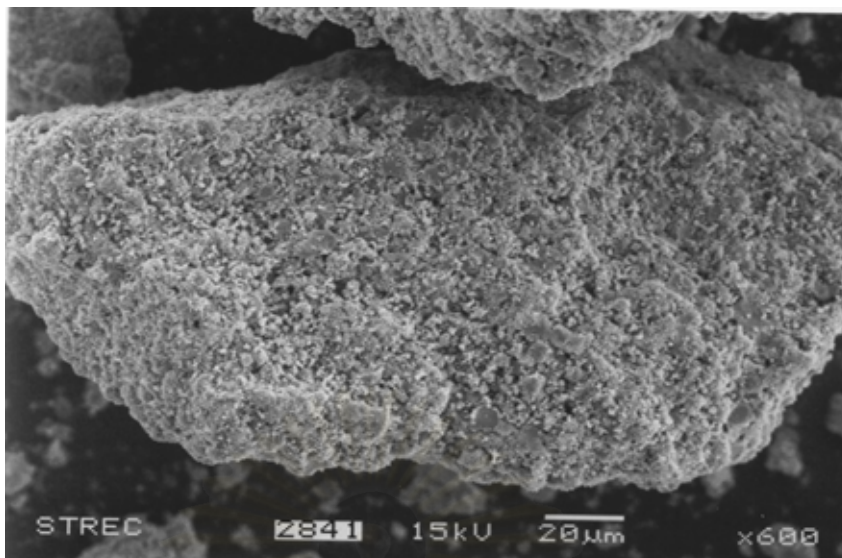


รูปที่ 4.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP หลังการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite ก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันซึ่งจะเห็นได้ว่าในรูปที่ 4.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันและหลังการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันในรูปที่ 4.6

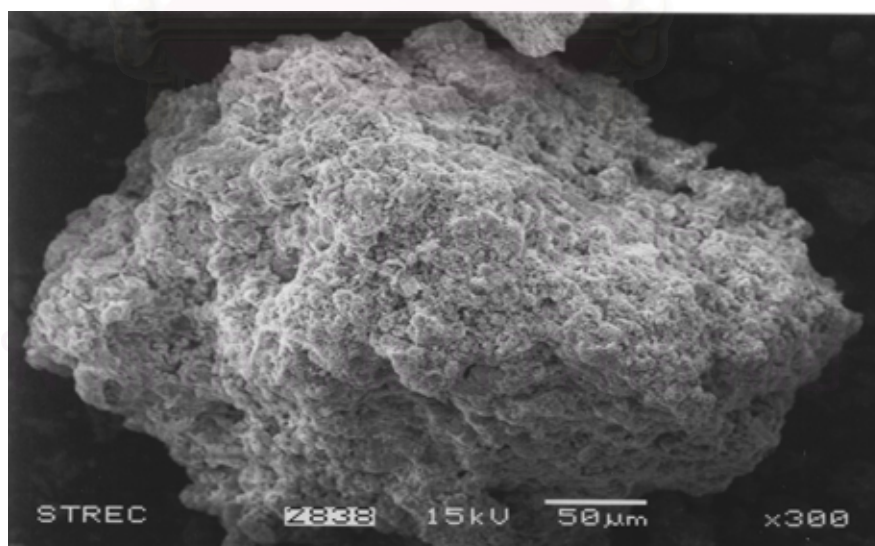


รูปที่ 4.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zeolite ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน

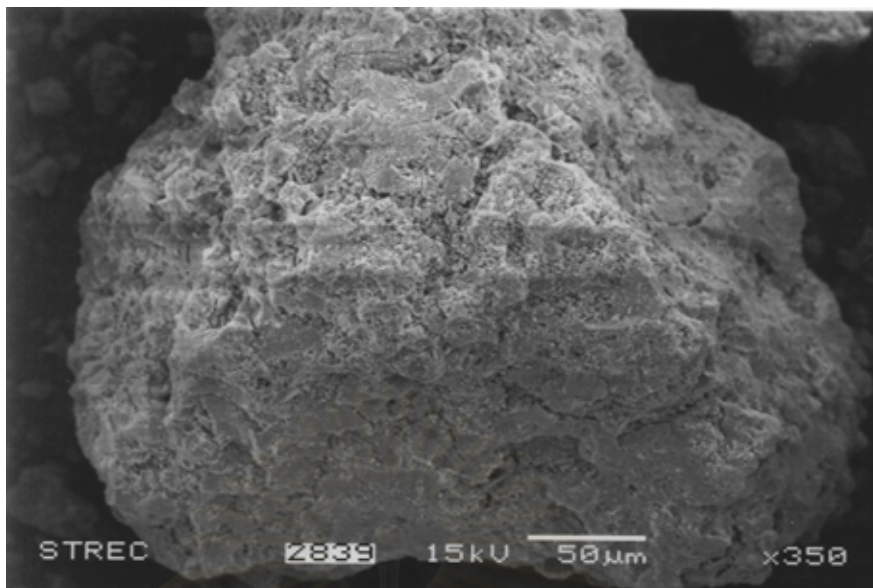


รูปที่ 4.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zelite หลังการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน

รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงภาพตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP ก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันซึ่งจะเห็นได้ว่าในรูปที่ 4.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันชั้นนั้นมีการกระจายตัวของโลหะที่ผิวหน้าค่อนข้างมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP หลังการเกิดปฏิกิริยาในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP ก่อนการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน



รูปที่ 4.8 ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu,Pd/MBP หลังการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชัน

4.2 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของโพรเพนไปเป็นโพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

4.2.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่างๆที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

การสังเคราะห์โพรเพนเป็นโพรพิลีน ซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาอยู่ในช่วงร้อยละ 75.00 – 82.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.9 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 10.63, 2.78, 3.42 ตามลำดับมีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากตารางคือ 2.18 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon และเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญ

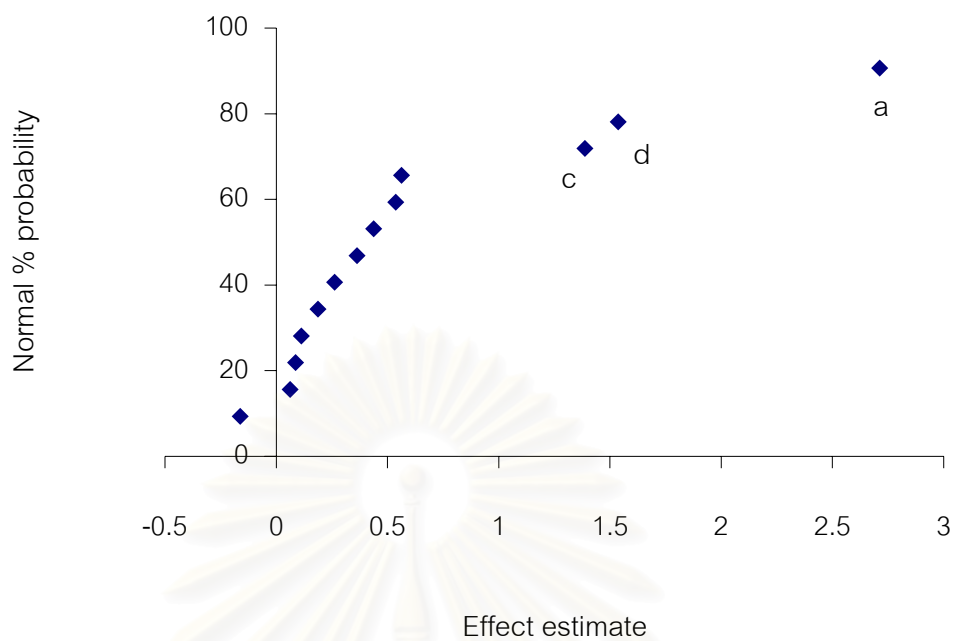
4.2.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อผลของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่ได้ออกจากโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

การสังเคราะห์โพรเพนเป็นโพรพิลีน ซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนอยู่ในช่วงร้อยละ 72.00 – 79.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.10 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 10.62, 2.82, 3.46 ตามลำดับมีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการคือ 2.18 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon และเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยหลักที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนอย่างมีนัยสำคัญ

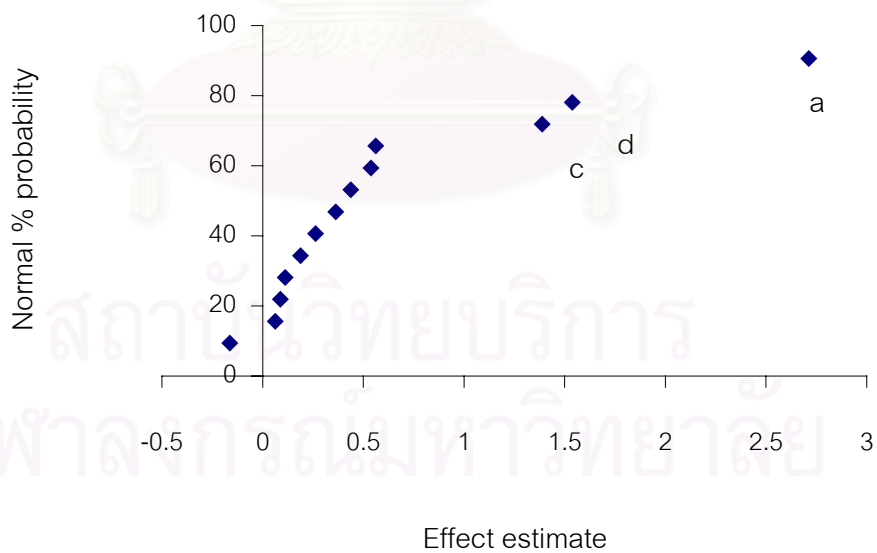
ตารางที่ 4.2 ผลของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่ได้จากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

Palladium บน Activated Carbon

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Propylene
	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส); A	ความดัน (บาร์); B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม); C	เวลา (นาที); D		
1	350	1	10	30	75.00	72.00
2	450	1	10	30	78.40	75.40
3	350	2	10	30	75.30	72.30
4	450	2	10	30	77.60	74.60
5	350	1	30	30	77.80	74.80
6	450	1	30	30	77.00	74.00
7	350	2	30	30	79.10	76.10
8	450	2	30	30	77.60	74.60
9	350	1	10	90	74.60	71.60
10	450	1	10	90	81.00	78.00
11	350	2	10	90	75.00	72.00
12	450	2	10	90	81.50	78.50
13	350	1	30	90	78.30	75.30
14	450	1	30	90	79.70	76.70
15	350	2	30	90	78.00	75.00
16	450	2	30	90	82.00	79.00



รูปที่ 4.9 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon



รูปที่ 4.10 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนจากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
A	29.43	1	29.43	10.63
C	7.70	1	7.70	2.78
D	9.46	1	9.46	3.42
Error	33.22	12	2.77	1.00
Total	78.91	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,12} = 2.16$ [Douglas, 1993]

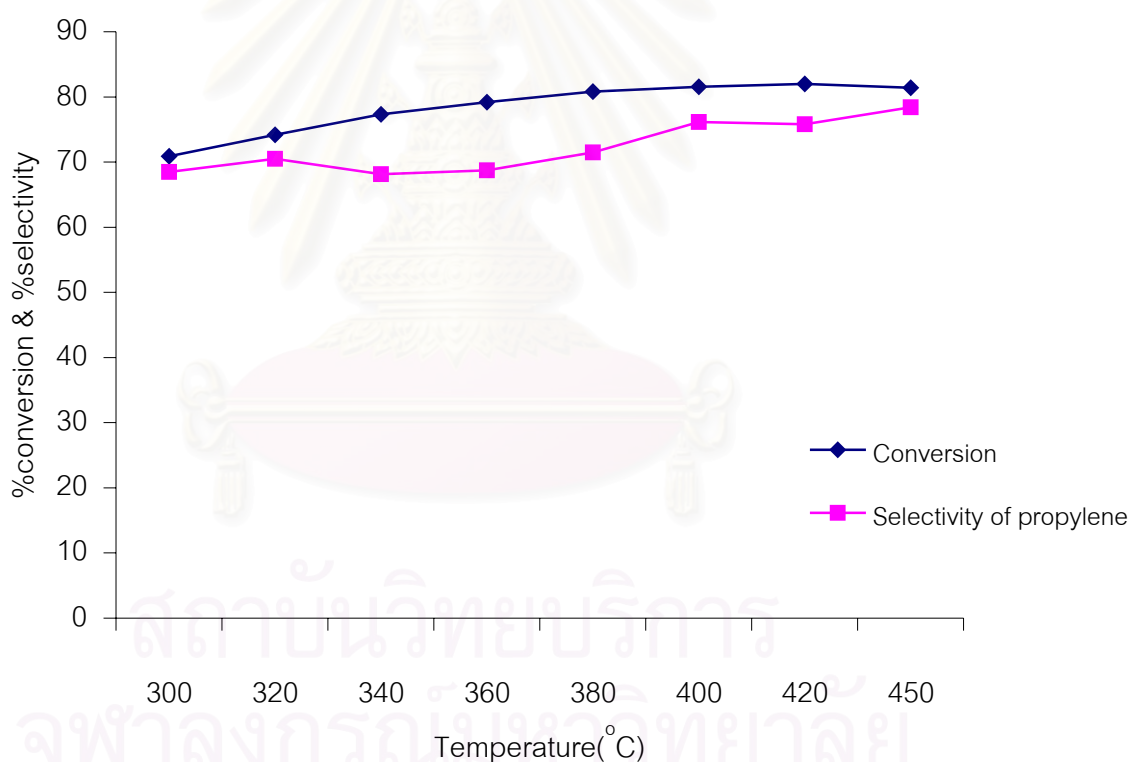
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ผลิตภัณฑ์โพรพิลีนจากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
A	29.00	1	29.00	10.62
C	7.70	1	7.70	2.82
D	9.46	1	9.46	3.46
Error	32.75	12	2.73	1.00
Total	78.91	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,12} = 2.16$ [Douglas, 1993]

4.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน

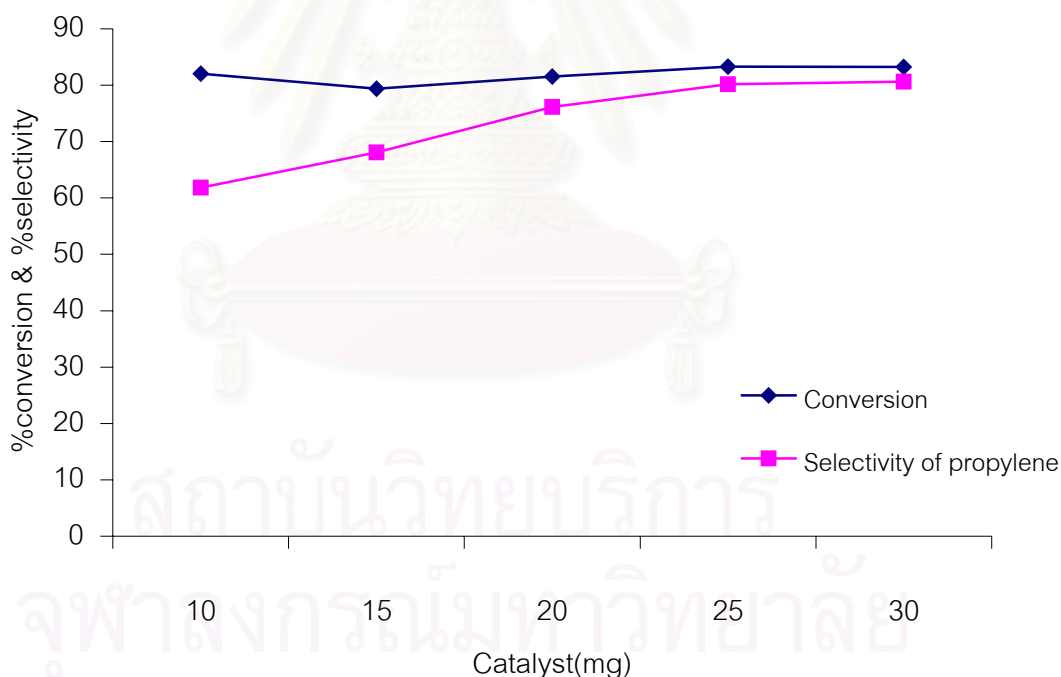
การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน ได้ทำการทดลองที่ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon 25 มิลลิกรัม และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 300 องศาเซลเซียส จนถึง 450 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 70 เป็น 81 และผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 68 เป็น 78 ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สารโพรเพนเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันได้ง่ายและทำให้ได้สารโพรพิลีนเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

4.2.4 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน

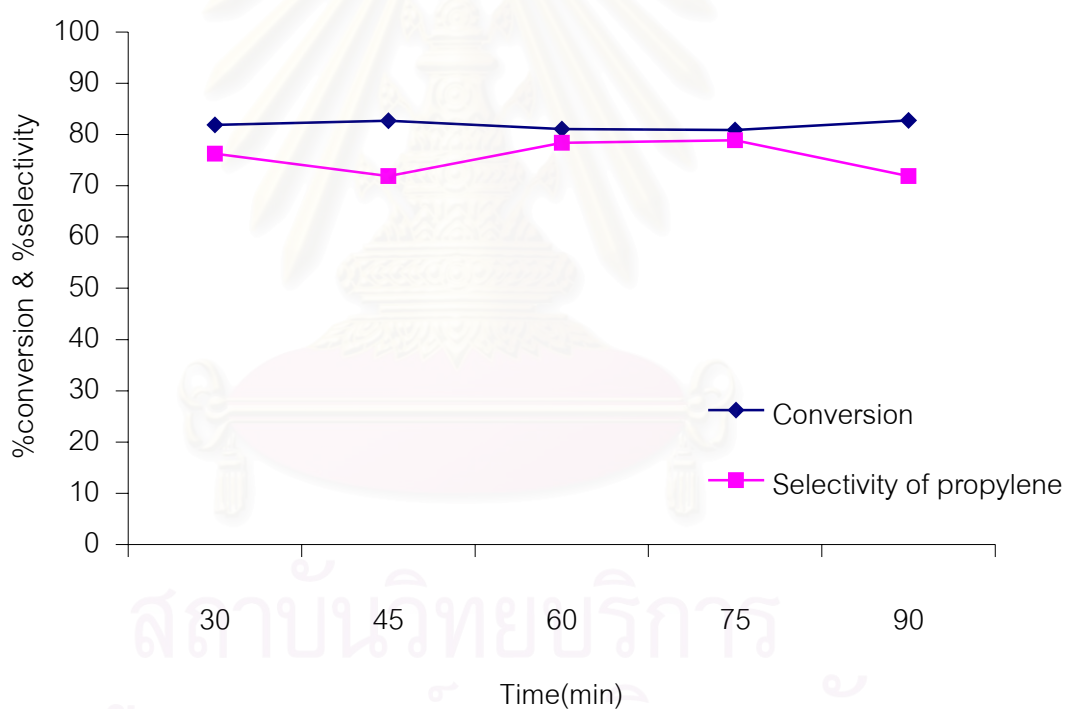
การศึกษาผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิกรัมจนถึง 30 มิลลิกรัม การเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยามีค่าเกือบคงที่แต่ผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 61 เป็น 80 ทั้งนี้เนื่องมาจากที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยโพรเพนจะเกิดเป็นสารไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกมีเทนและอีเทนที่อุณหภูมิสูงแทนที่จะได้โพรพิลีน เพราะโอกาสที่โพรเพนถูกหรือสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยที่อุณหภูมิสูงโดยเมื่อเพิ่มจำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าค่าของโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ได้ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.12 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์และเวลา 60 นาที

4.2.4 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน

การศึกษาของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ผลิตภัณฑ์โพรพิลีน จากผลการทดลองที่ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ที่ 25 มิลลิกรัม จากรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนมีค่าค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเร็วมากทำให้เกิดการสิ้นสุดของปฏิกิริยาที่จุดสมดุลค่อนข้างเร็ว ดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนเป็นโพรพิลีนจึงค่อนข้างคงที่และให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.13 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon

4.3 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนไปเป็นอะคริไลไนทริล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

การสังเคราะห์โพรพิลีนเป็นอะคริไลไนทริล ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลโดย ออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยา อยู่ในช่วงร้อยละ 78.00 – 82.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.14 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ ซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 29.30 มีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการคือ 2.14 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญ

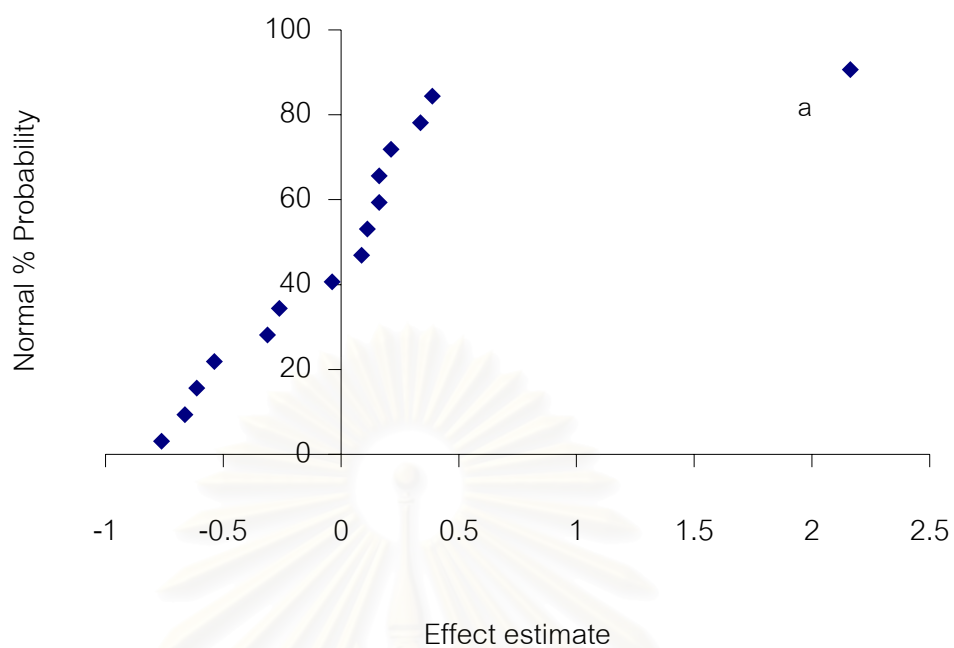
4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่างๆ ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ได้จากโพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

การสังเคราะห์โพรพิลีนเป็นอะคริไลไนทริล ซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดย ออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลอยู่ในช่วง 28.00 – 35.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.15 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP และเวลาในการทำปฏิกิริยาซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรายการที่ 4.7 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 10.59, 2.8, 3.32 ตามลำดับมีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการคือ 2.18 [Douglas, 1993] ที่

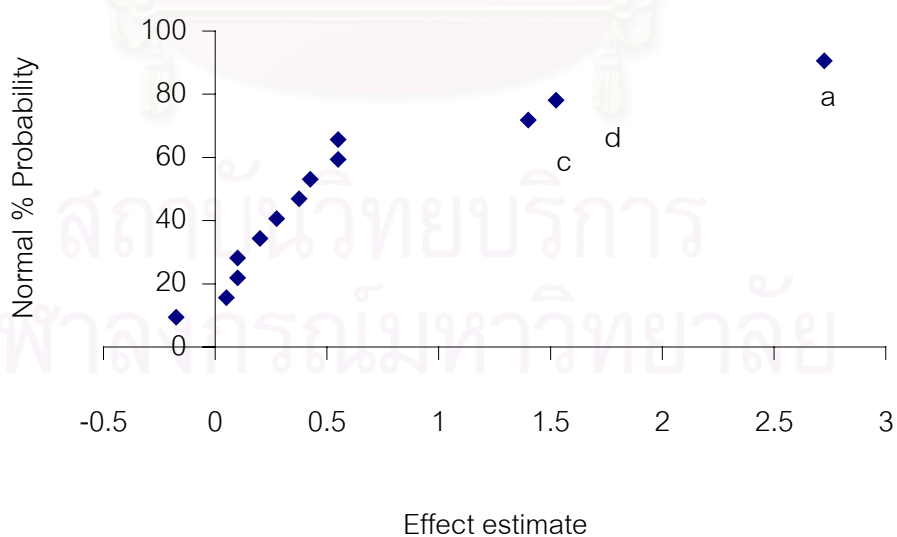
ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP และเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ได้จากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Acrylonitrile
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ,A	ความดัน (บาร์) ,B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม) ,C	เวลา (นาที) ,D		
1	350	1	10	30	78.60	28.00
2	450	1	10	30	81.80	31.40
3	350	2	10	30	78.00	28.30
4	450	2	10	30	80.90	30.60
5	350	1	30	30	77.80	30.80
6	450	1	30	30	80.20	30.00
7	350	2	30	30	79.90	32.10
8	450	2	30	30	79.60	30.60
9	350	1	10	90	78.20	27.50
10	450	1	10	90	81.10	34.00
11	350	2	10	90	79.50	28.00
12	450	2	10	90	81.60	34.50
13	350	1	30	90	78.00	31.30
14	450	1	30	90	80.30	32.70
15	350	2	30	90	78.00	31.00
16	450	2	30	90	79.80	35.00



รูปที่ 4.14 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงของไฟรฟลินในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP



รูปที่ 4.15 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะครีโลไนไตรลจากการสังเคราะห์ไฟรฟลินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาจากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
A	18.71	1	18.71	29.30
Error	8.94	14	0.64	
Total	27.64	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,14} = 2.14$ [Douglas, 1993]

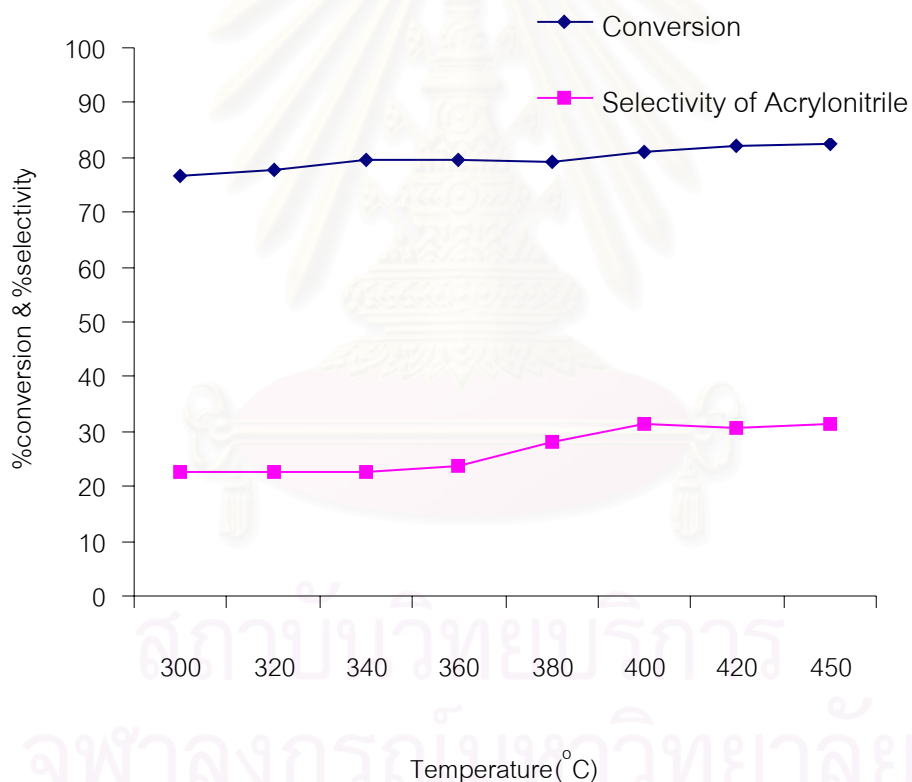
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลจากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
A	29.70	1	29.70	10.59
C	7.84	1	7.84	2.80
D	9.3025	1	9.30	3.32
Error	33.65	12	2.80	
Total	80.50	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,12} = 2.18$ [Douglas, 1993]

4.3.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไทริล

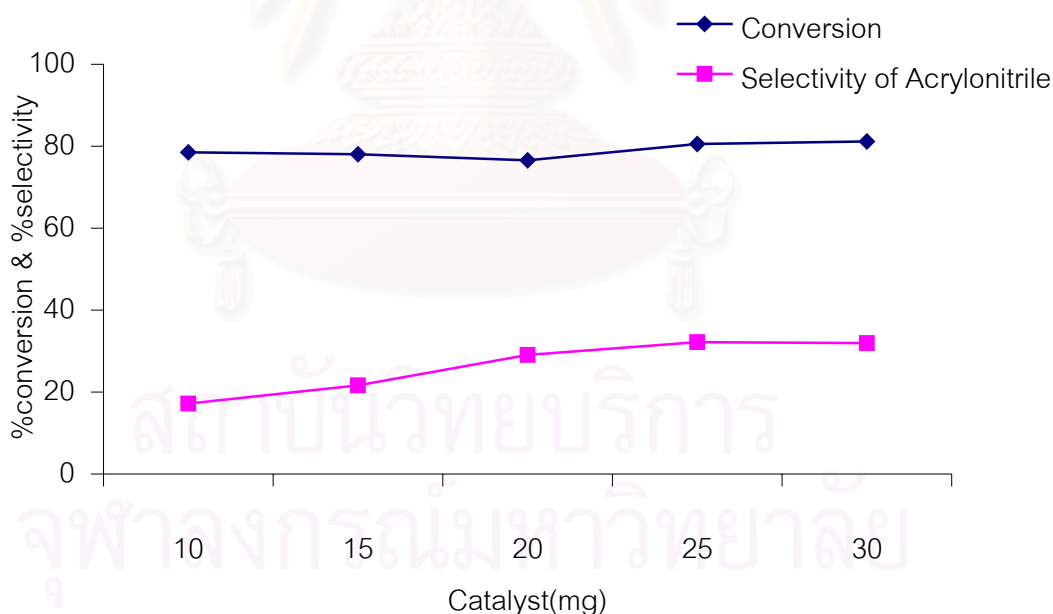
การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไทริล การทดลองกระทำที่ความดันแก๊สไพโรฟิซินเริ่มต้นที่ 1 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP 25 มิลลิกรัม และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 300 องศาเซลเซียส จนถึง 450 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของไพโรฟิซินในปฏิกิริยาจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 76 เป็น ร้อยละ 82 และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไทริลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 22 เป็น ร้อยละ 31 ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การแตกตัวของไพโรฟิซินที่เกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้มากขึ้นและทำให้เกิดอะคริไลนไทริลที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผลได้ของการเกิดปฏิกิริยาและผลได้ของอะคริไลนไทริลจึงเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไทริลที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาทีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

4.3.4 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล

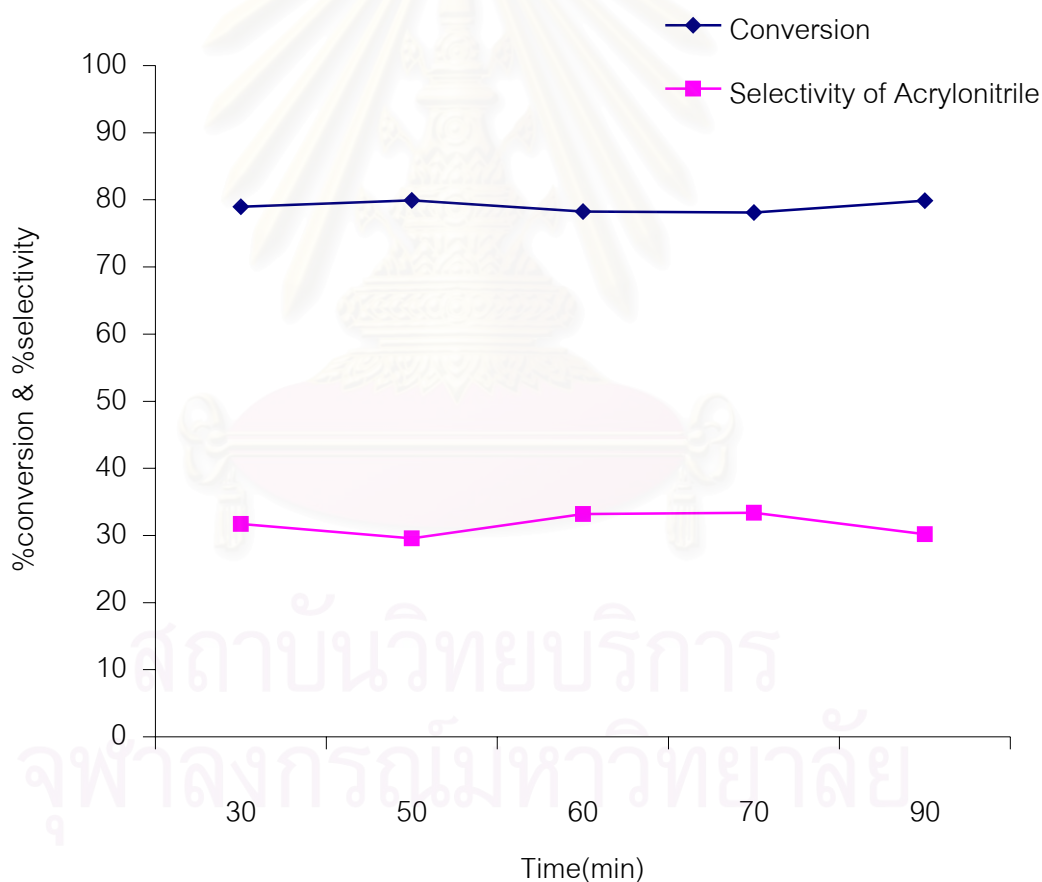
การศึกษาผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล จากการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพรพิลีน เริ่มต้นที่ 1 บาร์ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิกรัมจนถึง 30 มิลลิกรัมการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 17 เป็นร้อยละ 31 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยโพรพิลีนจะมีโอกาสในการสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยทำให้เกิดเป็นสารไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกมีเทนและอีเทนที่อุณหภูมิสูงแทนที่จะได้เป็นอะคริไลไนทริล โดยเมื่อเพิ่มจำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาเห็นว่าได้ค่าของอะคริไลไนทริลมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากโพรพิลีนมีการสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นทำให้ได้ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.17 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์และเวลา 60 นาที

4.3.4 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริล

การศึกษาของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริล การทดลองทำที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพรพิลีนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ที่ 25 มิลลิกรัม ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลมีค่าค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เป็นเพราะปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันที่เกิดจากโพรพิลีนนั้นเกิดขึ้นเร็วมากจึงทำให้เกิดการสิ้นสุดของปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันที่จุดสมดุลค่อนข้างเร็วตั้งนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนเป็นอะคริโลไนทริลจึงค่อนข้างคงที่และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.18 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP

4.4 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนไปเป็นอะคริไลไนทริล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

4.4.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่างๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

การสังเคราะห์โพรพิลีนเป็นอะคริไลไนทริล ซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยา อยู่ในช่วงร้อยละ 70.00 – 74.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.19 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ ซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 29.30 มีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการ คือ 2.14 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญ

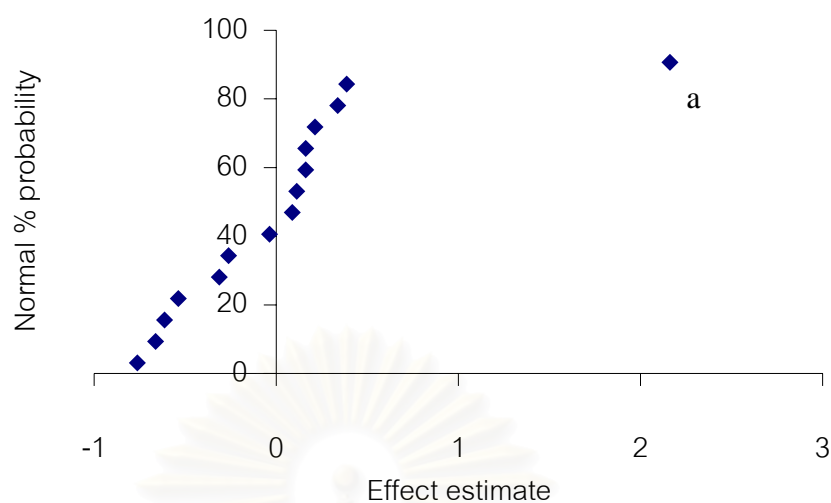
4.4.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่างๆ ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ได้จากโพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

การสังเคราะห์โพรพิลีนเป็นอะคริไลไนทริล ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล อยู่ในช่วงร้อยละ 5.00 – 8.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.20 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 90.31, 39.88 และ 21.85 ตามลำดับมีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการ คือ 2.18 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

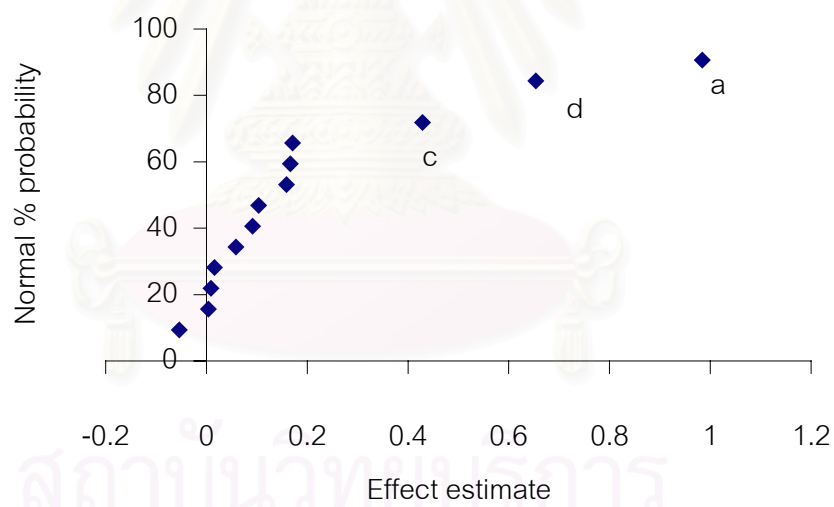
และเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนในทริลอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของผลิตภัณฑ์อะคริไลนในทริลที่เกิดจากการสังเคราะห์โพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Acrylonitrile
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส); A	ความดัน (บาร์); B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม); C	เวลา (นาที); D		
1	350	1	10	30	70.60	5.00
2	450	1	10	30	73.80	6.40
3	350	2	10	30	70.00	5.10
4	450	2	10	30	72.90	6.20
5	350	1	30	30	69.80	6.25
6	450	1	30	30	72.20	6.00
7	350	2	30	30	71.90	6.80
8	450	2	30	30	71.60	6.20
9	350	1	10	90	70.20	4.90
10	450	1	10	90	73.10	7.20
11	350	2	10	90	71.50	5.00
12	450	2	10	90	73.60	7.25
13	350	1	30	90	70.00	6.38
14	450	1	30	90	72.30	6.85
15	350	2	30	90	70.00	6.30
16	450	2	30	90	71.80	7.50



รูปที่ 4.19 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงไพโรไลสในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite



รูปที่ 4.20 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลจากการสังเคราะห์ไพโรไลสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงโพรพิลีนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A	18.71	1	18.71	29.30
Error	8.94	14	0.64	
Total	27.64	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,13} = 2.14$ [Douglas, 1993]

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริลไนทริลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

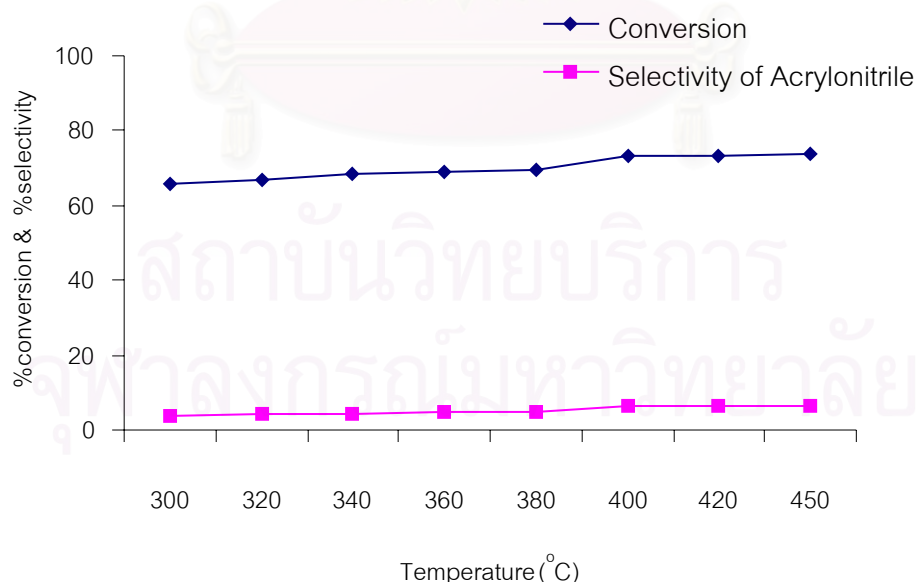
Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A	3.87	1	3.87	90.31
C	1.71	1	1.71	39.88
D	0.94	1	0.94	21.85
Error	3.96	12	0.04	
Total	10.48	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,12} = 2.18$ [Douglas, 1993]

4.4.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไตรล

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไตรลได้ทำการทดลองที่ความดันแก๊สโพรพิลีนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite 25 มิลลิกรัม และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.21 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 300 องศาเซลเซียส จนถึง 450 องศาเซลเซียส ผลได้ของการเปลี่ยนแปลงโพรพิลีนในปฏิกิริยาจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 65 เป็นร้อยละ 73 และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไตรลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 6 ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยพลังงานความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โพรพิลีนเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้ดีขึ้นจึงทำให้เกิดอะคริไลนไตรลที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผลได้ของการเกิดปฏิกิริยาและผลได้ของอะคริไลนไตรลจึงเพิ่มขึ้นด้วย

แต่เมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP กับ ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite พบว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไตรลมีค่าต่ำกว่าซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ที่มีค่าการกระจายตัวของโลหะที่น้อยกว่าของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ดังแสดงผลไว้ในหัวข้อ 4.1 ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาหลังการทำปฏิกิริยาพบว่าการกระจายตัวของโลหะที่น้อยกว่าแสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาเกิดเฉพาะที่ผิวหน้า

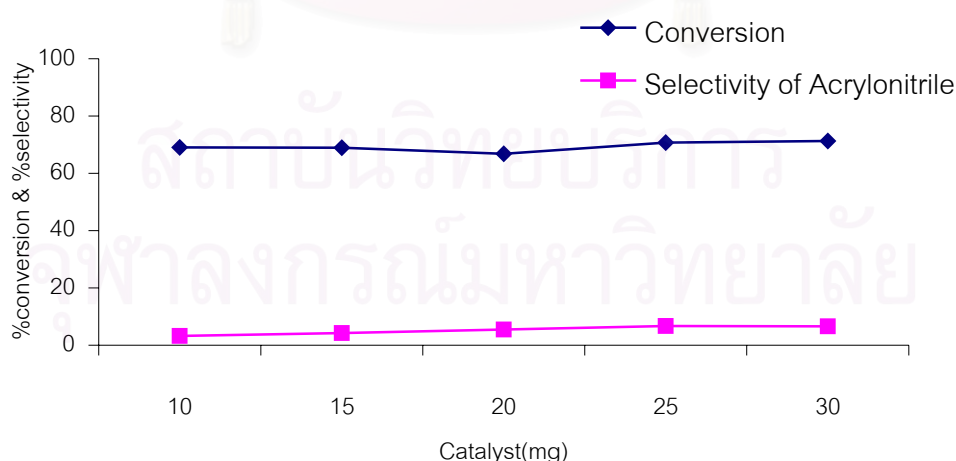


รูปที่ 4.21 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไตรลที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาทีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

4.4.4 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล

การศึกษาผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล ได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพพิลีนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิกรัมจนถึง 30 มิลลิกรัม การเปลี่ยนแปลงโพพิลีนในปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 68 เป็นร้อยละ 72 และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 6 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยโพพิลีนจะมีโอกาสในการสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยทำให้เกิดเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกมีเทนและอีเทนที่อุณหภูมิสูงแทนที่จะได้อะคริไลไนทริล โดยเมื่อเพิ่มจำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาจะเห็นว่าได้ค่าของอะคริไลไนทริลมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ได้ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากโพพิลีนมีการสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น

เมื่อพิจารณาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite พบว่ามีการกระจายตัวของโลหะที่ผิวหน้าค่อนข้างมาก (หัวข้อ 4.1) แต่เกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้ไม่ค่อยดี ทั้งนี้เนื่องจากตัว Zeolite มีรูพรุนค่อนข้างมาก จึงทำให้โลหะที่จะกระจายตัวที่ผิวหน้าจึงค่อนข้างน้อยทำให้เกิดการระจุกตัวของโลหะ จึงเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าในส่วนที่มีการระจุกตัวของโลหะทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างน้อย

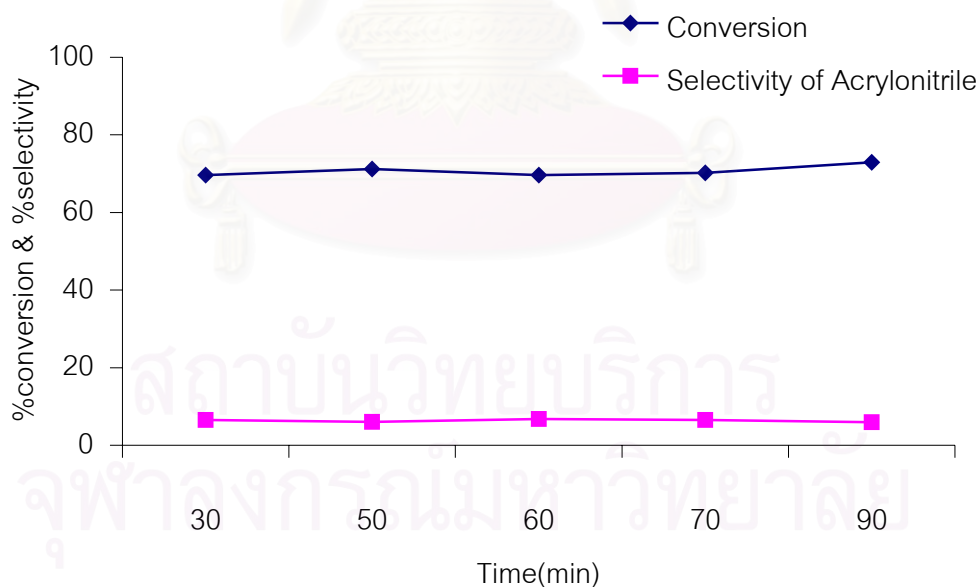


รูปที่ 4.22 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์และเวลา 60 นาที

4.4.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล

การศึกษาของเวลาการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล ได้ทำการทดลองที่ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพรพิลีนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ที่ 25 มิลลิกรัม ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทดลองจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโพรพิลีนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลมีค่าเกือบคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันที่เกิดจากโพรพิลีนนั้นเกิดขึ้นเร็วมากจึงทำให้เกิดการสิ้นสุดของปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันที่จุดสมดุลค่อนข้างเร็วดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนเป็นอะคริไลไนทริลจึงค่อนข้างคงที่ทำให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลค่อนข้างคงที่

แต่เมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP กับ ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite พบว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลมีค่าต่ำกว่าซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ที่มีค่าการกระจายตัวของโลหะที่น้อยกว่าของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ดังแสดงผลไว้ในหัวข้อ 4.1



รูปที่ 4.23 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

4.5 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนไปเป็นอะคริไลไนทริล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

4.5.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่างๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

การสังเคราะห์โพรเพนเป็นอะคริไลไนทริล ซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล 1 เรพลีเคต ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงโพรเพนในปฏิกิริยา อยู่ในช่วงร้อยละ 92.00 – 95.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.24 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ ซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโพรเพนในปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.12 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 10.26 มีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการคือ 2.14 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโพรเพนในปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญ

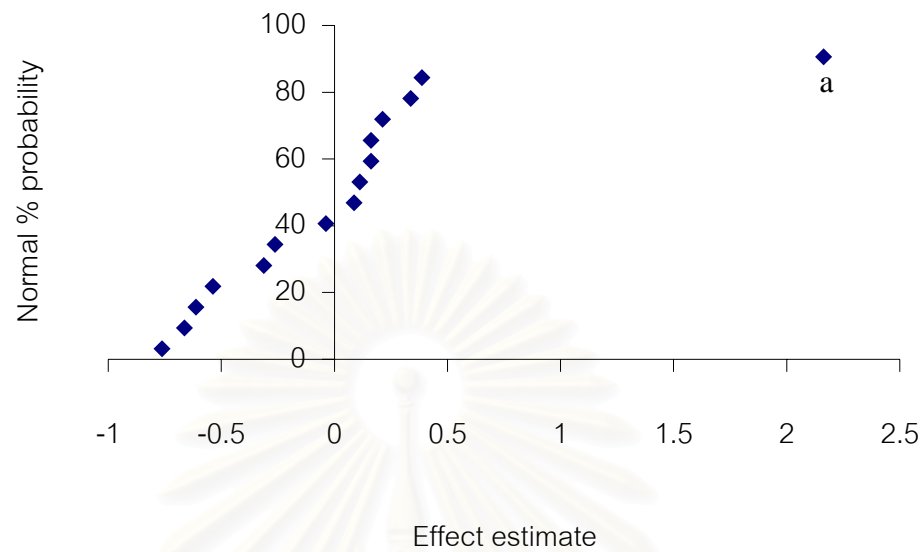
4.5.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่างๆ ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ได้จากโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

การสังเคราะห์โพรเพนเป็นอะคริไลไนทริลซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล แสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลอยู่ในช่วงร้อยละ 14.00 – 18.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.25 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ ซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.13 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 9.95 มีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการคือ 2.14 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลได้ของอะคริไลไนทริลอย่างมีนัยสำคัญ

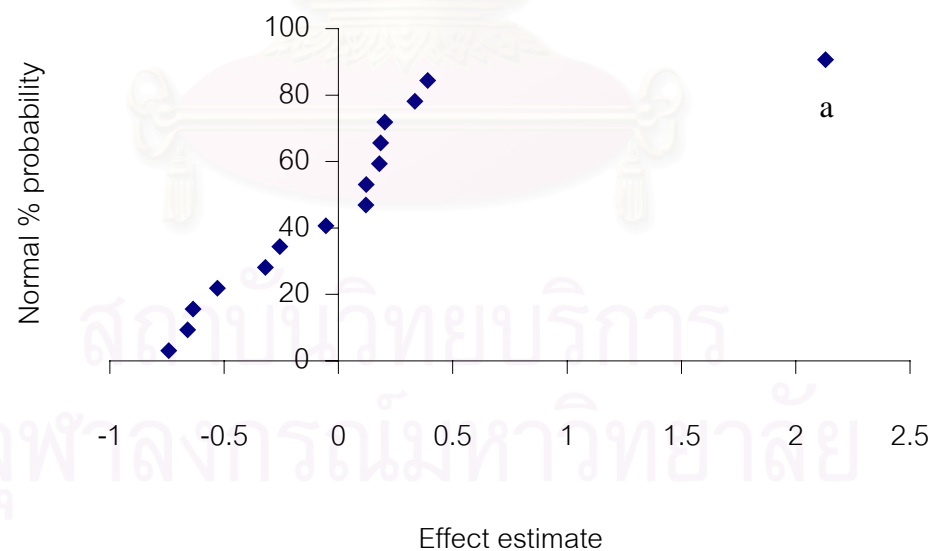
ตารางที่ 4.11 แสดงผลของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนไตรล์ที่เกิดจากการสังเคราะห์โพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Acrylonitrile
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส); A	ความดัน (บาร์); B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม); C	เวลา (นาที); D		
1	400	1	10	30	92.60	14.65
2	450	1	10	30	95.80	17.83
3	400	2	10	30	92.00	14.01
4	450	2	10	30	94.90	16.90
5	400	1	30	30	91.80	13.89
6	450	1	30	30	94.20	16.19
7	400	2	30	30	93.90	15.98
8	450	2	30	30	93.60	15.64
9	400	1	10	90	92.20	14.21
10	450	1	10	90	95.10	17.11
11	400	2	10	90	93.50	15.52
12	450	2	10	90	95.60	17.61
13	400	1	30	90	92.00	14.01
14	450	1	30	90	94.30	16.27
15	400	2	30	90	92.00	14.09
16	450	2	30	90	93.80	15.84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 Normal Probability ของการเปลี่ยนแปลงของไฟรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP



รูปที่ 4.25 Normal Probability ของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนทริลจากการสังเคราะห์ไฟรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
A	18.71	1	18.71	10.26
Error	25.52	14	1.82	
Total	44.23	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,14} = 2.14$ [Douglas, 1993]

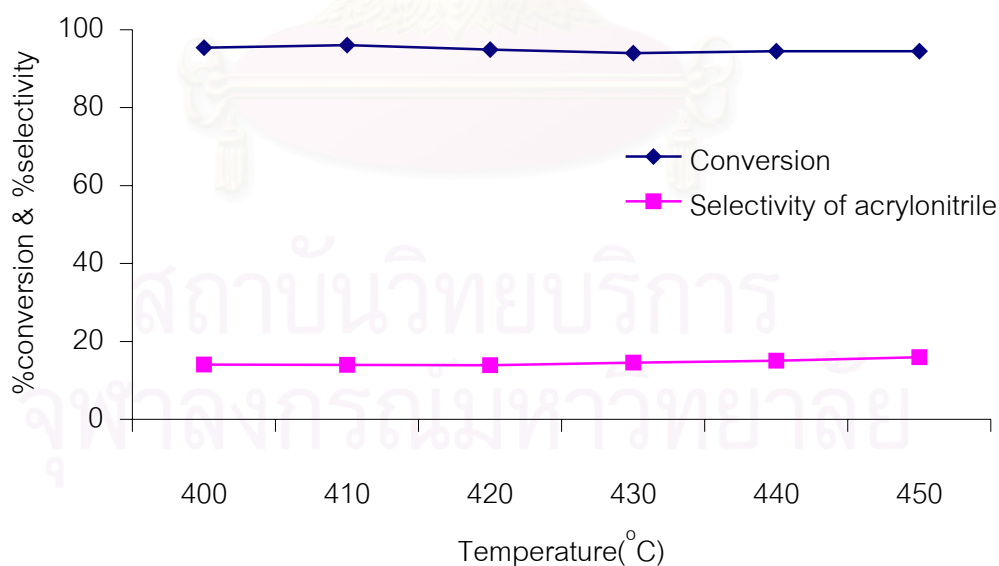
ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริลไนทริลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
A	18.15	1	18.15	9.95
Error	25.55	14	1.82	
Total	43.70	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,14} = 2.14$ [Douglas, 1993]

4.5.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล

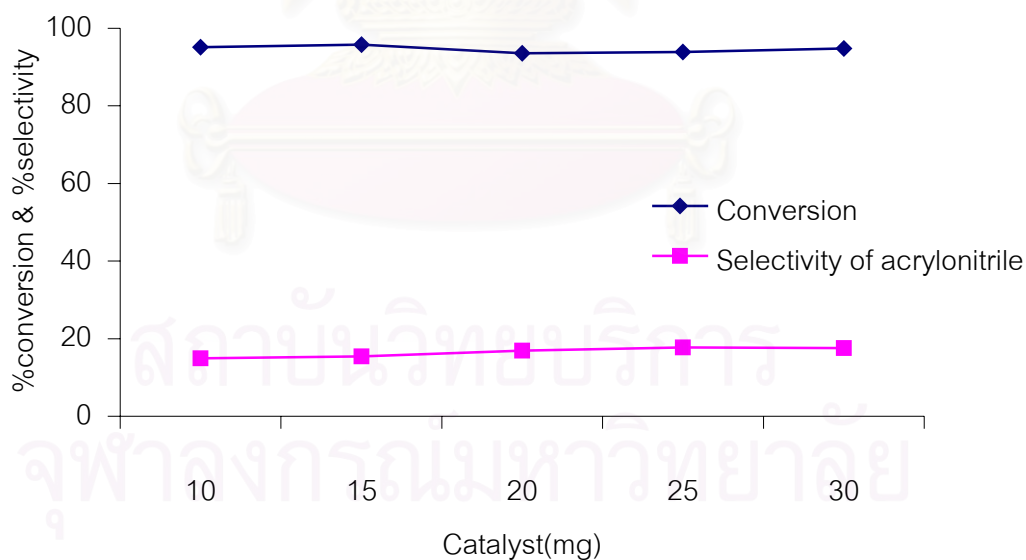
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลได้ทำการทดลองที่ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP 25 มิลลิกรัมและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.26 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 องศาเซลเซียส จนถึง 450 องศาเซลเซียส จะพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยากับค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลค่อนข้างคงที่ไม่เห็นผลของอุณหภูมิอย่างชัดเจนเหมือนผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง แต่เมื่อพิจารณาคุณค่าที่ได้จากตารางที่ 4.11 ค่าที่ได้จะแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อทำการศึกษผลของอุณหภูมิในช่วงดังกล่าวจึงไม่เห็นผลของอุณหภูมิอย่างชัดเจน นอกจากนี้ถ้ามาจากการทดลองได้ทำที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาดังนั้นแม้ว่าทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงโพรเพนในปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยและจะทำให้เกิดอะคริไลไนทริลที่เพิ่มเพียงเล็กน้อยจึงทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลมีค่าค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.26 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ความดัน 1 บาร์ และเวลา 60 นาทีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

4.5.4 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริล

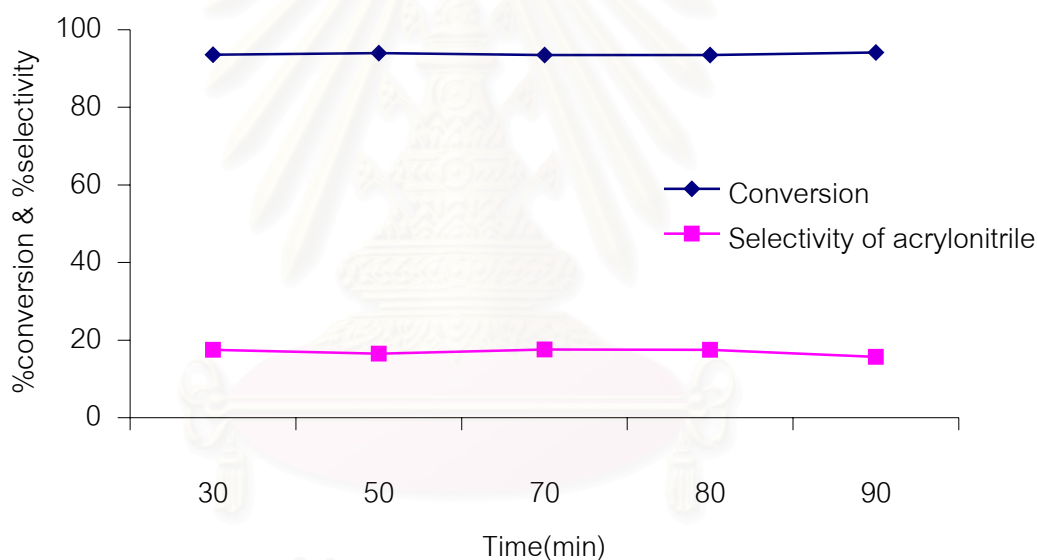
การศึกษาผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP ที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริล การทดลองทำที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.27 พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิกรัมเป็น 30 มิลลิกรัมเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยามีค่าค่อนข้างคงที่แต่ผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 14 เป็นร้อยละ 17 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยโพรเพนจะมีโอกาสในการสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยทำให้เกิดเป็นสารไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกมีเทนและอีเทนที่อุณหภูมิสูงแทนที่จะได้อะคริโลไนทริล โดยเมื่อเพิ่มจำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาเห็นได้ว่าค่าของอะคริโลไนทริลมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากโพรเพนมีการสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นจึงทำให้ได้ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.27 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์และเวลา 60 นาที

4.5.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริล

การศึกษาของเวลาการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริล การทดลองกระทำที่ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 บาร์ และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP ที่ 25 มิลลิกรัม ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.28 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาของการทำปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันที่เกิดจากโพรเพนนั้นเกิดขึ้นเร็วมากจึงทำให้เกิดการสิ้นสุดของปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันที่จุดสมดุลค่อนข้างเร็วดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนเป็นอะคริโลไนทริลจึงค่อนข้างคงที่ทำให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลค่อนข้างคงที่

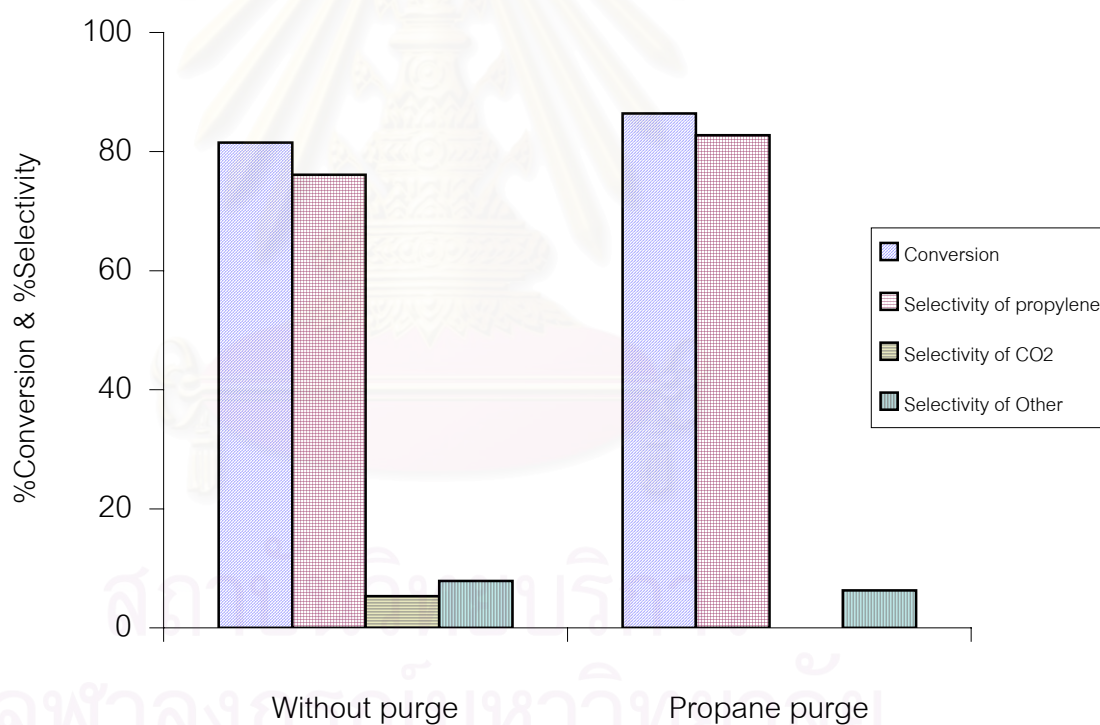


รูปที่ 4.28 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP

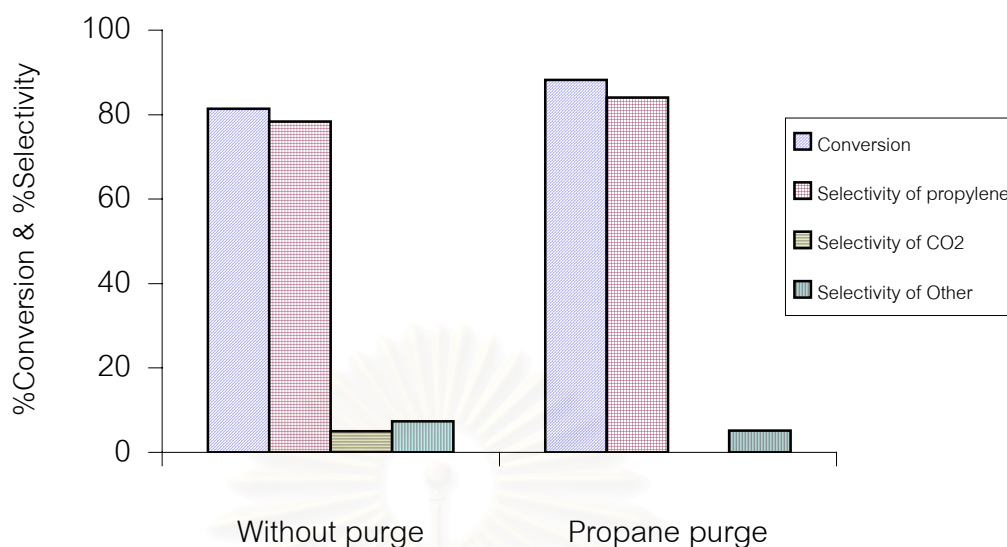
4.6 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

4.6.1 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีน

รูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่ปราศจากออกซิเจน เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาของโพรเพนไปเป็นโพรพิลีนไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันได้มากขึ้นทำให้เกิดสารโพรพิลีนได้มากขึ้น และไม่เกิดสารคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นเนื่องจากไม่มีออกซิเจนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนในปฏิกิริยาและผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนจึงมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.29 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon

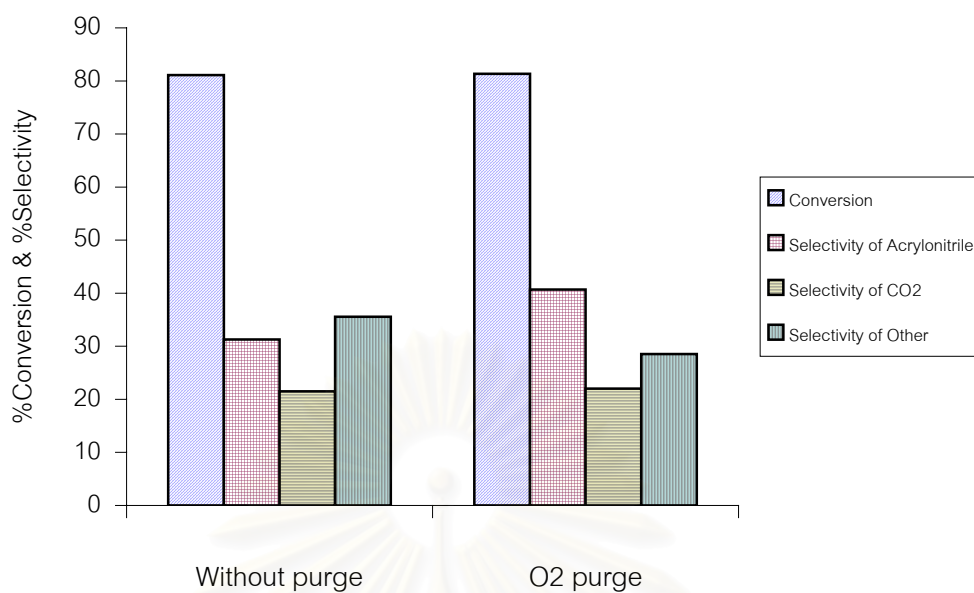


รูปที่ 4.30 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Activated Carbon

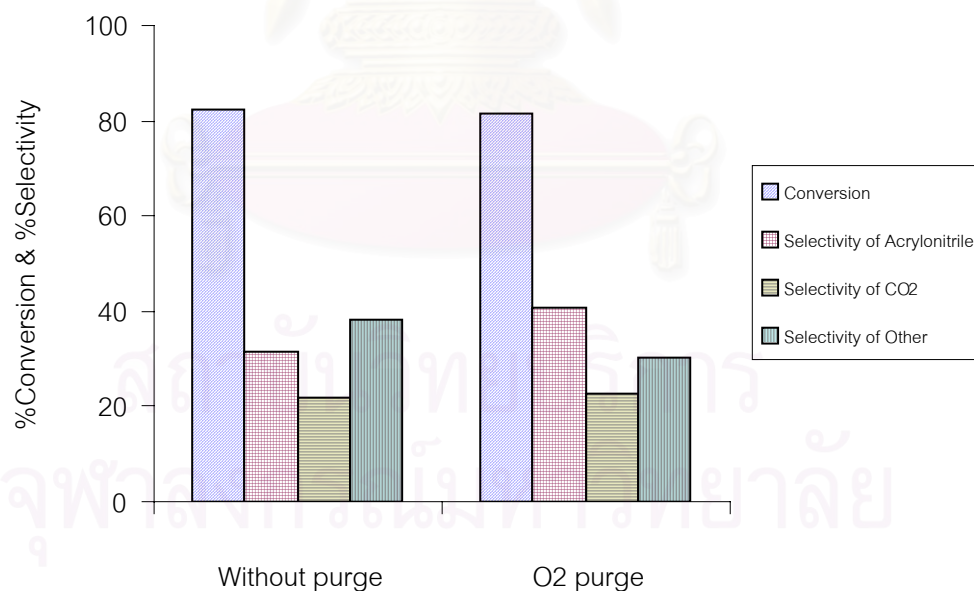
4.6.2 การเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริโลไนทริล

- ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP

รูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยามีค่าเกือบคงที่และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลมีค่าเพิ่มขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีอากาศเนื่องมาจากโพรพิลีนสามารถเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้ค่อนข้างคงที่ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาจึงค่อนข้างคงที่แต่ปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนเมื่อเกิดปฏิกิริยาจะต้องใช้ออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยาดังนั้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการไล่อากาศออกด้วยออกซิเจนจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนได้ดีกว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีการไล่อากาศออกเพราะออกซิเจนที่ใช้มีความบริสุทธิ์มากกว่าเนื่องจากไม่มีอากาศปนอยู่ด้วยจึงทำให้เกิดสารอะคริโลไนทริลเพิ่มขึ้นและได้สารอื่น ๆ ลดลง ทำให้ได้ผลได้ของอะคริโลไนทริลที่มากขึ้น



รูปที่ 4.31 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP

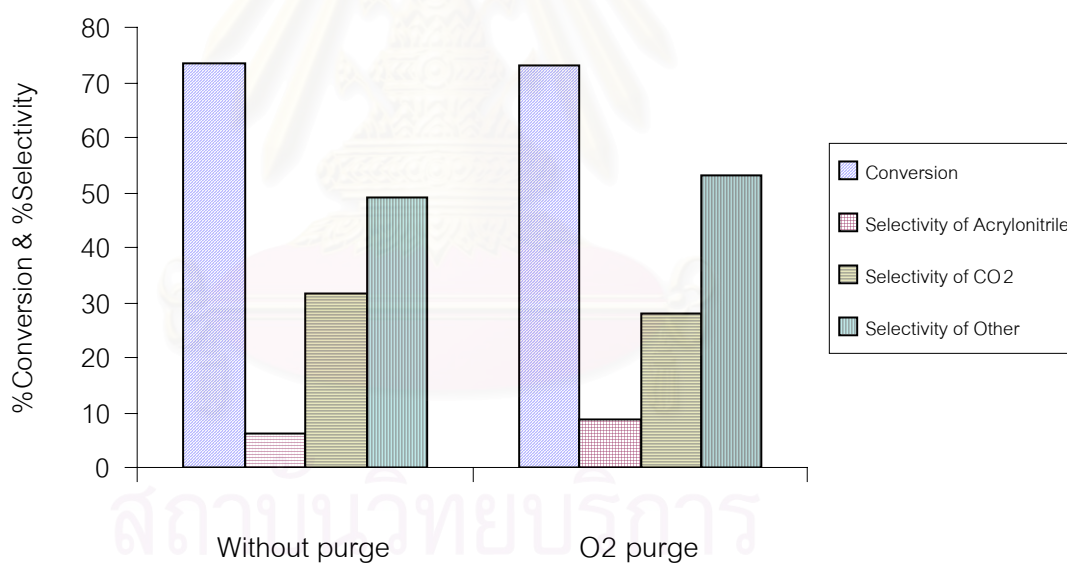


รูปที่ 4.32 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP

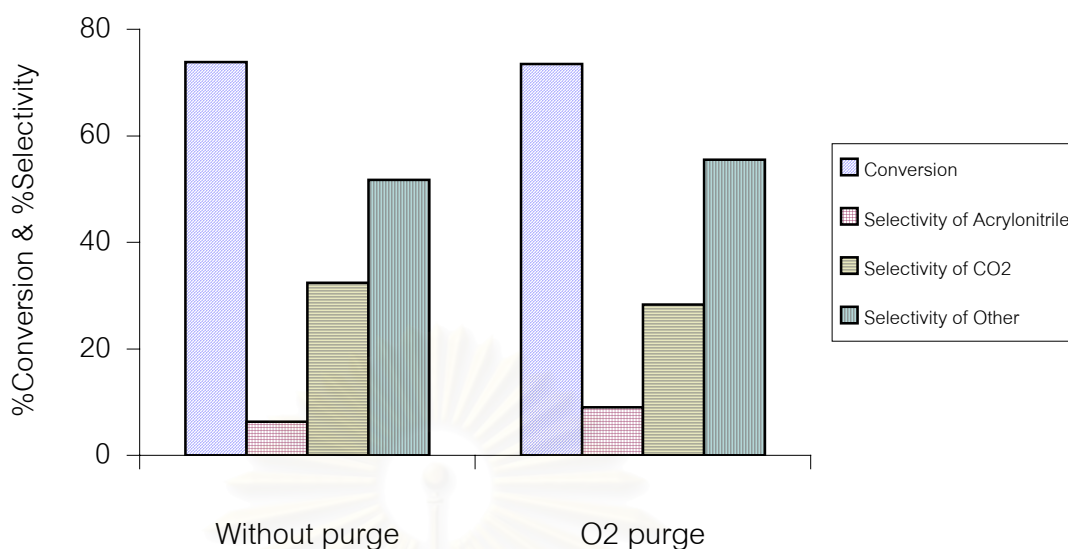
- ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zelite

รูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.34 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยามีค่าเกือบคงที่และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลจะมีค่าเพิ่มขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีอากาศ เนื่องจากโพรพิลีนสามารถเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้ค่อนข้างคงที่ที่อุณหภูมิเดียวกันดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนในปฏิกิริยาจึงค่อนข้างคงที่แต่ได้ สารอะคริไลไนทริลเพิ่มขึ้นเนื่องจากในเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำการไล่อากาศด้วยออกซิเจนมีออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าในเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่ได้ทำการไล่อากาศออกจึงทำให้เกิดสารอื่น ๆ ลดลงและทำให้ผลได้ของอะคริไลไนทริลมีค่าเพิ่มขึ้น

แต่ร้อยละของอะคริไลไนทริลของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zelite จะมีค่าน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP มากเนื่องจาก ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zelite มีค่าการกระจายตัวของโลหะที่น้อยกว่าของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP



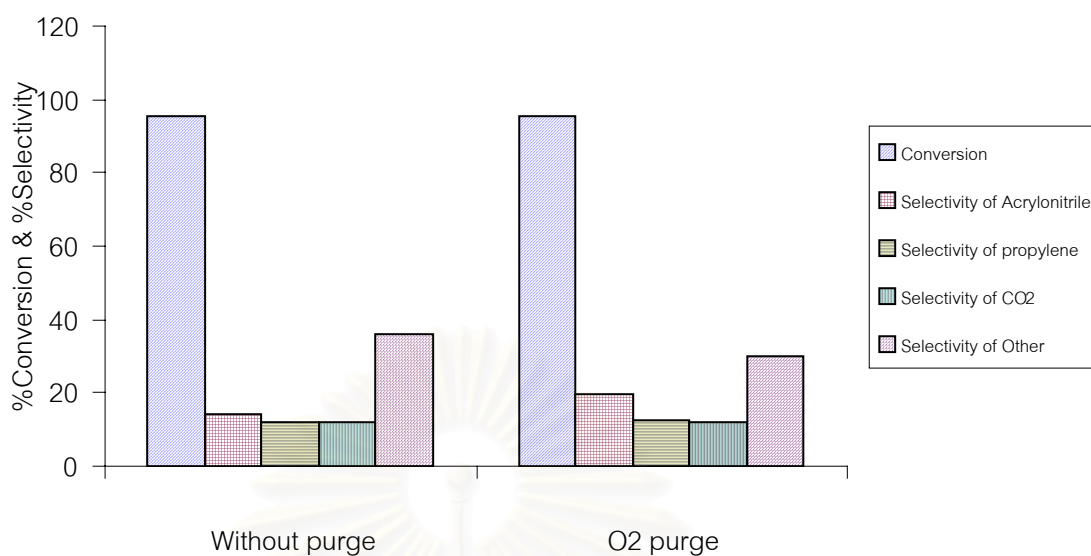
รูปที่ 4.33 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zelite



รูปที่ 4.34 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไทริลที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Zelite

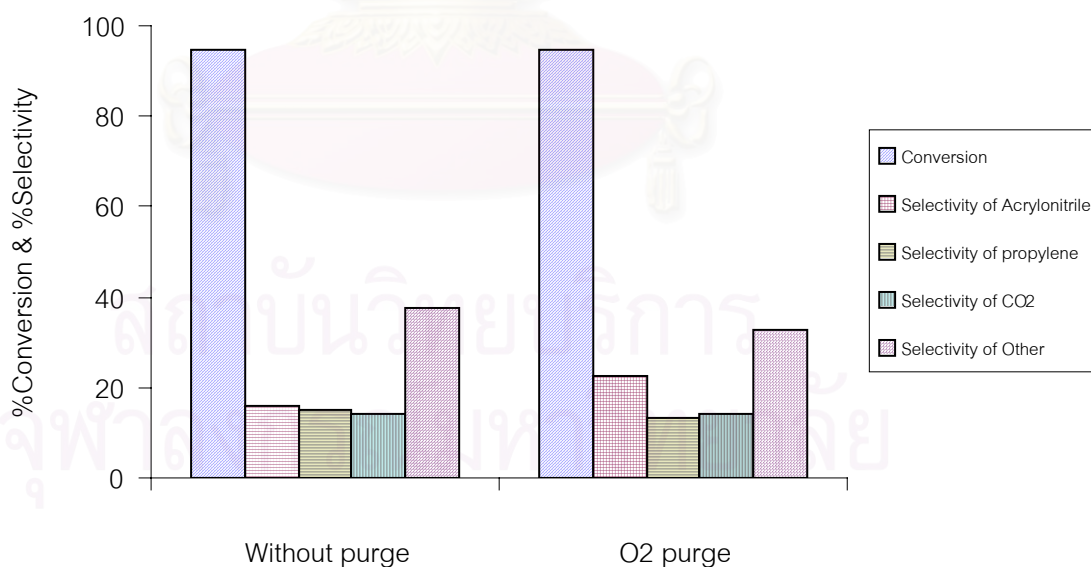
4.6.3 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริไลนไทริล

รูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงโพรเพนในปฏิกิริยามีค่าค่อนข้างคงที่และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลนไทริลจะมีค่าเพิ่มขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีอากาศ เนื่องจากโพรเพนสามารถเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้ค่อนข้างคงที่ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงโพรเพนในปฏิกิริยาจึงค่อนข้างคงที่แต่ปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนเมื่อเกิดปฏิกิริยาจะต้องใช้ออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยาดังนั้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการไล่อากาศออกด้วยออกซิเจนจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้ดีกว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีอากาศไล่ เพราะทำให้ ออกซิเจนที่ใช้มีความบริสุทธิ์มากกว่าเนื่องจากไม่มีอากาศปนอยู่ด้วยจึงทำให้เกิดสารอะคริไลนไทริลเพิ่มขึ้นและได้สารอื่น ๆ ลดลงทำให้ได้ผลได้ของอะคริไลนไทริลที่มากขึ้น



รูปที่ 4.35 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ

400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Pd/MBP



รูปที่ 4.36 ผลของอากาศในเครื่องปฏิกรณ์ต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่อุณหภูมิ

450 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Pd/MBP

4.7 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

Ricardo et al. (2003) ศึกษาปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Vanadium-Aluminum Oxynitride ที่อุณหภูมิ 460-500°C

จากผลการวิจัยและงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน สามารถเปรียบเทียบภาวะที่ใช้ในการทดลองและผลการทดลองในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

การทดลอง	Ricardo et al. (2003)	งานวิจัยนี้เมื่อมี อากาศ	งานวิจัยนี้เมื่อไม่มี อากาศ
สารตั้งต้น	โพรเพน	โพรเพน	โพรเพน
ตัวเร่งปฏิกิริยา	V,Al/Oxynitride	Cu,Pd/MBP	Cu,Pd/MBP
อุณหภูมิที่ใช้ในการ ทดลอง	460-500 องศา เซลเซียส	400-450 องศา เซลเซียส	400-450 องศา เซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการ ทดลอง	10-60 นาที	30-90 นาที	30 นาที
ความดันแก๊สโพรเพน เริ่มต้น	1 บาร์	1 บาร์	1 บาร์
% Conversion	90	93	94
% Selectivity of Acrylonitrile	55	17	22

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสังเคราะห์โพรเพนให้เป็นอะคริไลนไตรลในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

5.1.1 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีน

โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบไปด้วยอุณหภูมิ 350 - 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 – 90 นาที และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ในช่วง 10-30 มิลลิกรัม ภายใต้ความดันบรรยากาศแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 – 2 บาร์โดยได้ดำเนินการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาในเชิงปริมาณเพื่อหาลำโพงผลได้ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon และเวลาในการทำปฏิกิริยา

2. ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ที่ให้แนวโน้มของค่าผลิตภัณฑ์โพรพิลีนที่ดีที่สุด คือ

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	420 องศาเซลเซียส
ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้น	1 บาร์
เวลาในการทำปฏิกิริยา	30 นาที
น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon	25 มิลลิกรัม

โดยภาวะการทดลองข้างต้นจะได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์โพรพิลีน 78.39

3. อากาศที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์จะมีผลทำให้ได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์โพรพิลีนจากการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนโพรเพนเป็นโพรพิลีนน้อยลงเป็นผลมาจากปริมาณสารตั้งต้นน้อยลง

5.1.2 การเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริโลไนทริล

โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบไปด้วยอุณหภูมิ 350 - 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 - 90 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP และ Copper บน Zeolite ในช่วง 10-30 มิลลิกรัม ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและความดันบรรยากาศแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 - 2 บาร์ โดยได้ดำเนินการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาในเชิงปริมาณเพื่อหาผลได้ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP และ Copper บน Zeolite ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา

2. ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลจากตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP มีค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์มากกว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลจากตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite

3. ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนโพรพิลีนเป็นอะคริโลไนทริลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP และ Copper บน Zeolite ที่ให้แนวโน้มของค่าผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริลที่ดีที่สุด คือ

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	400	องศาเซลเซียส
ความดันแก๊สโพรพิลีนเริ่มต้น	1	บาร์
เวลาในการทำปฏิกิริยา	30	นาที
น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	25	มิลลิกรัม

โดยภาวะการทดลองข้างต้นจะได้อ้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล 31.27 และ 6.29 ในตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP และ Copper บน Zeolite ตามลำดับ

4. อากาศในเครื่องปฏิกรณ์จะทำให้ได้อ้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่น้อยลงเพราะทำให้เกิดเป็นสารอื่นๆ บางส่วน

5.1.3 การเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริไลไนทริล

จากการเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริไลไนทริลจะได้ช่วงของตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริไลไนทริลโดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบไปด้วยอุณหภูมิ 400 - 450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 – 90 นาที และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP ในช่วง 10-30 มิลลิกรัม ภายใต้ความดันบรรยากาศแก๊สโพรเพนเริ่มต้นที่ 1 – 2 บาร์ โดยได้ดำเนินการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาในเชิงปริมาณเพื่อหาผลได้ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออ้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP ได้แก่ อุณหภูมิ

2. ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนโพรเพนเป็นอะคริไลไนทริลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper, Palladium บน MBP ที่ให้แนวโน้มของค่าผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริลที่ดีที่สุดคือ

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	430 องศาเซลเซียส
ความดันแก๊สโพรเพนเริ่มต้น	1 บาร์
เวลาในการทำปฏิกิริยา	30 นาที
น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา Copper , Palladium บน MBP	25 มิลลิกรัม

โดยภาวะการทดลองข้างต้นจะได้อ้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลไนทริล 14.57

3. อากาศในเครื่องปฏิกรณ์จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริไลโนทริลที่น้อยลง เพราะทำให้เกิดเป็นสารอื่นๆ บางส่วน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อะคริไลโนทริลจากโพรเพนและโพรพิลีน เมื่อมีการขยายส่วนการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้น
2. ศึกษาอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถสังเคราะห์เองได้ และมีราคาไม่แพง รวมถึงวิธีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่
3. ศึกษาความเป็นไปได้และเศรษฐศาสตร์ในการผลิตและสังเคราะห์อะคริไลโนทริล
4. ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องและทำการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์จากนั้นทำการป้อนสารเข้ามาในเครื่องปฏิกรณ์ตลอดเวลาเพื่อทำปฏิกิริยารวมถึงการป้อนสารผลิตภัณฑ์ย้อนกลับมาในเครื่องปฏิกรณ์จะทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น
5. ควรทำการปล่อยอากาศจากเครื่องปฏิกรณ์ออกก่อนทำการทดลองทุกครั้งจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเพิ่มขึ้น
6. ควรทำการศึกษาถึงอัตราส่วนของโลหะบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัญจนานุญเกียรติ. การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

กองจัดการอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม อะคริโลไนไตรล (Acrylonitrile). กรุงเทพมหานคร ศรีเมืองการพิมพ์, 2542.

วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ. คะตะไลซิสแบบเฮเทอโรจีเนียส : หลักทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

ภาษาอังกฤษ

Ballarini N., Cavani F., Cimini M., Trifiro F., Catani R., Cornaro U., and Ghisletti D. Cr/V/Sb mixed oxides, catalysts for the ammoxidation of propane to acrylonitrile : Part 2. Effect of catalyst composition on catalytic performance. Applied Catalysis A:General. 251(2003): 49-59.

Centi G., Marchi F., and Perathoner S. Effect of ammonia chemisorption on the surface reactivity of V-Sb-oxide catalysts for propane ammoxidation, Applied Catalysis A:General. 149(1997): 225-244.

Chang T.S., Cho D.H., Lee D.k., and Yun S.S. Effect of Transition Metal Cation on Multicomponent Bismuth Phosphate Catalyst in Propylene Ammoxidation. Bull.Korean Chemical.Society. 22(2001): 117-119.

Christij G. Trasport processes and unit operations. New York: Prentice Hall, 1995.

Douglas C.M. Design and analysis of experiments. New York: John Wiley & Sons, 1997.

Guerrero-Perez M.O., Fierro J.L.G., Vicente M.A., and Banares M.A. Effect of Sb/V ratio and of Sb + V coverage on the molecular structure and activity of alumina-supported Sb-V-O catalysts for the ammoxidation of propane to acrylonitrile. Journal of Catalysis. 206(2002): 339-348.

Howard F. R. Handbook of commercial catalysts. New York: John Wiley & Sons, 1993.

Lopez Nieto J.M., Botella P., Solsona B., and Oliver J.M. The selective oxidation of propane on Mo-V-Te-Nb-O catalysts: The influence of Te-precursor. Catalysis Today. 78(2003): 126-130.

Roussel H., Mehlomakulu B., Belhadj F., Van Steen E., and Millet J.M.M. Active sites characterization in mixed Vanadium and Iron antimonite oxide catalysts for propane ammoxidation. Journal of Catalysis. 205(2002): 97-106.

Strikmiller S. Acrylonitrile Synthesis. Louisiana State University, 2000. Available from :
www.che.lsu.edu/COURSES/4205/2000/Strikmiller/paper.htm

Ushikubo T. Activation of propane and butanes over niobium- and tantalum-based oxide catalysts. Catalysis Today. 78(2003): 79-84.

Zhang X., Wan H.L., Weng W.Z., and Yi X.D. Effect of promoter Ce on silver-molybdenum-phosphate catalysts for selective oxidation of propane to acrolein. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 200(2003): 291-300.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก1 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์โพรพิลีนจากโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ที่ภาวะ การทดลองต่างๆ

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Propylene
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ,A	ความดัน (บาร์) ,B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม) ,C	เวลา (นาที) ,D		
1	350	1	10	30	75.00	72.00
2	450	1	10	30	78.40	75.40
3	350	2	10	30	75.30	72.30
4	450	2	10	30	77.60	74.60
5	350	1	30	30	77.80	74.80
6	450	1	30	30	77.00	74.00
7	350	2	30	30	79.10	76.10
8	450	2	30	30	77.60	74.60
9	350	1	10	90	74.60	71.60
10	450	1	10	90	81.00	78.00
11	350	2	10	90	75.00	72.00
12	450	2	10	90	81.50	78.50
13	350	1	30	90	78.30	75.30
14	450	1	30	90	79.70	76.70
15	350	2	30	90	78.00	75.00
16	450	2	30	90	82.00	79.00

ตารางที่ ก2 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์อะคริไลไนไตรลจากไพโรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน MBP ที่ภาวะการทดลองต่างๆ

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Acrylonitrile
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ,A	ความดัน (บาร์) ,B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม) ,C	เวลา (นาที) ,D		
1	350	1	10	30	78.60	28.00
2	450	1	10	30	81.80	31.40
3	350	2	10	30	78.00	28.30
4	450	2	10	30	80.90	30.60
5	350	1	30	30	77.80	30.80
6	450	1	30	30	80.20	30.00
7	350	2	30	30	79.90	32.10
8	450	2	30	30	79.60	30.60
9	350	1	10	90	78.20	27.50
10	450	1	10	90	81.10	34.00
11	350	2	10	90	79.50	28.00
12	450	2	10	90	81.60	34.50
13	350	1	30	90	78.00	31.30
14	450	1	30	90	80.30	32.70
15	350	2	30	90	78.00	31.00
16	450	2	30	90	79.80	35.00

ตารางที่ ก3 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์อะคริไลไนไตรลจากไพโรพิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper บน Zeolite ที่ภาวะการทดลองต่างๆ

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Acrylonitrile
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ,A	ความดัน (บาร์) ,B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม) ,C	เวลา (นาที) ,D		
1	350	1	10	30	70.60	5.00
2	450	1	10	30	73.80	6.40
3	350	2	10	30	70.00	5.10
4	450	2	10	30	72.90	6.20
5	350	1	30	30	69.80	6.25
6	450	1	30	30	72.20	6.00
7	350	2	30	30	71.90	6.80
8	450	2	30	30	71.60	6.20
9	350	1	10	90	70.20	4.90
10	450	1	10	90	73.10	7.20
11	350	2	10	90	71.50	5.00
12	450	2	10	90	73.60	7.25
13	350	1	30	90	70.00	6.38
14	450	1	30	90	72.30	6.85
15	350	2	30	90	70.00	6.30
16	450	2	30	90	71.80	7.50

ตารางที่ ก4 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์อะคริไลนไทริลจากโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Copper,Palladium บน MBP ที่ภาวะการทดลองต่างๆ

การทดลอง	ตัวแปร				%Conversion	Selectivity of Acrylonitrile
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ,A	ความดัน (บาร์) ,B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม) ,C	เวลา (นาที) ,D		
1	400	1	10	30	92.60	14.65
2	450	1	10	30	95.80	17.83
3	400	2	10	30	92.00	14.01
4	450	2	10	30	94.90	16.90
5	400	1	30	30	91.80	13.89
6	450	1	30	30	94.20	16.19
7	400	2	30	30	93.90	15.98
8	450	2	30	30	93.60	15.64
9	400	1	10	90	92.20	14.21
10	450	1	10	90	95.10	17.11
11	400	2	10	90	93.50	15.52
12	450	2	10	90	95.60	17.61
13	400	1	30	90	92.00	14.01
14	450	1	30	90	94.30	16.27
15	400	2	30	90	92.00	14.09
16	450	2	30	90	93.80	15.84

ตารางที่ ก5 ผลการทดลองจากการเปลี่ยนอุณหภูมิกับค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์

No.	Factor				Selectivity Propylene	Selectivity Acrylonitrile (Cu/MBP)	Selectivity Acrylonitrile (Cu/Zeolite)
	Temp (°C)	Pressure (Bar)	Cat (mg)	Time (Min)			
1	300	1	25	60	68.46	22.81	3.90
2	320	1	25	60	70.52	22.75	4.28
3	340	1	25	60	68.14	22.46	4.27
4	360	1	25	60	68.71	23.69	4.70
5	380	1	25	60	71.49	28.01	4.99
6	400	1	25	60	76.13	31.27	6.29
7	420	1	25	60	75.80	30.77	6.16
8	450	1	25	60	78.40	31.47	6.33

ตารางที่ ก6 ผลการทดลองจากการเปลี่ยนอุณหภูมิกับค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์

No.	Factor				Selectivity Acrylonitrile (Cu,Pd/MBP)
	Temp (°C)	Pressure (Bar)	Cat (mg)	Time (Min)	
1	400	1	25	60	14.04
2	410	1	25	60	13.97
3	420	1	25	60	13.85
4	430	1	25	60	14.58
5	440	1	25	60	15.04
6	450	1	25	60	15.98

ตารางที่ ก7 ผลการทดลองจากการเปลี่ยนน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยากับค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์

No.	Factor				Selectivity Propylene	Selectivity Acrylonitrile (Cu/MBP)	Selectivity Acrylonitrile (Cu/Zeolite)	Selectivity Acrylonitrile (Cu,Pd/MBP)
	Temp (°C)	Pressure (Bar)	Cat (mg)	Time (Min)				
1	400	1	10	60	61.85	17.22	3.28	14.91
2	400	1	15	60	68.09	21.65	4.20	15.44
3	400	1	20	60	76.13	29.04	5.43	16.88
4	400	1	25	60	80.16	32.19	6.66	17.77
5	400	1	30	60	80.62	31.96	6.60	17.59

ตารางที่ ก8 ผลการทดลองจากการเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์

No.	Factor				Selectivity Propylene	Selectivity Acrylonitrile (Cu/MBP)	Selectivity Acrylonitrile (Cu/Zeolite)	Selectivity Acrylonitrile (Cu,Pd/MBP)
	Temp (°C)	Pressure (Bar)	Cat (mg)	Time (Min)				
1	400	1	25	30	76.28	31.70	6.50	17.47
2	400	1	25	45	71.86	29.58	6.03	16.49
3	400	1	25	60	78.42	33.19	6.75	17.55
4	400	1	25	75	78.91	33.38	6.53	17.47
5	400	1	25	90	71.89	30.19	5.95	15.68

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์เชิงสถิติ

การวิเคราะห์เชิงสถิติได้วางรูปแบบการทดลองเป็น 2^k แฟกทอเรียล n เพลลิกเคต และอยู่ภายใต้สมมุติฐานว่าตัวแปรและค่าการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

1. สัญลักษณ์ของการทดลองแบบแฟกทอเรียล

1.1 k หมายถึง จำนวนตัวแปรที่ทำการศึกษา

1.2 n หมายถึง จำนวนการทดลองที่ภาวะการทดลองเดียวกัน

1.3 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A,B,C) แทนปัจจัยที่ต้องการศึกษา เช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น

1.4 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่เขียนรวมกัน (Combination) เช่น AB,AC,BC,ABC หมายถึงปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction)

1.5 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เขียนรวมกัน เช่น ab,ac,bc,abc หมายถึง การทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่างๆ เรียกว่า Treatment Combination

การทดลองที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะแทนแต่ละระดับของปัจจัยเป็น -1 และ $+1$ โดย -1

แทนระดับต่ำ $+1$ แทนระดับสูง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริลโนทริลจากปฏิกริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยา Copper, Palladium บน MBP ซึ่งออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียลแบบ 2 เพลลิกเคตโดยกำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปรดังนี้

ตารางที่ ข1 สัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ปัจจัย	ระดับ	
	(-1) ต่ำ	(+1) สูง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) A	400	450
ความดันไอรพเริ่มตัน (บาร์) B	1	2
น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกรัม) C	10	30
เวลา (นาที) D	30	90

สัญลักษณ์แทนการทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่างๆ มีความหมาย คือ การทดลองที่ปรากฏสัญลักษณ์ของปัจจัยใดแสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ +1 ของปัจจัยนั้น และปัจจัยที่ไม่ปรากฏสัญลักษณ์ทำที่ระดับ -1 เช่น

(-1) แสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ -1 ทุกปัจจัย

a ทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิ +1 และปัจจัยอื่นๆ ทำที่ระดับ -1 ดังนั้นภาวะของการทดลองคือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 2 บาร์ เวลา 30 นาที และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา 30 มิลลิกรัม

ab ทำการทดลองที่ระดับ +1 ความดัน +1 และปัจจัยอื่นๆ ทำที่ระดับ -1

2. ความหมายของคำที่สำคัญ

อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา

ปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หมายถึง การแสดงออกของระดับต่างๆ ในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

อิทธิพลแฟกทอเรียล (Factorial Effects) หมายถึง อิทธิพลต่างๆ ทั้งอิทธิพลหลักและปฏิกิริยาสัมพันธ์ทั้งหมดในการทดลองซึ่งจะมีเท่ากับ จำนวนการรวมตัว -1 หรือเท่ากับองศาความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) ของสิ่งทดลอง

3. สูตรการคำนวณ

3.1 Contrast เท่ากับ ผลรวมของค่าการทดลองแต่ละ Treatment คูณกับสัมประสิทธิ์ (-1 หรือ +1) ของตัวแปรหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

3.2 Effect Estimate $_{AB...K} = (2/n2^k)(\text{Contrast}_{AB...K})$

3.3 Sum of Squares $_{AB...K} : SS_{AB...K} = (2/n2^k)(\text{Contrast}_{AB...K})^2$

3.4 Total of Sum of Squares :

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - y^2 \dots / N ; N = \text{จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด}$$

3.5 Sum of Squares Error :

$$SS_E = SS_T - \text{Sum Squares of Main Effect}$$

3.6 Mean of Squares : $MS = \text{Sum of Squares} / \text{Degree of Freedom}$

3.7 %Normal Probability = $\frac{(\text{Cumulative frequency} - 0.5) * 100}{(\text{Total Cumulative frequency})}$

3.8 $F_0 = \text{Mean Squares of Effect} / \text{Mean Square of Error}$

4. ตัวอย่างการคำนวณ

รูปแบบของ Treatment Combinations อิทธิพลแพกทอเรียล และค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณแสดงในตารางที่ ข2

เครื่องหมาย + และ - คือ +1 และ -1 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการเปรียบเทียบ หรืออิทธิพลแพกทอเรียลต่างๆ นั่นเอง ดังนั้นอิทธิพลแพกทอเรียล A คือ การเปรียบเทียบระหว่างระดับ -1 และ +1 ของปัจจัย A

วิธีการหาสัมประสิทธิ์ คือ

อิทธิพลแพกทอเรียล A : ให้ค่า + แก่ Treatment Combinations ที่มีสัญลักษณ์ a นอก จากนั้นให้ค่า -

อิทธิพลแพททอเรียล B : ให้ค่า + แก่ Treatment Combinations ที่มีสัญลักษณ์ b นอก
จากนั้นให้ค่า -

อิทธิพลปฏิกริยาสัมพันธ์ AB : ให้คุณสัมประสิทธิ์ของ A กับ B เข้าด้วยกันเป็นสัมประสิทธิ์
ของ AB

ตารางที่ ข2 ค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Treatment Combination	Factorial Effects														
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	D	AD	BD	ABD	CD	ACD	BCD	ABCD
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1
a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
ab	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
ac	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
bc	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
abc	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
d	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
ad	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
bd	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
abd	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
cd	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
acd	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
bcd	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
abcd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

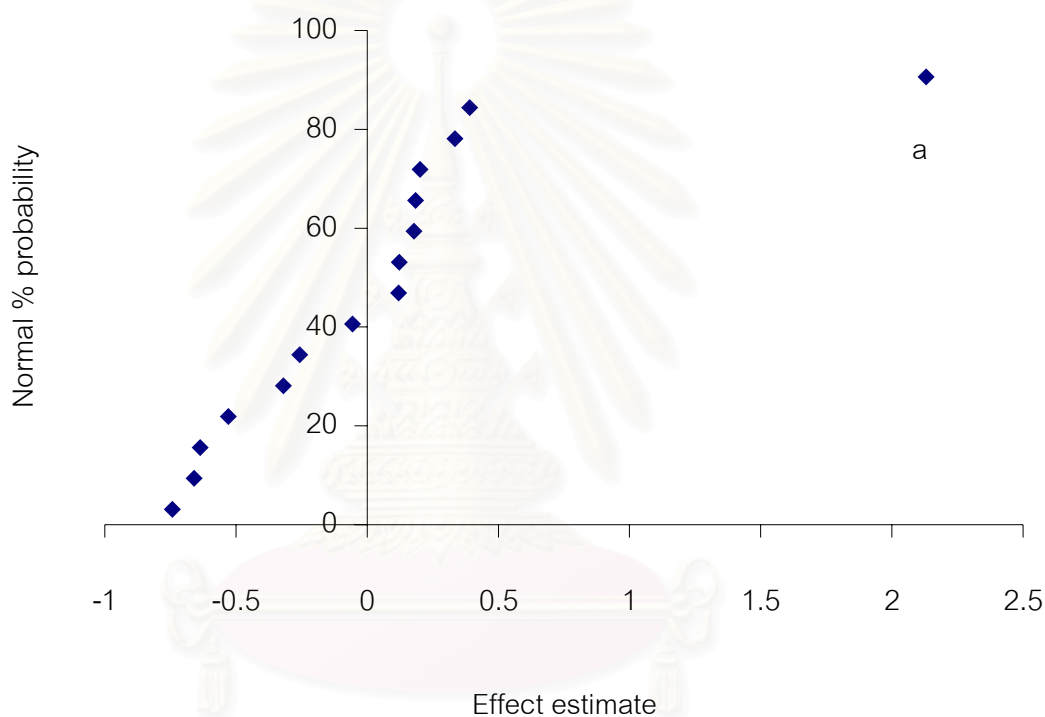
ตัวอย่างการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะครีโลไนทริล โดยวางรูปแบบ
การทดลองเป็น 2^4 แพททอเรียลแบบ 1 เพลกเคต แสดงผลดังตารางที่ ข3 หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไป
คำนวณค่า Contrast, Effect Estimate และ Sum of Squares แสดงผลดังตารางที่ ข4

ตารางที่ ข3 ภาวะของตัวแปร และผลได้ของผลิตภัณฑ์อะคริโลไนทริล

Treatment Combination	การ ทดลอง	ตัวแปร				Selectivity of Acrylonitrile
		อุณหภูมิ(องศา เซลเซียส) ,A	ความดัน (บาร์) ,B	ตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิกกรัม) ,C	เวลา (นาที) ,D	
(1)	1	400	1	10	30	14.65
a	2	450	1	10	30	17.83
b	3	400	2	10	30	14.01
ab	4	450	2	10	30	16.90
c	5	400	1	30	30	13.89
ac	6	450	1	30	30	16.19
bc	7	400	2	30	30	15.98
abc	8	450	2	30	30	15.64
d	9	400	1	10	90	14.21
ad	10	450	1	10	90	17.11
bd	11	400	2	10	90	15.52
abd	12	450	2	10	90	17.61
cd	13	400	1	30	90	14.01
acd	14	450	1	30	90	16.27
bcd	15	400	2	30	90	14.09
abcd	16	450	2	30	90	15.84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำผลการคำนวณค่า Effect Estimate มาสร้าง Normal probability plot จากรูปที่ ข1 พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ A แทนอุณหภูมิ ซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะครีโลไนทริล นอกจากนี้เมื่อนำผลจากการคำนวณ Contrast, Effect Estimate และ Sum of Squares มาสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ดังแสดงในตารางที่ ข5 พบเช่นเดียวกันว่าอุณหภูมิ ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณคือ 9.95 มีค่ามากกว่าค่า F_0 ที่ได้จากรายการคือ 2.14 [Douglas, 1993] ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลได้ของอะครีโลไนทริลอย่างมีนัยสำคัญ



Normal Probability Plot of Factorial Effect

รูปที่ ข1 Normal Probability Plot ของตัวแปรที่มีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์อะครีโลไนทริล

ตารางที่ ๗4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของผลิตภัณฑ์อะครีโลไนทริล

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A	18.15	1	18.15	9.95
Error	25.55	14	1.82	
Total	43.70	15		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,14} = 2.14$ [Douglas, 1993]



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ %Conversion

การเปลี่ยน โพรเพนเป็นโพรพิลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Carbon

ก่อนการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์



ป้อน C_3H_8 1 บาร์

$$\begin{aligned} \text{PV} = n\text{RT} \quad \text{โดย} \quad n &= \text{PV}/\text{RT} \\ &= (1\text{atm} \cdot 30\text{cm}^3) / (82.06(\text{cm}^3 \cdot \text{atm}) / (\text{gmole} \cdot \text{K}) \cdot 298\text{K}) \\ &= 0.00123 \text{ gmole} \end{aligned}$$

หลังการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความดัน 1.8 บาร์

โมลรวมของปฏิกิริยา

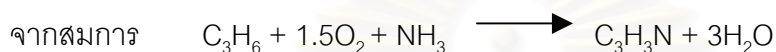
$$\begin{aligned} \text{PV} = n\text{RT} \quad \text{โดย} \quad n &= \text{PV}/\text{RT} \\ &= (1.8\text{atm} \cdot 30\text{cm}^3) / (82.06(\text{cm}^3 \cdot \text{atm}) / (\text{gmole} \cdot \text{K}) \cdot 623\text{K}) \\ &= 0.00106 \text{ gmole} \end{aligned}$$

สาร	% Gas component	Mole
Propylene	66.78	0.000705400
Propane	24.56	0.000259420
CO ₂	4.75	0.000050173
Other	3.91	0.000041300

$$\begin{aligned} \% \text{ Conversion} &= \frac{\text{Mole ของ Feed ที่หายไป}}{\text{Mole ของ Feed ที่เข้าไป}} = \frac{(0.00123 - 0.00025942) \cdot 100}{0.00123} \\ &= 78.91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Selectivity of Propylene} &= \frac{\text{Mole ของ Product ที่ได้}}{\text{Mole ของ Feed ที่หายไป}} = \frac{0.0007054 * 100}{(0.00123 - 0.00025942)} \\ &= 72.68 \end{aligned}$$

การเปลี่ยน โพรพิลีนเป็นอะคริโลไนไตรด์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/MBP
ก่อนการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์



ป้อน C_3H_6 1 บาร์

$$\begin{aligned} PV = nRT \quad \text{โดย} \quad n &= PV/RT \\ &= (1 \text{ atm} * 30 \text{ cm}^3) / (82.06 (\text{cm}^3 * \text{atm}) / (\text{gmole} * \text{K}) * 298 \text{ K}) \\ &= 0.00123 \text{ gmole} \end{aligned}$$

หลังการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความดัน 1.75 บาร์

โมลรวมของปฏิกิริยา

$$\begin{aligned} PV = nRT \quad \text{โดย} \quad n &= PV/RT \\ &= (1.75 \text{ atm} * 30 \text{ cm}^3) / (82.06 (\text{cm}^3 * \text{atm}) / (\text{gmole} * \text{K}) * 623 \text{ K}) \\ &= 0.00103 \text{ gmole} \end{aligned}$$

สาร	% Gas component	Mole
Acrylonitrile	24.16	0.00024811
Propylene	22.03	0.00022623
CO ₂	20.54	0.00021093
Other	33.27	0.00034200

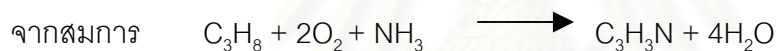
$$\% \text{ Conversion} = \frac{\text{Mole ของ Feed ที่หายไป}}{\text{Mole ของ Feed ที่เข้าไป}} = \frac{(0.00123 - 0.00022623) * 100}{0.00123}$$

$$= 81.61$$

$$\% \text{ Selectivity of Acrylonitrile} = \frac{\text{Mole ของ Product ที่ได้}}{\text{Mole ของ Feed ที่หายไป}} = \frac{0.00024811 * 100}{(0.00123 - 0.00022623)}$$

$$= 24.72$$

การเปลี่ยน โพรเพนเป็นอะคริโลไนไตรล์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Pd/MBP
ก่อนการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์



ป้อน C_3H_8 1 บาร์

$$\text{PV} = n\text{RT} \quad \text{โดย} \quad n = \text{PV}/\text{RT}$$

$$= (1\text{atm} * 30\text{cm}^3) / (82.06(\text{cm}^3 * \text{atm}) / (\text{gmole} * \text{K}) * 298\text{K})$$

$$= 0.00123 \text{ gmole}$$

หลังการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 2.4 บาร์

โมลรวมของปฏิกิริยา

$$\text{PV} = n\text{RT} \quad \text{โดย} \quad n = \text{PV}/\text{RT}$$

$$= (2.4\text{atm} * 30\text{cm}^3) / (82.06(\text{cm}^3 * \text{atm}) / (\text{gmole} * \text{K}) * 623\text{K})$$

$$= 0.0012136 \text{ gmole}$$

สาร	% Gas component	Mole
Acrylonitrile	15.12	0.000183491
Propylene	17.52	0.000212616
Propane	7.98	0.000096842
CO ₂	12.68	0.000153880
Other	46.7	0.000567000

$$\% \text{ Conversion} = \frac{\text{Mole ของ Feed ที่หายไป}}{\text{Mole ของ Feed ที่เข้าไป}} = \frac{(0.00123 - 0.000096842) * 100}{0.00123} = 92.13$$

$$\% \text{ Selectivity of Acrylonitrile} = \frac{\text{Mole ของ Product ที่ได้}}{\text{Mole ของ Feed ที่หายไป}} = \frac{0.000183491 * 100}{(0.00123 - 0.000096842)} = 16.19$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ใช้สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ภาวะและคุณสมบัติของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแสดงในตาราง ง1

ตารางที่ ง1 ภาวะและคุณสมบัติของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

	Product Type	
Property Gas Chromatography	Propylene	Acrylonitrile
Column Type	Polarpack Q	Polarpack Q
Detector Type	FID	FID
Temp.Column	100 °C	140 °C
Temp.Injector	140 °C	200 °C
Temp.Detector	140 °C	200 °C
Type Carrier gas	Nitrogen	Nitrogen
Flow rate Carrier gas	30 ul/minute	30 ul/minute

ภาคผนวก จ

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในงานวิจัยได้ทำการตรวจสอบตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกัน 2 แบบ คือ ด้วยเครื่อง XRD และ ด้วยเครื่อง Chemisorption ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ จ1 และ จ2

ตารางที่ จ1 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Palladium บน Activated Carbon ด้วยเครื่อง XRD

Concentration of Sample					
	Compound	Conc (%)		Compound	Conc (%)
1	MgO	<<	7	K ₂ O	0.543
2	Al ₂ O ₃	0.397	8	CaO	0.922
3	SiO ₂	0.432	9	MnO ₂	<<
4	P ₂ O ₅	0.128	10	Fe ₂ O ₃	0.966
5	SO ₃	0.34	11	Pd	8.549
6	Cl	2.058			

โดย << หมายถึง มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก

ตารางที่ จ2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Chemisorption

	Cu บน MBP	Cu บน Zeolite	Cu,Pd บน MBP
Active loop volume (mL STP)	0.04135	0.04135	0.04135
Cumulative volume (mL/g STP)	15.60287	11.0304	15.0624
Metal dispersion (%)	22.1158	13.6037	20.9687
Metallic surface area (m ² /g sample)	28.5106	20.5675	27.9523
Metallic surface area (m ² /g metal)	142.5532	82.27	136.2581
Active particle diameter (nm)	4.7186	7.8229	5.0123

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วิวัฒน์ ยิงสุทธิพันธุ์ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนวัดสุทธิวาราม พ.ศ. 2540 และสำเร็จชั้นปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเคมี เมื่อ พ.ศ. 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับชั้นปริญญาโทมหาบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีเทคนิค และสำเร็จการศึกษาเมื่อ พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย