

## บทที่ 3

## การสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันพืช

พลังงานที่ได้จากพืชและนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามสถานะคือ

- 1) เชื้อเพลิงแข็ง (solid fuel) เช่น ถ่านอัดแท่ง ถ่านไม้
- 2) เชื้อเพลิงเหลว (liquid fuel) เช่น แอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมัก (fermentation) น้ำมันที่สกัดจากพืช หรือน้ำมันที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืช
- 3) เชื้อเพลิงแก๊ส (gaseous fuel) เช่น แก๊สที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (gasification)

ประเภทของพืชที่สามารถนำเอาสารไฮโดรคาร์บอนมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น ยางพารา ยางอินเดีย วายอูลี (guayule) ยูโฟร์เบียลาไทรซิส (euphorbia lathyris) พืชพวกนี้ น้ำยางมีสูตรโมเลกุลเป็นพวก พอลิไอโซพรีน (polyisoprene) เรียกรวมว่า พืชน้ำยาง น้ำยางของพืชพวกนี้สามารถทำให้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนได้โดยการกลั่นหรือโดยการสกัดทางเคมี ซึ่งศาสตราจารย์เคลวิน (3.11) ได้ทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.1 และผลของการทดลองได้รายงานไว้ในตารางที่ 3.1 ปัญหาที่ต้องแก้ไขคือ ต้นทุนการผลิตค่อนข้างจะสูง และพืชประเภทนี้จะมีสารพวก ดีเทอร์พีนเอสเตอร์ (deterpene ester) ซึ่งเป็นอันตรายต่อผิวหนัง ส่วนพืชคาไพบา (capiba) ในประเทศบราซิล จะมีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล (diesel-like oil) สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้ แต่พืชที่นิยมนำมาศึกษา คือ พืชน้ำมันเช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันละหุ่ง ฯลฯ

### 3.1 การปรับปรุงและแปรรูปน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันพืชมีสูตรโครงสร้างเป็นพวก ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) คุณสมบัติ

ทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างจากน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นพืชพวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว สิ่ง que เห็นได้ชัดเจน คือ ค่าความหนืด (viscosity) ของน้ำมันพืชจะสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงมาก แต่สิ่งที่ใกล้เคียงกันคือค่าความร้อน ดังตารางที่ 3.2 อีกทั้งน้ำมันพืชสามารถถูกออกซิไดส์ (oxidized) โดยอากาศและสามารถเกิดโพลิเมอไรเซชัน (polymerization) ได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เมื่อนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์จะทำให้เกิดการอุดตันของหัวฉีด หม้อกรอง เกิดสารเหนียว (gum matter) บนหัวฉีด วาล์ว ลูกสูบ กระบอกสูบ การจุดสตาร์ท ของเครื่องยนต์ทำได้ยาก ปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้ทำให้ต้องถอดล้างเครื่องยนต์อยู่เสมอ การสึกกร่อนของเครื่องยนต์เร็วขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงน้ำมันพืชเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

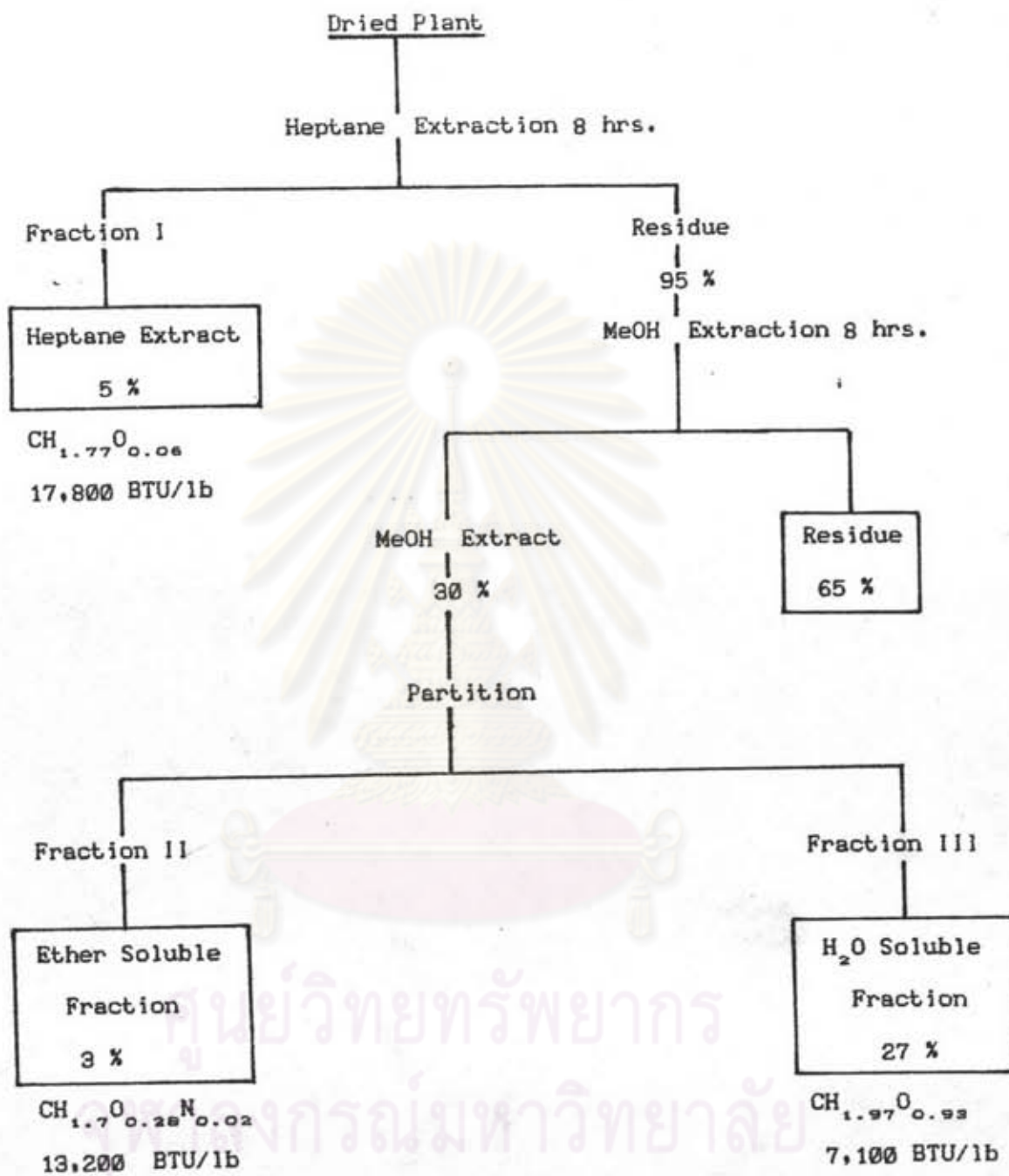
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฮีโอไลต์กับสารไฮโดรคาร์บอนที่สกัดได้จากพืชยูโฟรเบียโพเรียลาไทริส (euphorbia lathyris) ในส่วนของเฮปเทน (heptane)

	เปอร์เซ็นต์ (%)
Ethylene	10
Propylene	10
Toluene	20
Xylene	15
C <sub>1</sub> - C <sub>4</sub>	10
C <sub>5</sub> - C <sub>20</sub>	21
Fuel	10
Coke	5

#### วิธีการปรับปรุงและแปรรูปน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

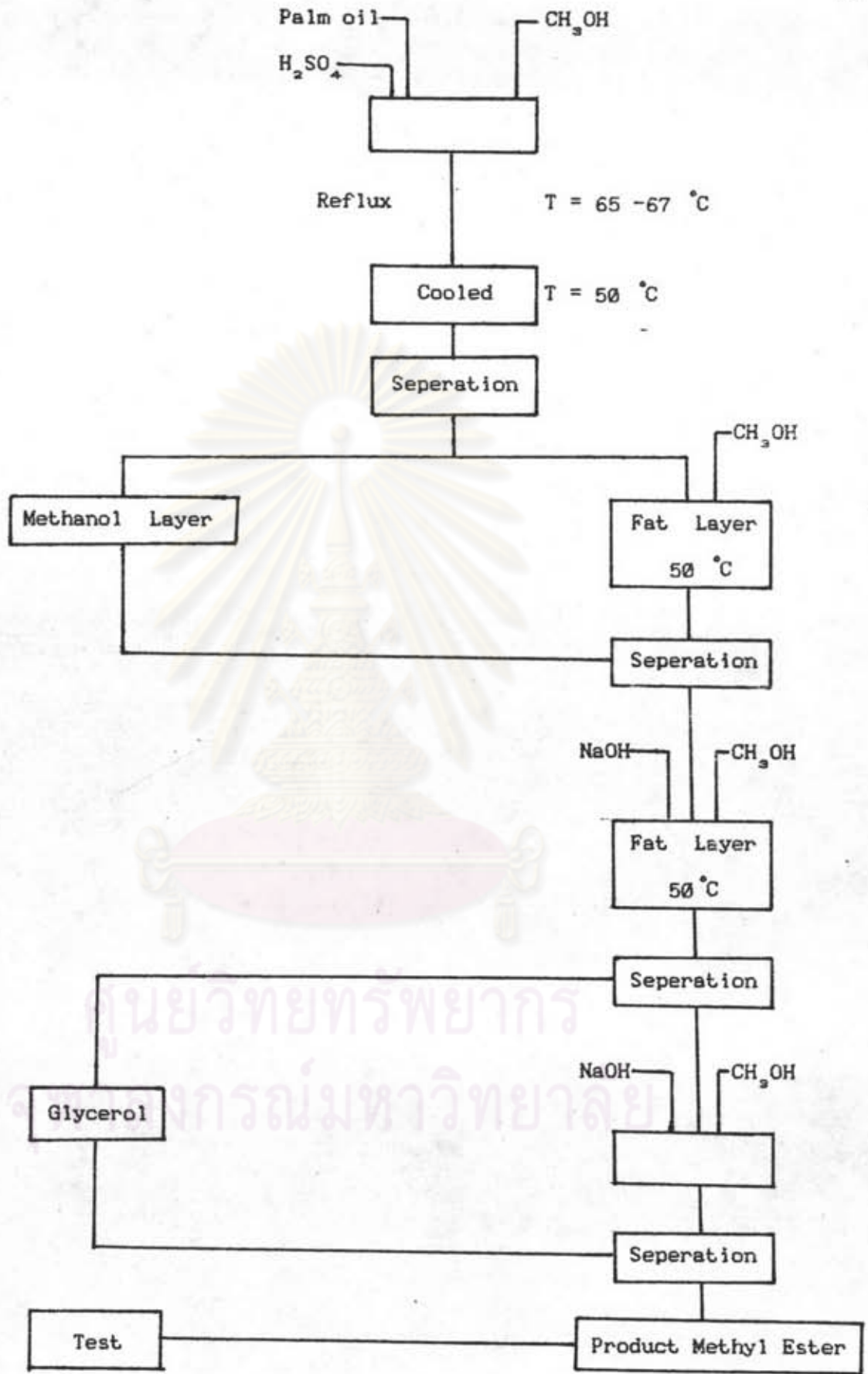
สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้คือ

- ก) การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ (blend vegetable oils into fuel) เช่นนำน้ำมันดอกทานตะวันมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 : 80



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการสกัดไฮโดรคาร์บอนจากพืช ยูโฟร์เบียลาไตรล

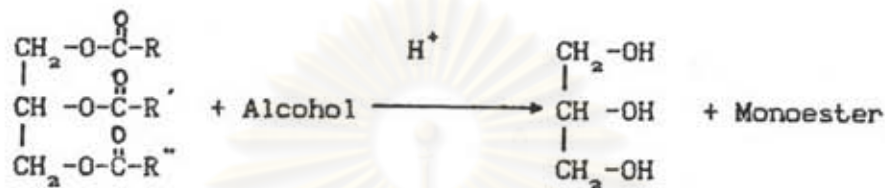




รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน

ข) การเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชเป็นสารพวกเผาไหม้ได้ (chemical change to combustible substance) เช่น การทำน้ำมันพืชให้เป็นพวกโมโนเอสเทอร์ (monoester) ซึ่งสามารถทำได้ตามแผนผังรูปที่ 3.2 เรียกว่า ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification)

ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชัน

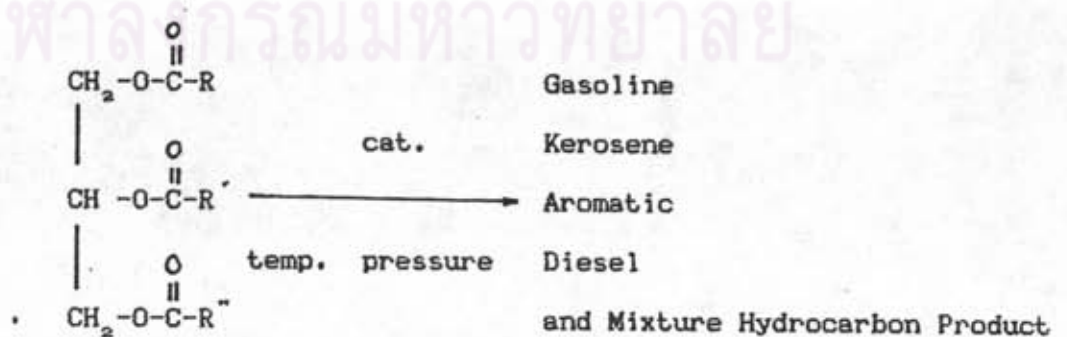


ค) การเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชโดยกระบวนการแตกกิ่ง (cracking to fuel)

3.2 การสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอน (น้ำมันเชื้อเพลิง) จากน้ำมันพืชโดยใช้ปฏิกริยาแตกกิ่ง

จากที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 3.1 จะเห็นได้ว่าวิธีการนำน้ำมันพืชไปผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ หรือ การเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลของน้ำมันพืชให้เป็นพวกโมโนเอสเทอร์ ยังไม่เป็นการแปรรูปโครงสร้างของโมเลกุลให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เพราะน้ำมันเชื้อเพลิงมีโมเลกุลเป็นพวกสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว กระบวนการแตกกิ่งจึงเป็นกระบวนการที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้

ปฏิกริยาการแตกกิ่ง



ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าว, น้ำมันเมล็ดสับต่า, น้ำมันยูคาลิปตัส และเอทิลแอลกอฮอล์กับแก๊สโซลีน (12)

Item	Coconut Oil	Physic Nut Oil	Eucalyptus Oil	Ethyl Alcohol	Gasoline
Specific Gravity 15/4°C	0.9223	0.9170	0.9202	0.7950	0.7508
Flash Point °C	268	244	51.	(13)	less than -40
Octane Number (Research Method)	-	-	98.1	(106)	90.9
Vapor Pressure kg/cm <sup>2</sup> @37.8°C	0.00	0.00	0.05	0.200	0.530
Copper Plate Corrosion 50°C x 3Hrs	1a	1a	1a	1a	1a
Existent Gum mg/100 ml	Unmeasurable	Unmeasurable	136 (Unwashed)	0	0.5
Reaction	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral
Carbon Residue wt%	0.13	0.15	0.14		
Kinematic Viscosity cST @30°C	39.27	50.93	2.352	1.329	0.6088
@50°C	19.24	22.33	1.625		
Pour Point °C	20	-2.5	-	(-114.4)	(-90.6~-95.4)
Water Content (Karl Fischer method) wt%	Tr	Tr	0.22	0.4	
Lower Caloryfic Values kcal/kg	8200	8750	9000	6300	10270
kcal/l	7563	8024	8282	5008	7710
Distillation Property:Ini.Point (Boiling Points)			168	(78.8)	36.0
5%			171		51.0
10			171		55.5
50			173		100.0
90			177		165.0
95			183		180.0
97					189.5
End Point			194		206.0
Recovery vol.2			98.0		98.5
Residues			2.0		1.0

- 1) Test methods conformed with JIS (Japanese Industrial Standard).
- 2) Figures in ( ) are from the Solvent Pocketbook by OHM-sha, 1961.

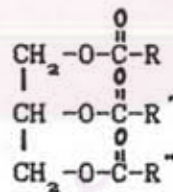


### 3.3 กลไกของปฏิกิริยาแตกกิ่ง (Mechanism of Cracking Reaction) (13)

กลไกของปฏิกิริยาแตกกิ่งของน้ำมันพืชซึ่งเสนอโดย ซี.ซี. แชน และชีวูวาน (C.C. Chang and Shew Wu Wan) (13) โดย โล และไซ (Lo and T'sai) (14) ได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทำนายกลไกของปฏิกิริยา โดยศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติสภาพกรด(acidity) และสะพอนิฟิเคชัน(saponification) ของเหลวที่กลั่นได้(distillate) และแก๊สจากปฏิกิริยาแตกกิ่งของน้ำมันเมล็ดฝ้าย(cotton seed oil) ในหม้อนึ่งอัดไอ(autoclave) โดยให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดฝ้ายจนกระทั่งได้ความดันประมาณ 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากนั้นปรับตัวควบคุม(regulator)ความดันด้วยวาล์วเก็บตัวอย่าง(sampling valve)ซึ่งอยู่ตรงส่วนบนของหม้อนึ่งอัดไอ ให้ไอของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาแตกกิ่ง(the vapor cracking products)ผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น(condenser)ผลที่ได้จะเป็นของเหลวและอีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของแก๊ส แล้วนำผลที่ได้ทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์ ซึ่งผลของการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และ 3.4 กลไกของปฏิกิริยาที่ได้ศึกษานี้สามารถนำมาใช้กับกระบวนการแตกกิ่งด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาได้

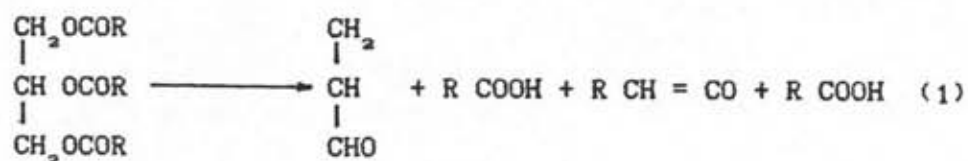
#### รายละเอียดกลไกของปฏิกิริยาแตกกิ่ง

เริ่มต้นด้วยน้ำมันพืชซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสูตรทั่วไปคือ



ในที่นี้ R, R', R'' จะเป็นอนุมูล(radical)  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$  หรือ  $\text{C}_n\text{H}_{2n-3}$  จากนั้นปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ดังนี้

-Decomposition of The Glyceride



ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของของเหลวจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของ น้ำมันเมล็ดฝ้ายในหม้อนิ่งอัดไอ (13)

Sample No. of Distillate Fractions	Conditions			Yields			Characteristics	
	Temp °c	Guage pressure lb/sq in	total time min	Total distillate over. g.	In Each Fraction Water wt.% Gas vol.%		Saponification No.	Acid value
1	382	200	34	4.11	35.82	28.28	135.6	117.3
2	382	150	48	8.07	32.70	12.08	141.4	123.0
3	385	160	64	12.15	21.22	6.56	114.2	99.5
4	387	60	80	17.32	16.84	8.28	46.4	39.2
5	392	40	97	21.93	3.28	3.40	11.7	8.28
6	392	20	110	26.60	0	3.42	8.33	4.78
7	385	20	125	31.04	0	1.38	4.96	2.45
8	385	20	160	38.89	0	1.38	3.45	2.62
9	385	25	194	42.94	0	0.34	4.23	0.87
10	385	30	219	53.67	0	0.00	3.42	0.78
11	382	20	274	71.11	0	2.76	2.03	0.43
12	372	20	329	87.33	0	13.80	2.24	0.93
13	382	10	419	100.8	0	19.30	3.16	1.28

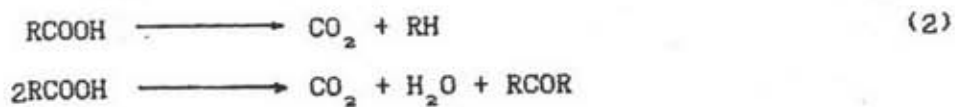


ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบในส่วนของแก๊สจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันเมล็ดฝ้ายในหม้อ  
นึ่งอัดไอ (13)

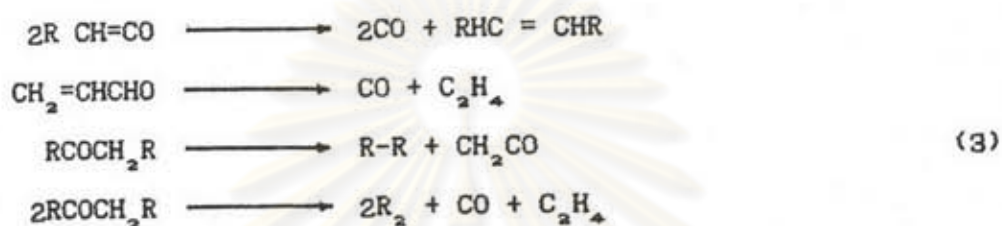
Sample No. of Distillate Fractions (Table VIII)	Gas Analysis, Vol.%		
	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO
1	34.4	10.0	28.4
2	42.4	8.6	20.2
3	53.6	7.2	17.8
4	78.0	5.6	6.0
5	32.2	7.2	23.8
6	12.0	10.0	32.2
7	8.0	11.6	31.2
8	4.8	11.2	28.4
9	...	...	...
10	...	...	...
11	0.8	12.0	17.2
12	0.4	13.2	10.0
13	0.4	8.4	0.0

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

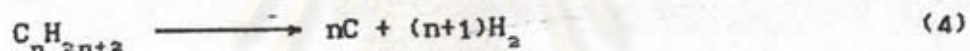
## -Decomposition of Fatty Acid



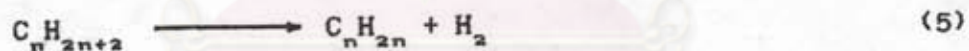
## -Decomposition of Ketenes and Acrolein



## -Decomposition into Elements



## -Dehydrogenation of Paraffins



## -Splitting Decomposition of Paraffins

-Alkylation of Paraffins, The Reverse of (6) (7)

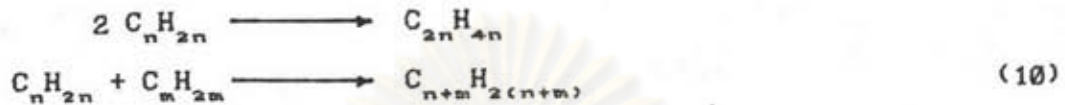
## -Isomerization of Paraffins



## -Aromatic Cyclization of Paraffins



## -Polymerization of Olefins

-Depolymerization of Olefins, The Reverse of (10) (11)-Decomposition of Olefins to Diolefins (12)-Decomposition of Olefins to Acetylenic Hydrocarbons (13)-Aromatization or Cyclization of Olefins (14)

## -Hydrogenation of Olefins



## -Isomerization of Olefins

3.4) ประเภทของกระบวนการแตกกิ่งของน้ำมันพืช (8)

กระบวนการแตกกิ่งของน้ำมันพืช สามารถแบ่งออกได้ 3 วิธีคือ

- 1) เทอร์มัลแตกกิ่ง (Thermal cracking) คือ กระบวนการแตกกิ่งโดยใช้



ความร้อน

2) คะตะไลติกแครกกิง (Catalytic cracking) คือ กระบวนการแครกกิงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

3) ไฮโดรแครกกิง (Hydrocracking) คือ กระบวนการแครกกิงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ไฮโดรเจนความดันสูง

ในวิธีการทั้ง 3 วิธีการที่กล่าวมานี้แต่ละวิธีการมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ซึ่งจะได้สรุปประเด็นสำคัญไว้ในท้ายบทนี้.

3.5 การศึกษากระบวนการแครกกิงที่ผ่านมาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน พวจะแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ

- 1) การศึกษาในอดีต ระหว่าง ค.ศ. 1927 - 1953
- 2) การศึกษาในปัจจุบันระหว่าง ค.ศ. 1977 - ปัจจุบัน

3.5.1 การศึกษาในอดีตระหว่าง ค.ศ. 1927 - ค.ศ. 1953 มีผู้ศึกษาไว้พอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

ปี ค.ศ. 1927 เอ็มซาโต (M. Sato) (15) ได้เตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการกลั่นแห้ง (dry distillation) ของเกลือแคลเซียมเปรียบเทียบกับเกลือแมกนีเซียมของน้ำมันถั่วเหลืองและได้รายงานผลการทดลองว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุด คือ ให้ความร้อนแก่เกลือแคลเซียมและเกลือแมกนีเซียมของน้ำมันถั่วเหลืองประมาณ 450 °ซ เป็นเวลาหลายชั่วโมง จากนั้นนำของเหลวที่ได้มากลั่นที่อุณหภูมิเกิน 500 °ซ. และรายงานว่าหากกรณีที่ใช้อุณหภูมิเท่ากันแล้วเวลาที่ใช้ในการกลั่นอย่างสมบูรณ์ของเกลือแมกนีเซียมของน้ำมันถั่วเหลือง จะใช้เวลาน้อยกว่า แต่ของเหลวที่กลั่นมาได้จะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า

ปี ค.ศ. 1932 เจซีเมอร์เรลล์, กัสแทฟ เอกลอฟฟ์ และดับบิวฟาราเกอร์ (J.C. Morrell, Gustav Egloff, and W.F. Faragher) (16) ใช้ น้ำมันปาล์มเป็นตัวศึกษา โดยใช้ปฏิกิริยาเทอร์มัลแครกกิง (Thermal cracking) น้ำมันปาล์มที่นำมาทดลองมาจากไนเจอร์ (Niger) และสุมาตรา (Sumatra) ลักษณะและคุณสมบัติของน้ำมันจากไนเจอร์จะมีสีแดงปนน้ำตาล มีกรดไขมันอิสระประมาณ 50 x ส่วนใหญ่เป็นกรดลิโนลิก (linoleic) และลิโนลีนิก (linolenic) ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.905 ค่าไอโอดีน

126 - 134 มีช่วงจุดเดือด 176-369 °ซ. ส่วนน้ำมันจากสุมาตราจะมีสีเหลืองอ่อนมีกรดไขมันอิสระประมาณ 6% กรดไขมันจะเป็นพวกคาปริลิก (caprylic) ลอริก (lauric) ไมริสติก (myristic) ปาล์มมีติก (palmitic) คาโปรอิก (caproic) สเตียริก (stearic) และโอลอีค (oleic) และประมาณ 45% จะเป็นกรดลอริก (lauric) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.913 ค่าไอโอดีน 10-18 ช่วงจุดเดือด 308-360 °ซ. จากการนำน้ำมันทั้งสองแหล่งมากลั่นและวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณของของเหลว ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์มจากแหล่งสุมาตรา และไนเจอร์ ที่อุณหภูมิต่างกัน (16)

% Distilled over	A.S.T.M. 100-c.c. distillation Temperature	
	Sumatra palm oil	Niger palm oil
5	322° C. (612° F.)	323° C. (614° F.)
10	322° C. (612° F.)	331° C. (627° F.)
20	321° C. (610° F.)	336° C. (637° F.)
30	325° C. (616° F.)	337° C. (638° F.)
40	329° C. (625° F.)	337° C. (638° F.)
50	330° C. (626° F.)	338° C. (640° F.)
60	331° C. (627° F.)	318° C. (605° F.)
70	323° C. (613° F.)	327° C. (621° F.)
80	325° C. (617° F.)	331° C. (627° F.)
90	324° C. (615° F.)	337° C. (639° F.)
95	360° C. (681° F.)	355° C. (671° F.)
		368° C. (696° F.)
% Coke by weight	1.7	1.7

การทดลองใช้อุณหภูมิ 426 °ซ. ความดัน 135 ปอนด์เกจกับน้ำมันทั้งสองแหล่ง และใช้ความดัน 75 ปอนด์เกจกับน้ำมันจากสุมาตรา ส่วนน้ำมันจากไนเจอร์ใช้ความดัน 50 ปอนด์เกจ เครื่องมือประกอบด้วย เครื่องกลั่นรูปทรงกระบอก ท่อสำหรับไอน้ำ-มัน เครื่องควบแน่น ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ เครื่องควบคุมและวัดความดันรวมทั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ของเหลวที่กลั่นได้จากการปฏิบัติการตามเงื่อนไขข้างต้น นำมาวิเคราะห์ได้ผลดังได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 3.6

จากนั้นนำของเหลวที่ได้จากกระบวนการแตกกิ่งตามเงื่อนไขข้างต้นมาทำให้บริสุทธิ์ทางเคมี โดยนำมาล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10% (10% NaOH) ประมาณ 10% โดยปริมาตร (10% by volume) จากนั้นแยกเอสลัดจ์ (sludge) ออกไป และล้างด้วยน้ำ นำของเหลวที่ได้มาล้างด้วยกรดซัลฟริกเข้มข้น 10% (10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ประ-



มา 10% โดยปริมาตร แยกเอาสลัดจ์ออกไป แล้วใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้น 93% ประมาณ 0.8% โดยปริมาตร นำของเหลวที่ได้มาล้างด้วยน้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วทำให้เป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10% ประมาณ 1% โดยปริมาตร ของเหลวที่ได้นี้จะมีความบริสุทธิ์ไม่มีพวกกำมะถันหรือสารกัดกร่อนปนอยู่

ของเหลวที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีข้างต้นแล้วนั้นเมื่อนำมากลั่นและวิเคราะห์ผลลัพท์ที่ได้ได้แสดงไว้ (เป็นของเหลวที่ได้จากการบีบใช้ความดัน 135 ปอนด์-เกจของน้ำมันทั้ง 2 แห่ง) ในตารางที่ 3.7

เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมี (refined cracking gasoline motor fuel) มาทดสอบกับเครื่องยนต์ผลปรากฏว่าเกิดการน็อค (knock) ของเครื่องยนต์อย่างมาก ซึ่งสาเหตุมาจากกรดไขมันอิสระที่ยังเหลืออยู่ วิธีการแก้ไขคือนำของเหลวที่ได้จากการกลั่นในครั้งแรกมากลั่นไหลกลับ (reflux) ประมาณ 4 ชั่วโมง ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 25% ประมาณ 10% โดยปริมาตร แล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีเหมือนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น จากนั้นนำมากลั่นที่อุณหภูมิ 122 °C. ของเหลวที่ได้นี้จะแทนน้ำมันเชื้อเพลิงและจะมีเลขออกเทน (octane number) ประมาณ 32

ปฏิกิริยาแตกกิ่งด้วยความร้อนนี้จะให้ทั้งสารไฮโดรคาร์บอน น้ำ แอลดีไฮด์ (aldehydes) แกลี กรดไขมัน กลีเซอไรด์ (glycerides) และโค้ก (coke) จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันจากไนเจอร์ซึ่งมีกรดไขมันอิสระอยู่ 50% เมื่อผ่านการแตกกิ่งด้วยความร้อนแล้ว ของเหลวที่ได้ (distillate) จะมีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่เพียง 17.7% หรือลดลงประมาณ 65% และกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่จะเป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ส่วนของเหลวที่ได้จากน้ำมันปาล์มสุมาตรา นั้นในส่วนของสารไฮโดรคาร์บอนเมื่อนำมาวิเคราะห์ จะได้ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว 17% แอโรแมติก (aromatic) 34% แนฟทาลีน (naphthene) 7% และ พาราฟิน (paraffin) 42%

#### สรุปผลการทดลอง

- 1) น้ำมันปาล์มสุมาตราจะให้น้ำมันเชื้อเพลิง (motor fuel) 62% และให้น้ำมันดีเซล 11.6%
- 2) น้ำมันจากไนเจอร์จะให้น้ำมันเชื้อเพลิง (motor fuel) 71% และให้น้ำมันดีเซล 9.5%



ตารางที่ 3.6 ผลได้จากการแตกกิ่งของน้ำมันปาล์มสุมาตรา ภายใต้ความดัน 135 และ 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อเนกภูมิ 426 °ซ และน้ำมันปาล์มไนเจอร์ ภายใต้ความดัน 135 และ 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อเนกภูมิ 426 °ซ (16)

	Sumatra palm oil		Niger palm oil	
Pressure, lb./sq. in. ....	135	75	135	50
Cracked distillate				
% of charge ....	76	84.2	83.0	84.0
A.P.I. gravity ....	53.0	50.7	57.0	49.9
Sp. gr. ....	0.767	0.776	0.751	0.780
Coke, gas, and loss (% of charge) ....	19.9	11.5	13.0	11.4
Water (% of charge) ....	3.5	4.3	4.0	4.0
Coke (lb./brl.)....	28	22	28	21
Gas (cb. ft. /brl.) ....	708	613	601	613
	Sumatra palm oil		Niger palm oil	
<i>Motor fuel</i>				
% of charge ....	62.0	58.7	71.0	42.0
A.P.I. gravity ....	56.2	55.1	57.2	57.1
Sp. gr. ....	0.754	0.758	0.750	0.751
Initial b.p. ....	40° C.	49° C.	44° C.	52° C.
	(104° F.)	(120° F.)	(130° F.)	(126° F.)
Final b.p. ....	225° C.	224° C.	225° C.	225° C.
	(437° F.)	(435° F.)	(438° F.)	(438° F.)
	Sumatra palm oil		Niger palm oil	
<i>Diesel oil</i>				
% of charge ....	11.6	25.4	9.5	40.9
A.P.I. gravity ....	33.0	38.4	38.7	32.2
Sp. gr. ....	0.850	0.833	0.832	0.864

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติและปริมาณของการกลั่นของเหลว (จากกระบวนการแตกกิ่งน้ำมันปาล์มสุมาตราและไนเจอร์ ภายใต้ความดัน 135 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมี (16)

	Refined cracked gasolines	
Original oil	Sumatra palm oil	Niger palm oil
Sp. gr. ....	0.759	0.750
A.P.I. gravity ....	55.1	57.2
Initial b.p. ....	49° C. (120° F.)	38° C. (110° F.)
End-point ....	224° C. (435° F.)	226° C. (438° F.)
	<i>A.S.T.M. distillation</i>	
% Distilled over	Temperature	
5	72° C. (160° F.)	62° C. (142° F.)
10	85° C. (184° F.)	73° C. (163° F.)
20	102° C. (216° F.)	92° C. (198° F.)
30	119° C. (246° F.)	108° C. (227° F.)
40	134° C. (272° F.)	124° C. (255° F.)
50	149° C. (300° F.)	140° C. (283° F.)
60	162° C. (323° F.)	155° C. (311° F.)
70	173° C. (344° F.)	170° C. (338° F.)
80	186° C. (365° F.)	185° C. (365° F.)
90	206° C. (402° F.)	203° C. (397° F.)
95	221° C. (430° F.)	217° C. (423° F.)

3) ของเหลวที่กลั่นได้จากน้ำมันปาล์มเมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีจะสามารถใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้

4) โมเลกุลของน้ำมันปาล์มเมื่อนำมาผ่านกระบวนการแตกกิ่ง จะให้สารไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำ พร้อมทั้งได้น้ำ แอลดีไฮด์ กรดไขมันและกลีเซอไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แก๊ส และ คาร์บอน

5) ของเหลวที่ได้จากการกลั่นโดยกระบวนการแตกกิ่ง โดยการใช้ความร้อนแล้วนำมาทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีของน้ำมันปาล์มนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ โอลิฟิน(olefin) แอโรแมติก(aromatic) แนพทาซีน(naphtene)และพาราฟิน(paraffin)

ปี ค.ศ. 1934 จีเอฟเอแมริน (G.F.A. Maurin) (17) ได้ศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในหลาย ๆ ลักษณะเช่น ใช้แกลเลียมออกไซด์ (Ga-oxide) ในปฏิกิริยาออกซิไดซ์ (oxidized) โคบอลต์ฮาไลด์ (Co-halide) ในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) และเทลลูไรด์ออกไซด์ (Te oxide) ในปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชัน (dehydrogenation) กับน้ำมันพีชอะราชิด(arachid) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์พวกแก๊สโซลีนและน้ำมันเบาตัวอื่นๆ

ปี ค.ศ. 1934 คีเซงเซง และฮุงวายเซง (Ke-Chang Chang and Hung Y chang) (18) ได้เตรียมแก๊สโซลีนจากส่วนเหลือของน้ำมันเมล็ดฝ้าย (waste cotton seed oil) โดยนำส่วนเหลือของน้ำมันเมล็ดฝ้ายมาทำให้อยู่ในรูปของเกลือ ซึ่งได้จากการเติมสเลกต์ไลม์ (slake lime  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ในปริมาณ 14% ทำปฏิกิริยาในหม้อหนึ่งอัดไอน้ำประมาณ 11 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่ประมาณ 50% (เมื่อเทียบกับปริมาณส่วนเหลือของน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ใช้) จะเป็นของเหลวที่มีช่วงจุดเดือดประมาณ 150-300 °ซ. และจะได้แก๊สที่ให้ค่าความร้อนสูง 12% ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารไฮโดรคาร์บอนประเภทอิมตัว

ปี ค.ศ. 1935 เคปิง (K.Ping) (19) ได้ใช้อะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ( $\text{AlCl}_3$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเตรียมน้ำมันเบา(light oil) จากน้ำมันถั่วลิสง โดยใช้อะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ประมาณ 1% โดยน้ำหนักแล้วให้ความร้อน ผลที่ได้จะให้ น้ำมันเบาประมาณ 25% โดยปริมาตร ส่วนของเหลวที่เหลือสามารถนำมาแตกกิ่งซ้ำจะได้น้ำมันเบาอีกประมาณ 20%



ปี ค.ศ. 1935 เออเคงไล และชิ่งเชียนโช (Er-Kang Li and Shing-Chien-Chow) (20) ได้เตรียมแก๊สโซลีนจากเกลือแคลเซียมของน้ำมันถั่วลิสง โดยการนำน้ำมันถั่วลิสงมาให้ความร้อนกับปูน (lime) ในหม้อนิ่งอัดไอ และใช้ความดันประมาณ 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ผลที่ได้จะเป็นเกลือแคลเซียมของน้ำมันถั่วลิสงและไดกลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ซึ่งจะถูกแยกออกไป จากนั้นเกลือแคลเซียมของน้ำมันถั่วลิสงจะทำให้แห้ง โดยใช้ความร้อนประมาณ 105 °ซ. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ของเหลวมีสีเหลืองเขียวประมาณ 70% โดยปริมาตรเมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วลิสงที่ใช้ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.8129 ซึ่งแยกออกเป็น 3 ส่วน ได้ดังนี้คือ 21% เป็นน้ำมันเบา (light oil) 59.5% เป็นน้ำมันกลาง (middle oil) และ 12.0% ก็เป็นน้ำมันหนัก (heavy oil) ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ส่วนที่แยกได้นี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับแก๊สโซลีน น้ำมันก๊าด และน้ำมันหล่อลื่น ตามลำดับ

ปี ค.ศ. 1935 เออเกนซีโค และชิ่งมิงเซง (Eugene C. Kou and Shiu-Ming Cheng) (21) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืชโดยใช้น้ำมันเมล็ดเรพ (rape seed oil) โดยศึกษาในวัฏภาคที่เป็นไอ (vapor phase) มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแคตลิสต์ อุ่นหม้อมีที่ใช้ประมาณ 540 °ซ. อัตราป้อนของน้ำมันเมล็ดเรพเท่ากับ 8.30 มิลลิลิตรต่อนาที ผลที่ได้จะเป็นของเหลวมีความถ่วงจำเพาะ 0.837 ในปริมาตร 76% และพบว่าหากอัตราป้อนของน้ำมันเมล็ดเรพช้าลง จะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ของแก๊สโซลีนในส่วนของของเหลวสูงขึ้น และอัตราป้อนที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้ส่วนของแก๊สโซลีนมากที่สุด คือ 2.15 มิลลิลิตรต่อนาที นั่นคือในของเหลวที่ได้จากกระบวนการแคตลิสต์ทั้งหมด 70% และใน 70% นี้จะเป็นส่วนของของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 200 °ซ. (ส่วนของแก๊สโซลีน) อยู่ประมาณ 40% ซึ่งหากทำการทดลองในรูปแบบนี้ไม่ว่าจะใช้น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดฝ้ายหรือน้ำมันตังอิ๋ว (tung oil) ก็จะได้ผลที่เหมือน ๆ กันและเขาได้ศึกษาต่อไป โดยใช้น้ำมันเมล็ดเรพ ที่อุณหภูมิ 430 °ซ. พบว่า จะได้ของเหลวเพียง 56.25% และในของเหลวที่ได้ 56.25% นี้จะเป็นส่วนของแก๊สโซลีนอยู่ประมาณ 52.7% ของเหลวที่ได้จากกระบวนการนี้เมื่อนำไปผสมกับน้ำมันพืชแล้วก็สามารถใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้

ปี ค.ศ. 1935 เออเกนซีโค ชิ่งมิงเซง และเฮียนโมมา (Eugene C. Kou, Shin-Ming Cheng and Hsien-Mo Ma) (22) ได้นำน้ำมันเมล็ดเรพในวัฏภาคที่เป็นไอมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอก-



ไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแคตลิสต์ของเหลวที่ได้นำมาแยกได้ส่วนของแก๊สโซลีนและน้ำมันก๊าด ในส่วนของน้ำมันก๊าดสามารถนำมาใช้จุดสว่าง (illuminating) ได้ดี หากนำของเหลวจากปฏิกิริยาแคตลิสต์ที่เฝ้าผสมกับน้ำมันเมล็ดฝ้ายในอัตราส่วน 1 : 1 ของผลผสมนี้สามารถใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ด้วย

ปี ค.ศ. 1936 เคฟิง (K. Ping) (23) ได้ศึกษาโดยใช้ไขมันถั่วลิสงมาทำปฏิกิริยาแคตลิสต์ในวัฏภาคของเหลว (liquid phase) โดยใช้อลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ( $AlCl_3$ ) ประมาณ 1% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันบรรยากาศ ช่วงอุณหภูมิประมาณ 250-400 °C การทดลองใช้ระบบแบทช์ (batch) ภาชนะบรรจุมีปริมาตร 15 แกลลอน ผลที่ได้จะมีส่วนของของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 200 °C (ส่วนของแก๊สโซลีน) ปริมาณ 27% และอีก 31% เป็นน้ำมันที่ใช้จุดสว่าง (illuminating oil) ซึ่งมีจุดเดือดประมาณ 200-300 °C นอกจากนั้นเป็นพวกแก๊ส น้ำมันส่วนเหลืออื่น ๆ และโค้ก (coke)

ปี ค.ศ. 1937 เจเบนซัน (J. Banzon) (24) ได้ใช้น้ำมันมะพร้าวศึกษาปฏิกิริยาแคตลิสต์โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) อะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ( $AlCl_3$ ) เฟอร์ริกออกไซด์ ( $Fe_2O_3$ ) ริงค์ไตรคลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) แคลเซียมไดคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีคือ เฟอร์ริกออกไซด์ ( $Fe_2O_3$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ และอลูมินาไตรคลอไรด์รวมทั้งได้ทดลองในสภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ กัน ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ก็จะกระจายในสัดส่วนที่แตกต่างกันแต่จะเป็นส่วนของน้ำมันก๊าดอยู่ประมาณ 20-50% เสมอ

ปี ค.ศ. 1937 อีคาร์ด ยอร์ช มารีจ โรเมน เลเก (Edouard Georges Maric Romain Lege') (25)

นำน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มาลั่นที่อุณหภูมิ 250-600 °C มีดินเหนียว (clay) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ของเหลวที่ลั่นได้จะเติมคอสติกแอลคาไล (caustic alkali) หรือแอลคาไลเอิร์ธ (alkali earth) และให้ความร้อนช่วงอุณหภูมิ 250-600 °C จากการวิเคราะห์ผล ปรากฏว่าหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ของกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และของเอสเทอร์จะหายไป ผลิตภัณฑ์สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดี

ปี ค.ศ. 1942 ชิงชิวโล และลิวเซงไซ (Tsung Shih Lo and Liu-Sheng Tsai) (26) ได้ศึกษาปฏิกิริยาแคตลิสต์เพื่อให้ได้แก๊สโซลีนจากน้ำมันเมล็ดฝ้ายแล้วทำให้บริสุทธิ์โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 80% ประมาณ 2% โดยปริมาตรและตามด้วยน้ำ

หลังจากนั้นทำให้เป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ประมาณ 15% โดยปริมาตร

ปี ค.ศ. 1942 นิว เออวอส (Nuel Urvoas) (27) ใช้น้ำมันละหุ่ง (castor oil) มาไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นพวกเฮไลด์ (halide) เช่น คาร์เนลไลต์ (carnallite-KCl MgCl<sub>2</sub>) หรือคอปเปอร์อะซิไทด์ (Cu-acetylde) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอน 63% ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันเบา (light oil) 35-40 % และน้ำมันหนัก (heavy oil) ประมาณ 60-65 %

ปี ค.ศ. 1947 เชียชุงและชินววน (Chia-Chu Chang and Shen-Wu Wan) (13) ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง กระบวนการเครกกิงในระบบแบ็ช (batch) ได้รับการพัฒนาถึงขั้นอุตสาหกรรมขึ้นในประเทศจีนโดยใช้น้ำมันตังอิว (tung oil) ผลิตภัณฑ์ของของเหลวหรือน้ำมันดิบ (crude oil) จะได้ประมาณ 70% โดยปริมาตรของน้ำมันตังอิวที่ใช้เป็นตัวเริ่มต้นของปฏิกิริยา ส่วนที่เป็นแก๊สโซลีนจะได้ประมาณ 25% ของของเหลวหรือของน้ำมันดิบที่ได้จากปฏิกิริยาเครกกิง

ในระยะก่อนสงครามโลกครั้งที่สองจะเริ่มต้นนักวิทยาศาสตร์จีนก็ได้เริ่มต้นคว่ำวิจัยงานทางด้านนี้และพัฒนาจนถึงขั้นมีการสร้างโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงขึ้นจากน้ำมันพืชโดยใช้กระบวนการเครกกิง ซึ่งข้อมูลที่ทำมาก็ได้จากทดลองแต่ไม่สมบูรณ์มากนัก หน่วยงานหรือสถาบันที่ค้นคว้าเกี่ยวกับงานทางด้านนี้ของประเทศจีนได้แก่

- ห้องปฏิบัติการวิจัยเคมีประยุกต์แห่งมหาวิทยาลัยนานไค (the Research Laboratory of Applied Chemistry at Nankai University)

- ห้องปฏิบัติการเชื้อเพลิงซินยานแห่งหน่วยสำรวจทางธรณีวิทยาของจีน (the Sin Yuan Fuel Laboratory of the National Geological Survey of China)

- ห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยอุตสาหกรรมแห่งชาติ (the Laboratories of the National Bureau of Industrial Research, N.B.I.R)

- ห้องปฏิบัติการของโรงงานน้ำมันตังไล (the Laboratory of the Tung Li Oil Works)

- ห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาของบริษัทน้ำมันพืชของจีน (the Research Laboratories of the China Vegetable Oil Corporation)



วิธีการทดลองเพื่อเตรียมน้ำมันดิบ (Experimental methods adopted for the preparation of crude oil)

แบ่งออกได้ 3 วิธีการคือ

1. โดยการกลั่นทำลายน้ำมันพืชและขณะเดียวกันหรือในภายหลังก็นำไอที่ได้จากการกลั่นทำลายมาแตกกิ่ง (Destructive distillation of a vegetable oil and the simultaneous of subsequent cracking of its vapors)
2. โดยการแตกกิ่งน้ำมันพืชในวัฏภาคที่เป็นของเหลว โดยใช้หรือไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Liquid-phase cracking of a vegetable oil with or without using catalysis)
3. โดยใช้ปฏิกิริยาไพโรไลซิสเกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืช (Pyrolysis of the soap of vegetable oils)

วิธีการทั้ง 3 วิธีการข้างต้นสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้

1. โดยการกลั่นทำลายแล้วตามด้วยการแตกกิ่งในขณะที่อยู่ในวัฏภาคเป็นไอ  
(Destructive Distillation Followed by Vapor-Phase)

จากตารางที่ 3.8 เป็นการแสดงผลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ น้ำมันดิบได้มาจากการนำน้ำมันตั้งอ้าวและน้ำมันเมล็ดเรพมากลั่นทำลาย (destructive distillation) จากนั้นนำไอที่ได้จากการกลั่นทำลายผ่านเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ท่อเหล็กซึ่งมีช่วงอุณหภูมิ 400-450 °C ในอัตราป้อนที่เหมาะสม จะเห็นได้ว่าผลได้ (yield) เป็นแก๊สโซลีนประมาณ 20% ( $0.56 \times 0.36 \times 100$ ) ของน้ำมันเริ่มต้น (original oil) ในที่นี้น้ำมันเริ่มต้นคือน้ำมันเมล็ดเรพและน้ำมันตั้งอ้าว

2. โดยการแตกกิ่งน้ำมันพืชในวัฏภาคที่เป็นของเหลว  
(Liquid-Phase Cracking of Vegetable Oils)

ในกรณีที่ใช้น้ำมันพืชในสภาพของเหลวมาทำปฏิกิริยาแตกกิ่งสามารถทำได้



1. ภายใต้อุณหภูมิสูง
2. ภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

วิธีการแรกจะใช้ความดัน 280 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (เกจ) อุณหภูมิ 450 °ซ ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.9

ส่วนวิธีหลังจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพวกอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ( $AlCl_3$ ) หรือพวกต่างเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 300-350 °ซ ปฏิกิริยาเป็นแบบคายความร้อน (exothermic) ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.10

### 3. โดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสเกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืช (Pyrolysis of Soap of Vegetable Oils)

การทดลองใช้น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันตั้งอ้วมา เปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปเกลือแคลเซียมของกรดไขมันของน้ำมันดังกล่าวข้างต้น แล้วใช้ความร้อนในปฏิกิริยาไพโรไลซิส ของเหลวที่ได้จะเรียกว่าน้ำมันดิบ จากนั้นนำน้ำมันดิบที่ได้ข้างต้นมากลั่นในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ผลการทดลองสรุปไว้ในตารางที่ 3.11

คุณสมบัติของน้ำมันดิบที่ได้จากกระบวนการทั้ง 3 กระบวนการข้างต้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.12 และน้ำมันดิบที่ได้เมื่อนำมากลั่นแยกตามช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ แล้วผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อทำให้บริสุทธิ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า เวเกตเทเบิล-แก๊สโซลีน (vegetable-gasoline) เวเกตเทเบิล-เคโรซีน (vegetable kerosene) และ เวเกตเทเบิล-ดีเซล (vegetable-diesel)

#### กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ทางเคมี

ของเหลวที่ได้จากการกลั่นแยกตามช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ จะนำมาใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$ ) แล้วล้างด้วยน้ำ จากนั้นแยกเอาส่วนที่เป็นสลัดจ์ (sludge) ออกแล้วทำให้เป็นกลางด้วยด่างเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) แล้วล้างด้วยน้ำอีกครั้งหนึ่ง

ตารางที่ 3.8 ผลได้ของน้ำมันดิบจากการแตกกิ่งไอ(จากการกลั่นทำลาย) ของน้ำมันตั้งอ้ว  
น้ำมันเมล็ดเรพ และผลของการกลั่นน้ำมันดิบ (13)

	<u>Source of Crude Oil</u>	
	Rapeseed oil	Tung oil
Total yield of crude oil. vol.% of original	66	55
Distillation range of crude oil		
First drop , ° C	45	40
Up to 200 ° C ., vol.% of crude oil	36	36
Up to 300 ° C ., vol.% of crude oil	86	89

ตารางที่ 3.9 ผลได้ของน้ำมันดิบจากการแตกกิ่งน้ำมันตั้งอ้ว, น้ำมันเมล็ดฝ้ายในภูมิภาค  
ของเหลว โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและผลของการกลั่นน้ำมันดิบ (13)

	<u>Source of Oil</u>	
	Cottonseed Oil	Tung Oil
Amount of oil used , ml.	1000	1000
Autoclave guage pressure , lb/sq.in	280	280
Temperature , ° C	450	470
Time , minutes	100	120
Products , % of original oil		
Crude oil		
Wt.%	55	54
Vol.%	65	66
Crude oil distilling below 200 ° C ., %	41	45
Water , wt.%	3.5	2.7
Coke , %	10	12
Gas , liters per kg. of oil	170	182

ตารางที่ 3.10 ผลได้ของน้ำมันดิบจากการแตกกิ่ง น้ำมันตังฮั่ว, น้ำมันเมล็ดเรพ, น้ำมันเมล็ดฝ้าย, น้ำมันถั่วเหลือง ในวิฏภาคของเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ (13)

	Vegetable Oil Used							
	Cottonseed Oil		Soybean Oil		Rapeseed oil		Tung oil	
	Catalyst used							
	1% AlCl <sub>3</sub>	10% AlCl <sub>3</sub>	1% AlCl <sub>3</sub>	10% lime	10% mag-nesia	10% caustic soda	1% AlCl <sub>3</sub>	10% lime
Products in % of original oil								
Total crude oil								
vol.%	82	81	83	75	82	72	75	72
Fraction up to b.p. 200 °C								
vol.%	20	19	24	34	25	30	21	24
Fraction up to b.p. 300 °C								
vol.%	58	57	63	59	53	53	56	55
Water, wt.%	5	6	4	4	4	4	6	4
coke, wt.%	6	7	7	..	..	..	9	..
Gas, liter per kg. of oil	240	250	210	..	..	..	..	..



ตารางที่ 3.11 ผลได้ของน้ำมันดิบจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสแก๊สของกรดไขมันของน้ำมันตั้งหัว  
น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันเมล็ดเรพ และผลของการกลั่นน้ำมันดิบ (13)

Products	Volume % of Original Oil		
	Rape seed Oil	Peanut Oil	Tung Oil
Crude Oil	74	72	72
Fraction below 200 °C	26	28	22
Fraction below 300 °C	68	62	65

คุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันที่ทำให้บริสุทธิ์แล้ว (vegetable - gasoline, vegetable - kerosene และ vegetable - diesel) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.13

จากการนำเวกเตเบิ้ล-แก๊สโซลีนมาทดสอบพบว่าจะให้กำลังม้าเบรค (brake horsepower) ประมาณ 90-95% เมื่อเทียบกับแก๊สโซลีนที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (petroleum oil) และในปริมาณน้ำมันที่ใช้เท่ากับระยะทางเครื่องยนต์ที่ได้จากการใช้เวกเตเบิ้ล-แก๊สโซลีนจะได้ประมาณ 90-95% เช่นกัน

สถาบันวิจัยอุตสาหกรรมแห่งชาติ (N.B.I.R.) ได้รวบรวมข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างกำลังของเครื่องยนต์และการใช้น้ำมันของน้ำมันชนิดต่าง ๆ และได้รายงานผลการทดลองไว้ในตารางที่ 3.14

#### ข้อมูลในระดับโรงงาน (Plant Data)

จากข้อมูลที่ได้อีกกล่าวมาข้างต้นก็มีความสมบูรณ์พอสมควร แต่โรงงานที่สร้างขึ้นในประเทศจีนสมัยเริ่มแรกเป็นไปอย่างโดดเดี่ยวเพราะไม่มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์จากแหล่งอื่น ๆ มาช่วย ดังนั้นการสร้างโรงงานจึงลอกเลียนแบบโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมของสหรัฐอเมริกาเพียงแต่นำมาดัดแปลงเล็กน้อย

ตารางที่ 3.12 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดิบที่ได้จากน้ำมันพืช ซึ่งผ่านกระบวนการทั้งสามกระบวนการ (13)

	Type of Experiment			
	Liquid-Phase Cracking			
	vapor - phase cracking	pressure cracking	catalytic cracking	calcium soap distillation
Sp.gr.at 15 °c	0.84 - 0.86	0.80 - 0.83	0.82 - 0.85	0.82 - 0.87
Acid value	5 - 18	25 - 40	3 - 30	0.20 - 1.50
Loss by H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> %	20 - 40	30 - 78	13 - 40	15 - 25
Calorific power B.t.u./lb	16,300 - 17,800	17,000 - 18,000	16,800 - 17,800	17,000 - 18,000

ตารางที่ 3.13 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันดิบกับน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม (13)

	Veg. Gasoline	U.S. Gasoline
Sp. gr. at 15°C	0.785	0.762
Sulfur	None	Max
Corrosion test	Negative	Negative
Doctor test	Negative	Negative
A.S.T.M. distillation, °C.		
I.B.P.	45	38
10%	80	62
20%	105	99
30%	115	110
40%	120	120
50%	134	126
60%	145	138
70%	158	140
80%	168	160
90%	180	177
E.P.	210	205
B.t.u./lb	15	16
Octane No.	60	70

	Veg. Kerosene	U.S. Kerosene
Flash point, °C	118 min.	146 min.
Sulfur, %	None	0.06 min.
End point of distillation, °C	300	316

	Veg. Diesel Oil	U.S. Diesel Oil
Flash point, °F	160 min.	150 min.
Viscosity	40	50
Sulfur, %	None	1
Carbon residue, %	0.2 max.	0.18 max.
Distillation test, 80% distilled over, °C	300	290



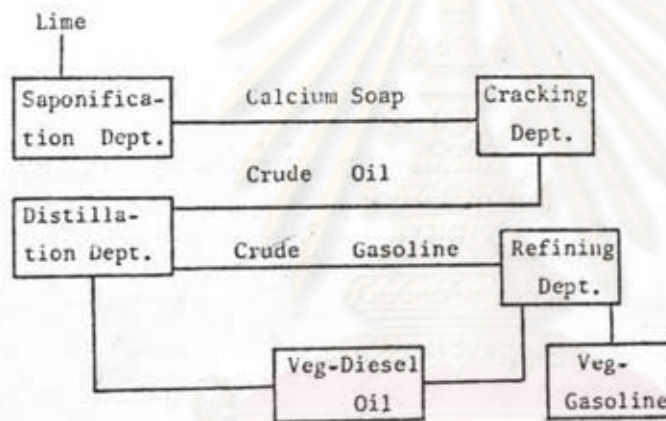
ตารางที่ 3.14 เปรียบเทียบอัตราการสูญเสียเชื้อเพลิงและกำลังของเครื่องยนต์ ระหว่างใช้น้ำมันพืช, น้ำมันดีเซลจากน้ำมันพืช และน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปิโตรเลียม (13)

Engine speed, R.P.M.	Mineral Diesel Oil	Cotton-seed Oil	Rape-seed Oil	95% Rapeseed 5% Kerosene Oil	Tung Oil	Veg. Diesel Oil
B.H.P. Developed from Testing Engine						
1000	25.8	23.2	23.5	23.8	23.4	24.4
1200	31.2	29.8	30.3	30.3	28.7	30.8
1400	36.7	36.2	34.5	34.4	38.6	34.7
1600	40.2	37.8	38.4	38.5	37.7	39.8
1800	40.7	40.5	41.4	41.3	38.7	42.1
2000	..	..	..	..	..	..
Fuel Consumption, Grams/ (B.H.P. - Hours)						
1000	226	314	311	307	321	267
1200	239	301	305	204	310	275
1400	264	321	320	318	325	296
1600	268	358	355	357	364	303
1800	289	365	367	364	371	331

เซลติบ (crude diesel oil) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 2 ส่วนจะนำไปทำให้บริสุทธิ์ต่อไป

ปัญหาที่เกิดขึ้นที่พบบ่อย คือ การรั่วตามข้อต่อต่างๆ ความเสียหายของระบบจากการสึกกร่อนและเกิดความร้อนเฉพาะที่ (local heating) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรายงานของบริษัทน้ำมันพืชของจีน (China Vegetable Oil Corp.) เป็นน้ำมันเบาประมาณ 60% และน้ำมันหนักประมาณ 20% โดยปริมาตร

ในขณะเดียวกันกระบวนการแตกกิ่งเกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืชก็ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นกับกระบวนการต่างๆ ข้างต้น ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการใช้ความรู้ทางด้านเคมีเข้ามาช่วย ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการแบบนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 แผนผังการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้กระบวนการแตกกิ่งเกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืช (13)

น้ำมันที่ใช้คือน้ำมันตั้งอ้ว นำมาเติมสเลกด์ ไลม์ (slaked lime) แล้วให้ความร้อน พร้อมทั้งกวนไปด้วย จนกระทั่งสิ้นสุดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification) สิ่งที่ได้คือเกลือแคลเซียมของกรดไขมัน (calcium soap) จากนั้นถ่ายเกลือแคลเซียมของกรดไขมันในขณะที่ร้อนออกมาใส่ในบ่อซีเมนต์ ซึ่งมันจะกลายสภาพจากของเหลวเป็นของแข็งแข็ง แกะเกลือแคลเซียมของกรดไขมันในสภาพของแข็งออกเป็นก้อนๆ แล้วนำมากรองรวมกันไว้ในที่เก็บหรือส่งถ่ายเข้าสู่หน่วยปฏิบัติการแตกกิ่งต่อไป

หน่วยปฏิบัติการแตกกิ่งจะประกอบด้วยเตาหลอมซึ่งทำด้วยเหล็ก มีขนาดมาตรฐานอยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดที่สามารถรับเกลือแคลเซียมของกรดไขมันได้ 100 และ 150 ปอนด์ตามลำดับ ลักษณะของเตาหลอมทางด้านล่างจะเป็นรูปครึ่งทรงกลมฝังอยู่ในเตา-

เผาด้านบนจะต่อเข้ากับระบบความดันเพื่อกลั่นไอที่ได้จากปฏิกิริยาในเตาหลอมให้เป็นของเหลว การวางเตาหลอมจะวางเป็นแถว(row) ส่วนข้อต่อต่างๆ ของเตาหลอมจะใช้น้ำาแปลน เรียบยึดกันโดยใช้เกลียวและน็อต ระหว่างหน้าแปลนจะมีใยหิน (asbestos) กั้นอยู่ เตาหลอมขนาดรับเกลือแคลเซียมของกรดไขมันได้ 150 ปอนด์ สามารถผลิตน้ำมันดิบได้ประมาณ 13 แกลลอนในเวลาประมาณ 6 ชั่วโมงใช้เชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส (bituminous coal) ในแต่ละแบ้ช (batch) ประมาณ 200 ปอนด์

ของเหลวหรือเรียกว่าน้ำมันดิบที่ได้จากหน่วยเครื่องจะนำไปกลั่นแยกผลิตภัณฑ์ ส่วนบนของหอกลั่นแยกจะเป็นพวกแก๊สโซลีนดิบ(crude gasoline) น้ำมันดีเซลเบา(light diesel oil) และน้ำมันดีเซล (diesel oil) ส่วนทางก้นหอยจะเป็นพวกน้ำมันดีเซลดิบ crude diesel oil) ผลิตภัณฑ์ส่วนน้ำมันดีเซลสามารถนำไปจำหน่ายได้ ส่วนน้ำมันดีเซลเบาเมื่อนำมากลั่นซ้ำจะ ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นพวกน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าดดิบ(crude kerosene) จากนั้นนำน้ำมันที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์โดยการ ใช้กรดซัลฟูริกแล้วล้างด้วยน้ำจากนั้นทำให้เป็นกลาง ด้วยด่าง แล้วล้างด้วยน้ำอีกครั้งหนึ่ง

สรุปผลที่ได้จากกระบวนการ เครื่องกลั่นเกลือแคลเซียมของกรดไขมันของน้ำมันตั้งอ้าว

Crude Oil 1 ton	{	Veg-gasoline	or	Veg-gasoline, 60 gallons
		60 gallons		Veg-kerosene, 40 gallons
		Veg-diesel Oils		Veg-diesel oils, 0.60 ton
		0.73 ton		tar, 0.06 ton
		tar, 0.05 ton		

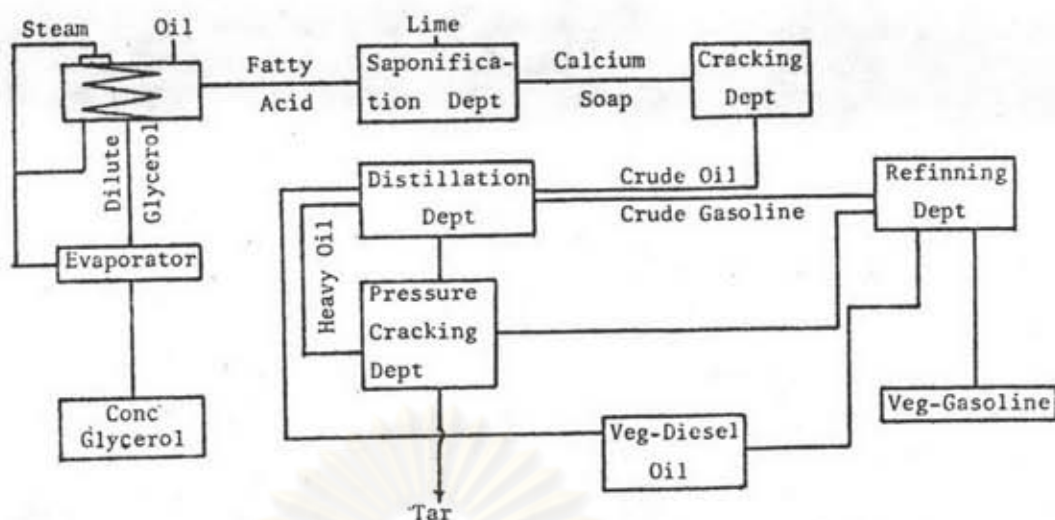
กระบวนการ เครื่องกลั่นของเกลือของกรดไขมันสามารถนำเอากระบวนการ เครื่องกลั่นด้วยความดันมารวมเข้าไปในหน่วยผลิตได้ดังรูปที่ 3.6

ข้อดีของกระบวนการ เครื่องกลั่นของเกลือของกรดไขมันคือจะมีค่าสภาพกรด (acidity) ต่ำ

### 3.5.2 การศึกษาตั้งแต่ ค.ศ. 1977 - ปัจจุบัน

ปี ค.ศ. 1977 ไมนาบี เอเค ชันตราเซฆาราน, บี กิลล์ บี เอส





รูปที่ 3.6 แผนผังการผลิตแก๊สโซลีนในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้กระบวนการแตกกิ่งเกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืช (13)

(Minani A.K. Chandrasekharan, B., Gill. B.S.) (28) ได้ทำการทดลองศึกษาการแปรรูปน้ำมันพืช ทั้งวัตถุดิบที่เป็นไอและของเหลวโดยปฏิกิริยาแตกกิ่ง โดยใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยารวมถึงศึกษาปฏิกิริยาไพโรไลซิสกับเกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืช

ปี ค.ศ. 1979 พี.บี.ไวซ์, ดับบริวโอ ฮาก, พีจี โรดวาลด์ (P.B. Weisz W.O. Haag, P.G. Rodewald) (29) ศึกษาโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซดเอส-เอ็ม-ไฟว์ (ZSM-5) ซึ่งเป็นเซพิเลคทีฟคะตะลิสต์ (shape-selective catalyst) กับน้ำมันพืชชนิดต่างๆ และกับน้ำยางพารา (latex rubber) ตัวเร่งปฏิกิริยาพวกโมเลกุลเซฟ-ซีเลคทีฟคะตะลิสต์ (molecular -shape-selective catalyst) สามารถนำมาใช้เปลี่ยนรูปของน้ำมันพืชหรือสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลงได้โดยตรง ผลผลิตที่เกิดขึ้นก็สามารถนำมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงหรือใช้แทนสารเคมีได้ดี

ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ของบริษัทโมบิล (Mobil's Zeolite Catalyst, ZSM-5) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวหนึ่งซึ่งนำมาใช้ในการแปรรูปโมเลกุลน้ำมันพืชให้เป็นสารไฮโดรคาร์บอน ผลผลิตที่เกิดขึ้นจะถูกระบุโดยขนาดของโพรงของโมเลกุล (30)

ขั้นตอนและรายละเอียดของการทดลองเริ่มต้นโดยการบ้อน้ำมันพืชด้วยปั๊มลูกสูบ (piston pump) ในอัตรา 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง พร้อมทั้งแก๊สไฮโดรเจนในอัตรา 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาเซฟ-เอ็ม-ไฟว์ มีปริมาตร 2 มิลลิลิตร

(ประมาณ 0.77 กรัม ขนาด 14-30 เมช) โดยบรรจุในหลอดแก้วทนไฟ(pyrex-reactor) ให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยขดลวดความร้อน(electrically heater) ให้ความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ส่วนของเหลวจะเก็บในภาชนะที่หล่อเย็นด้วยน้ำ ส่วนที่เป็นแก๊สจะเก็บแทนที่สารละลายเกลือ(brine)แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และแมสสเปคโทมิเตอร์(Gc-MS)

ผลการทดลองในเงื่อนไขต่าง ๆ กับน้ำมันพืชและสารตัวอื่น ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยแก๊สเชื้อเพลิง(fuel gas)ซึ่งเป็นสารประกอบของ  $C_1$  และ  $C_2$  แก๊สปิโตรเลียมเหลว(liquefied petroleum gas) ซึ่งเป็นสารประกอบของ  $C_3$  และ  $C_4$  แก๊สโซลีน เชื้อเพลิงไอพ่น(jet fuel) น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอื่น ๆ

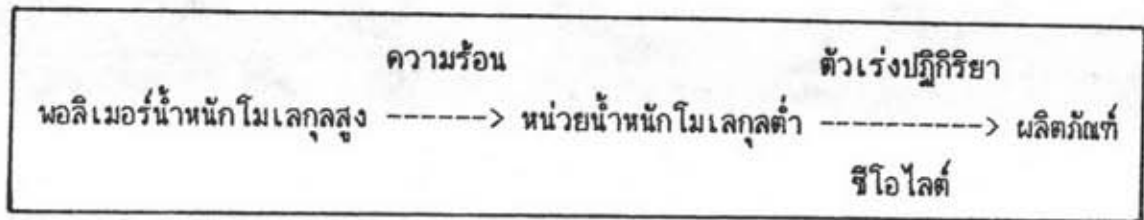
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกเหนือจากเชื้อเพลิงแล้วจะเป็นพวก เบนซีน (benzene) ทูลอีน(toluene) โซลีน(xylene)ซึ่งเรียกรวมว่า บีทีเอ็กซ์(BTX) สำหรับสารอะโรมาติก(aromatic)และพวกโอลิฟิน(olefin) สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทางเคมี (chemical feed stock) ที่มีคุณภาพสูงได้

หากพิจารณาขนาดโมเลกุลของน้ำมันพืช หรือโมเลกุลของสารตัวอื่น ๆ ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลใหญ่แล้ว จะไม่สามารถเข้าไปในโพรงช่องว่างของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ แต่ในทางตรงข้ามผลิตภัณฑ์ที่ได้กลับมีขนาดของโมเลกุลเล็กและใกล้เคียงกัน(sharp - molecular shape) ดังนั้นจึงได้ตั้งข้อสมมติฐาน 2 กรณีคือ

1. กลไกทางจลศาสตร์ที่แปลกใหม่ของ เซฟ-ซีเลคทีฟคะตะลิสต์ ซึ่งจะแตกต่างกับตัวเร่งปฏิกิริยานิตอื่น ๆ
- หรือ 2. เปลี่ยนแปลงความคิดเกี่ยวกับรูปแบบโครงสร้างการจัดตัวของ เซฟ-ซีเลคทีฟคะตะลิสต์

สำหรับกรณีของน้ำยางพารา ซึ่งโมเลกุลเป็นพวกพอลิไอโซพรีน (polyisoprene) การแปรรูปโมเลกุลจากขนาดใหญ่เป็น โมเลกุลขนาดเล็กสามารถแบ่งได้ 2 ขั้นตอนคือ





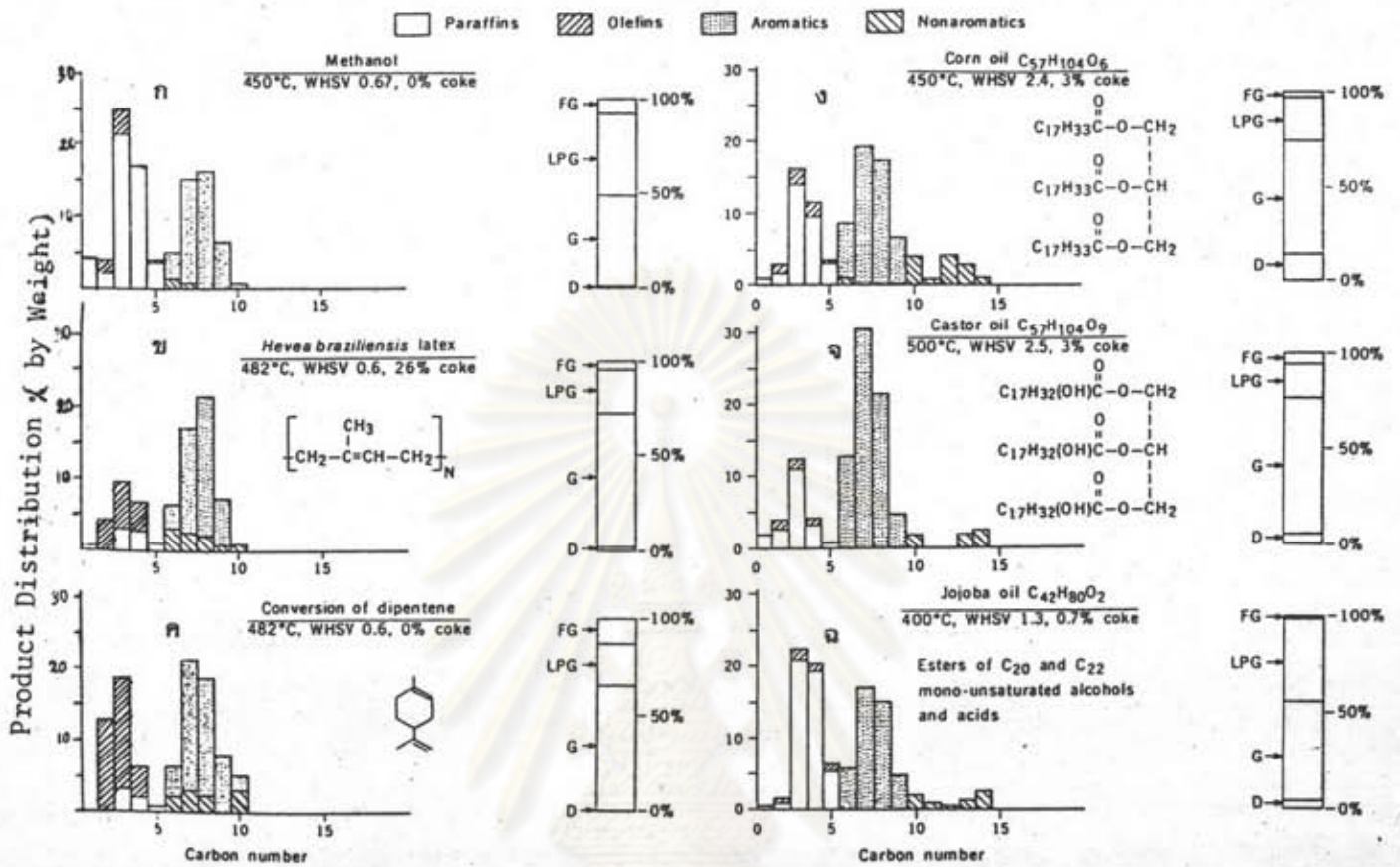
เมื่อน้ำยางถูกบ้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่ได้บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 400 °ซ ความร้อนจะทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งเป็นพวกพอลิไอโซพรีน (polyisoprene) แตกตัวเป็นพวกไอโซพรีน (isoprene) ไดเพนทีน (dipentene,  $C_{10}$ )  $C_{15}$  และ  $C_{20}$  ซึ่งจะมีขนาดของโมเลกุลเล็กกลง ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จากปฏิกิริยาไพโรลิซิสนี้จะเป็นพวกไดเพนทีน ( $C_{10}$ ) หรือ ไอโซพรีนจะผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาแซดเอสเอ็ม-ไพร์ ที่อุณหภูมิประมาณ 482 °ซ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7

ในกรณีของน้ำมันพืชลักษณะทั่วไปของสูตรโมเลกุลเป็นพวกไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลใหญ่ ดังรูปที่ 3.8(ก) การจัดตัวโมเลกุลของน้ำมันพืชสามารถจะฝังตัวเข้าไปในโพรงของโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8(ข) การจัดตัวของโมเลกุลในรูปแบบนี้จะมีขนาดพอ ๆ กับโมเลกุลของไตรเมทิล เบนซีน (trimethyl benzene) จากการศึกษาพบว่าโมเลกุลของไตรเมทิล เบนซีนสามารถจะแพร่เข้าไปในโพรงของโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาแซดเอสเอ็ม-ไพร์ได้ดี (31) ดังนั้นโมเลกุลของน้ำมันพืชก็สามารถจะแพร่ฝังตัวเข้าไปในโพรงของโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาแซดเอสเอ็ม-ไพร์ ได้เช่นกัน

จากการศึกษาและผลของการทดลองพอจะเป็นตัวอย่างสำหรับการใช้เซฟ-ซีเลคทีฟเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก และได้แสดงถึงกลไกว่าทำไมโมเลกุลขนาดใหญ่จึงสามารถจะแพร่ฝังตัวเข้าไปในโพรงของโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ซึ่งมีขนาดเล็กได้

ปี ค.ศ. 1981 ซีอันโด โดส แอนโจส. โจ ริบามาร์. แลม, เฟรตี, โรเจอร์ (Seagundo Dos Anjos, Jose Ribamar, Lam, Frety, Roger) (32) นำน้ำมันถั่วเหลืองมาศึกษาในสภาพเป็นไอโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และ อะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) ซึ่งมีสภาพเป็นของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเครื่องปฏิกรณ์เป็นแบบท่อ (tubular) ทำด้วยแก้วทนความร้อน อุณหภูมิที่ทดลอง 300, 400 และ 500 °ซ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประมาณ 40% เป็นพวกไฮโดรคาร์บอนและจะมีลักษณะเหมือนกับน้ำมันดีเซล



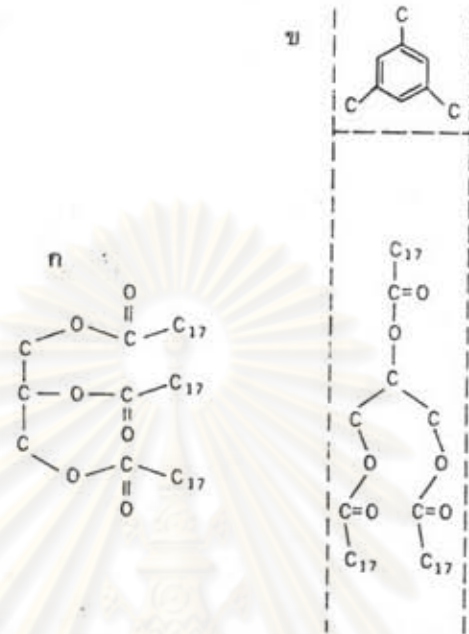


Product spectra from catalytic conversion of methanol, and of various biomass constituents. The abbreviations FG, LPG, G, and D are for Fuel gas, liquid petroleum gas, gasoline, and light distillate, respectively; WHSV is for weight-hourly space velocity.

รูปที่ 3.7 เจื่อนไซและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกกิ่ง ก) เมทานอล ข) ยางพารา  
ค) โดเพนทีน ง) น้ำมันข้าวโพด จ) น้ำมันละหุ่ง และ ฉ) น้ำมันโอโยบา  
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM - 5 (29)

ปี ค.ศ. 1983 โจ ริบามาร์, ซีอันโด โดส แอนโจส, กอนซาเลซ, โรเจอร์, เฟรตตี (Jose Ribamar, Seaundo Dos Anjos, Gonzalez Roger, Frety) (33) ใช้ไขมันถั่วเหลืองในลักษณะน้ำมันดิบ (crude soybean oil) และที่ผ่านการไฮโดรจีเนชันแล้ว (prehydrogenated soybean oil) โดยศึกษาในสภาพที่เป็นไอน้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ อลูมินา ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรด โดยมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะทรงกลม ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-S}$ ) และลักษณะทรงกระบอก ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-E}$ ) และแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ ) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เครื่องปฏิกรณ์เป็นแบบท่อทำด้วยแก้วทนความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ทดลองประมาณ

300-500 °ซ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี และอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี



รูปที่ 3.8 การจัดตัวของโมเลกุลของน้ำมันพืช (29)

ก) แบบธรรมดา ข) แบบฝังตัวในโครงโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์

รายละเอียดของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลมจะเป็นของแข็งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร พื้นที่ผิว 220 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรของช่องว่าง (pore volume) 0.9 มิลลิลิตรต่อกรัม มีโซเดียมอยู่ประมาณ 500 ส่วนในล้านส่วนสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินาแบบทรงกระบอก จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ความยาว 0.5 มิลลิเมตร พื้นที่ผิว 250 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรของช่องว่าง 0.4 มิลลิลิตรต่อกรัมและมีโซเดียมอยู่ประมาณ 240 ส่วนในล้านส่วน ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างเตรียมได้โดยการสลายตัว (decomposition) แมกนีเซียมคาร์บอเนต ( $MgCO_3$ ) ที่อุณหภูมิ 500 °ซ พื้นที่ผิว 140 ตารางเมตรต่อกรัม

ผลการทดลองจากตารางที่ 3.15 แสดงผลของการใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลม แมกนีเซียมออกไซด์ ในปฏิกิริยาเครกกิงที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นแก๊ส ทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และอะลูมินาแบบทรงกลม จะให้ผลที่เป็นของเหลวในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน



ตารางที่ 3.15 ผลของปฏิกิริยาแตกกิ่งของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ความร้อน และตัวเร่ง-ปฏิกิริยาอะลูมินา, แมกนีเซียม ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 °ซ (33)

Cracking of crude soybean oil

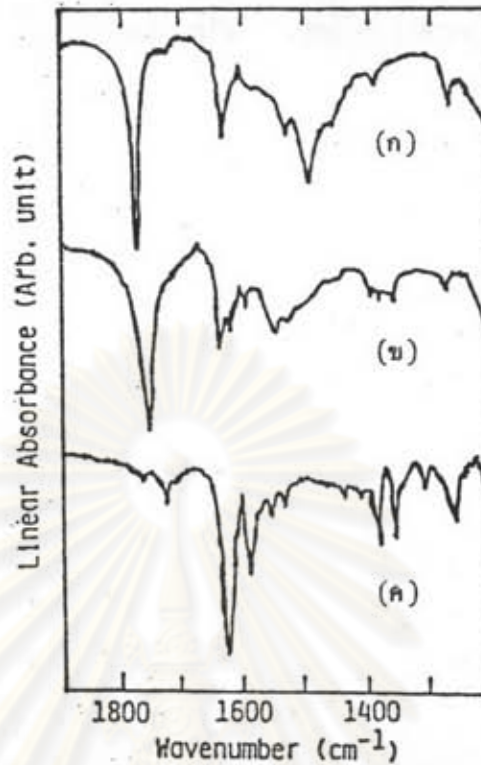
Catalyst	T/°C	Weight of liquid products/g oil		Residue/g oil
		Total	After treatment	
(glass)	400	0.65	-	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -S	300	0.58	-	0.13
	400	0.59	0.30	0.11
	500	0.55	0.29	0.12
MgO	300	0.60	-	0.12
	400	0.58	-	0.11
	500	0.57	-	0.11

ผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (infrared - spectroscopy) ในกรณีของน้ำมันถั่วเหลืองดิบ ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแตกกิ่งโดยใช้ความร้อนและจากตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลมที่อุณหภูมิ 400 °ซ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวของเอสเทอร์ (ester group) จะหายไปโดยสังเกตได้จากยอด (peak) ตรงช่วงคลื่น 1,100-1,300 ซม<sup>-1</sup> จะหายไปแต่ยอดตรงช่วงคลื่น 1,650-1,750 ซม<sup>-1</sup>. ซึ่งเป็นยอดที่แสดงหมู่ของคาร์บอนิล (carbonyl group) เช่นพวก แอลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketones) และกรด (acid) จะเด่นชัดขึ้นหมายถึงการเกิดหมู่ของสารพวกนี้มากขึ้น แต่ในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลจะให้ตรงข้ามกันและจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น อย่างไรก็ตามแม้จะใช้อุณหภูมิ 500 °ซ ก็ยังไม่สามารถกำจัดหมู่ของคาร์บอนิล ได้อย่างสมบูรณ์

ดีกรีความไม่อิ่มตัวของน้ำมัน (degree of unsaturation of the oil) จะมีผลต่อปฏิกิริยา ดังนั้นจึงนำน้ำมันถั่วเหลืองมาผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) เพื่อลดค่าของไอโอดีน (iodine value) จาก 120 เป็น 60 และ 10 ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการข้างต้นมาทำปฏิกิริยาแตกกิ่งโดยใช้อะลูมินาแบบทรงกลมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.16 แสดงให้เห็นว่าค่าของไอโอดีนมีผลต่อผลลัพธ์ นั่นคือเมื่อไอโอดีนมีค่าลดลงผลลัพธ์





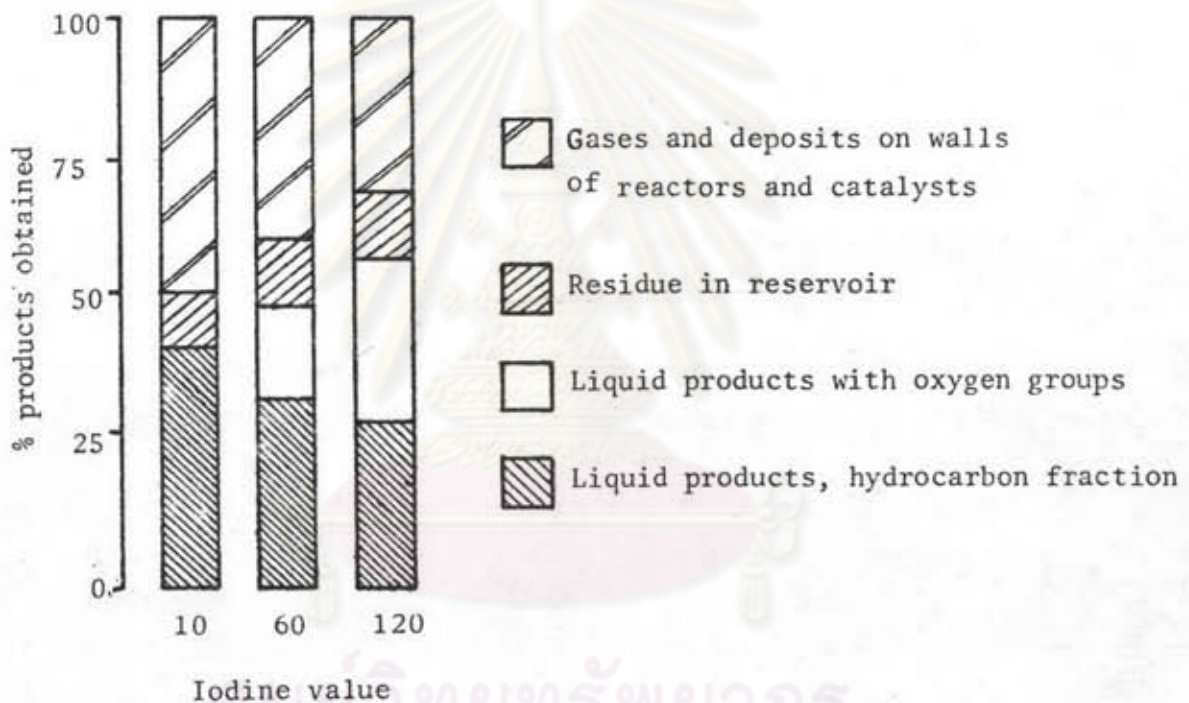
- รูปที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของ (33)
- ก) น้ำมันถั่วเหลืองดิบ
  - ข) ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาแตกกิ่งโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °ซ
  - ค) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีของปฏิกิริยาแตกกิ่ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลมที่อุณหภูมิ 400 °ซ

ตารางที่ 3.16 ผลของไอโอดีนที่มีต่อปฏิกิริยาแตกกิ่งของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลม โดยทดลองที่อุณหภูมิ 400 °ซ (33)

Cracking of prehydrogenated soybean oil by  $Al_2O_3$ -S at 400°C

Iodine value	Weight of liquid products/g oil		Residue/g oil
	Total	After treatment	
120	0.57	0.29	0.13
60	0.50	0.33	0.12
10	0.41	0.41	0.10

ของเหลว (liquid product) ก็จะลดลงตามไปด้วย ของเหลวแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอน และส่วนที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนแต่เมื่อค่าของไอโอดีนลดลงส่วนของเหลวที่เป็นพวกไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มขึ้น ผลการทดลองสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 3.10 และจากตารางที่ 3.17 เป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลมกับแมกนีเซียมออกไซด์ ในกรณีที่ไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าคงที่ 10 แต่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผลการทดลองพบว่าหมู่ของคาร์บอนิลจะน้อยลงเมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 °ซ ขึ้นไปในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลม และจะต้องใช้อุณหภูมิอย่างน้อย 500 °ซ ขึ้นไปสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์



รูปที่ 3.10 ผลของค่าไอโอดีน ที่มีต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาแตกกิ่ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลมที่อุณหภูมิ 400 °ซ (33)

จากรูปที่ 3.11 เป็นการเปรียบเทียบยอดของโครมาโทแกรมระหว่างน้ำมันดีเซลกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแตกกิ่ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลมและไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่า 60 และ 10 ตามลำดับ จะพบว่าลักษณะยอดของโครมาโทแกรมกรณีไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่า 10 จะเหมือนลักษณะยอดของน้ำมันดีเซลมากกว่ากรณีไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่า 60

ตารางที่ 3.17 ผลของปฏิกิริยาแตกกิ่ง น้ำมันถั่วเหลือง ที่มีค่าไอโอดีน 10 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลม และแมกนีเซียมออกไซด์ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 °ซ (33)

Cracking of prehydrogenated soybean oil of iodine value 10

Catalyst (glass)	T/C	Weight of liquid products/g oil	Residue/g oil
	400	0.55	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -S	300	0.44	0.10
	400	0.41 <sup>a</sup>	0.10
	500	0.39 <sup>a</sup>	0.10
MgO	300	0.46	0.10
	400	0.44	0.07
	500	0.42 <sup>a</sup>	0.08

<sup>a</sup>Products contain no oxygen groups detectable by IR.

ปี ค.ศ. 1982 บริษัท ฮอนด้า (HONDA) แห่งประเทศญี่ปุ่นก็ได้ศึกษาการแปรรูปน้ำมันพืชเป็นแก๊สโซลีนโดยใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดสบู่ดำและน้ำมันยูคาลิปตัส(8) รายละเอียดของน้ำมันแต่ละชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.18

ปฏิกิริยาที่ใช้มี 3 วิธีคือ

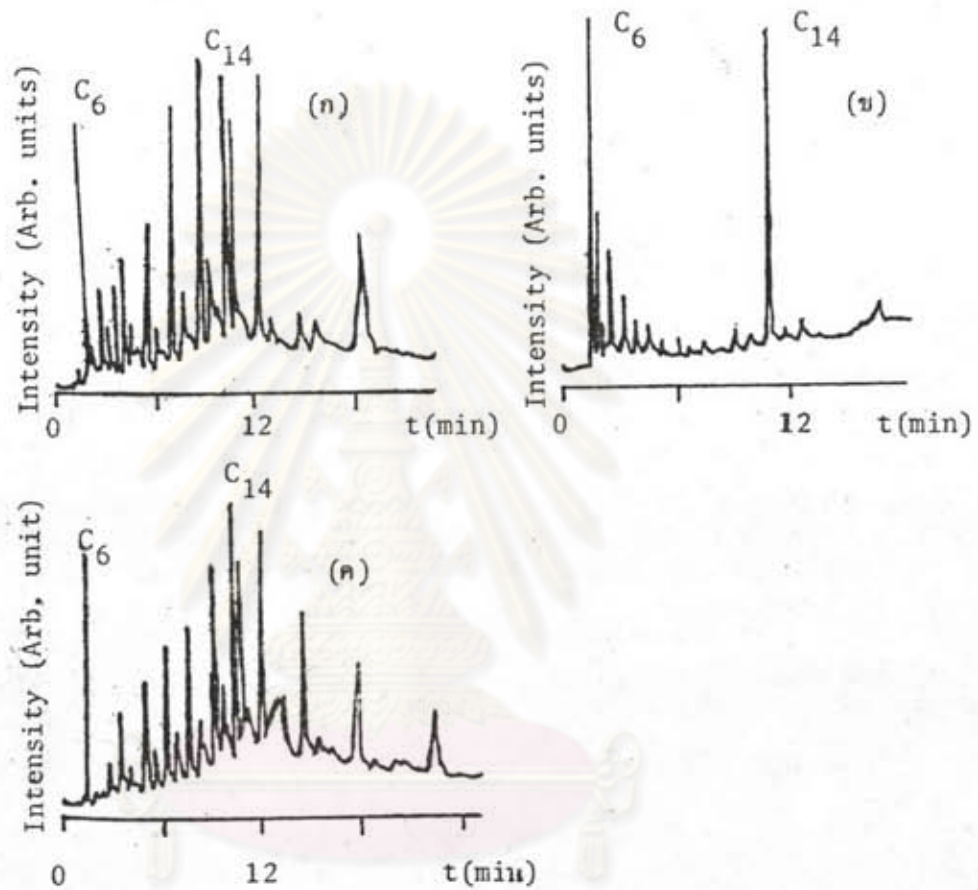
1. เทอร์มัลแตกกิ่ง (Thermal Cracking)
2. คตะไลติกแตกกิ่ง (Catalytic Cracking)
3. ไฮโดรแตกกิ่ง (Hydrocracking)

บริษัทฮอนด้า ได้ใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นตัวศึกษา ปฏิกิริยาแตกกิ่งทั้ง 3 วิธี เพื่อจะเลือกวิธีการที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาเครื่องมือต่อไป รายละเอียดของวิธีการต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

1. เทอร์มัลแตกกิ่ง (Thermal Cracking)

กระบวนการเป็นแบบแบช์(batch) โดยใส่ขวดแก้ว(flask)ขนาด 300 มิลลิลิตร ใส่น้ำมันมะพร้าวประมาณ 200 มิลลิลิตร อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 445 °ซแล้วเก็บของเหลวที่กลั่นได้ เครื่องมือการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.12









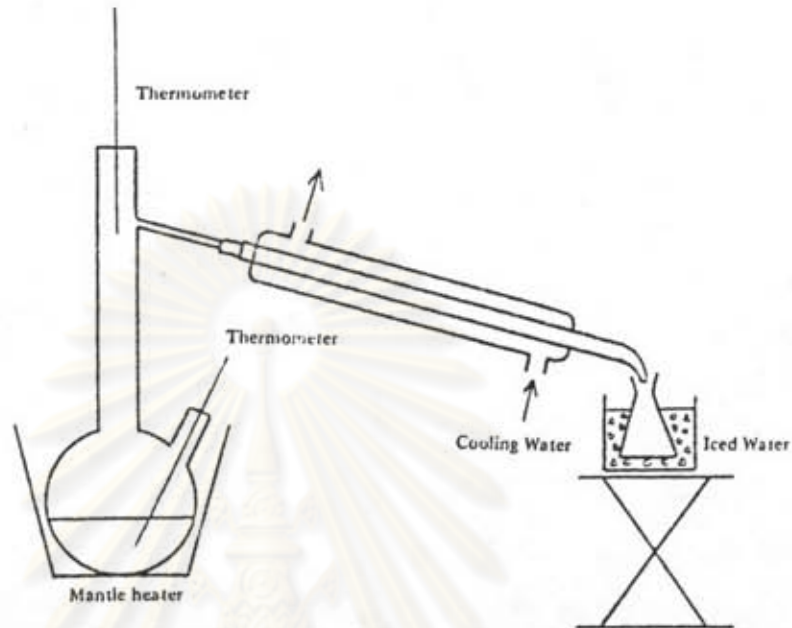
รูปที่ 3.11 ลักษณะ โครมาโตแกรมของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาแคตกิง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินาแบบทรงกลมที่ 400 ๓ ของ (33)  
 ก) น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าไอโอดีน 10    ข) น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าไอโอดีน 60  
 ค) ตัวอย่างน้ำมันดีเซล

ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นแก๊สโซลีน มีจุดเดือดต่ำกว่า 200 ๓ ประมาณ 4% โดย น้ำหนักของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ในตอนเริ่มต้น ของเหลวที่ได้จากกระบวนการนี้ ส่วนใหญ่จะไม่เกิดการแตกตัว กลิ่นจะระคายเคือง มีสารที่ทำให้เกิดการสึกกร่อนและไม่สามารถจะนำมาใช้แทนแก๊สโซลีนได้โดยตรงต้องนำไปผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีก่อน

ตารางที่ 3.18 องค์ประกอบกรดไขมันของ น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันเมล็ดสับดา และน้ำมันยูคาลิปตัส (8)

Unit: wt %

Vegetable Oil	Component			
Coconut Oil	Fatty Acid Components			
	caprylic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	8.3	
	capric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	6.5	
	lauric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	48.2	
	myristic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	16.7	
	palmitic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	8.6	
	stearic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	2.8	
	oleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{HC}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	7.3	
linolic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{HC}=\text{HC}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	1.6		
Physic Nut Oil	Fatty Acid Components			
	palmitic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	17	
	stearic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	1	
	oleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{HC}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	42	
linolic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{HC}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	40		
Eucalyptus Oil	$\alpha$ -pinene		$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	5.9
	1,8-cineole		$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	88.8
	p-cymene		$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	2.1
	pino-carveoil		$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	1.3
	Other			1.9



รูปที่ 3.12 เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาเทอร์มัลแครกกิงน้ำมันพืช (8)

## 2. คะตะไลติก แครกกิง (Catalytic Cracking)

ระบบประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized bed reactor) ซึ่งทำด้วยควอตซ์ (quartz) ภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา (FCC Catalyst) อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ใช้ประมาณ 485 °C รายละเอียดเครื่องมือได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.13 เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นพวกแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ไฮโดรคาร์บอน โค้ก (coke) และน้ำ แก๊สโซลีนที่ได้ประมาณ 12% รายละเอียดสภาวะเงื่อนไขของการทดลองและผลของปฏิกิริยา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.19

## 3. ไฮโดรแครกกิง (Hydrocracking)

เครื่องมือทดลองดังรูปที่ 3.14 เครื่องปฏิกรณ์จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 มิลลิเมตร ยาว 1,500 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยตัวเร่ง-

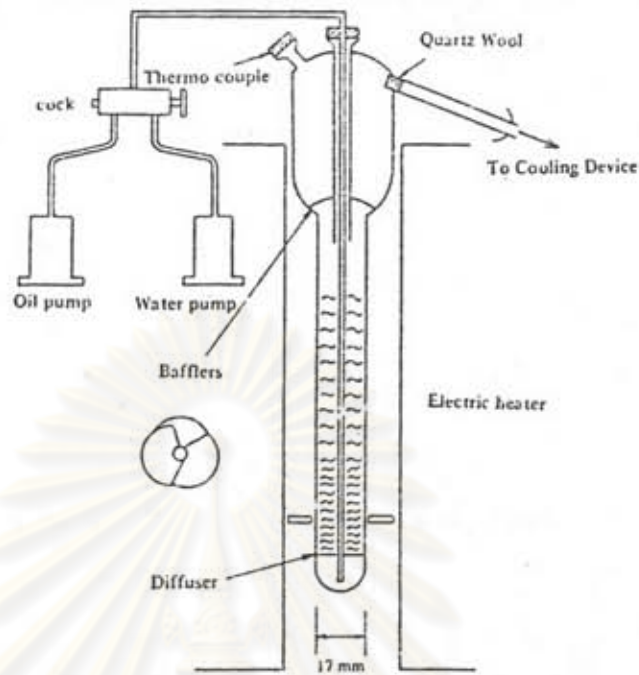


ปฏิกิริยา ซิลิกา-อะลูมินา (silica-alumina) ความดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อนุภาคมี 390  $\mu$  ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (liquid hourly space velocity, LHSV) มีค่า 0.3 ต่อชั่วโมง อัตราส่วนของไฮโดรเจน 1.200 มิลลิลิตรต่อน้ำมันมะพร้าว 1 มิลลิลิตร (1200 ml/ml) ผลของปฏิกิริยาจะได้แก๊สโซลีนประมาณ 13% มีค่าออกเทน (octane number) ต่ำ ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นและเงื่อนไขของการทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.20

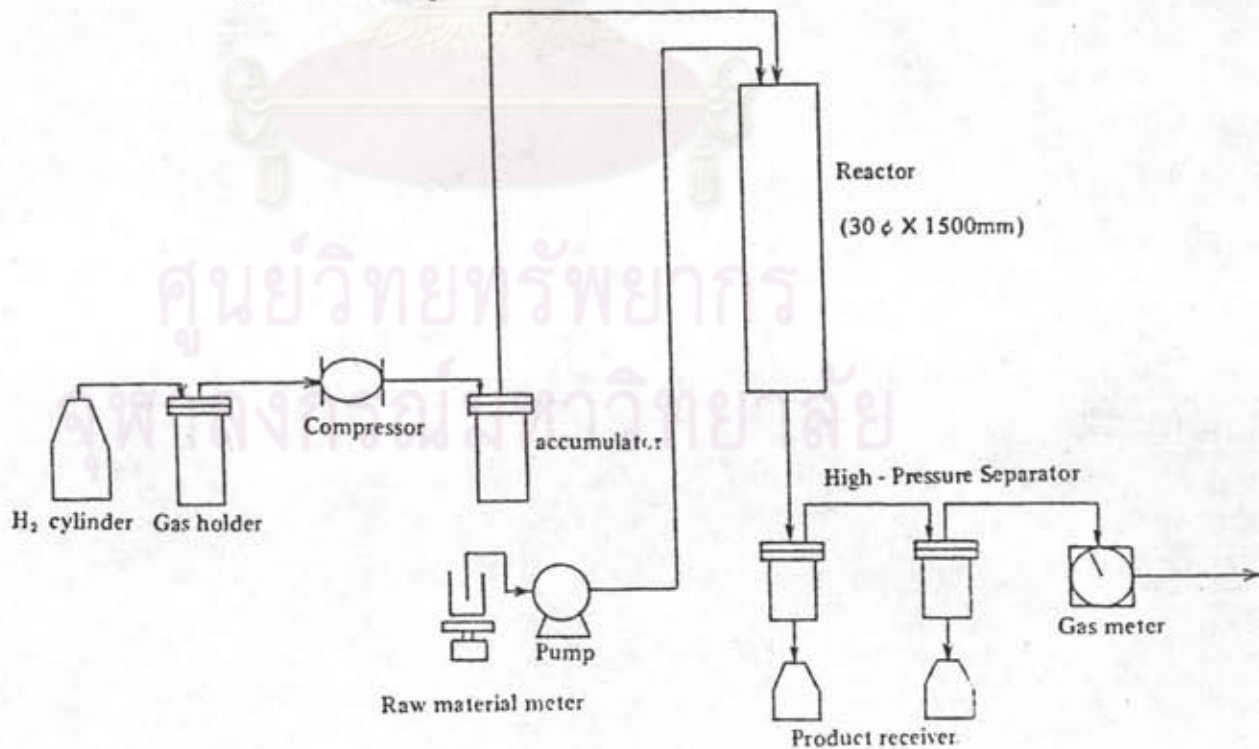
ตารางที่ 3.19 ผลลัพธ์ที่จากปฏิกิริยาอะตอมไฮโดรเจนของน้ำมันมะพร้าว (8)

Raw oil	Coconut oil	Vacuum Gas oil
Catalyst	Commercial catalyst (Equilibrium Cat.)	
React temperature ( $^{\circ}$ C)	485	485
Catalyst/Oil ratio (wt/wt)	4.2	4.0
WHSV (l) ( $h^{-1}$ )	14.3	15.0
Yield (wt %)		
CO, CO <sub>2</sub>	2.9	—
H <sub>2</sub> ~ C <sub>2</sub>	2.1	1.1
C <sub>3</sub>	4.9	4.3
C <sub>4</sub>	5.0	6.8
Gasoline	12.0	49.9
Heavy oil	59.3	36.8
Water	10.0	0.0
Coke	3.5	1.1
Gas Composition (Vol %)		
CO	18.9	—
CO <sub>2</sub>	4.4	—
H <sub>2</sub>	1.4	5.2
C <sub>1</sub>	10.2	10.7
C <sub>2</sub>	8.3	8.8
C <sub>2</sub>	6.5	5.3
C <sub>3</sub>	23.2	31.9
C <sub>3</sub>	5.4	11.0
iC <sub>4</sub>	4.4	17.5
nC <sub>4</sub>	1.3	1.7
C <sub>4</sub>	16.0	7.9

(1) WHSV = Weight hourly space velocity



รูปที่ 3.13 เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาอะตตะ โลติก เครกกิงของน้ำมันพืช โดยใช้เครื่อง-  
ปฏิกรณ์เคมีแบบฟลูอิดไธซ์เบด (8)



รูปที่ 3.14 เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาไฮโดร เครกกิงของน้ำมันพืชภายใต้ไฮโดรเจน  
ความดันสูง โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง (8)

ตารางที่ 3.20 เจื่อนไซและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาแตกกิ่ง ในระบบเทอร์มัลแตกกิ่ง, คัดตะไลติกแตกกิ่ง และไฮโดรแตกกิ่ง ของน้ำมันมะพร้าว (8)

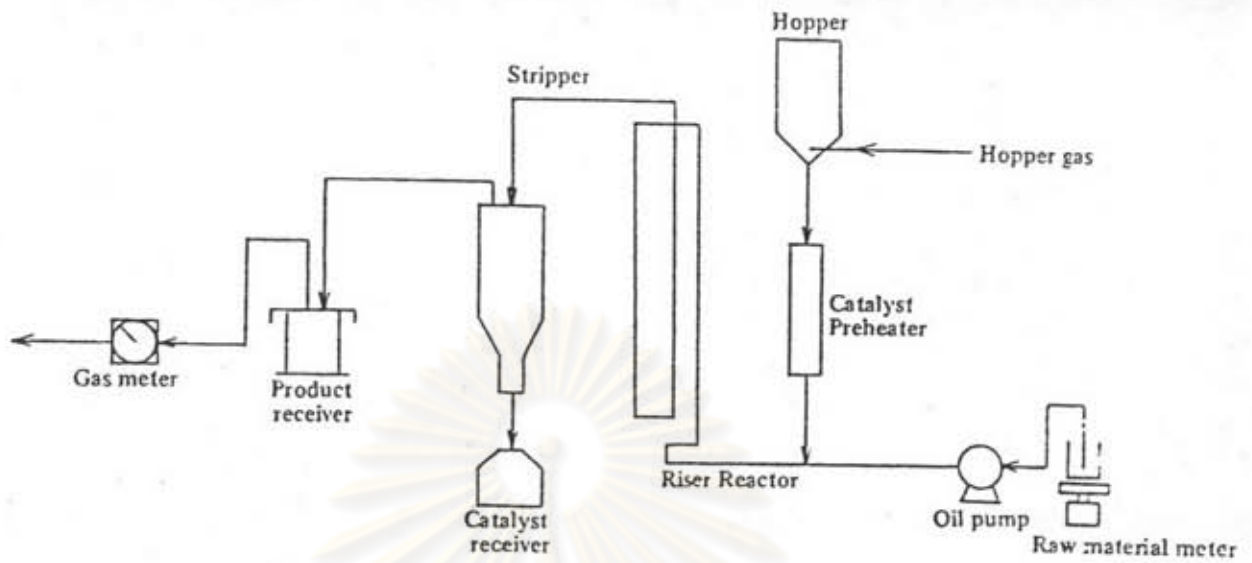
Cracking Method	Reaction Conditions	Yield Rate		Remarks
		Heavy Oil	Gasoline	
Thermal Cracking	Thermal cracking equipment Device (Fig. 2) Atmospheric pressure No catalyst Gradually heat from room temperature to 445°C	86 wt %	4 wt %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Product contains corrosive material</li> <li>- Irritating order</li> <li>- Need further treatment</li> </ul>
Catalytic Cracking	Fluid bed reactor (Fig. 3) Atmospheric pressure Fluid bed (Silica Alumina) 485°C, WHSV <sup>(2)</sup> 14.3 h <sup>-1</sup>	59 wt %	12 wt %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generate water, CO, and CO<sub>2</sub></li> <li>- Product gas components are similar to that of FCC gas.</li> </ul>
Hydro-Cracking	High-pressure reactor process flow chart (Fig. 4) Hydrogen 150 kg/cm <sup>2</sup> Fixed bed (Silica Alumina) 390°C, LHSV <sup>(1)</sup> 0.3 h <sup>-1</sup>	37 wt %	13 wt %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generates water</li> <li>- No irritating order</li> </ul>

(1) LHSV; Liquid Hourly Space Velocity

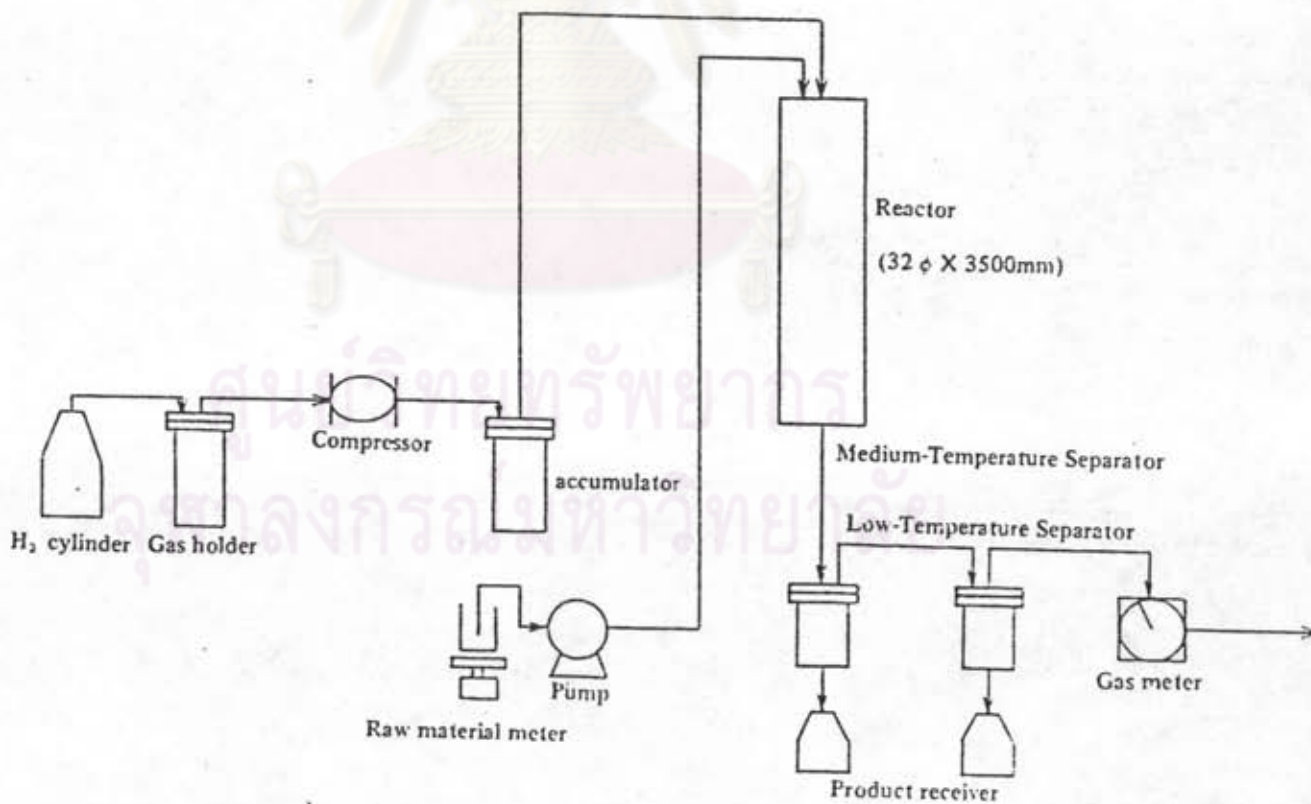
(2) WHSV; Weight Hourly Space Velocity

จากข้อมูลที่ได้อธิบายเห็นว่ากระบวนการแตกกิ่งทั้ง 3 กระบวนการนั้นจะให้ผลผลิตที่เป็นแก๊สโซลีนคิดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์แล้วมีค่าต่ำ (ทุกกระบวนการให้ค่าแก๊สโซลีนต่ำกว่า 15%) ดังนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองใหม่ โดยจะศึกษาเฉพาะกระบวนการคัดตะไลติกแตกกิ่ง กับไฮโดรแตกกิ่งเท่านั้นเพราะจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการ 2 กระบวนการนี้จะให้เปอร์เซ็นต์ของแก๊สโซลีนมากกว่ากระบวนการแบบเทอร์มัลแตกกิ่ง เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นใหม่เพื่อใช้กับกระบวนการแตกกิ่งแบบคัดตะไลติกแตกกิ่ง และไฮโดรแตกกิ่ง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16 ตามลำดับ





รูปที่ 3.15 เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาอะตะไลติกแครกกิงน้ำมันพืชโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบไรเซอร์ (๘)



รูปที่ 3.16 เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิงน้ำมันพืชภายใต้ไฮโดรเจนความดันสูง โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่งขนาดใหญ่ (๘)

## กรณีเมื่อนำน้ำมันมะพร้าว (Coconut oil)

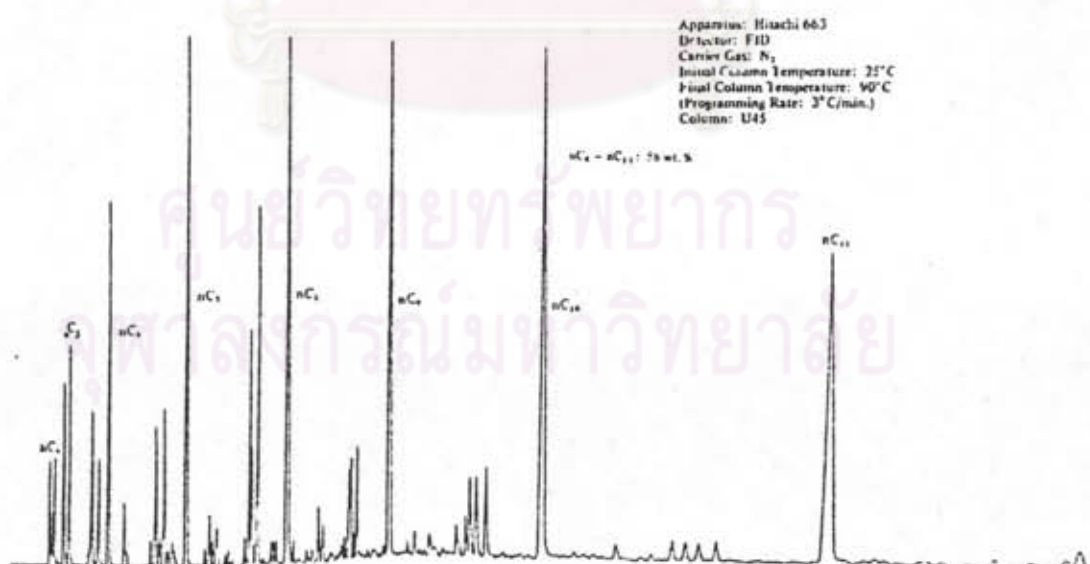
### 1. ไฮโดรแครกกิง (hydrocracking)

เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (fixed bed) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 32 มิลลิเมตร ยาว 3,500 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ซิลิกา-อะลูมินา

### เงื่อนไขของการทดลองมีดังต่อไปนี้

ความดันของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor pressure)	150 ก.ก./ตร.ซม.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor temperature)	400-410 °ซ
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (liquid hourly space velocity) $0.3 \text{ ชม}^{-1}$	
ไฮโดรเจนต่อน้ำมันมะพร้าว ( $\text{H}_2/\text{coconut oil ratio}$ )	1200 มล./มล.

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะได้แก๊สโซลีนประมาณ 18.2% น้ำมันหนักที่เหลืออยู่ 40.2% น้ำ 20.7% และแก๊ส 20.9% โดยน้ำหนัก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแก๊สโซลีนจะเป็นพาราฟิน (paraffin) ค่าออกเทน (octane number) จะต่ำประมาณ 6 แก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง น้ำมันมะพร้าว โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่งขนาดใหญ่ (8)

2. คะตะไลติกแครกกิง แบบ ไรเซอร์ (Riser type catalytic cracking)

เครื่องปฏิกรณ์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร ยาว 20 เมตร ภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา-อะลูมินาซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมโรงกลั่น (FCC Catalytic) ในการทดลองระบบนี้ น้ำมันที่ใช้ทดลองมี 2 ชนิดคือ

- ก) น้ำมันมะพร้าว  
ข) น้ำมันหนักที่ได้จากการผ่านกระบวนการไฮโดรแครกกิงของน้ำมันมะพร้าว (hydrocracking heavy residue of coconut oil)

เงื่อนไขของการทดลองมีดังต่อไปนี้

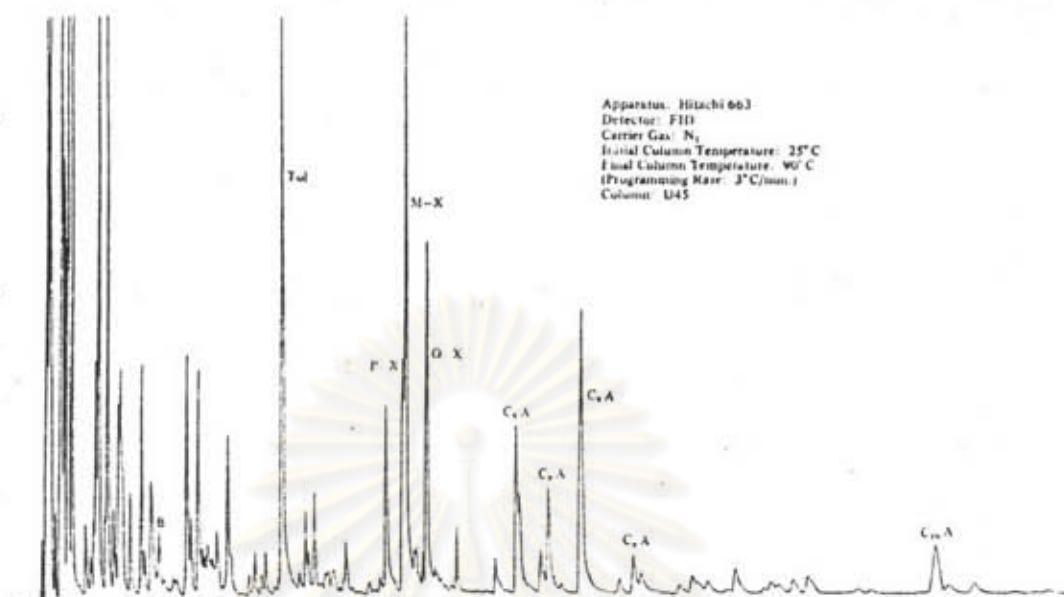
วัตถุดิบ	น้ำมัน (ก)	น้ำมัน (ข)
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	1 บรรยากาศ	1 บรรยากาศ
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ (°C)	500	500
ตัวเร่งปฏิกิริยา/น้ำมัน (นน./นน.)	10.3	6.6
อัตราป้อนของน้ำมัน (มิลลิลิตร/ชั่วโมง)	60	60
อัตราป้อนไนโตรเจน (ลิตร/ชั่วโมง)	48	48

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันมะพร้าว (ก) จะเป็นแก๊สโซลีนประมาณ 33.7% น้ำมันหนักที่เหลืออยู่ 10.9% น้ำ 3.1% โค้ก (coke) 11.7% และส่วนที่เป็นแก๊ส 40.6% โดยน้ำหนัก ส่วนแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.18 ค่าออกเทนประมาณ 94 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันหนัก (ข) จะได้เป็นแก๊สโซลีน 34% น้ำมันหนักที่เหลืออยู่ 15% โค้ก 1% และส่วนที่เป็นแก๊สประมาณ 50% โดยน้ำหนัก

สรุปเงื่อนไขและผลของการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.21

สำหรับคุณภาพของแก๊สโซลีนที่ได้จากการทดลองมาข้างต้นทั้งหมดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแก๊สโซลีนที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.22





รูปที่ 3.18 ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน จากปฏิกิริยาคะตะไลติกแครกกิงน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไรเซอร์ (8)

### กรณีของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

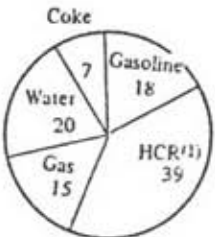
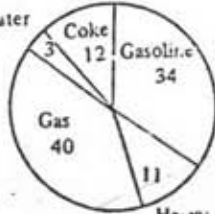
ทดลองโดยใช้กระบวนการ คะตะไลติกแครกกิง แบบ ไรเซอร์ เพียงอย่างเดียว เพราะลักษณะ โครงสร้าง โมเลกุลคล้ายกับน้ำมันมะพร้าว เพียงแต่มีระ. ชมันประเภทไม่อิ่มตัวสูงมากกว่าและผลจากการทดลองน้ำมันมะพร้าวกับกระบวนการไฮโดรแครกกิงพบว่าแก๊สโซลีนที่ได้จะมีค่าออกเทนต่ำ ดังนั้นในกรณีของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำซึ่งทดลองโดยใช้กระบวนการ คะตะไลติก แครกกิง แบบ ไรเซอร์ เพียงอย่างเดียว

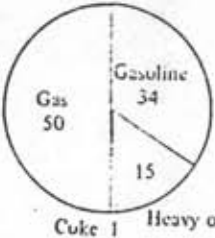
กะตะไลติก แครกกิง แบบ ไรเซอร์ (Riser type catalytic cracking)

ระบบต่าง ๆ เหมือนดังรูปที่ 3.15 เงื่อนไขของการทดลองมีดังต่อไปนี้

ความดันของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor pressure)	1 บรรยากาศ
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor temperature)	500 °C
ตัวเร่งปฏิกิริยา/น้ำมัน (catalyst/oil)	2.5 นน./นน.
อัตราการป้อนของน้ำมัน (crude oil supply)	150 มล./ชม.
อัตราการป้อนไนโตรเจน	80 ล./ชม.

ตารางที่ 3.21 เจือปนไฮโดรเจนและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาอะตอมไฮโดรเจนแตกกิ่ง, ไฮโดรแครกกิงของน้ำมันมะพร้าวและจากปฏิกิริยาอะตอมไฮโดรเจนแตกกิ่งของน้ำมันส่วนเหลือจากปฏิกิริยาอะตอมไฮโดรเจนแตกกิ่งของน้ำมันมะพร้าว (8)

Cracking Method	Reaction Conditions	Yield Rate and Features																						
Hydro-cracking	Equipment: Large-scale bench plant (Fig. 5) Reaction temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ): 400 to 410 Reaction pressure ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ): 150 Catalyst: Silica-alumina LHSV ( $\text{h}^{-1}$ ): 0.3 $\text{H}_2$ Rate ( $\text{H}_2$ ml/mlOil): 1,200	 <p>High <math>\text{H}_2</math> consumption</p>																						
Catalytic Cracking	Equipment: Riser type catalytic cracking (Fig. 6) Reaction temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ): 500 Reaction pressure ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ): Atmospheric Catalyst: Silica-alumina type Catalyst/oil ratio (wt/wt): 10.3 Feed rate (ml/h): 60 Carrier gas ( $\text{N}_2$ , l/h) 43	 <p>Existence of corrosive material            High coke yield</p> <p>Product Gas Composition (wt %)</p> <table border="1"> <tr><td><math>\text{H}_2</math></td><td>0.3</td></tr> <tr><td>CO</td><td>8.4</td></tr> <tr><td><math>\text{CO}_2</math></td><td>2.2</td></tr> <tr><td><math>\text{C}_1</math></td><td>4.2</td></tr> <tr><td><math>\text{C}_2</math></td><td>6.6</td></tr> <tr><td><math>\text{C}_3</math></td><td>3.4</td></tr> <tr><td><math>\text{C}_3</math></td><td>29.9</td></tr> <tr><td><math>\text{C}_3</math></td><td>10.8</td></tr> <tr><td>iC<sub>4</sub></td><td>16.5</td></tr> <tr><td>nC<sub>4</sub></td><td>4.2</td></tr> <tr><td><math>\text{C}_4</math></td><td>13.5</td></tr> </table>	$\text{H}_2$	0.3	CO	8.4	$\text{CO}_2$	2.2	$\text{C}_1$	4.2	$\text{C}_2$	6.6	$\text{C}_3$	3.4	$\text{C}_3$	29.9	$\text{C}_3$	10.8	iC <sub>4</sub>	16.5	nC <sub>4</sub>	4.2	$\text{C}_4$	13.5
$\text{H}_2$	0.3																							
CO	8.4																							
$\text{CO}_2$	2.2																							
$\text{C}_1$	4.2																							
$\text{C}_2$	6.6																							
$\text{C}_3$	3.4																							
$\text{C}_3$	29.9																							
$\text{C}_3$	10.8																							
iC <sub>4</sub>	16.5																							
nC <sub>4</sub>	4.2																							
$\text{C}_4$	13.5																							

Cracking Method	Reaction Conditions	Yield Rate and Features
HCR(1) Catalytic Cracking	Equipment: Riser type catalytic cracking (Fig. 6) Reaction temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ): 500 Reaction Pressure ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ): Atmospheric Catalyst: Silica-alumina type Catalyst/Oil ratio (wt/wt): 6.6 Feed rate (ml/h): 60 Carrier Gas ( $\text{N}_2$ , l/h): 48	

(1) H.C.R.: Hydrocracking residual oil

ตารางที่ 3.22 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแก๊สโซลีน ที่ได้จากปฏิกิริยาอะตะไลติกแครกกิง ไฮโดรแครกกิงของน้ำมันมะพร้าว กับแก๊สโซลีนจากน้ำมันปิโตรเลียม (๘)

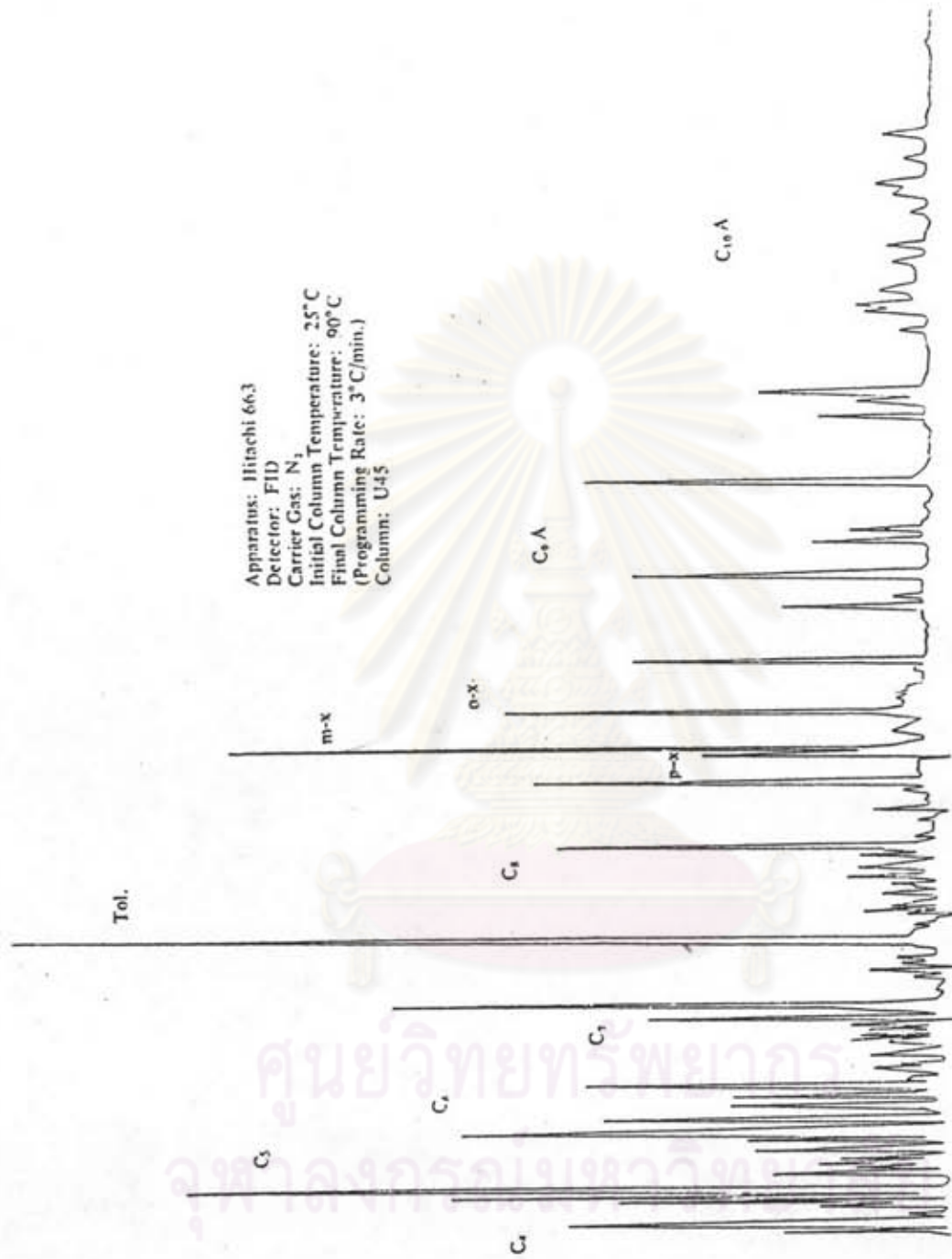
Item \ Sample oil	H.C.(1) Gasoline	H.C.R.(2) Cracked Gasoline	Coconut oil Cracked Gasoline	FCC Gasoline
Specific Gravity 15/4°C	0.7163	0.6904	0.7289	0.7441
Octane Number (F-1)	6.4	83.5	94.1	90.8
Copper Corrosion (50°C, 3 hr)	1a	1a	1b	1a
Hydrocarbon Component (FIA) Vol %				
Aromatics	Nil	6.9	26.7	30.5
Olefins	Nil	26.3	27.4	16.5
Saturates	99	66.8	45.8	53.0
Distillation (°C)				
IBP	43	20	21	34.5
5%	67.5	30	29.5	43
10%	83	32.5	34	48
20%	103	38	42	57.5
30%	116.5	44	52	69
40%	128.5	50.5	64	83.5
50%	141	59	81	102.5
60%	156.5	73	102.5	122
70%	174	104.5	128	145
80%	191	154	148	166.5
90%	203	179	167	191
95%	208	190	182	206
97%	215	195	192	214.5
EP	220	204	205	220.5
Total Recovery (Vol %)	98.0	98.5	96.5	98.5
Residue (Vol %)	1.0	0.5	0.5	0.5
Loss (Vol %)	1.0	1.0	1.0	1.0

(1) H.C.: Hydrocracked  
(2) H.C.R.: Hydrocracking residual oil

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้น้ำมันเมล็ดสับคู่กับการแครกกิงในระบบนี้จะได้แก๊สโซลีน 35% โดยน้ำหนักแต่น้ำมันหนักจะได้ 32% โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีมากเป็น 3 เท่าเมื่อเทียบกับน้ำมันหนักที่ได้จากน้ำมันมะพร้าว (11% โดยน้ำหนัก) ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.23

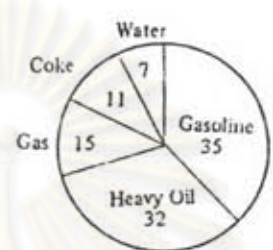
ส่วนผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่ได้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.24 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่เป็นพวกแอโรแมติกและโอลิฟิน ส่วนลักษณะของแก๊สโครมาโทแกรมของแก๊สโซลีนได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.19





รูปที่ 3.19 ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโพลีเอทิลีนจากปฏิกิริยาคะตะ โอลิโทแคติก  
 น้ำมันเมล็ดสับดำ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไรเซอร์ (8)

ตารางที่ 3.23 ผลลัพธ์ที่จากปฏิกิริยาคะตะไลติกแครกกิงของน้ำมันเมล็ดสบูดำโดยใช้เครื่อง-  
ปฏิกรณ์เคมีแบบโรเซอร์ (8)

Product Yield (wt %)	
	
Product Gas Composition (wt %)	
H <sub>2</sub>	0.7
CO	13.1
CO <sub>2</sub>	6.5
C <sub>1</sub>	4.6
C <sub>2</sub> <sup>=</sup>	14.4
C <sub>2</sub>	7.8
C <sub>3</sub> <sup>=</sup>	22.9
C <sub>3</sub>	3.9
iC <sub>4</sub>	8.5
nC <sub>4</sub>	1.3
C <sub>4</sub> <sup>=</sup>	16.3

## จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### กรณีน้ำมันยูคาลิปตัส (Eucalyptus oil)

น้ำมันยูคาลิปตัสมีจุดเดือดอยู่ในช่วงของแก๊สโซลีน แต่จะมีพิกลารเหนียว  
อยู่สูงมาก (ทดสอบตามวิธีการ JISK 2261 มีค่า 136) การทดลองในครั้งนี้ทำการทดลองทั้ง  
2 กระบวนการคือ

- ไฮโดรแครกกิง (Hydrocracking)  
ระบบต่าง ๆ เหมือนดังรูปที่ 3.16

ตารางที่ 3.24 คุณสมบัติของแก๊สโซลีนจากปฏิกิริยาอะตะไลติกแตกกิ่งของน้ำมันเมล็ดสับดูต้า โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไรเซอร์ (8)

Specific Gravity 15/4°C	0.7710
Reaction	Neutral
Copper Plate Corrosion (50°C X 3 Hrs)	1a
Octane Number (Research Method)	92.5
Hydrocarbon Composition (FIA) (Vol %)	
Aromatics	43.1
Olefins	32.0
Saturates	24.9
Distillation °C	
IBP	33
5%	36.5
10%	40
20%	58
30%	79
40%	88.5
50%	95
60%	111
70%	129
80%	141
90%	155
95%	180.5
EP	205
Recovery (Vol %)	99.0
Residues (Vol %)	0.5
Loss (Vol%)	0.5



### เงื่อนไขการทดลองมีดังต่อไปนี้

ความดันของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor pressure)	30 กก./ตร.ซม.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor temperature)	380 °ซ
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (liquid hourly space velocity)	1.0 ชม.
ไฮโดรเจนต่อน้ำมันยูคาลิปตัส ( $H_2$ / eucalyptus oil)	500 มล./มล.

ผลของการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.25

### 2. คตะไลติกแครกกิงโดยใช้เบดนิ่ง (fixed bed catalytic cracking)

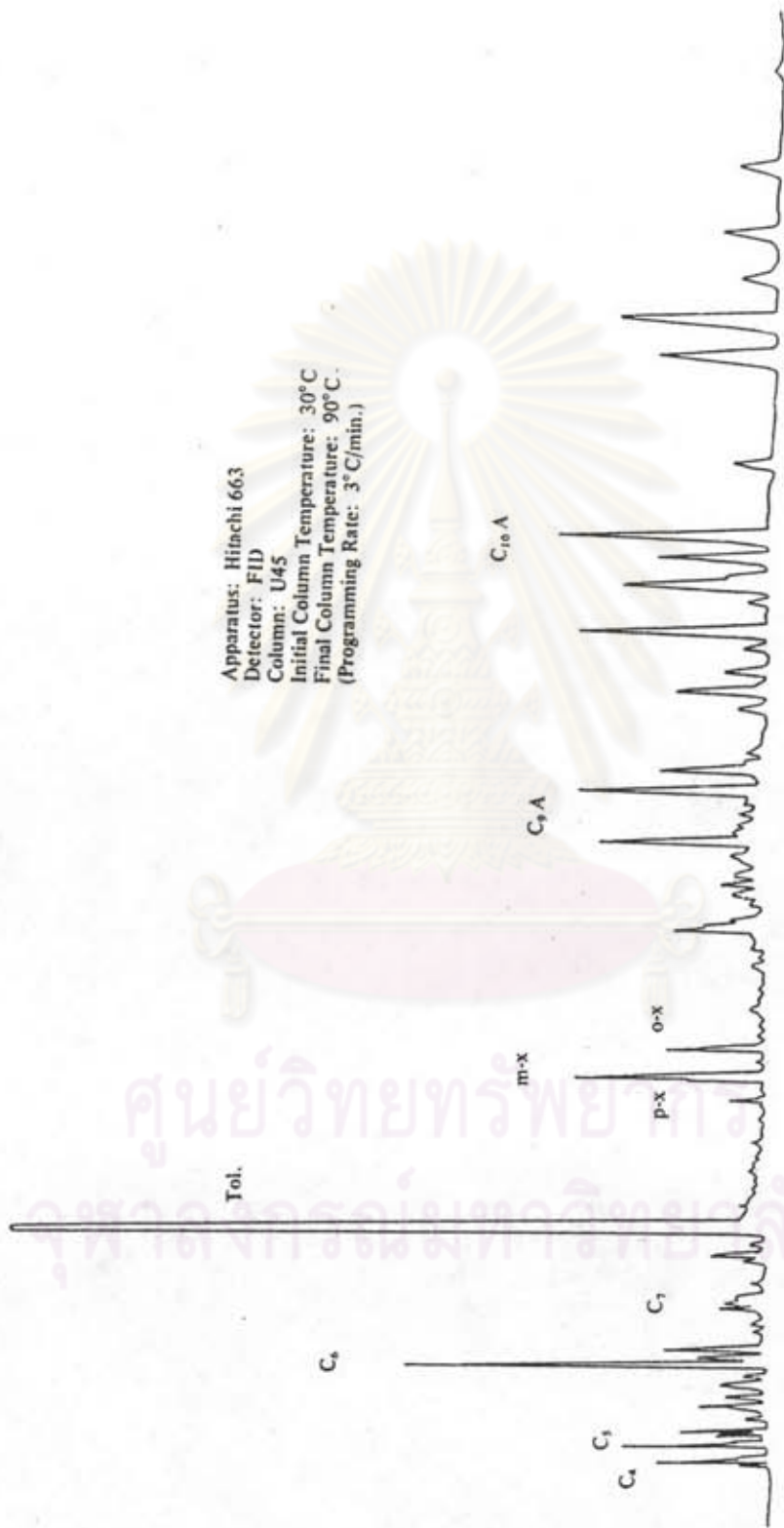
กระบวนการที่ใช้เป็นแบบคตะไลติกแครกกิง แต่ระบบการทดลองใช้แบบเบดนิ่งดังรูปที่ 3.16 ซึ่งจะใช้ในระบบไฮโดรแครกกิงแทนที่จะเป็นแบบ คตะไลติกแครกกิงแบบ โรเซอร์ แต่จะใช้แก๊สไนโตรเจนแทนไฮโดรเจน

### เงื่อนไขของการทดลองมีดังนี้

ความดันของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor pressure)	1 บรรยากาศ
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor temperature)	450 °ซ
ความเร็วเชิงสเปซของของเหลว (liquid hourly space velocity)	1.6 ชม <sup>-1</sup>
ไนโตรเจนต่อน้ำมันยูคาลิปตัส ( $N_2$ / eucalyptus oil)	125 มล./มล.

ผลของการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.26 และ 3.27

จะพบว่า การทดลองทั้ง 2 กระบวนการคือไฮโดรแครกกิงและคตะไลติกแครกกิงต่างก็ใช้ระบบเหมือนกัน(รูปที่ 3.16)ต่างกันเฉพาะเงื่อนไขการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ส่วนของแก๊สโซลีนที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกันพอสมควร ส่วนลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนจากการใช้ปฏิกิริยาคตะไลติกแครกกิงได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน จากปฏิริยาคะตะไลติกแครกกิง  
 น้ำมันยูคาลิปตัส ภายใต้ไนโตรเจนความดันสูง โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง  
 ขนาดใหญ่ (8)

ตารางที่ 3.25 ผลลัพธ์จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิงของน้ำมันยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่อง-  
ปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง (8)

Product Yield (wt %)		
Product Oil		87.3
Water		11.5
Sludge		1.2
Product Oil Properties		
Specific Gravity 15/4°C		0.8278
Reaction		Neutral
Octane Number (Research Method)		93.0
Existent Gum	Unwashed	4
(mg/100 ml)	Washed	2
Distillation (°C)		
1BP		158
5%		165
10%		166
20%		167.5
30%		168.5
40%		169
50%		169
60%		169.5
70%		170
80%		170
90%		170.5
95%		171
97%		172
EP		180
Recovery (Vol %)		98.5
Residue Oils (Vol %)		1.5



ตารางที่ 3.26 เจื่อนไซและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกแครกกิงของน้ำมันยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง (8)

Reaction Conditions		Yield Rate/Remarks (wt %)																						
Apparatus	catalytic cracking (Fixed bed)	<p>Product gasoline has a heavy quality tendency.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Gas composition (wt %)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO</td> <td>29.3</td> </tr> <tr> <td>CO<sub>2</sub></td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>C<sub>1</sub></td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>C<sub>2</sub></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>C<sub>3</sub></td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>C<sub>3</sub>=</td> <td>30.1</td> </tr> <tr> <td>C<sub>3</sub></td> <td>14.4</td> </tr> <tr> <td>iC<sub>4</sub></td> <td>15.1</td> </tr> <tr> <td>C<sub>4</sub>=</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>nC<sub>4</sub></td> <td>0.9</td> </tr> </tbody> </table>	Gas composition (wt %)		CO	29.3	CO <sub>2</sub>	0.1	C <sub>1</sub>	1.1	C <sub>2</sub>	1.8	C <sub>3</sub>	1.0	C <sub>3</sub> =	30.1	C <sub>3</sub>	14.4	iC <sub>4</sub>	15.1	C <sub>4</sub> =	6.2	nC <sub>4</sub>	0.9
Gas composition (wt %)																								
CO	29.3																							
CO <sub>2</sub>	0.1																							
C <sub>1</sub>	1.1																							
C <sub>2</sub>	1.8																							
C <sub>3</sub>	1.0																							
C <sub>3</sub> =	30.1																							
C <sub>3</sub>	14.4																							
iC <sub>4</sub>	15.1																							
C <sub>4</sub> =	6.2																							
nC <sub>4</sub>	0.9																							
Reaction Temperature (°C):	450																							
Reaction Pressure:	Atmospheric																							
Catalyst	Silica Alumina																							
LHSV (h <sup>-1</sup> )	1.6																							
N <sub>2</sub> gas (N <sub>2</sub> mℓ/oil mℓ)	125																							

ศูนย์วิทยพัรชฌยวกร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.27 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาอะคะตะไลติกแครกกิง ของน้ำมันยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง (8)

Item	Sample oil	Cracked gasoline (Eucalyptus oil)	Cracked gasoline (Gas oil)
Specific Gravity	15/4°C	0.8475	0.7441
Vapor Pressure	kg/cm <sup>2</sup> 37.8°C	0.24	0.710
Octane Number (Research)		100.6	90.8
Reaction		Neutral	Neutral
·Copper Corrosion (50°C x 3H)		1a	1a
·Existent Gum	mg/100 ml	0.5	1.0
Distillation	(°C)		
	IBP	35	34.5
	5%	65.5	43
	10%	84	48
	20%	110	57.5
	30%	122	69
	40%	131	83.5
	50%	145	102.5
	60%	163.5	122
	70%	174	145
	80%	185	166.5
	90%	193.5	191
	95%	198	206
	EP	215	220.5
	Recovery (Vol %)	99.0	98.5
	Residue (Vol %)	0.5	0.5
	Loss (Vol %)	0.5	1.0

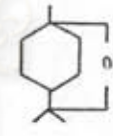
ศูนย์วิจัยปิโตรเลียม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### สรุปผลของการทดลอง

จากการศึกษาของบริษัทท่อน้ำมันจะสรุปผลของการทดลองได้ดังนี้

1. แก๊สโซลีนออกเทนสูงสามารถแปรรูปมาจากน้ำมันพืชได้ ปฏิกริยาที่ดีที่สุดคือปฏิกริยาอะตะไลติกแครกกิง ซึ่งมีอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.15 ใช้สำหรับน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบเป็นพวกกรดไขมัน ส่วนพวกน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบเป็นสารพวกวงแหวน (ring) เช่น น้ำมันยูคาลิปตัส สามารถใช้ใช้อุปกรณ์เครื่องมือนี้อย่างรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นแบบเบดนิ่งเพราะเกิดไคกันน้อย น้ำมันยูคาลิปตัสสามารถใช้ปฏิกริยาแบบไฮโดรแครกกิงก็สามารถได้แก๊สโซลีนออกเทนสูง (93.0) แต่จะต่างกับพวกน้ำมันพืชประเภทที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันเพราะหากใช้ปฏิกริยาแบบไฮโดรแครกกิงแล้วจะได้แก๊สโซลีนออกเทนต่ำ ผลของการใช้ปฏิกริยาอะตะไลติกแครกกิงได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 3.28

ตารางที่ 3.28 สรุปผลผลิตภัณฑ์จากปฏิกริยาอะตะไลติกแครกกิงของน้ำมันมะพร้าว, น้ำมัน-  
เมล็ดสบู่ดำ น้ำมันยูคาลิปตัส และน้ำมันปิโตรเลียม (8)

Oil Name	Coconut Oil	Physic Nut Oil	Eucalyptus Oil	Vacuum Gas Oil
Major Component	$\begin{array}{c} \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R}' \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R}' \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R}' \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{R}' \end{array}$		Mixture of Paraffinic, Naphthenic, and aromatic hydrocarbon
Major Component (wt %)	R: Paraffinic Saturated Fatty Acid 91%	R': Olefinic Unsaturated Fatty Acid 82%	Cineole 89%	
Flash Point (°C)	268	244	51	70
Gasoline	34	35	51	50
Heavy Oil	11	32	6	37
Yield (wt%) Gas	40	15	31	12
Coke	12	11	3	1
Water	3	7	9	0
Octane Number	94.1	92.5	100.6	91 ~ 93
Total yield of Gasoline (Estimated) (Vol %)	60	60	60	90



2. น้ำมันพืชที่มีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล จะได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็น-  
พวกน้ำ คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO)และคาร์บอนไดออกไซด์(CO<sub>2</sub>) ทำให้ได้ปริมาณของแก๊ส-  
โซลีนน้อยลง

3. ปฏิกริยาเทอร์มอลแตกกิ่ง ให้ผลผลิตที่มีสารกัดกร่อนและมีกลิ่นระคาย-  
เคือง แก๊สโซลีนที่ได้จะมีค่าออกเทนและเปอร์เซ็นต์ต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องผ่านกระบวนการ-  
ทางเคมีก่อนนำไปใช้

4. ปฏิกริยาไฮโดรแตกกิ่ง มีข้อเสียคือเครื่องปฏิกรณ์มีราคาแพงเพราะ  
ต้องทนความดันสูง(high pressure) สิ้นเปลืองไฮโดรเจน ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนมีค่าออก-  
เทนต่ำ สำหรับข้อดีคือเกิดไดค่าน้อยและได้สารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวสูงสามารถใช้กับระบบเบด-  
นึ่งได้ซึ่งจะลดความยุ่งยากในการแยกตัวเร่งปฏิกริยาออกจากผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นระ-  
คายเคือง

5. ปฏิกริยาอะตะไลติกแตกกิ่งมีข้อดีคือผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่ได้มีค่าออก-  
เทนสูง ลักษณะคุณสมบัติเหมือนกับแก๊สโซลีนที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียมดังรูปที่ 3.21 ข้อเสีย-  
เกิดไดค่าน้อยมาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องนำมาแยกเอาตัวเร่งปฏิกริยาออก

6. กรณีน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว(unsaturated)  
สูงเช่นน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว  
(saturated)สูงเช่น น้ำมันมะพร้าว โดยใช้ปฏิกริยาอะตะไลติกแตกกิ่งแล้ว ผลิตภัณฑ์น้ำ-  
มันหนักจะ ได้ปริมาณมากกว่าแต่ส่วนของแก๊สจะได้น้อยกว่า สำหรับผลิตภัณฑ์ส่วนแก๊สโซลีนจะ ได้  
ปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

7. ตัวเร่งปฏิกริยาซิลิกา-อะลูมินาซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมโรงกลั่นน้ำมัน  
สามารถนำมาใช้กับน้ำมันพืชได้

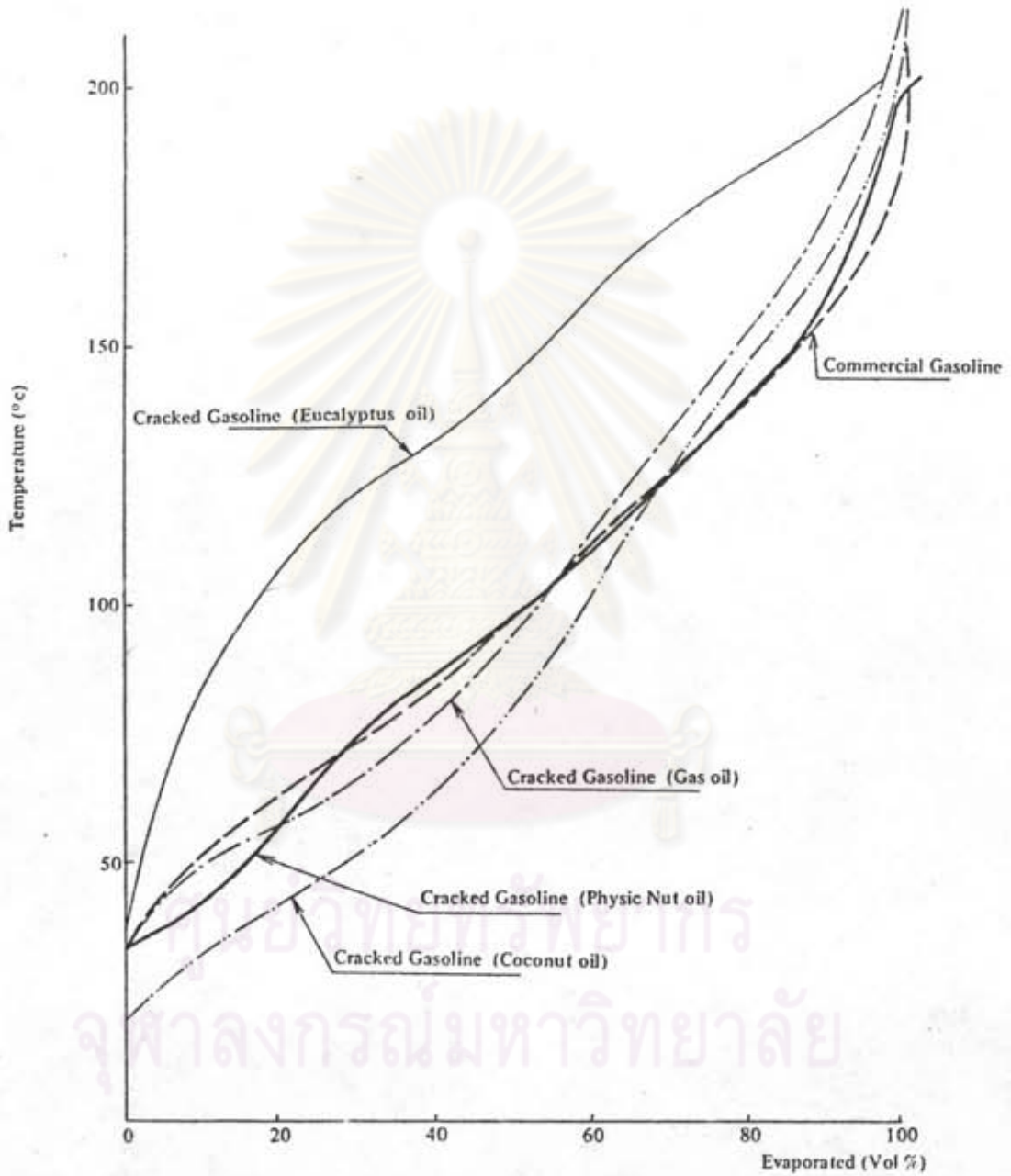
#### ปัญหาการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ทำในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งทำให้มีขีดจำกัดในการศึกษา  
ทางด้านเทคโนโลยี พอดีแบ่งปัญหาได้ 2 ประเด็นคือ

1. ปัญหาทางด้านการเปลี่ยน (conversion problem)  
ระบบทั้งระบบที่มีผลกับค่า การเปลี่ยน เช่น เครื่องปฏิกรณ์ การปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้น, อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา และเงื่อนไขของเครื่องปฏิกรณ์ที่ให้ ได้ผลดีที่สุด (optimization of reactor conditions)
2. ปัญหาทางด้านผลิตภัณฑ์ (product problems) เช่น การเลือกชนิดของน้ำมันพืชที่จะนำมาศึกษากระบวนการกำจัดสารที่ไม่ต้องการ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.21 กราฟการกลั่นของแก๊สโซลีน จากปฏิกิริยาคะตะไลติกแตกกิ่งของ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ, น้ำมันยูคาลิปตัส และน้ำมันปิโตรเลียม (8)