

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

ไฮโดรจีเนชั่นของน้ำมันละหุ่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล

โดย

นายปิยะสาร ประเสริฐธรรม

(หัวหน้าโครงการ)

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2534

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
1. บทนำ	2
2. ภูมิหลังของงานวิจัย	4
3. การทดลอง	6
4. ผลการทดลอง	9
5. สรุปผลการทดลอง	25
เอกสารอ้างอิง	26

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ โดยการเสนอขอทุนจากงบประมาณแผ่นดิน ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประจำปีงบประมาณ 2534

ผู้วิจัยหวังว่า จะได้รับการสนับสนุนจากทางวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีต่อไปในอนาคต

1. บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำมันพืชในประเทศไทยได้แตกแขนงออกไปอย่างมาก และสินค้าซึ่งครั้งหนึ่งจัดว่าไม่มีใครมีความสำคัญนัก เช่น น้ำมันละหุ่ง ได้กลายมาเป็นบทบาทสำคัญในด้านการส่งออก และมักจะมีการแข่งขันทางด้านราคาในตลาดโลก น้ำมันละหุ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรชนิดหนึ่งซึ่งมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ดังนั้นชาวนาไทยจึงควรที่จะได้รับการสนับสนุนให้ปลูกละหุ่งแทนพืชผลชนิดอื่นซึ่งมีราคาต่ำ เพื่อที่จะเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจแก่ประเทศจึงควรที่จะมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ระดับล่าง เช่น dehydrated castor oil, hydrogenated castor oil, sulphated castor oil ฯลฯ

ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ดัดแปลงน้ำมันละหุ่ง และโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ castor wax (2-hydroxystearate) หรือที่เรียกว่า Opal wax ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้าย wax มีจุดหลอมเหลวสูง เปราะ และแข็ง wax ชนิดนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย ได้แก่ ใช้เป็นส่วนผสมที่ทนต่อน้ำมันและตัวทำละลาย ใช้เป็นตัวเคลือบผิวในภาชนะบรรจุอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมสีโดยช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการทาสีและป้องกันการจับตัวของสี เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่งซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์จำพวก castor wax

น้ำมันละหุ่งทำมาจากเมล็ดละหุ่ง โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ricinus communis L.* และเป็นไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันเหมือนกับไขมันทั่ว ๆ ไป ไขมันชนิดนี้มีลักษณะพิเศษกว่าชนิดอื่นคือจะประกอบด้วย กรดริซินอิลิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีอะตอมคาร์บอน 18 อะตอม ประมาณ 87-90 % สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ในน้ำมันละหุ่ง แสดงในตารางที่ 1.1

น้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่พบในธรรมชาติจะไม่พบว่ามีกรดไขมัน ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในปริมาณสูงเหมือนกับน้ำมันละหุ่ง ด้วยองค์ประกอบของกลีเซอไรด์ ซึ่งมีลักษณะพิเศษนี้จึงทำให้น้ำมันละหุ่งแตกต่างจากน้ำมันและไขมันพืชชนิดอื่น ๆ และมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ น้ำมันละหุ่งเป็นน้ำมันที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดในบรรดาน้ำมันทั้งหมด นอกจากนี้มันยังแตกต่างจากน้ำมันอื่นตรงที่มันสามารถจะละลายได้ในแอลกอฮอล์ แต่ก็มีข้อจำกัดด้านการละลายในตัวทำละลายปิโตรเลียมชนิดไฮโดรคาร์บอน น้ำมันละหุ่งที่บริสุทธิ์จะมีลักษณะใสออกเหลืองเล็กน้อย สำหรับคุณลักษณะต่างๆ ที่สำคัญของน้ำมันละหุ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 Fatty Acids Composition of Castor Oil

Fatty Acid	Percentage
Palmitic acid	0.9 to 1.2
Stearic acid	0.7 to 1.2
Oleic acid	3.2 to 3.3
Linoleic acid	3.4 to 3.7
Linolenic acid	0.2
Ricinoleic acid	89.0 to 89.4
Dihydroxy stearic acid	1.3 to 1.4

ตารางที่ 1.2 Characteristics of Castor Oil

Density (20 °C)	0.955 to 0.968 g/ml.
Refractive index n_D^{20}	1.476 to 1.479
Saponification Value	175 to 187
Iodine Value	82 to 88
Unsaponifiable matter	0.3 to 0.7 %
Hydroxyl Value	Minimum 160
Viscosity (20 °C)	9.5 to 11.0 poise
Miscibility	complete in alcohol and glacial acetic acid With hydrocarbons at normal temperatures in limited quantities, only

2. ภูมิหลังของงานวิจัย

ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่งได้เป็นหัวข้อที่มีผู้วิจัยหลายกลุ่มให้ความสนใจและทำการศึกษากายใต้ภาวะปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยมุ่งหวังที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าไฮดรอกซี (Hydroxy value) สูง และค่าไอโอดีน (Iodine value) ต่ำ งานวิจัยส่วนใหญ่ทำในประเทศอินเดีย และรัสเซียซึ่งสามารถผลิตเมล็ดละหุ่งได้ในปริมาณมาก สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมาพอจะกล่าวโดยสังเขปได้ดังต่อไปนี้

Deryabin และ Petrov [2] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่งในช่วงอุณหภูมิ 140-150 °C โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni หรือ Ni-Co จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่หลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 75 °C และค่าไอโอดีนมีค่าไม่เกิน 8

Paquot และ Richet [3] ได้รายงานว่ภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันทั้งหมดของน้ำมันละหุ่งโดยปราศจากการเกิดปฏิกิริยาดีออกซิเลชัน (Deoxygenation) คือความดันไฮโดรเจน 100-150 kg/cm² และอุณหภูมิ 100-110 °C หรือความดันไฮโดรเจน 50 kg/cm² และอุณหภูมิ 150 °C ในขณะที่ค่าความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ 230-240 °C พบว่าจะเกิดปฏิกิริยาดีออกซิเลชัน Gupta และ Aggarwal [4] พบว่าในกระบวนการเกิดไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2% Rufert nickel ที่อุณหภูมิต่ำ (150-160 °C) และความดันสูง (200 psi) จะขัดขวางการเกิดรีดักชัน (Reduction) ของหมู่ OH ในขณะที่อุณหภูมิสูง (250 °C) และความดันต่ำ (70-75 psi) แทนจะเกิดดีออกซิเลชันอย่างสมบูรณ์

Kaszanowski และ Jakabowski [5] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่งที่ความดัน 1.2 atm อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni พบว่าภายหลังจากที่ผ่านก๊าซไฮโดรเจนด้วยอัตรา 2 l/min เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์จะมีค่าไอโอดีน 14.1 ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification value) 184.8 ค่าความเป็นกรด (Acid value) 2.28 ค่าไฮดรอกซี 163.3 และจุดหลอมเหลว (Melting point) ที่ 79 °C

Nechaev[6] ได้ทำการตรวจสอบผลของตัวเร่งปฏิกิริยา Raney nickel และเปรียบเทียบกับผลของ Cu-Ni ซึ่งมีการใช้งานในวงกว้างในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันพืช พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับน้ำมันละหุ่งคือ 150 °C ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ซึ่งมีค่าเกินกว่า 1 % จะไม่มีผลในการเร่งปฏิกิริยาแต่อย่างใด และการกวน (Agitation) จะช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาอย่างเห็นได้ชัด

ในรายงานฉบับนี้ได้ศึกษาวภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกเกิล โดยการปรับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนผสมของโลหะผสมนิกเกิล-อะลูมิเนียม ต่อ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ระยะเวลาในการย่อยสลาย และอุณหภูมิในการย่อยสลาย

หาภาวะที่เหมาะสมในไฮโดรจีเนชันของตัวเร่งปฏิกิริยาเรนีเนียมเกิด โดยการปรับปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและความดันของปฏิกิริยาและผลของโลหะแพลเลเดียมต่อเนื่อง แล้วนำไปทดสอบปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันน้ำมันละหุ่ง

3. การทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาการหาองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน การหาสมบัติของ castor wax โดยในแต่ละส่วนจะอธิบายถึงวิธีการรวมถึงสารเคมีและเครื่องมือที่ใช้

3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

สารเคมีที่ใช้เป็นเกรดแอนาลาร์ โดย $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ผลิตโดย Fluka Chemic AG และโลหะผสมนิเกิล-อะลูมิเนียมที่ใช้ของ Wako Pure Chemical Industries , Ltd.

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยขวดขนาด 250 ml. มีเครื่องควบแน่นเพื่อป้องกันการสูญเสีย น้ำ มีภาชนะใส่น้ำมันร้อน เป็นตัวให้ความร้อนแก่ขวดใส่สาร โดยมีระบบควบคุมอุณหภูมิช่วย

3.1.3 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามีดังนี้

3.1.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิล

a) ใส่น้ำ NaOH (ปราศจากน้ำ) จำนวน 5 กรัม ลงในขวดขนาด 250 ml. เติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อให้น้ำหนักรวมเป็น 20 กรัมจนกระทั่ง NaOH ละลายน้ำอย่างสมบูรณ์

b) วางขวดที่บรรจุสารละลาย NaOH ลงในภาชนะที่ใส่น้ำแข็ง ค่อยๆ เทโลหะผสมนิเกิล-อะลูมิเนียม ปริมาณ 1 กรัม ลงในขวดที่มีสารละลาย NaOH พร้อมทั้งกวนอย่างต่อเนื่อง

c) นำเอาเครื่องควบแน่นมาติดตั้งบนขวดที่บรรจุสารละลาย NaOH กับโลหะผสมนิเกิล-อะลูมิเนียม นำทั้งชุดนี้ไปจุ่มในภาชนะบรรจุน้ำมันร้อน ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ ให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายดำเนินไปจนครบเวลาที่กำหนด

d) เทของผสมลงในถ้วยแก้วขนาด 100 ml. แล้วรินส่วนที่เป็นของเหลวทิ้ง

e) ล้างตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยน้ำกลั่น

f) เติมน้ำมันละหุ่ง 20 กรัมลงบนตัวเร่งปฏิกิริยา

g) ให้ความร้อนพร้อมกวนแก่น้ำมันละหุ่งที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วยจนอุณหภูมิถึง $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อไล่น้ำที่เหลือออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาจนหมด ขณะนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาพร้อมที่จะนำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

3.1.2. การเติมแพลเลเดียมลงในตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกเกิล

a) ชั่งน้ำหนักของ $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ จนมีน้ำหนักเท่ากับค่าอัตราส่วนของ Pd/Ni (โลหะ/โลหะ) ตามที่ต้องการ ใส่ $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ลงในถ้วยแก้วขนาด 100 ml. เติมน้ำกลั่นจนน้ำหนักของของผสมเท่ากับ 30 กรัม กวนเพื่อให้สารประกอบ Pd ละลายน้ำ

b) เทสารละลายของเกลือแพลเลเดียมลงในตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกเกิล (ซึ่งได้จากขั้นตอน (e) ของหัวข้อ 3.1.3.1 แล้วกวนเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

c) เทของเหลวออก

d) ทำเหมือนขั้นตอน (f) ของหัวข้อ 3.1.3.1

3.2 การหาค่าประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

วัดองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICPS) ย่อยตัวเร่งปฏิกิริยาให้เป็นสารละลายโดยใช้กรด HNO_3 เข้มข้น

3.3 ไฮโดรจีเนชัน

เติมน้ำมันละหุ่ง 200 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ในปริมาณที่เหมาะสมลงในเครื่องปฏิกรณ์ ขนาด 1 ลิตร (ระบบของเครื่องปฏิกรณ์ดูในรูป 3.1) ก่อนเริ่มทำปฏิกิริยาจะตรวจสอบว่าระบบมีการรั่วหรือไม่โดยการอัดแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในระบบเป็นเวลา 1/2 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบการรั่ว เมื่อไม่พบการรั่วจะปล่อยแก๊สไนโตรเจนออก แล้วแทนที่ด้วยแก๊สไนโตรเจนที่ความดันตามต้องการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ จนถึงอุณหภูมิตามต้องการ คงอุณหภูมิไว้โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประมาณ 4 ชั่วโมง เมื่อหยุดปฏิกิริยาจะลดอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ลงเหลือ 90°C โดยใช้น้ำหล่อเย็นผ่านท่อที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ เทไซท์ที่ได้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์แล้วกรองไซท์ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยา ไซท์ได้นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

- | | | | |
|--------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 1 H ₂ tank | 6 Pressure regulator | 11 On-off valve | 16 Automatic temperature controller |
| 2 Pressure regulator | 7 Three-way valve | 12 Pressure gauge | 17 Thermocouple |
| 3 On-off valve | 8 Pressure gauge | 13 Needle valve | 18 Adjustable speed motor controller |
| 4 Supplied H ₂ tank | 9 Pressure regulator | 14 Reactor | |
| 5 N ₂ tank | 10 On-off valve | 15 On-off valve | |

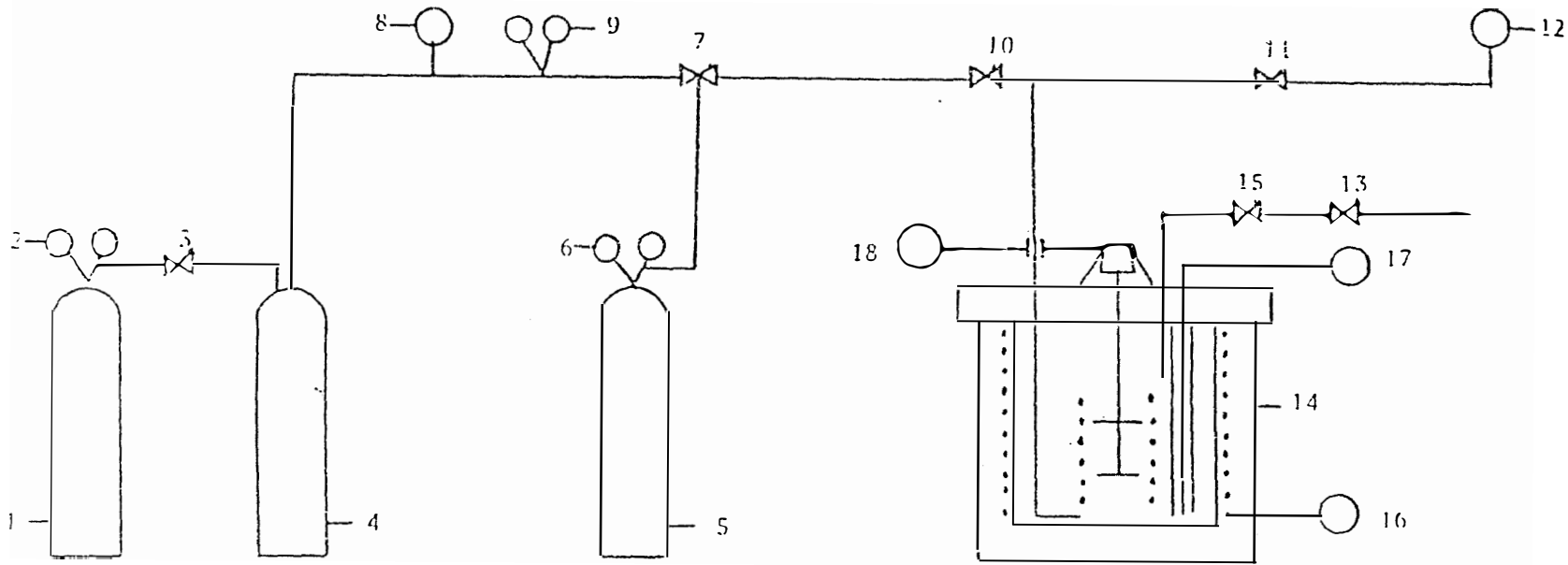


Fig. 3.1 Flow Diagram of the Hydrogenation System

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลของตัวแปรในการเตรียมของตัวปฏิกริยาเรเนียนิกิล

เตรียมตัวเร่งปฏิกริยาขึ้นโดยใช้ภาวะการเตรียมต่าง ๆ กัน และทดสอบตัวเร่งปฏิกริยาที่ได้โดยการไฮโดรจีเนตน้ำมันละหุ่งที่ 150°C ภายใต้ความดัน 150 psig และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกริยานิกิล/น้ำมัน 0.1 % โดยน้ำหนัก

ผลของภาวะต่าง ๆ ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกริยาเรเนียนิกิล มีดังนี้

4.1.1 ผลของระยะเวลาในการย่อยสลาย

ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกริยาเรเนียนิกิล จะใช้อุณหภูมิของการย่อยสลายที่ 110°C ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 % และอัตราส่วนระหว่างโลหะผสม นิกิล - อลูมิเนียมต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ปราศจากน้ำ) เท่ากับ 1:5 ระยะเวลาในการย่อยสลายเป็น 1, 2 และ 3 ชั่วโมง โดยสมมติชื่อตัวเร่งปฏิกริยาเป็น T_1, T_2 และ T_3 ตามลำดับ

จากผลที่แสดงในรูป 4.1 ปรากฏว่าค่าการละลายของไฮโดรเจนสำหรับ T_2 และ T_3 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่จะสูงกว่าของ T_1 ดังนั้นจะหมายถึงตัวเร่งปฏิกริยา T_2 และ T_3 จะมีความว่องไวเหมือนกัน และจะว่องไวกว่า T_1

จากแนวความคิดทางเทอร์โมไดนามิกส์ อาจสรุปได้ว่าปฏิกริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโลหะผสม นิกิล-อลูมิเนียม ต้องใช้เวลาถึง 3 ชั่วโมงในการเข้าสู่สมดุล ดังนั้นระยะเวลาในการย่อยสลาย จะเลือกใช้ที่ 3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการย่อยสลายอาจใช้เป็น 2 ชั่วโมงก็ได้ เพื่อการเตรียมตัวเร่งปฏิกริยาจะใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุด

4.1.2 ผลของอุณหภูมิการย่อยสลาย

ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย่อยสลายเป็น 90°C , 110°C , 130°C และ 150°C ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโลหะผสม นิกิล-อลูมิเนียม เท่ากับ 2 ชั่วโมง ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% และอัตราส่วนของโลหะผสมต่อ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1:5 โดยสมมติชื่อของตัวเร่งปฏิกริยาเป็น TE1 , TE2 , TE3 และ TE4 ตามลำดับ

ผลลัพธ์แสดงในรูป 4.2 โดยตัวเร่งปฏิกริยา TE2 จะมีความว่องไวมากที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมตัวเร่งปฏิกริยาเรเนียนิกิลคือ 110°C ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

ปฏิกริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโลหะผสม นิกิล-อลูมิเนียม เหมือนกับการเกิดปฏิกริยาอื่น ๆ อีกมากมาย จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิของปฏิกริยาที่มีค่าสูงกว่า จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกริยาดีกว่า ดังนั้นการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้เกิดความว่องไวมากกว่า อย่างไรก็ตามถ้าอุณหภูมิของการย่อยสลายสูงเกินไป โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของตัวเร่ง

ปฏิกิริยาเรเนียน์ จะถูกทำลาย ทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงตาม พื้นที่ผิวลดลงด้วย นั่นคือ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลถึงการทำลายโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า ดังนั้นจะต้องเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด

4.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์

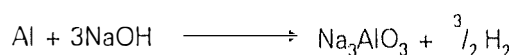
ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็น 12.5, 16.7 และ 25% ตามลำดับ (สาเหตุที่ใช้ค่าสูงสุดเป็น 25% เพราะเมื่อความเข้มข้นมากกว่า 25 % ไฮเดียมไฮดรอกไซด์จะละลายในน้ำได้ไม่สมบูรณ์) โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮเดียมไฮดรอกไซด์และโลหะผสม นิกเกิล-อลูมิเนียม เท่ากับ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 110 °C และอัตราส่วนของโลหะผสมต่อไฮเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1:5 และสมมติชื่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น C₁, C₂ และ C₃ ตามลำดับ

ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนแสดงในรูป 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะดีขึ้นด้วย (C₁ > C₂ > C₃) ที่เป็นเช่นนี้สามารถที่จะอธิบายง่าย ๆ ด้วยจำนวนครั้งในเวลาที่กำหนดสำหรับโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ชนและทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันดังนี้ พิจารณาปริมาตรคงที่ เมื่อความเข้มข้นเจือจาง ความหนาแน่นของโมเลกุลที่ถูกทำปฏิกิริยาจะลดลง ผลก็คือจำนวนครั้งของโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ชนกันจะมีค่าต่ำลง ดังนั้นในเวลาที่กำหนด อัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับความเข้มข้นต่ำจะไม่สูงพอที่จะเข้าสู่สมดุลได้

4.1.4 ผลของอัตราส่วนของโลหะผสมนิกเกิล-อลูมิเนียมต่อไฮเดียมไฮดรอกไซด์ (ที่ปราศจากน้ำ)

ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของโลหะผสมนิกเกิล-อลูมิเนียมต่อไฮเดียมไฮดรอกไซด์(ที่ปราศจากน้ำ) จะใช้ที่ 1:3, 1:5 และ 1:7.5 ตามลำดับ ปฏิกิริยาระหว่างไฮเดียมไฮดรอกไซด์และโลหะผสมนิกเกิล-อลูมิเนียม กระทำที่ 110 °C ระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ 25 % และสมมติชื่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น R₁, R₂ และ R₃ ตามลำดับ ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนแสดงในรูป 4.4 จะพบว่าปริมาณการใช้ไฮโดรเจนจะใกล้เคียงกันมาก จึงสรุปโดยพิจารณาสมการเคมีข้างล่างประกอบ ว่ามีอัตราส่วนของโลหะผสมต่อไฮเดียมไฮดรอกไซด์ จะไม่มีผลต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ ตรวจดูเมื่อปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใส่มีมากเกินไปพอ

สมการเคมีคือ



ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าภาวะที่ดีที่สุดในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียน์นิกเกิลคือ ที่อุณหภูมิการย่อยสลาย 110 °C ระยะเวลาการย่อยสลายเป็น 2 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสาร

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 25 % และอัตราส่วนของ โลหะผสมนิกเกิล-อลูมิเนียม ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1:5

4.2 ภาวะที่เหมาะสมในไฮโดรจีเนชันของตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกเกิล

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกเกิลจะเตรียมที่ภาวะที่ดีที่สุด โดยใช้ข้อมูลจากหัวข้อ 4.1 และใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่งโดยจะเปลี่ยนแปลงภาวะของปฏิกิริยาเช่น ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและความดัน ผลลัพธ์ที่ได้มีดังนี้

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันละหุ่งเป็น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แล้วไฮโดรจีเนชันน้ำมันละหุ่งที่ 150 °C ภายใต้ความดัน 150 psig และระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาเป็น 4 ชั่วโมง ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนแสดงในรูป 4.5

จากรูป 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับไฮโดรจีเนชันมีค่าสูงขึ้น ค่า induction period จะสั้นลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/น้ำมัน เพิ่มขึ้นจาก 0.3 ถึง 0.4 % อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีก็ยังคงเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มอย่างช้า ๆ ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ส่วนหนึ่งของ active sites จะเสียไปโดยสิ่งเจือปนในน้ำมันละหุ่ง การสูญเสียนี้โดยทั่วไปจะเกิดแบบสุ่ม

2. ส่วนอื่น ๆ จะดูดซับโมเลกุลของน้ำมัน และแก๊สไฮโดรเจน และดูดซับบนไซท์ข้างเคียง (adjacent sites) ปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้น

นั่นคือถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้น้อย และมีจำนวนของ active sites ที่สูญเสียไป ความน่าจะเป็นของการพบกลุ่ม adjacent sites สำหรับน้ำมันและไฮโดรเจนที่จะดูดซับและทำปฏิกิริยาได้ก็จะมีค่าต่ำดังนั้นจำนวนกลุ่มของ adjacent sites จึงมีค่าต่ำ สำหรับกรณีนี้สามารถอธิบายถึงไฮโดรจีเนตของน้ำมันละหุ่ง โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำได้ นั่นคือในกรณีของอัตราส่วนนิกเกิล/น้ำมันละหุ่ง เท่ากับ 0.1 % ซึ่งพบว่า induction period ยาว และอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ

เมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากขึ้น ทั้งความน่าจะเป็นของการพบกลุ่มของ adjacent sites และจำนวนของกลุ่ม adjacent sites จะสูงขึ้น จึงส่งผลทำให้ induction periods สั้นลง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ซึ่งเป็นกรณีของไฮโดรจีเนตของน้ำมันละหุ่งโดยใช้อัตราส่วนนิกเกิล/น้ำมัน เป็น 0.2, 0.3 และ 0.4 % ตามลำดับ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่ง จะตัดสินใจเลือกอัตราส่วนนิเกิล/น้ำมัน เป็น 0.3 % เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปฏิกิริยาเป็น 130,150 และ 170 °C ตามลำดับ โดยทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันภายใต้ความดัน 150 psig และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิล/น้ำมันละหุ่งเป็น 0.3% ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนแสดงใน 4.6

ในรูป 4.6 ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนที่ 170°C จะสูงกว่าที่ 150 °C ซึ่งทั้งสองเส้นโค้งจะอยู่เหนือเส้นโค้งของปริมาณการใช้ไฮโดรเจนที่ 130 °C นั้นหมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเรนีเย์นิเกิลจะมีความว่องไวดีขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้อุณหภูมิของไฮโดรจีเนชันเหมาะสม ยังมีสิ่งอื่นที่อาจจะต้องนำมาพิจารณา ในการศึกษาเรื่องนี้ที่ผ่านมาในอดีตได้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิของไฮโดรจีเนชันให้สูงขึ้น ทำให้ค่าไฮดรอกซี ลดลงอย่างมาก ดังนั้นจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิของไฮโดรจีเนชัน จึงไม่ควรเกิน 150 °C

ตามรูป 4.6 ปรากฏว่า ถึงแม้ว่าความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเรนีเย์นิเกิลที่ 170 °C จะว่องไวมากกว่า แต่ก็ไม่มากกว่าที่ 150 °C มากนักดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมจะใช้ 150 °C

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงความดันของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

ทำการเปลี่ยนแปลงความดันของปฏิกิริยาเป็น 100,125,150 และ 175 psig ตามลำดับโดยทำไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่งที่ 150 °C ระยะเวลา 4 ชั่วโมง และใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิล/น้ำมัน เป็น 0.3 % ปริมาณการใช้ไฮโดรเจน

ในรูป 4.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาเรนีเย์นิเกิลจะให้ความว่องไวมากที่สุดที่ความดัน 125 psig ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเรนีเย์นิเกิลที่ 125,150 และ 175 psig ตามลำดับ จะ แตกต่างกันไม่มาก จึงเลือกใช้ความดันที่ดีที่สุดเป็น 125 psig

สรุปได้ว่า ภาวะที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่ง โดยใช้ปฏิกิริยาเรนีเย์นิเกิลคือ อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 125 psig และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิล/น้ำมันเป็น 0.3 % Hydrogenated castor wax ที่ได้จากปฏิกิริยาภายใต้ภาวะนี้จะมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 5.56 ค่าไฮดรอกซิล 160.78 และค่าความเป็นกรด 0.99 (ดังแสดงในตาราง 4 1)

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติต่าง ๆ ของไขที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ

Type of catalyst	measured value of Pd / Ni (%)	Properties of castor Waxes		
		I.V	OH.V.	A.V.
Raney nickel		87.31*	165.77*	0.69*
Pd1	0.42	5.56	160.78	0.99
Pd2	0.81	3.54	160.28	1.00
Pd3	0.94	3.29	160.83	0.96
Pd4	1.45	4.17	157.15	1.12
		6.01	152.67	0.97

(*) means the properties of castor oil before hydrogenated.

4.3 ผลของแพลเลเดียมต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิล

ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลโดยทั่วไปจะเตรียมขึ้นตามวิธีการที่ได้อธิบายแล้ว โดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดจากหัวข้อ 4.1 ทำการเติมแพลเลเดียมลงในตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เกลือ $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ อัตราส่วนของแพลเลเดียม/นิกิล (โลหะ/โลหะ) จะกำหนดเป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 % ตามลำดับ และสมมติชื่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น Pd1, Pd2, Pd3 และ Pd4 ตามลำดับ นำตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้มาวิเคราะห์โดย ICPS (Inductively Coupled Plasma Spectrometry) เพื่อหาค่าอัตราส่วนของแพลเลเดียม/นิกิล ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 4.1 นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มาทดสอบในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของน้ำมันละหุ่ง โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานิกิล/น้ำมัน เท่ากับ 0.2 % ความดันไฮโดรเจน 150 psig และอุณหภูมิที่ 150 °C

ผลของความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลที่มีแพลเลเดียมร่วมด้วย แสดงในรูปที่ 4.8 ในรูปนี้ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนของ Pd1, Pd2, Pd3 และ Pd4 จะเปรียบเทียบกับ ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลเพียงอย่างเดียว

ปรากฏว่าความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลเมื่อมีแพลเลเดียมร่วมด้วย (ไม่เกิน 1.0 %) จะมีค่าสูงกว่าความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลร่วมกับแพลเลเดียม (ไม่เกิน 1.0 %) จะสูงกว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลบริสุทธิ์

2. Induction period ของปฏิกิริยาจะสั้นกว่า

3. ค่า Asymptotes ของเส้นโค้งการละลายของไฮโดรเจนของ Pd1 และ Pd2 จะเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งสูงชัน ค่าไอโอดีน (I.V.) ของ castor waxes สุดท้าย เมื่อใช้ Pd1 และ Pd2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะต่ำกว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรเนียนิกิลบริสุทธิ์ ขณะที่ค่าไฮดรอกซิลและค่าความเป็นกรดของทั้งคู่เกือบจะเท่ากัน (ดูตารางที่ 4.1 ประกอบ) นั่นคือเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลร่วมกับแพลเลเดียม (ไม่เกิน 1.0%) จะไปเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของพันธะคู่ที่ต้องการในน้ำมันละหุ่ง

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างความว่องไวของ Pd1 และ Pd2 สามารถอธิบายว่า Pd2 จะมีความว่องไวมากกว่า Pd1 เพราะ Induction time ที่สั้นกว่า และ ค่าไอโอดีนต่ำกว่า ขณะที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาและ Asymptotes ของเส้นโค้งการละลายของไฮโดรเจน จะมีค่าใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราส่วนของแพลเลเดียม/นิกิลมากกว่า 1.0 % (Pd3 และ Pd4) เส้นโค้งของปริมาณการใช้ไฮโดรเจนไม่แสดงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ผลที่ได้มีดังนี้

เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลใช้ร่วมกับแพลเลเดียมในอัตราส่วนของแพลเลเดียม/นิกิลเกินกว่า 10 % ค่า Asymptotes ของเส้นโค้งของปริมาณการใช้ไฮโดรเจนจะเหมือนกับของ

ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิเกิลบริสุทธิ์ ขณะที่ค่าไฮดรอกซิลจะต่ำลงอย่างมาก ในทางกลับกันค่าไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไฮดรอกซิเลชันจะสามารถแข่งกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของพันธะคู่ นั่นคือแทนที่จะเร่งการเติมไฮโดรเจนบนพันธะคู่ ตัวเร่งปฏิกิริยากลับเร่งให้หมู่ไฮดรอกซิลทำปฏิกิริยากับ อะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่ข้างเคียงเกิดเป็นพันธะคู่ใหม่ขึ้นได้โมเลกุลของน้ำมัน

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าความว่องไวและการเลือกเกิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิเกิลในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของพันธะคู่ในน้ำมันละหุ่งดีขึ้น โดยการใส่สารประกอบแพลเลเดียมร่วมด้วยในอัตราส่วนของ แพลเลเดียม/นิเกิล (โลหะ/โลหะ) ไม่เกิน 1.0 % (โดยน้ำหนัก) อย่างไรก็ตามถ้าสารประกอบแพลเลเดียมใช้ในอัตราส่วนเกิน 1.0 % ค่าความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิเกิลจะเป็นไปในทางตรงข้าม และค่าการเลือกเกิดจะเปลี่ยนไปเป็นปฏิกิริยาดีไฮดรอกซิเลชัน

ผลการวัด H_2 adsorption และ BET ของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณการดูดซึมของ H_2 บนตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิล และตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิกิลที่มีการเติมโลหะแพลเลเดียมในปริมาณต่างๆ

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณดูดซึม H_2 (cc/กรัม ของตัวเร่งปฏิกิริยา)
เรเนียนิกิล	2.2356
Pd / Ni = 0.5	2.3817
Pd / Ni = 0.5	1.9487
Pd / Ni = 0.5	2.3923
Pd / Ni = 0.5	1.6268

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวทั้งหมด (ตร.เมตร/กรัม)
เรเนียนิกิล	3.60
Pd / Ni = 0.5	10.03
Pd / Ni = 1.0	6.82
Pd / Ni = 1.5	7.67
Pd / Ni = 2.0	3.47

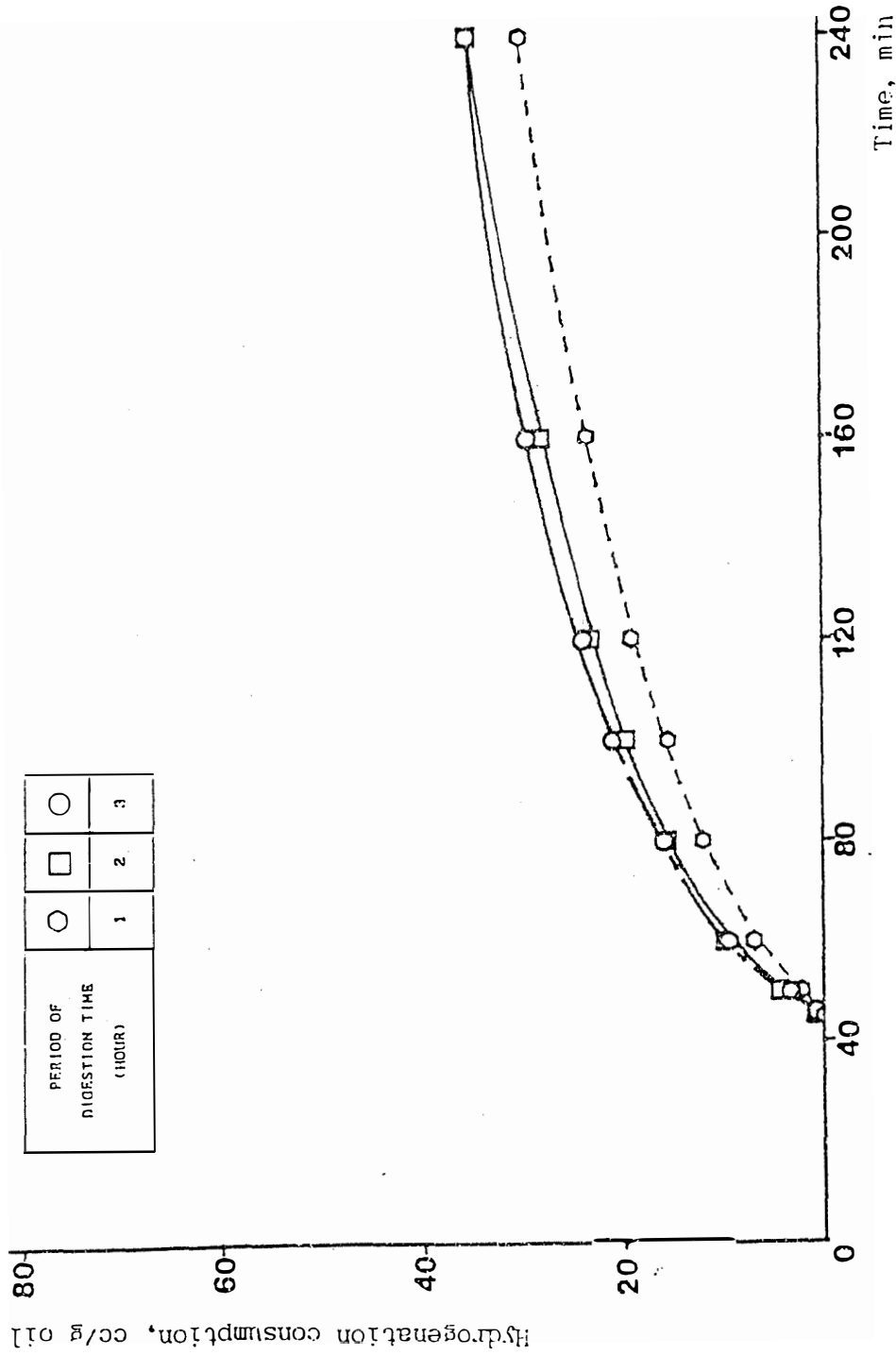


Fig. 4.1 Effect of Digestion Time on Activity of Catalyst for the Hydrogenation:
 Alloy: NaOH = 1:5 ; Conc. of NaOH = 25% (wt/wt) ; Digestion Temp. = 110 °C.
 Reaction : Temp. = 150 °C ; H₂ Press. = 150 psig ; 800rpm ; Cat. Conc. = 0.1% Ni/oil.

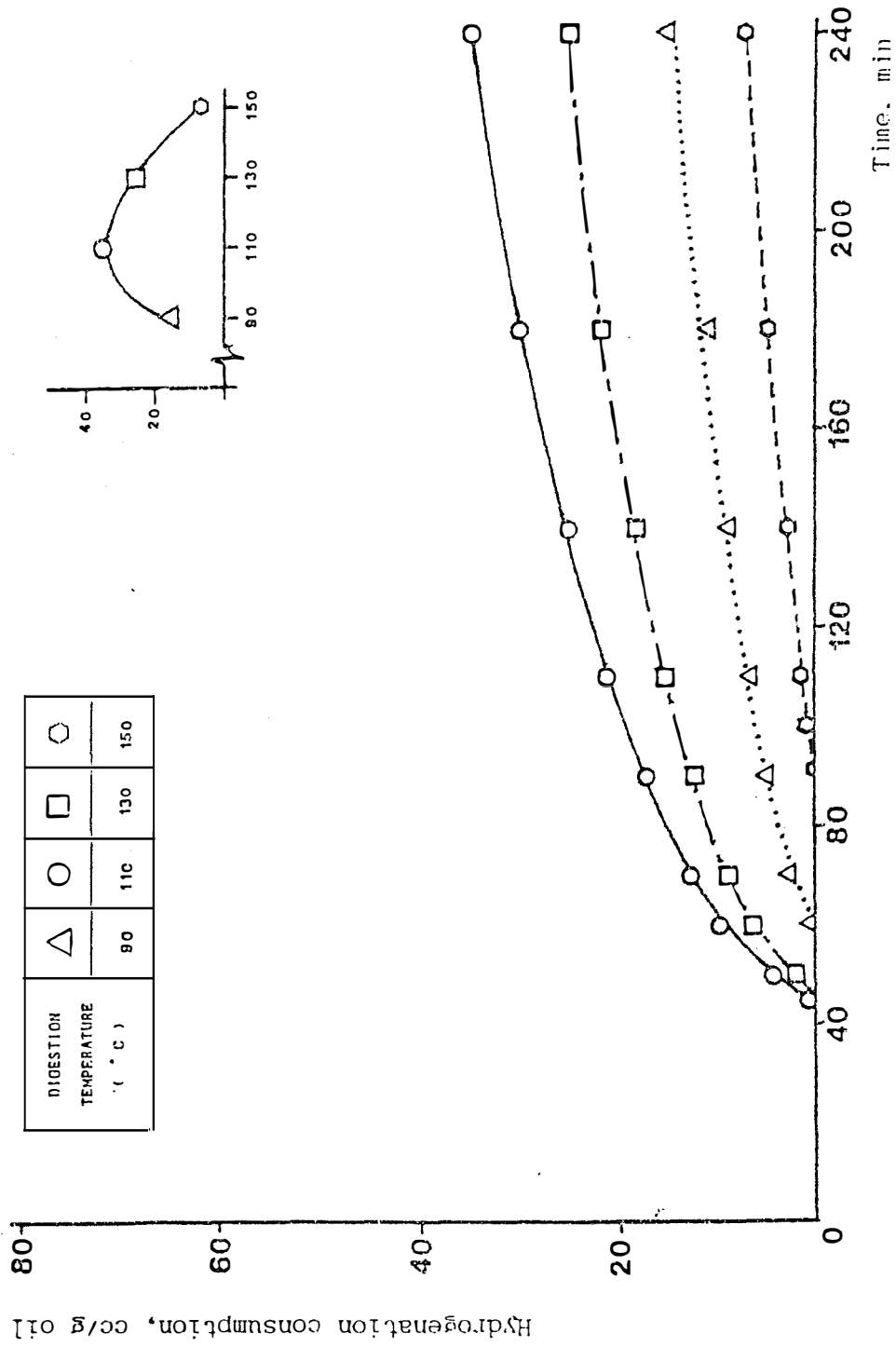


Fig. 4.2 Effect of Digestion Temperature on Activity of Catalyst for the Hydrogenation:
 Alloy: NaOH = 1:5 ; Conc. of NaOH = 25% (wt/wt) ; Digestion Time. = 2 hr.
 Reaction : Temp. = 150 °C ; H₂ Press. = 150 psig. ; 800rpm. ; Cat. Conc. = 0.1% Ni/oil.

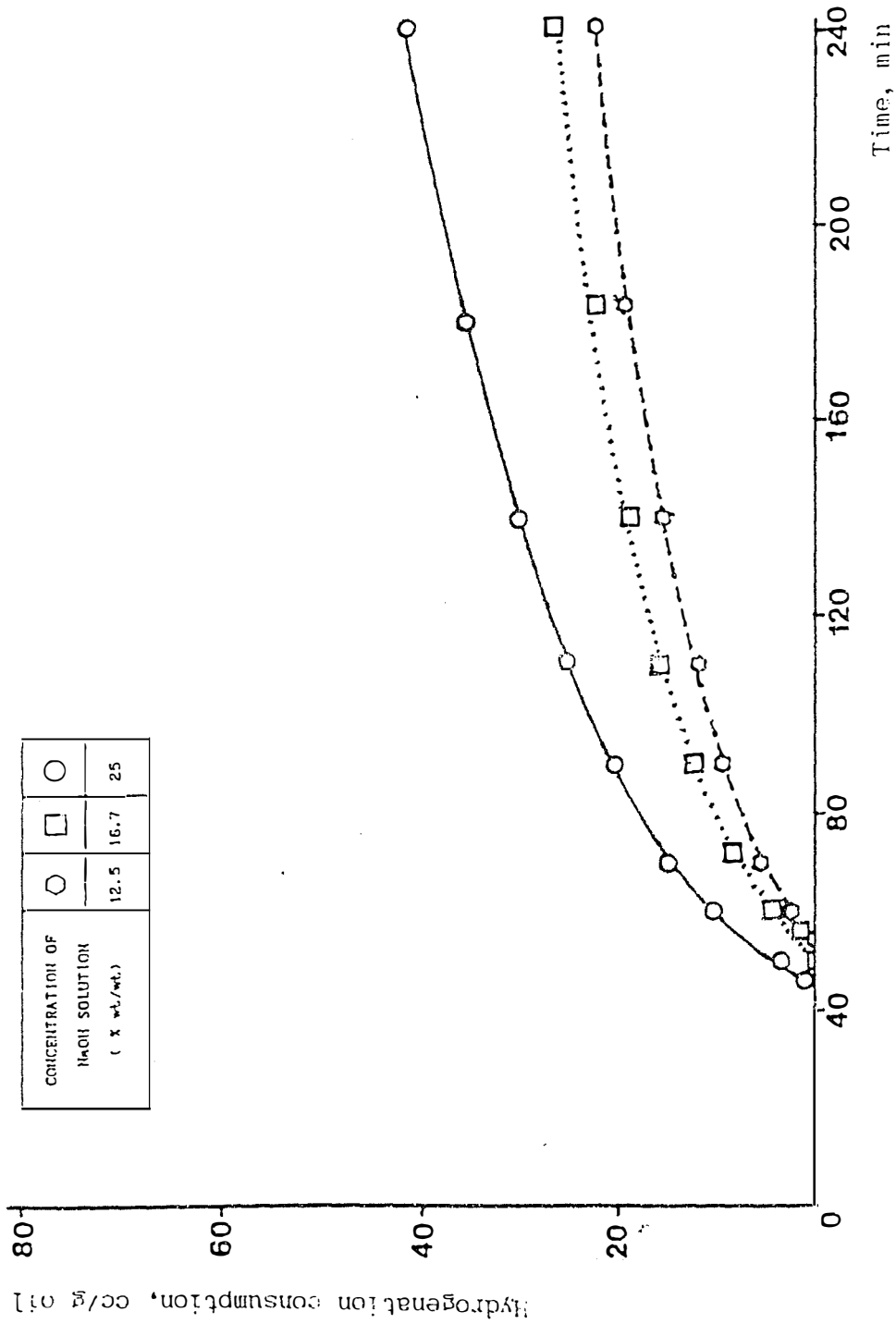


Fig. 4.3 Effect of NaOH Concentration on Activity of Catalyst for the Hydrogenation:
 Alloy: NaOH = 1:5 ; Digestion Time. = 2 hr.; Digestion Temp. = 110 °C
 Reaction : Temp. = 150 °C ; H₂ Press. = 150 psig ; 800rpm.; Cat. Conc. = 0.1% Ni/oil.

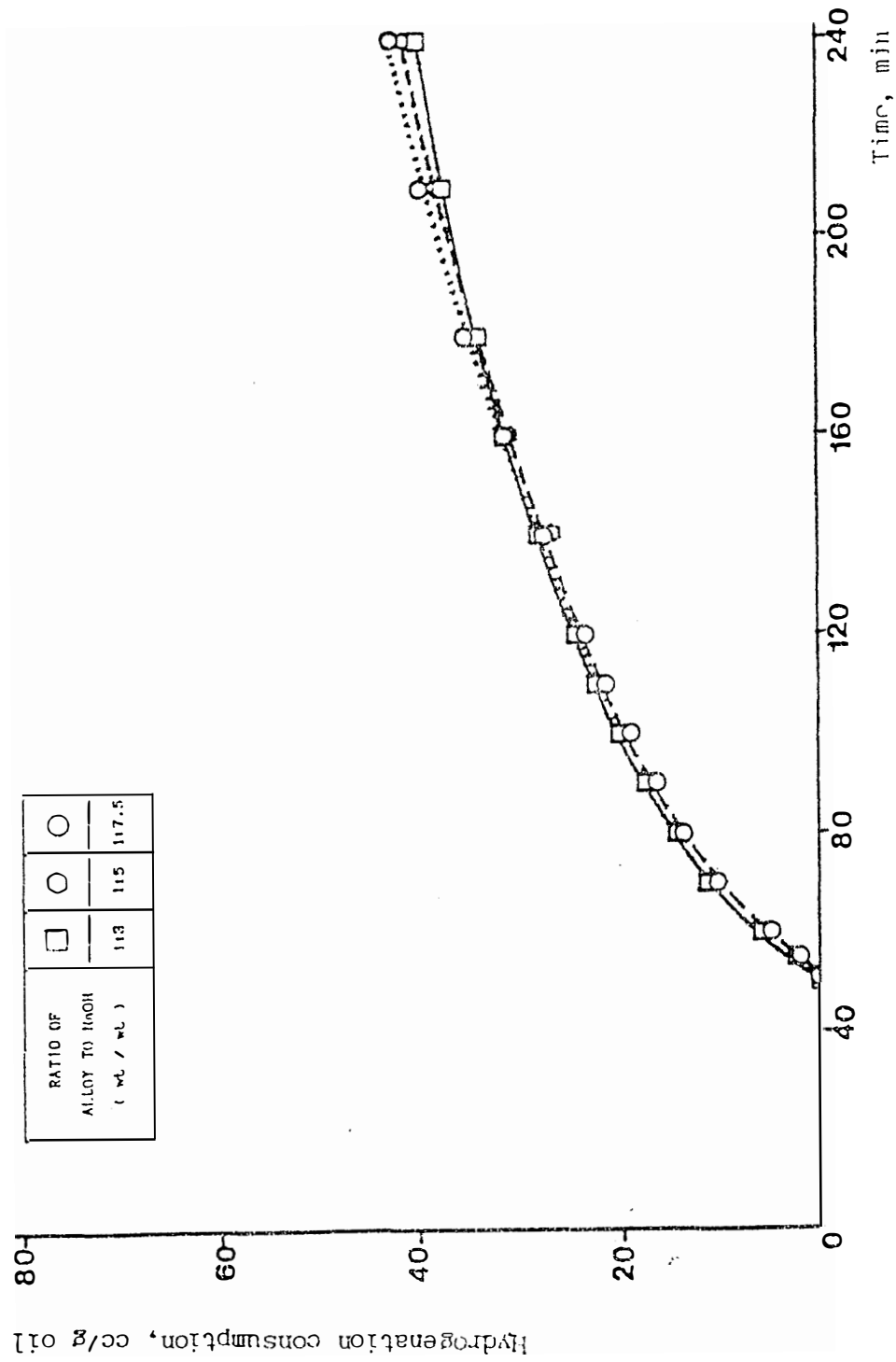


Fig. 4.4 Effect of Alloy to NaOH Ratio on Activity of Catalyst for the Hydrogenation:
 Conc. of NaOH = 25 % ; Digestion Time. = 2 hr ; Digestion Temp. = 110 °C
 Reaction : Temp. = 150 °C ; H₂ Press. = 150 psig. ; 800rpm ; Cat. Conc. = 0.1%

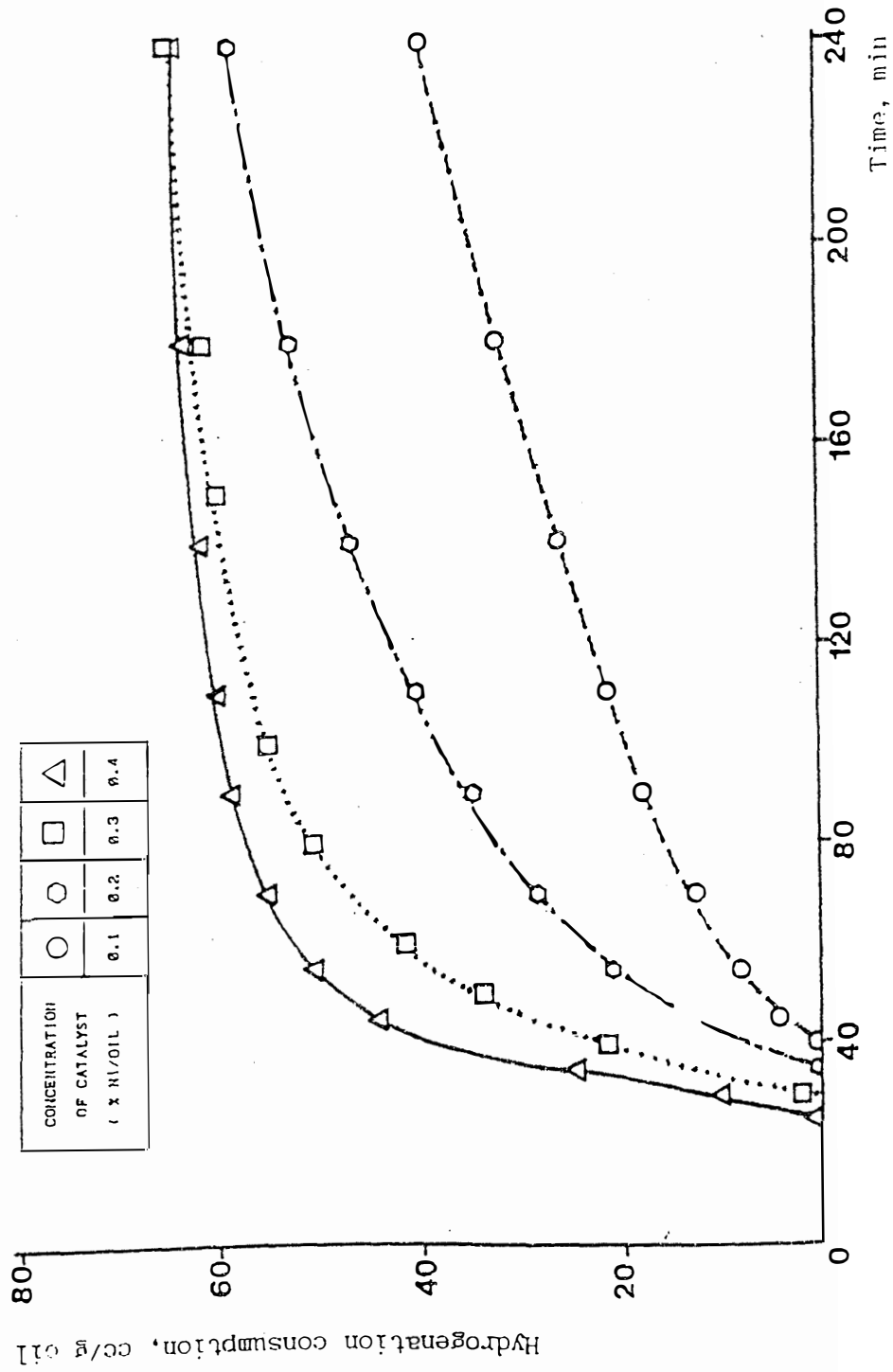


Fig. 4.5 Effect of Catalyst Amount for the Hydrogenation of Castor Oil :

Preparation : Alloy: NaOH = 1:3 ; Conc. of NaOH = 25 % ; Digestion Time. = 2 hr.

Digestion Temp. = 110 °C. Reaction : Temp. = 150 °C ; H₂ Press. = 150 psig. ; 800 rpm.

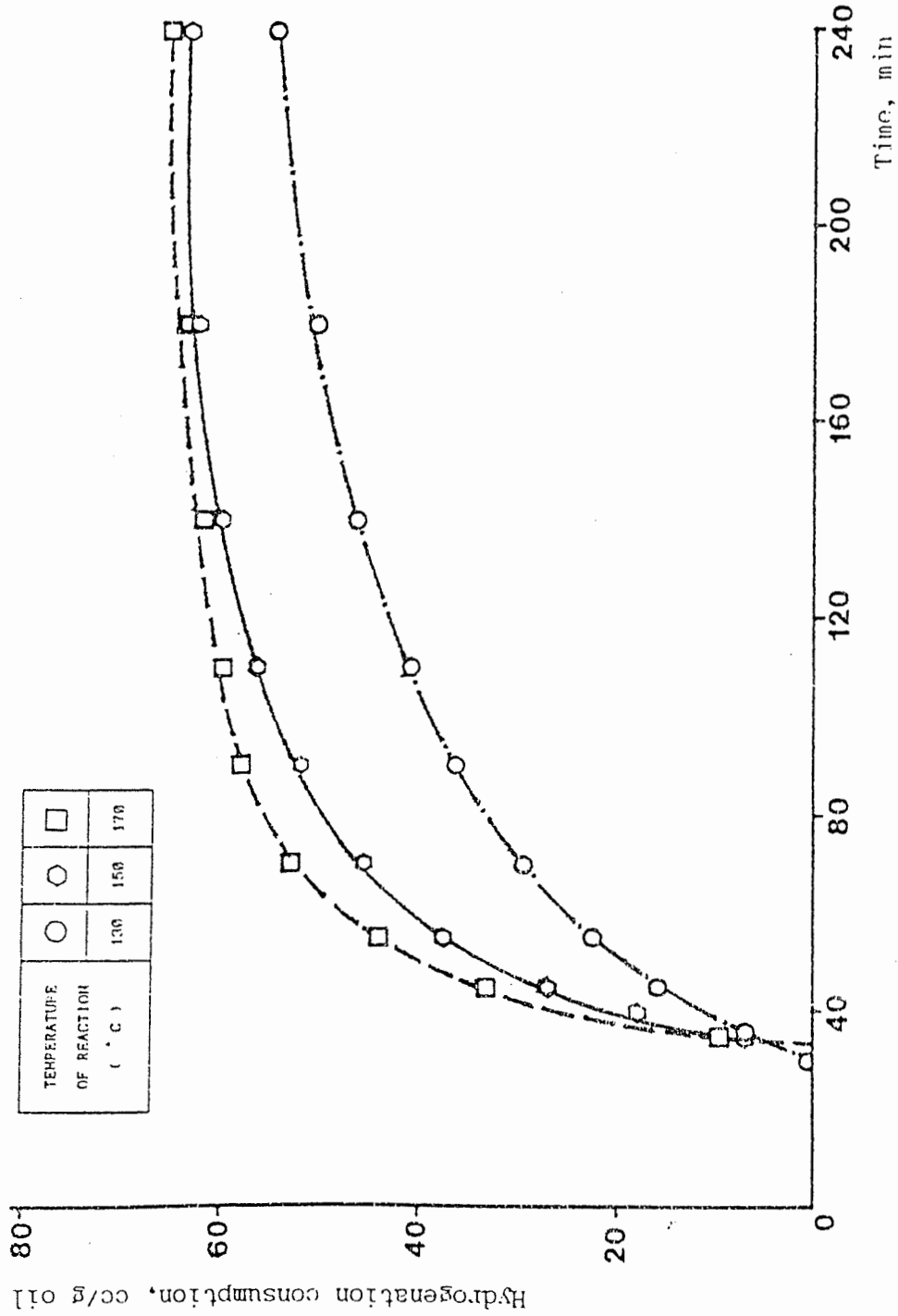


Fig. 4.6 Effect of Reaction Temperature on Activity of Catalyst for the Hydrogenation:
 Preparation : Alloy: NaOH = 1:3 ; Conc. of NaOH = 25 % ; Digestion Time. = 2 hr.
 Digestion Temp. = 110 °C Reaction : Cat. Conc = 0.3 % ; H₂ Press. = 150 psig.; 800 rpm

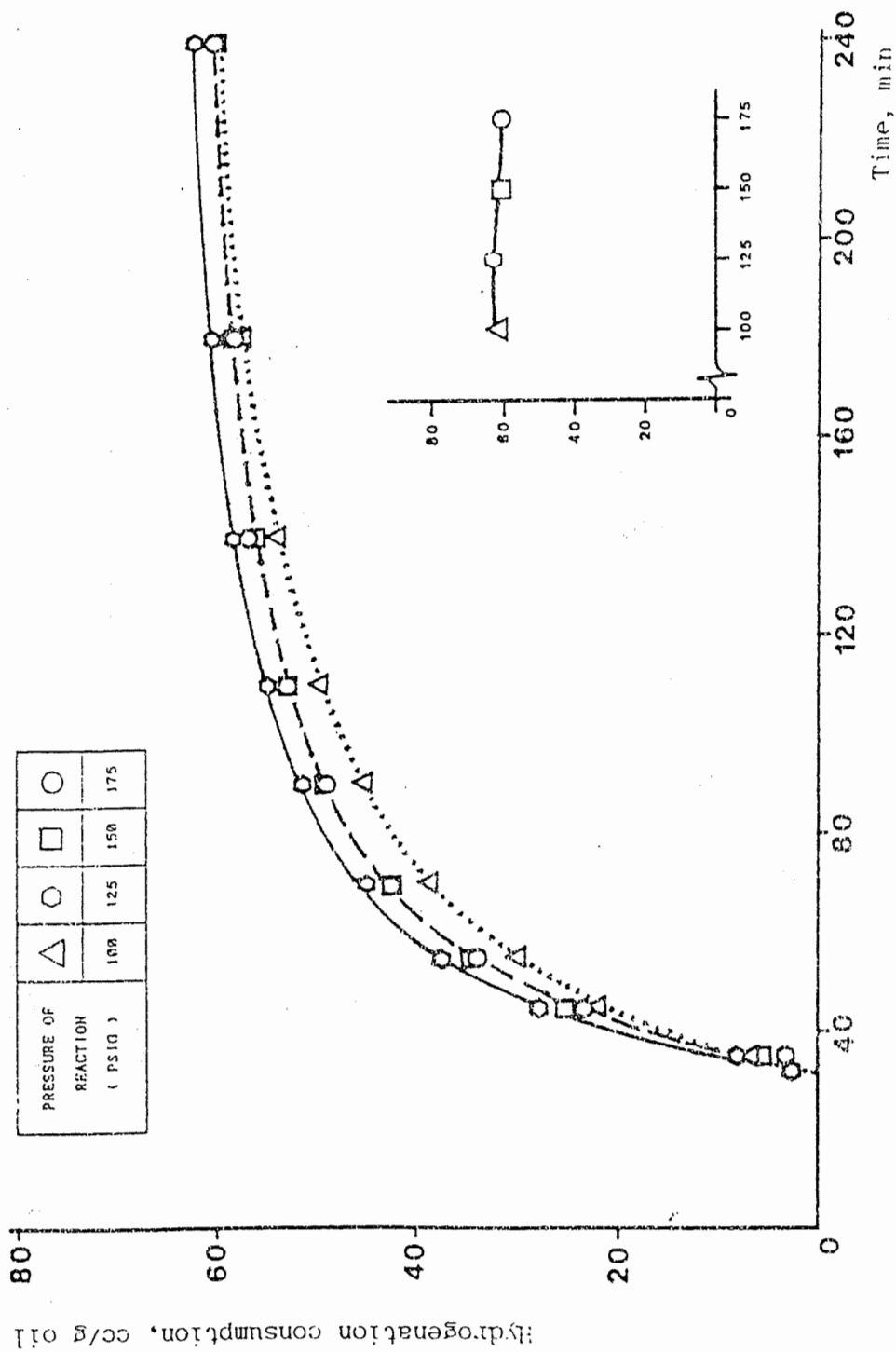


Fig. 4.7 Effect of Hydrogen Pressure on Activity of Catalyst for the Hydrogenation:

Alloy: NaOH = 1:3 ; Conc. of NaOH = 25 % ; Digestion Time. = 2 hr.

Digestion Temp. = 110 °C.; Reaction : Cat. Conc. = 0.3% ; Temp. = 150 °C ; 800 rpm.

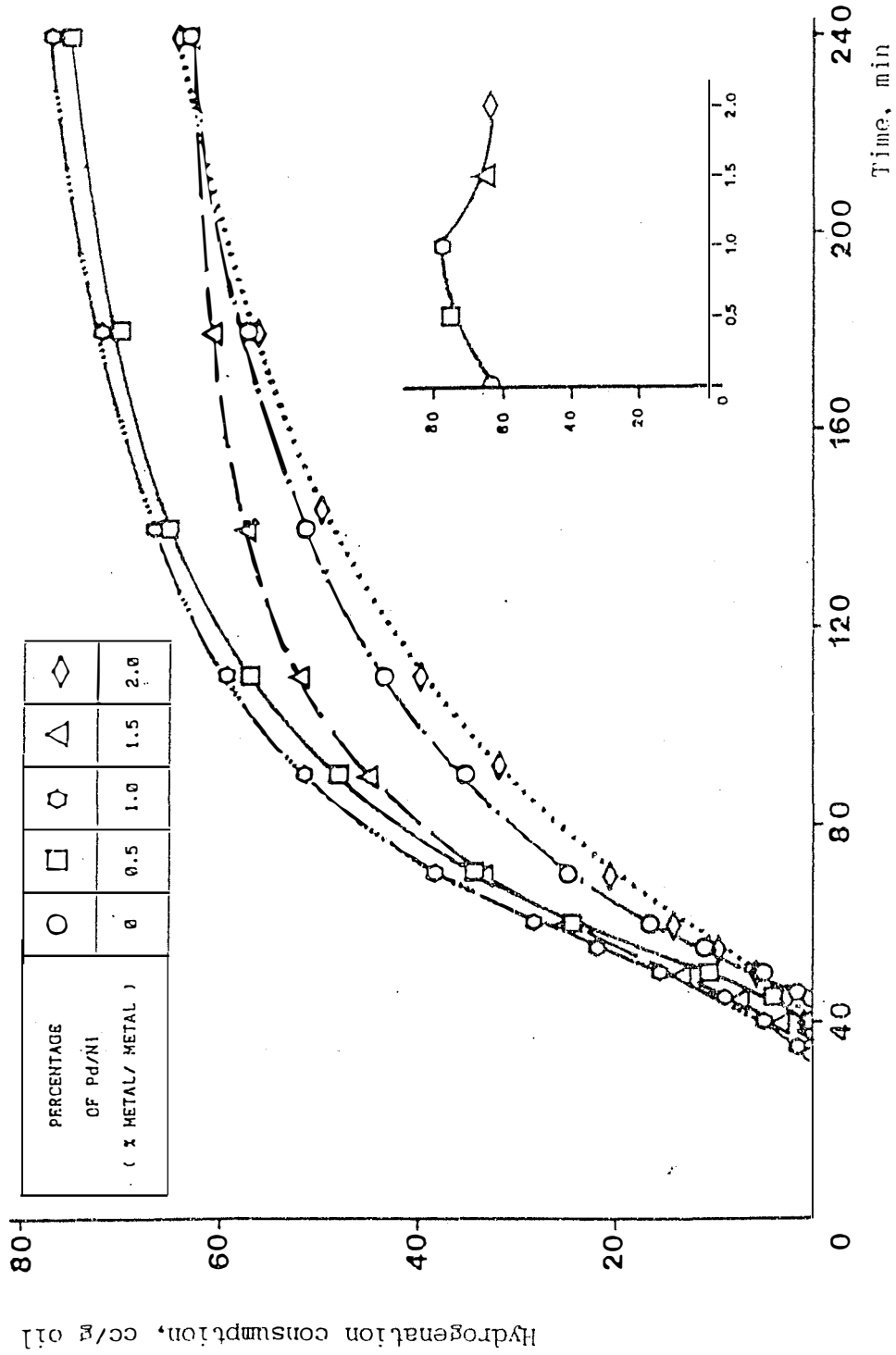


Fig. 4.8 Effect of Palladium on Activity of Catalyst for the Hydrogenation:
 Alloy: NaOH = 1:3 ; Conc. of NaOH = 25 % ; Digestion Time. = 2 hr.
 Digestion Temp. = 110 °C.; Reaction : Cat. Conc. = 0.2% ; Temp. = 150 °C ;
 H₂ Press. = 150 psig ; 800 rpm.

5. สรุปผลการทดลอง

ผลลัพธ์ที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิเกิล คือ ระยะเวลาการย่อยสลายเท่ากับ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิการย่อยสลายเท่ากับ 110°C ความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 25 % และอัตราส่วนของโลหะผสมนิเกิล-อะลูมินาต่อไฮเดียมไฮดรอกไซด์ (ปราศจากน้ำ) เท่ากับ 1:3
2. ภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิเกิลที่ดีที่สุดคืออุณหภูมิของปฏิกิริยาเท่ากับ 150°C ความดันไฮโดรเจนเท่ากับ 125 psig อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิล/น้ำมันเท่ากับ 0.3 % โดยน้ำหนัก
3. พบว่าความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิเกิลจะดีขึ้นเมื่อเติมแพลเลเดียมในปริมาณไม่เกิน 1.0 % โดยน้ำหนักของแพลเลเดียม/นิเกิล ถ้าเติมลงไปมากกว่านี้จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรเนียนิเกิลเสื่อมสภาพสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน
4. ปรากฏว่าในการเติมแพลเลเดียมต่ำกว่า 1 % ค่าการเลือกเกิดของตัวเร่งปฏิกิริยาจะยังคงเหมือนเดิม เป็นการเลือกเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของพันธะคู่ อย่างไรก็ตามถ้าเติมแพลเลเดียมเกินกว่า 1 % จะทำให้การเลือกเกิดเปลี่ยนเป็นการเลือกเกิดต่อปฏิกิริยาดีไฮดรอกซิเลชัน

เอกสารอ้างอิง

1. UNIDO. Japan, H. "Castor Oil Production and Processing." Unite National Industrial Developnemt Organization, 1994
2. Deryabin, S. A. snd Petrov, N.A. "Hydrogenation of Castor Oil." Russ. 57,500, July 31, 1940. cf. Chemical Abstract No. 38 :5098⁵.
3. Paquot, G. and Aggarwal, J.S. "Hydrogenation of Castor Oil." Oleagineuse 3(1), (1948) : 26-28 cf. Chemical Abstact No. 42 : 3975a.
4. Gupta, S.S. and Aggarwal, J.S. "Hydrogenation of Castor Oil." J. Sci. Ind. Res. 11B (1952) :303-304.
5. Kaezanowski, C. and Jakabowski, A, "Hydrogenation of Castor Oil." Tlusz eza I Srodki Piorana 6(314) (1962) :125-127, cf. Chemical Abstact No. 54 : 1941h.
6. Nechaev, A.P. "Hydrogenation of Castor Oil." Tr. Mosk. Pekhnol. Inst Pisevoi Prom. 20 (1963) : 8-12, cf. Chemical Abstact No. 61 : 1354a.