

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากวัสดุเหลือใช้ด้วยการทำให้เป็นของเหลว

Production of liquid Fuel from Non-usable Material

Via Liquefaction



๒๖.
๑๑๕๗๗
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72079
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ย. 2550

b. 117 62925
i.....

ปริญญาบัตรเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PRODUCTION OF LIQUID FUEL FROM NON-USABLE MATERIAL
VIA LIQUEFACTION**



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

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากวัสดุเหลือใช้ด้วยการทำให้เป็นของเหลว
โดย นายอรรถพล ดรีทศบดี รหัสประจำตัว 46010938
นางสาวอิสริยา สิทธิรัตน์ รหัสประจำตัว 46010978
พ.ศ. 2549
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อภิรักษ์ นัมคณิศรณ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากวัสดุเหลือใช้ด้วยการทำให้เป็นของเหลว
Production of liquid Fuel from Non-usable Material via Liquefaction

นักศึกษาผู้จัดทำ นายอรรถพล ตริทศปดี รหัสนักศึกษา 46010938
นางสาวอิสริยา สิทธีรัตน์ รหัสนักศึกษา 46010978

อาจารย์ที่ปรึกษา คร.อภิรักษ์ นัมภณิสรณ์

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการทำวัสดุเหลือใช้ให้เป็นของเหลว วิเคราะห์เลือกสารตัวอย่างทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชังข้าวโพด กาบมะพร้าว ชานอ้อย ชี้อ้อย กระดาษ ยางรถยนต์ ขวดพลาสติก ด้วยเครื่อง TGA พบว่าฟางข้าวมีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวต่ำที่สุด นำสารตัวอย่างไปบด และคัดขนาดให้มีขนาดเล็กกว่าเมช 60 แล้วนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 240 – 260 °ซ เป็นเวลา 15 นาที ในกลีเซอรินที่ปราศจากน้ำ และมีโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วสกัดผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเบนซีน วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทั้งแก๊ส และส่วนที่สกัดด้วยเบนซีนด้วยเครื่อง GC-MS ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ และปริมาณค่าคง โดยทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 240 – 260 °ซ และอัตราส่วนโดยมวลระหว่างปริมาณค่าคงต่อสารตัวอย่าง ในช่วง 0.2 - 1.0 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้ปริมาณแก๊ส ร้อยละการแปลงผัน และร้อยละผลผลิตสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนค่าคงจะให้ผลในแนวโน้มลักษณะเดียวกัน ซึ่งผลของอัตราส่วนโดยมวลระหว่างปริมาณค่าคงต่อสารตัวอย่างตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป จะมีผลชัดเจนต่อค่าร้อยละผลผลิต จากการทดลองที่อัตราส่วน โดยมวลระหว่างปริมาณค่าคงต่อสารตัวอย่างเป็น 1.0 และอุณหภูมิ 260 °ซ ร้อยละการแปลงผันสูงและร้อยละผลผลิตมีค่าสูงสุด คือ 94 % และ 5 % ตามลำดับจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง GC-MS พบว่าของเหลว และแก๊สมือองค์ประกอบหลักๆ ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน อะโรมาติก แอลเคน แอลคีน

Thesis Title Production of liquid Fuel from Non-usable Material via Liquefaction
Authors Mr.Attapon Tritodsabade
 Miss.Itsareeya Sittirat
Advisor Dr. Apinun Numkanitsorn
Year 2006

ABSTRACT

A liquefaction of non-usable materials such as rice straw, chaff, coir, corncob, sawdust, tire, paper and plastic were studied. Thermo Gravimetric Analysis (TGA) was used to obtain the temperature at which these materials thermally degraded. Results from TGA analysis showed that rice straw decomposed at temperature around 230 °C, which is the lowest temperature among all the materials studied. Dried non-usable materials were grounded until the particle size was less than 60 mesh. Next, ground samples were heat at a temperature ranging from 240 – 260 °C for 15 minutes in an anhydrous glycerin with sodium carbonate active as a catalyst for the reaction. The resulting product was extracted twice using 30 ml. benzene. The extract layer was collected and benzene was evaporated. The remaining sample was characterized with GC-MS. The effects of temperature and the amount of basic on the gas being formed, conversion and yield were examined. The temperature was varied between 240 – 260 °C and the ratio between amount of base to sample ranged from 0.2 – 1.0. As the temperature increased, the amount of gas, conversion and yield increased. This trend was also observed when the ratio between base to sample increased. The amount of base significantly affected the yield of product when the base to sample ratio was greater than 0.5. The highest conversion of 94 % and highest yield of 5 % were obtained when temperature is 260 °C and the base to sample ratio is 1.0. GC-MS analysis of products in both benzene extract and gas phase revealed that their chemical composition consist mainly of alkane, alkene, alcohol, aldehyde, ketone and aromatic compound.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่สั่งสอนอบรม รวมทั้งเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆ และให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมความตั้งใจ

ขอขอบคุณห้องสมุดและภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลและเป็นสถานที่ใช้ในการทำงานวิจัย ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือ พร้อมทั้งความอนุเคราะห์เป็นสถานที่ใช้ทดสอบงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำแนะนำต่างๆ และให้กำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการศึกษาและวิจัยจาก ดร.อภิรักษ์ นัมฉัตร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตร ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ขอบเขต.....	4
2.2 สารชีวมวล.....	4
2.3 ก๊าซเซอริน.....	5
2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	6
2.3.2 คุณสมบัติทางเคมี.....	8
2.3.3 อะโครลีน.....	8
2.4 การทำให้เป็นของเหลว.....	8
2.5 การแยกสาร.....	11
2.5.1 การกรอง.....	11
2.5.2 การใช้กรวยแยก.....	11
2.5.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลองและดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.3 การเตรียมสารก่อนการทดลอง.....	19
3.4 การทดลองการทำให้เป็นของเหลว.....	20
3.5 แผนการดำเนินการ	20
3.6 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA	21
3.7 การทดลองการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น.....	21
3.8 การศึกษาแนวโน้มของปัจจัยต่างที่มีผลต่อการทำให้เป็นของเหลว.....	22
3.8.1 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิในการทำให้เป็นของเหลว.....	22
3.8.2 การวิเคราะห์ผลของปริมาณค่าในการทำให้เป็นของเหลว.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	23
4.1 ผลการวิเคราะห์สารด้วยเครื่องTGA.....	23
4.2 ผลการทดลองการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น.....	25
4.3 ผลการทดลองการศึกษาผลของปัจจัยหลักในการทำให้เป็นของเหลว.....	26
4.4 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์แก๊สและของเหลวด้วยเครื่อง GC-MS.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	33
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก.....	37
ภาคผนวก ก คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของกลีเซอริน.....	38
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA.....	42
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ	47
ภาคผนวก ง การคำนวณ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก จ โครมาโตแกรม และสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เหลว.....	50
ภาคผนวก ฉ โครมาโตแกรม และสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์แก๊ส.....	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสารชีวมวลบางชนิด (เทียบเปอร์เซ็นต์ด้วยน้ำหนักแห้ง)	5
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับอุณหภูมิของกลีเซอริน.....	6
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอริน.....	7
ตารางที่ 2.4 ตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการสกัด	13
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของตัวทำละลายบางชนิด.....	14
ตารางที่ 3.1 ชนิดและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น.....	21
ตารางที่ 4.1 ร้อยละโดยมวลของสารที่สูญเสีย และร้อยละโดยมวลของแก๊สที่เกิดขึ้น.....	26
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลวครั้งที่ 1.....	27
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลวครั้งที่ 2.....	27
ตารางที่ 4.4 สารประกอบของแก๊สที่ได้จากการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลว.....	29
ตารางที่ 4.5 สารประกอบของของเหลวที่ได้จากการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลว.....	32
ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของกลีเซอรินประเภทต่างๆ.....	38
ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของฟางข้าวครั้งที่ 1.....	47
ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของฟางข้าวครั้งที่ 2.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกลีเซอริน.....	5
รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ในการทำให้เป็นของเหลว.....	19
รูปที่ 3.2 เครื่อง TGA (Thermo Gravimetric Analysis)	21
รูปที่ 3.3 สภาวะในการทดลองการทำให้เป็นของเหลว.....	22
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิ ของกระดาษ พลาสติก และยางซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง TGA	23
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิ ของแกลบ ชังข้าว โปด กาบมะพร้าว และฟางข้าว ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง TGA	24
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของชานอ้อย และขี้เลื่อย ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง TGA.....	24
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของแก๊สที่ได้ต่ออุณหภูมิที่อัตราส่วนค่างต่อน้ำหนัก ฟางข้าว.....	28
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตต่ออุณหภูมิที่อัตราส่วนน้ำหนักค่างต่อฟางข้าว	28
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแปลงผันต่ออุณหภูมิที่อัตราส่วนน้ำหนักค่างต่อ ฟางข้าว	29
รูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของกระดาษ.....	42
รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของขวดพลาสติก.....	42
รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของยางรถยนต์.....	43
รูปที่ ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของชังข้าว โปด.....	43
รูปที่ ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของชานอ้อย.....	44
รูปที่ ข.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของขี้เลื่อย.....	44
รูปที่ ข.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของแกลบ.....	45
รูปที่ ข.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของฟางข้าว.....	45
รูปที่ ข.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของกากมะพร้าว.....	46
รูปที่ ค.1 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ จ.1 โครมาโตแกรมของผลิตภัณฑ์เหลว.....	50
รูปที่ จ.2 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เหลว.....	51
รูปที่ ฉ.1 โครมาโตแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊ส.....	58
รูปที่ ฉ.2 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์แก๊ส.....	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์มีการนำพลังงานต่างๆ มาใช้เพื่อการดำรงชีวิตมาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น การใช้ไฟที่เกิดจากการเสียดสีของไม้หรือหินสำหรับให้ความอบอุ่น ให้แสงสว่าง และใช้ประโยชน์ในการประกอบอาหาร พลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่สามารถหาได้ง่ายตามธรรมชาติ แต่เมื่อโลกเรามีประชากรเพิ่มขึ้น มีความเจริญมากขึ้น ความจำเป็นในการใช้พลังงานจึงมากขึ้นตามไปด้วย มนุษย์จึงหาแหล่งพลังงานจากธรรมชาติ เช่น การใช้พลังงานจากน้ำ กังหันลม หรือแม้แต่พลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งพลังงานธรรมชาติเหล่านี้ไม่สามารถผลิตพลังงานเพียงพอต่อความต้องการมนุษย์จึงนำเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม แก๊สธรรมชาติ หรือถ่านหินมาใช้ในการสร้างพลังงาน เชื้อเพลิงจำพวกนี้เกิดจากการแปรสภาพของซากพืชซากสัตว์เป็นเวลานาน จึงถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดและไม่สามารถสร้างขึ้นมาทดแทนได้ในระยะเวลาสั้น การวิจัยในปัจจุบันพบว่าแหล่งน้ำมันปิโตรเลียมทั่วโลกเพียงพอต่อการใช้งานเป็นเวลาเพียง 40 ปี แก๊สธรรมชาติ 64 ปี ถ่านหิน (รวมปริมาณลิกไนท์) 251 ปี และธาตุยูเรเนียม 82 ปี สำหรับประเทศไทยที่มีแหล่งพลังงานจากแก๊สธรรมชาติ และถ่านหินมากกว่าชนิดอื่น ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณแก๊สธรรมชาติเพียงพอในการใช้งานเป็นเวลา 25-30 ปี และถ่านหินเป็นเวลา 60-100 ปี [1, 2] จากแนวโน้มความต้องการพลังงานที่สูงขึ้น ในขณะที่แหล่งพลังงานมีอยู่อย่างจำกัดจึงส่งผลให้ราคาของเชื้อเพลิงเหล่านี้สูงขึ้นตามไป ดังนั้นประเทศต่างๆ โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา และไม่มีทรัพยากรน้ำมันของตนเองจึงหันมาค้นคว้าและวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศมาทดแทนพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง โดยมุ่งความสนใจไปยังพลังงานที่ได้จากการแปรสภาพวัสดุจากธรรมชาติ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ และวัสดุเหลือใช้เหลือใช้ต่างๆ มาเป็นเชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น การนำเศษไม้หรือซังข้าวโพดมาผลิตเป็นถ่าน ซึ่งเป็นการนำมาเผาไหม้โดยตรง ทั้งนี้การนำมาใช้ในลักษณะนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ จึงมีความจำเป็นคือหาแนวทางในการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิงในลักษณะที่สามารถนำไปใช้ได้สะดวกในรูปแบบของเหลวหรือแก๊สนั่นเอง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรมจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีบริเวณเพาะปลูกไม้เพื่อใช้สำหรับการสร้างบ้าน ทำเครื่องเรือน และใช้ประโยชน์จากไม้ในด้านต่างๆ วัสดุเหลือจากกิจกรรมที่กล่าวมาเรียกว่าสารชีวมวล ตัวอย่างสารชีวมวลที่มีมาก เช่น ชี้อ้อย ชานอ้อย ใบอ้อย ฟางข้าว แกลบ กาบมะพร้าว กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด เป็นต้น ประเทศไทยจึงเป็นประเทศหนึ่งที่มีสารชีวมวลเอกลสารนี้เป็นเอกลสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมาก แต่มีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนน้อย ส่วนมากจะทำลายด้วยการเผา หรือทิ้งเป็นขยะซึ่งเป็นปัญหาคอรั้งแวดล้อมต่อไป นอกจากสารชีวมวลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากแล้วยังมีวัสดุเหลือใช้ในส่วนอื่นที่พบโดยทั่วไป เช่น เศษกระดาษ พลาสติก และยางรถยนต์เก่า เป็นต้น หากมีการนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาแปรสภาพให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเพื่อสร้างพลังงานจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรภายในประเทศ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ

พลังงานทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงที่กำลังเป็นจุดสนใจอย่างมาในขณะนี้ คือ น้ำมันดีเซลชีวภาพ ซึ่งได้จากการนำน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ที่ใช่แล้ว ทำให้กลีเซอรินมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามแนวโน้มการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ จึงจำเป็นต้องศึกษาหาวิธีการนำกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นอีกทาง

น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ค่อนข้างเป็นสายโซ่ขนาดเล็ก ส่วนวัสดุเหลือใช้ที่กล่าวมาได้แก่ เช่น เศษกระดาษ พลาสติก และยางรถยนต์เก่า และสารชีวมวล มีองค์ประกอบเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ จึงเกิดแนวคิดในการทำปฏิกิริยาให้สายโซ่เหล่านั้นสลายออกเป็นสายโซ่ขนาดเล็กลงและอยู่ในรูปของเหลวหรือแก๊ส ผลึกภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้อาจจะนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ได้จริงเมื่อผ่านกระบวนการที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และผ่านการกลั่นแยกและปรับสภาพให้ตรงตามความต้องการในการใช้งาน

การทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction) คือ กระบวนการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อนร่วมกับการใช้ตัวทำละลายเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ดังนั้นจากคุณสมบัติของการทำให้เป็นของเหลวดังกล่าวสามารถใช้กระบวนการนี้มาเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคต อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณขยะและวัสดุเหลือใช้ของโลกที่เป็นปัญหาในปัจจุบันได้อีกทางหนึ่งด้วย

โครงการนี้ศึกษาเพื่อหาแนวทางการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยการทำให้เป็นของเหลวในสภาวะต่างๆ โดยใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลาย และศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการทำให้เป็นของเหลว ได้แก่ ผลของอุณหภูมิ และผลของปริมาณต่าง ต่อร้อยละผลผลิต ร้อยละการแปลงผัน และปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำให้เป็นของเหลว ได้แก่ อุณหภูมิ และปริมาณต่าง
2. ศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำให้เป็นของเหลว

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและหลักการของการทำให้เป็นของเหลว
2. ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำให้เป็นของเหลวของวัสดุเหลือใช้ชนิดต่างๆ
3. ศึกษาผลของปัจจัยหลักที่ผลต่อปริมาณของเหลวที่ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเป็นแนวทางใหม่ในการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อหาแนวทางนำวัสดุเหล่านี้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป
2. สามารถเป็นแนวทางในการนำกลีเซอรินมาใช้ประโยชน์ เพื่อแก้ปัญหาปริมาณกลีเซอรินมากเกินไปจากการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ
3. เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการศึกษาการทำให้เป็นของเหลวต่อไป เพื่อพัฒนากระบวนการทำให้เป็นของเหลวให้มีประสิทธิภาพ มีปริมาณสูง และได้ผลิตภัณฑ์ที่ดียิ่งขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขอบเขต

หลักการและงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในโครงการวิจัย ที่มาของสารตั้งต้น สมบัติของตัวทำละลายที่ศึกษาในโครงการนี้ ได้แก่ กลีเซอริน กระบวนการทำให้เป็นของเหลว ทฤษฎีการแยกสาร รวมทั้งงานวิจัยเกี่ยวกับการทำให้เป็นของเหลว ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการหาแนวทางในการทำให้เป็นของเหลว

2.2 สารชีวมวล

สารชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ซึ่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาเปลี่ยนรูปเพื่อผลิตพลังงานขึ้นมาได้ สารชีวมวลประกอบด้วยธาตุหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย สารชีวมวลได้จากสิ่งมีชีวิต (ยกเว้นสิ่งมีชีวิตส่วนที่กลายเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติแล้ว) และยังรวมไปถึงสิ่งต่างๆ ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งหมายถึง พืชและสัตว์ สารชีวมวลจึงถือเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนอีกแหล่งที่สำคัญของโลกซึ่งสามารถผลิตขึ้นได้ใหม่ เป็นพลังงานที่จะสามารถนำมาทดแทนพลังงานจากฟอสซิลซึ่งมีจำกัด และอาจหมดลงในอนาคตได้ สารชีวมวลสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาได้ดังนี้

1. พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวานที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้งและน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่างๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้
2. เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ชังข้าวโพด
3. ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระจับปี่ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น
4. ของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน (waste streams) เช่น กากน้ำตาล และขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบ ขี้เลื่อย เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม ยังรวมถึงของเสียประเภทพลาสติกและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ของเสียจากแหล่งชุมชน อาทิ เช่น ขยะชุมชน กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และของเสียจากสัตว์ เช่น มูลสัตว์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารชีวมวลกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติไว้ในขั้นตอนการเจริญเติบโต โดยที่พืชจะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาลแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช จัดว่าเป็นขั้นตอนการเก็บพลังงาน โดยธรรมชาติจึงสามารถนำสารชีวมวลมาเป็นแหล่งพลังงานได้ สามารถนำมาใช้ได้ในรูปแบบของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า

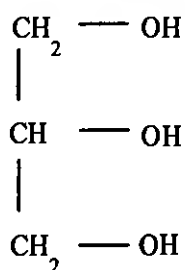
ตัวอย่างสารชีวมวลที่นิยมนำมาทำให้เป็นของเหลวได้แก่ ชี้อัลกอฮอล์ หรือเนื้อไม้ ในเนื้อไม้จะประกอบด้วยโครงสร้างขนาดเล็กที่ซับซ้อน สามารถจำแนกได้เป็นสามส่วนหลักๆ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [3, 4] โดยที่ทั้งสามชนิดนี้เป็นสารโพลีเมอร์ตามธรรมชาติซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ขนาดใหญ่ ตัวอย่างองค์ประกอบทั้งสามชนิดในสารชีวมวล แสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสารชีวมวลบางชนิด (เทียบเปอร์เซ็นต์ด้วยน้ำหนักแห้ง) [3, 4]

สารชีวมวล	เฮมิเซลลูโลส (%)	เซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
เปลือกเมล็ดคัสเซส	28.7	24.9	41.2
ฟางข้าว	40.4	24.0	21.0
ไม้บีช	31.8	45.8	21.9
ซังข้าวโพด	31.8	51.2	14.8
คันทัน	22.3	28.0	47.5

2.3 กลีเซอริน [5-6]

กลีเซอริน (Glycerine หรือ Glycerin) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอรอล (Glycerol) สูตรเคมี $C_3H_8O_3$ หรือชื่อทางเคมีว่า 1, 2, 3-โพรเพนไดรอล (1, 2, 3-Propanetriol) หมายถึงสารจำพวกโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกลีเซอริน

กลีเซอรินบริสุทธิ์ หมายถึง กลีเซอรินที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมยา อาหาร นุหรี วัตถุประสงค์ และอุตสาหกรรมอื่นๆ แบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ คือ

1. ชั้นคุณภาพเคมี
2. ชั้นคุณภาพโคเนาไมด์
3. ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม
4. ชั้นคุณภาพยา

คุณลักษณะทางฟิสิกส์ และทางเคมีของกลีเซอรินคุณภาพต่างๆ แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.

2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

กลีเซอรินบริสุทธิ์เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และมีโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายน้ำตาลจึงทำให้กลีเซอรินมีรสหวาน เนื่องจากโมเลกุลกลีเซอรินมีพันธะไฮโดรเจนทำให้เป็นของเหลวหนืด กลีเซอรินมีจุดเดือด 290 °ซ ที่ความดันบรรยากาศ (101.3 kPa) และจุดเดือดจะลดลงตามความดันที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และมีคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของกลีเซอริน ดังแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับอุณหภูมิของกลีเซอริน [5-6]

อุณหภูมิ (°ซ)	ความดันไอ (kPa)
290	101.3
266	53.3
222	13.3
204	6.67
175	2.00
152	0.67
130	0.18
100	0.03
20	<0.0001

กลีเซอรินละลายได้ดีกับน้ำ แอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล และไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล และเพนทานอล รวมทั้งฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดคอล เอมีน รวมไปถึงสารประกอบที่เป็นเฮเทอโรไซคลิกที่ประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจนในวงแหวน (ไพรีดีน ควิโนลีน) กลีเซอรินไม่สามารถละลายในแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว น้ำมันพืชและสัตว์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายจำพวกเฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม กลีเซอรินเป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์ต่อสารหลายชนิดทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ซึ่งมีความสำคัญคืออุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอริน [5-6]

คุณสมบัติ	ปริมาณ
Molecular weight	92.09
Melting point	18.0
Boiling point (101.3 kPa)	1.261
Density (20 °C)	1.4740
Refractive index, n_D^{20}	1.410
Dynamic viscosity (20 °C)	2.1×10^{-4}
Compressibility (28 °C)	0.000615
Gravity coefficient of thermal expansion (15-20 °C)	63.4
Surface tension (20 °C)	669
Heat of formation	1662
Heat of combustion	88.2
Heat of vaporization (55 °C)	76.1
(195 °C)	18.3
Heat of fusion (18 °C)	5.8
Heat of solution (infinite dilution)	2.41
Heat capacity (26 °C)	1.91
(-80 °C)	0.91
(-108 °C)	0.29
Thermal conductivity (0 °C)	1.336×10^{-11}
Diffusion coefficient of water into glycerol (20 °C)	0.1
Specific electric conductivity (20 °C)	42.48
Relative dielectric constant (25 °C)	177
Flash point	204
Fire point	429
Auto ignition temperature	290.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 คุณสมบัติทางเคมี [5-6]

กลีเซอรินสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ต่างๆ ไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซิลตรงกลาง

ที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรินจะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว และกลีเซอรินยังถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย โดยที่อะตอมคาร์บอนด้านนอกจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่คาร์บอกซิล และอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

2.3.3 อะโครลีน

อะโครลีน (Acrolein) เป็นสารพิษที่เกิดเมื่อกลีเซอรินได้รับความร้อน เป็นสารที่ร้ายแรงต่อมนุษย์ที่มีผลทั้งระยะสั้นและระยะยาวต่อปอด เมื่อได้รับจะทำให้คนเจ็บสูญเสียอวัยวะสัมผัส เช่น ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อดวงตา และหายใจไม่ออก ทำให้ทางเดินหายใจส่วนบนระคายเคืองและบวม ผู้สูดดมจะรู้สึกหายใจแน่นหน้าอก หายใจไม่โล่ง ทำให้ไม่สามารถจะหลบหนีออกจากบริเวณอันตรายได้ทัน กรณีมีอะโครลีนประมาณ 150-240 ppm ในอากาศจะทำให้ผู้สูดดมเสียชีวิตได้ภายใน 30 นาที

ภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือด่างกลีเซอรินสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 °ซ โดยที่จะไม่เกิดเป็นอะโครลีน ในทางตรงกันข้ามในสภาวะกรดเล็กน้อยพบว่าที่อุณหภูมิ 160 °ซ จะทำให้เกิดอะโครลีนขึ้น (อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ppm) โดยที่อุณหภูมิ 200 °ซ อะโครลีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นปฏิกิริยาของกลีเซอรินจึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง

2.4 การทำให้เป็นของเหลว

วิธีการเปลี่ยนรูปสาร เช่น เปลี่ยนของแข็งเป็นของเหลวหรือแก๊ส สามารถจำแนกได้สองประเภท คือ กระบวนการแปลงผันทางชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) และกระบวนการแปลงผันทางเคมีด้วยความร้อน (Thermochemical Conversion Process)

กระบวนการแปลงผันทางชีวเคมี เช่น การหมัก (fermentation) เป็นการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชผลทางการเกษตร เช่น อ้อย ข้าวฟ่างหวาน มันสำปะหลัง ข้าวโพด กากน้ำตาล และเศษลำต้นอ้อย นอกจากนี้สามารถใช้ขยะอินทรีย์ชุมชน มูลสัตว์ รวมทั้งน้ำเสียจากชุมชนหรืออุตสาหกรรมเกษตรมาเป็นแหล่งวัตถุดิบชีวมวล โดยการนำสารชีวมวลเหล่านี้มาหมักด้วยแบคทีเรีย สารชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิดแก๊สชีวภาพประกอบด้วยแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ แก๊สมีเทนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังนำมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

กระบวนการแปลงผันทางเคมีด้วยความร้อน ได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง (combustion) และกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง การนำชีวมวลมาเผาไหม้โดยตรงจะให้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของสารชีวมวลแต่ละชนิด ตัวอย่างความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตเอทธานอลเป็นเอทธานอลที่สวางไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง แล้วจึงนำไอน้ำข้างกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างสารชีวมวลประเภทนี้ เช่น เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้ ส่วนกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง ได้แก่ การแปรสภาพเป็นแก๊ส (gasification) คือ การเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือสารชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่า แก๊สชีวภาพ มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้สำหรับกังหันแก๊ส (gas turbine) การแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) คือ กระบวนการให้ความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจนกับสารชีวมวลและเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน และสุดท้ายการทำให้เป็นของเหลว (liquefaction) คือ กระบวนการเปลี่ยนสารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อนร่วมกับการใช้ตัวทำละลายเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวเป็นผลิตภัณฑ์หลัก

ถึงแม้ว่ากระบวนการแปรผันทางชีวเคมีเป็นกระบวนการที่ใช้สภาวะในการดำเนินงานที่ใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการแปรผันทางเคมีด้วยความร้อน แต่วิธีการนี้ค่อนข้างที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอนซึ่งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของสารชีวมวล จึงเป็นผลให้กระบวนการแปรผันทางเคมีด้วยความร้อนน่าสนใจมากกว่าในแง่ของปริมาณ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีความหลากหลายมากกว่ากระบวนการแปรผันทางชีวเคมี นอกจากนี้แล้วการแยกสลายด้วยความร้อน การทำให้เป็นของเหลว และการแปรสภาพเป็นแก๊สนั้นยังมีความน่าสนใจมากกว่ากระบวนการเผาไหม้ เนื่องจากมีข้อได้เปรียบมากกว่ากระบวนการเผาไหม้อยู่หลายประการ อาทิเช่น กระบวนการเผาไหม้นั้นจำเป็นต้องติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สจากกระบวนการเผาก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ เพราะอาจจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในบางส่วนซึ่งก่อให้เกิดแก๊สพิษภาวะ รวมทั้งการแยกสลายด้วยความร้อน การทำให้เป็นของเหลว และการแปรสภาพเป็นแก๊ส ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีคุณค่ามากกว่ากระบวนการเผาไหม้ที่ได้พลังงานความร้อนเพียงอย่างเดียว

กระบวนการแปรผันทางเคมีด้วยความร้อน โดยการทำให้เป็นของเหลว คือ การเปลี่ยนสารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อน ร่วมกับการใช้ตัวทำละลายเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวเป็นผลิตภัณฑ์หลักและได้ของเหลวที่มวลโมเลกุลต่ำลง การทำให้เป็นของเหลวเป็นกระบวนการแปลงผันสารด้วยวิธีเคมีความร้อน การเปลี่ยนสารให้กลายเป็นของเหลวด้วยการสลายพันธะทางเคมีของสารที่มีโมเลกุลใหญ่ผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการดีโพลิเมอไรเซชัน กระบวนการดีคาบออกซิเลชัน กระบวนการไฮโดรจีโนไลซิส และกระบวนการไฮโดรจีเนชัน ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กซึ่งสายของโมเลกุลขนาดเล็กนี้จะไม่เสถียรพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยา โมเลกุลเหล่านี้ผ่านกระบวนการเกิดโพลิเมอร์อีกครั้ง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นพวกสารประกอบจำพวกน้ำมัน กระบวนการนี้จะมีความคล้ายคลึงกับกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน แต่จะต่างกันตรงที่กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยา และการแยกสลายด้วยความร้อนนั้น สาร โมเลกุลเบาจะกลับมารวมตัวกันใหม่ในลักษณะของปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแก๊ส [7]

การทำให้เป็นของเหลวนี้พัฒนาจากการทำถ่านหินให้กลายเป็นของเหลว การทำให้เป็นของเหลวในปัจจุบันถูกนำมาอธิบายกระบวนการแปลงผันสารด้วยการใช้เคมีความร้อนซึ่งได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นของเหลว น้ำมัน หรือน้ำมันดิน การทำให้เป็นของเหลวสามารถทำได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในทางตรงจะให้ผลผลิตที่คล้ายคลึงกับการแยกสลายด้วยความร้อนแบบรวดเร็ว เพื่อที่จะทำให้เกิดน้ำมันดินเหลว น้ำมัน และสารอินทรีย์ที่กลั่นตัวได้ การทำให้เป็นของเหลวทางอ้อมมีลักษณะคล้ายการแปรสภาพเป็นแก๊ส ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ส่วนที่กลั่นตัวไม่ได้ให้กลายเป็นแก๊ส แล้วจึงเปลี่ยนกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์เหลวอีกครั้งหนึ่ง [8]

โดยในระบบของการทำให้เป็นของเหลวมักจะประกอบด้วย Reducing reagent อาทิเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ หรือ ไฮโดรเจน โดยปกติจะใช้อุณหภูมิประมาณ 300–400 °ซ และใช้ความดันสูง โดยที่การทำให้เป็นของเหลวสามารถดำเนินการได้หลายรูปแบบและหลายสภาวะจากการเลือกใช้ชนิดของสารละลาย อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อสารตัวอย่าง ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนของค่าต่อสารตัวอย่าง อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของสารตัวอย่าง จากตัวแปรที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ออกมาเช่นกัน [8]

ช่วงอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ผลของอุณหภูมิที่ใช้มีผลโดยตรงต่อเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ ในการเลือกใช้สารละลายที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จำเป็นต้องใช้ความดันสูงกว่าความดันปกติ โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย นอกจากน้ำแล้ว สารที่นิยมใช้เป็นตัวทำละลายได้แก่ กลีเซอริน อะซิโตน โพรพานอล บิวทานอล เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้สารเหล่านี้จะดำเนินการที่สภาวะแตกต่างกันออกไปตามจุดเดือดของตัวทำละลายที่เลือกใช้

จากรายงานการศึกษาการใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในการทำให้เป็นของเหลวซึ่งชนิดของตัวทำละลายนี้เองที่เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยา หมายความว่า ยิ่งสารที่ใช้เป็นตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูง อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายสูงตามไปด้วย เนื่องจากการย่อยสลายสารตัวอย่างแต่ละประเภทต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายต่างกันตามองค์ประกอบที่อยู่ในตัวอย่างแต่ละชนิด การศึกษาการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อนโดยใช้ตัวทำละลายร่วมนี้พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการดำเนินการให้สูงขึ้น ปริมาณของเหลวที่ได้ออกมาเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นควรเลือกใช้ชนิดของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อนร่วมกับการใช้ตัวทำละลายนี้ให้เหมาะสมกับชนิดของสารตัวอย่าง และปริมาณของตัวทำละลายยังส่งต่อปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นปริมาณแก๊สที่ออกมาก็จะน้อยลง [3]

การใช้ค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณค่าที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นและสภาวะที่ใช้ทำปฏิกิริยา โดยใช้ปริมาณค่ามากกว่าครึ่งของปริมาณสารตัวอย่างจึงจะเกิดผลในการช่วยให้ได้ปริมาณของเหลวมากขึ้นอย่างชัดเจน

ในการเปลี่ยนสารเป็นของเหลวจากการทำให้เป็นของเหลวจะคิดเป็น ร้อยละของสารที่แปลงผันไปโดยน้ำหนักดังสมการที่ 2.1 และร้อยละของน้ำมันที่ได้หรือร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักดังสมการที่ 2.2

$$\text{ร้อยละการแปลงผัน} = \frac{(\text{ปริมาณสารตัวอย่าง} - \text{ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่})}{\text{ปริมาณสารตัวอย่าง}} \times 100 \quad (2.1)$$

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{ปริมาณส่วนที่ละลายในเบนซีน}}{\text{ปริมาณสารตัวอย่าง}} \times 100 \quad (2.2)$$

2.5 การแยกสาร

2.5.1 การกรอง

การกรองเป็นวิธีทำสารให้บริสุทธิ์หรือเป็นวิธีแยกสารออกจากกัน และแยกของแข็งออกจากของเหลว ซึ่งของแข็งต้องไม่ละลายในของเหลว ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับของเหลว เป็นของแข็งที่มีอนุภาคใหญ่กว่า 10^{-4} ซม. สามารถมองเห็นชัดด้วยตาเปล่าว่าเป็นสารเนื้อผสมที่มีของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลว เช่น น้ำโคลน น้ำแป้ง หรือสามารถแยกออกจากของเหลวโดยที่ของแข็งนั้นไม่ละลายในของเหลว เช่น การแยกผลึกเกลือจากสารละลายเกลืออิ่มตัว

2.5.2 การใช้กรวยแยก

กรวยแยกใช้แยกของเหลวออกจากของเหลวที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน เมื่อนำของเหลวผสมเทใส่กรวยแยก (Separating funnel) ของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะอยู่ชั้นบนและของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะอยู่ชั้นล่าง และสามารถแยกของเหลวแต่ละชั้นออกมา

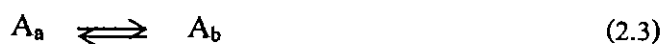
2.5.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นเทคนิคการแยกสารให้บริสุทธิ์วิธีหนึ่ง โดยการเลือกตัวสกัดที่เป็นของเหลวให้เหมาะสม ถ้าใช้ของเหลวสกัดสารที่ต้องการออกจากของแข็งเรียกว่า Liquid-solid extraction และถ้าใช้ของเหลวสกัดสารที่ต้องการออกจากของเหลวเราเรียกว่า Liquid-liquid extraction โดยอาศัยสมบัติการละลายเป็นสำคัญ ต้องเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมเนื่องจากสารต่างๆ มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ได้แตกต่างกัน ตัวสกัดที่ใช้ใน Liquid-liquid extraction มักเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวอย่างของเหลว โดยตัวทำละลายจะละลายสารที่สนใจ (ตัวถูกละลาย) ให้เข้ามาอยู่ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งวิธี

เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้เพื่อจำหน่ายหรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วและประหยัด ดังนั้นจึงต้องเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อสกัดสารที่ต้องการให้ได้มากที่สุดและได้สารที่ไม่ต้องการออกมาให้น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ใช้เพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) ของสารที่ต้องการแยกวิธีหนึ่ง

การกระจายตัวของตัวถูกละลาย A ระหว่างเฟส 2 เฟสของตัวทำละลายจะเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้ [9]



$$\frac{(C_A)_a}{(C_A)_b} = D \quad (2.4)$$

- เมื่อ $(C_A)_a$ = ความเข้มข้นของ A ทุกรูปแบบในตัวทำละลาย a
 $(C_A)_b$ = ความเข้มข้นของ A ทุกรูปแบบในตัวทำละลาย b
 D = อัตราส่วนการกระจายตัว (Distribution ratio) หรือสัมประสิทธิ์การสกัด (Extraction-coefficient, E)

การสกัดจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับภาวะละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย ถ้าตัวถูกละลายสามารถละลายได้น้อย จำเป็นต้องใช้เทคนิคของการสกัดอย่างต่อเนื่องด้วยตัวทำละลายเพียงเล็กน้อย เทคนิคในการสกัดมีหลายวิธีซึ่งการสกัดจะเลือกใช้เทคนิควิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการสกัด หรือชนิดของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ซึ่งการสกัดที่ดีและมีประสิทธิภาพสูงควรใช้ปริมาณตัวทำละลายครั้งละน้อยๆ และทำการสกัดหลายๆ ครั้ง ซึ่งวิธีนี้จะให้ผลการสกัดที่ดีกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งหมดเพียงครั้งเดียว

ถ้าเราต้องการสกัดสารโดยใช้ตัวทำละลายที่มีปริมาณน้อย จะใช้เครื่องมือที่เรียกกันว่า ซอกซ์เลต (soxhlet) หลักการของเครื่องมือซอกซ์เลต (soxhlet extraction) คือ ตัวทำละลายที่เราใส่ลงไปในห้องมือจะหมุนเวียนผ่านสารที่เราต้องการสกัดหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งสารที่เราต้องการสกัดออกมามีปริมาณเข้มข้นมากพอ ส่วนตัวทำละลายที่เราใช้สกัดแล้วนั้นจะถูกทำให้ระเหยแล้วควบแน่นกลับมาใช้

ตัวถูกละลายที่ถูกสกัดมีหลายชนิด ได้แก่ สารอนินทรีย์ที่เป็นคีเลตที่เป็นกลาง (Neutral metal chelate) และสารเชิงซ้อนของไอออน (Ion-association complex) ที่สามารถถูกสกัดเข้าไปอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้ และถ้าเป็นตัวทำละลายอินทรีย์เราต้องเลือกตัวทำละลายที่ไม่สามารถละลายได้กับตัวทำละลายเดิม ตัวอย่างตัวทำละลายอินทรีย์ได้แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการสกัด [9]

เบากว่าน้ำ	หนักกว่าน้ำ
ไดเอทิลอีเทอร์	คลอโรฟอร์ม
เบนซีน	เอทิลีนไดคลอไรด์
เฮกเซน	เมทิลีนคลอไรด์
ปิโตรเลียมอีเทอร์	คาร์บอนเตตระคลอไรด์

การสกัดจำเป็นต้องเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการจะแยก โดยอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลาย ซึ่งมีหลักที่ควรพิจารณาในการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ละลายสารที่ต้องการออกมาจากของผสมดังต่อไปนี้

1. สารที่มีสมบัติคล้ายคลึงกันย่อมละลายในตัวทำละลายที่คล้ายคลึงกัน
 2. สารอินทรีย์จะละลายตัวในทำละลายอินทรีย์
 3. นำไปใช้เป็นตัวทำละลายสารประกอบอนินทรีย์ และสามารถสกัดโดยใช้สารละลายต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO₃) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) ก็ได้
- คุณสมบัติของตัวทำละลายที่เหมาะสม
1. ตัวทำละลายจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่เราต้องการสกัด
 2. ตัวทำละลายสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้มาก และตัวทำละลายจะต้องไม่ละลายสารอื่นๆ ที่เราไม่ต้องการสกัด คือ ละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี (K_D มีค่าสูง) ขณะที่ละลายสารอื่นได้น้อย (K_D มีค่าต่ำ)
 3. ตัวทำละลายสามารถแยกจากสารสกัดได้ง่ายหลังจากสกัดแล้ว เช่น มีจุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย จะแยกออกจากสารที่สกัดได้ง่าย หรือแยกออกโดยการกลั่นได้ง่าย
 4. ราคาถูก หาง่าย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความเป็นพิษของตัวทำละลายที่ใช้ด้วย สำหรับตัวทำละลายที่ระเหยง่าย ไวไฟ
- ตัวอย่างคุณสมบัติของตัวทำละลายบางชนิดได้แสดงในตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของตัวทำละลายบางชนิด [9]

ตัวทำละลาย	คุณสมบัติ
ไดเอทิลอีเทอร์	เป็นตัวทำละลายที่ดี ควบน้ำได้ 1.5% สามารถเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ได้ง่าย
เมทิลีนคลอไรด์	เกิดเป็นอีมีลชันแต่ทำให้แห้งได้ง่าย
เบนซีน	เกิดอีมีลชัน
เอทิลีนแอะซีเตต	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่โมเลกุลมีขั้ว ควบน้ำได้ดี
2-บิวทานอล	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่โมเลกุลมีขั้ว ทำให้แห้งได้ง่าย
เตตระคลอโรมีเทน	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่โมเลกุลไม่มีขั้ว ทำให้แห้งได้ง่าย
คลอโรฟอร์ม	เกิดอีมีลชัน ทำให้แห้งได้ง่าย
ไดไอโซโพรพิลอีเทอร์	เกิดเป็นพวกเปอร์ออกไซด์ได้ง่าย

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Demirbas, A. ในปี ค.ศ. 1996 [3] ศึกษาการสลายของลิกนิน (Lignin) ที่มีอยู่ในไม้และวัสดุทางการเกษตร ซึ่งวัสดุนี้จะนำมาสลายในสารละลายกลีเซอรินที่มีค่าผสมอยู่แล้วให้ความร้อนในช่วง 438-498 เคลวิน โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการผสมระหว่างปริมาณเนื้อไม้และกลีเซอริน และส่วนของค่าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ NaOH และ Na_2CO_3 และไม่ได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากงานวิจัยนี้พบว่าขนาดอนุภาคที่นำมาสลายตัวนั้นยิ่งขนาดเล็กลงทำให้สามารถสลายลิกนินได้มากยิ่งขึ้น อัตราการสลายของลิกนินจะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิตั้งแต่ช่วงที่สูงกว่า 430 เคลวินขึ้นไป ปริมาณการสลายลิกนินขึ้นกับเวลาที่ใช้พบว่าประมาณ 9 ชั่วโมงจะสลายลิกนินได้เกือบทั้งหมด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายลิกนินจะเพิ่มขึ้นในทางเดียวกัน โดยพบว่า Na_2CO_3 จะช่วยเพิ่มการสลายลิกนิน ได้ดีกว่า NaOH นอกจากนี้การสลายตัวของสารชีวมวลเป็นกระบวนการคายความร้อน จึงยากในการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ การปรับเพิ่มอุณหภูมิในการดำเนินการ หากเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะเกิดการระเหยของสารบางชนิดเป็นสาเหตุในการเกิดฟองขึ้นมา ทั้งนี้ควรค่อยๆ ปรับอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ 45 นาที ในการเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

ปี ค.ศ. 1996 Zhen, F. และคณะ [10] ศึกษาการทำให้เป็นของเหลววิธีตรงกับพลาสติกที่ใช้แล้ว 3 ชนิด คือ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นกลาง โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงและ โพลีโพรพิลีน โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบ 3 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา ความดัน และอุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลองมี 4 ชนิดคือ HZSM-5 เฟอริไฮโดรด์ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ และเทอนารีเฟอริไฮโดรด์ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ โดยพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีลักษณะเป็นกรด จะทำให้ปริมาณของเหลวที่ได้เพิ่มขึ้น โพลีเอทิลีน

ความหนาแน่นกลาง และ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงจะย่อยสลายได้ดีที่อุณหภูมิมากกว่า 430 °ซ ส่วน โพลีโพรพิลีนจะย่อยสลายได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 420 °ซ และพลาสติกทั้ง 3 จะให้ผลผลิตที่ดีที่ความดันในช่วง 200-600 psig

ปี ค.ศ. 1998 Rustamov, V.R. [11] และคณะ วิจัยการทำให้เป็นของเหลวของไม้และทำความเข้าใจการย่อยสลายไม้โดยใช้ความร้อนในระบบที่มีปริมาณด่าง (KOH) ที่แตกต่างกัน และระบบที่ประกอบด้วยตัวทำละลายที่ต่างกัน โดยในการทดลองนี้ใช้ตัวทำละลายซึ่งมีจุดเดือดต่างกันทั้งหมด 4 ชนิด คือ น้ำ อะซิโตน เอทิลีนกลูคอล และกลีเซอริน โดยผลการทดลองที่ได้คือปริมาณของเหลวที่ได้จะมีมากเมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นเอทิลีนกลูคอล และกลีเซอริน ซึ่งเป็นเพราะว่าสารทั้ง 2 ชนิดมีจุดเดือดสูงกว่า 240 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้วงแหวนไพราโนสที่อยู่เซลล์โลสสลายตัวจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมามากขึ้น และเมื่อปริมาณด่างมาก และปริมาณของเหลวที่ได้ก็จะมากขึ้น ซึ่งเป็นเพราะด่างจะทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของเซลล์โลสอ่อนแรงลงด้วย โดยจะปริมาณของเหลวที่ได้จะมากที่สุดที่ปริมาณด่างร้อยละ 50 โดยมวลเทียบกับน้ำหนักไม้ และจะไม่ได้ปริมาณน้ำมันออกมาเลยที่ปริมาณด่างน้อยกว่า ร้อยละ 25 โดยมวล และการที่จะได้รับสารอินทรีย์เบา (จุดเดือดประมาณ 150 °ซ) หรือของผสมระหว่าง สารอินทรีย์เบา (จุดเดือดประมาณ 150 °ซ) และ สารอินทรีย์หนัก (จุดเดือดประมาณ 200-280 °ซ) นั้น จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของด่าง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 2 ส่วนคือสารอินทรีย์เบาที่มีจุดเดือดต่ำ (จุดเดือดไม่เกิน 150 °ซ) และสารอินทรีย์หนักที่มีจุดเดือดสูง (อุณหภูมิจุดเดือด 150 - 250 °ซ)

ปี ค.ศ. 1999 Demirbas, A. [12] วิจัยการเปลี่ยนสารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลาย การทดลองนี้ใช้ตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ ใบยาสูบ ไม้บีช และเปลือกซาเซลนัท นำไปทำให้แห้งบดให้เหลือขนาดอนุภาคประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วไปผสมกับกลีเซอรินที่ปราศจากน้ำ โดยใช้ชีวมวล 10 กรัม กลีเซอรินที่ปราศจากน้ำ 30 กรัม นำให้ความร้อนเป็นเวลา 15 นาที ในการทดลองนี้จะศึกษาผลกระทบของด่างด้วย โดยจะทำการทดลองโดยใส่ด่าง 5 กรัม คือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) กับทดลองโดยไม่ใส่ด่าง สารตัวอย่างทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนไปเป็น สารที่ละลายน้ำได้ และสารที่ละลายน้ำไม่ได้ โดยจะพบว่าตัวแปรที่สำคัญที่สุดคือ อุณหภูมิ ชนิดของด่าง ในขณะที่เวลาในการทำปฏิกิริยาจะ ไม่มีความสำคัญเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่นๆ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาจะอยู่ในช่วงอุณหภูมিরะหว่าง 540-565 เคลวิน สารชีวมวลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นของเหลวทั้งหมดซึ่งของเหลวที่ได้นี้ ของเหลวจะถูกนำมาสกัดด้วยเบนซีน ไดเอทิลอีเทอร์ และอะซิโตน ตามลำดับเพื่อที่จะแยกสารออกมาเพื่อนำไปเติมเป็นสารช่วยลดการแยกวัฏภาคในแก๊สโซฮอลล์ต่อไป

ปี ค.ศ 2005 Selhan, K. และคณะ [13] ศึกษาผลกระทบของชนิดของด่างที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเปลี่ยนไม้เป็นของเหลว ในการทดลองนี้จะใช้ด่างทั้งหมด 4 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโปแตสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นชีวมวลที่นำมาทดสอบ ในการทดลองนี้จะใช้เชื้อเพลิง 5 กรัม และสารละลายต่างที่มีความเข้มข้น 0.94 โมลาร์ จำนวน 30 มิลลิลิตร มาให้ความร้อนให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่อนาทีจนอุณหภูมิถึงประมาณ $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ แล้วให้ความร้อนให้คงอุณหภูมิไว้อีก 15 นาที แล้วจึงนำสารที่เหลือมาวิเคราะห์ผล พบว่าโปแตสเซียมคาร์บอเนตจะให้ค่าการแปลงผันและผลิตภัณฑ์น้ำมันออกมามากที่สุด ตามด้วยโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และสุดท้ายคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าเกลือของต่างจะให้ผลดีกว่าไฮดรอกไซด์ของต่างนั้นๆ เป็นเพราะว่าเกลือของต่างจะทำปฏิกิริยาทำน้ำได้ ส่วนไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวที่ 2 จึงทำให้เกลือของต่างให้ผลที่ดีกว่า

ปี 2006 Masaru, W. และคณะ [14] ศึกษาการสังเคราะห์อะโครลีนจากกลีเซอรินด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและแบบต่อเนื่อง ศึกษาผลของความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นกลีเซอริน อุณหภูมิ และความดัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ทดลองโดยการใช้ท่อกับข้อต่อ สวเวล็อก (Swagelok) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ที่ได้ เกิดอะโครลีนขึ้นตาม 3 เปอร์เซ็นต์โดยโมล และเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง เกิดอะโครลีนขึ้น 5.57 เปอร์เซ็นต์โดยโมล พร้อมทั้งเกิดสารอื่น เช่น ฟอรั่มลดีไฮด์ อะซีตัลดีไฮด์ ไฮดรอกซีอะซิโตน อัลคิลแอลกอฮอล์ อย่างละไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยโมล และพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกจะช่วยเพิ่มให้เกิดอะโครลีนในปริมาณที่สูงขึ้น และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าจุดวิกฤตที่อุณหภูมิ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะเกิดทำให้การเกิดอะโครลีนสูงถึง 71 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือกลีเซอรินสามารถเปลี่ยนเป็นสารอะโครลีนได้ในปริมาณสูง เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด อุณหภูมิ และความดันสูง

ในปี ค.ศ. 1999 Selhan, K. และคณะ [15,16] ศึกษาการเปลี่ยนสารชีวมวลจำพวกไม้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้น้ำเป็นสารละลาย งานวิจัยเริ่มจากการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเปลี่ยนสารชีวมวลไปเป็นของเหลวใช้สภาวะที่ $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ และใช้เวลา 15 นาที โดยตัวเร่งเหล่านี้จะช่วยให้ได้ปริมาณของเหลวมากขึ้นและลดส่วนที่เป็นของแข็ง ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ได้แก่ K_2CO_3 , KOH , Na_2CO_3 และ $NaOH$ เรียงตามความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นจึงศึกษาชนิดสารชีวมวลซึ่งมีองค์ประกอบด้วยซึ่งจะให้ของงานวิจัยนี้ศึกษาผลของอัตราส่วนของปริมาณสารชีวมวลต่อน้ำโดยปรับอัตราส่วนนี้สามค่า และผลปริมาณต่าง K_2CO_3 ที่ใช้ซึ่งส่งผลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ ใช้สภาวะที่อุณหภูมิ $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที จากการดำเนินการพบว่าการสลายตัวของเซลลูโลสจะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำได้ เมื่อปริมาณต่างลดลงผลิตภัณฑ์ในส่วนนี้จะลดลงตามไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ K_2CO_3 จะลดปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปสกัดต่อ โดยของแข็งที่เหลืออยู่นั้นสกัดด้วยอะซิโตน และส่วนเชื้อเพลิงเหลวจะสกัดด้วยอีเทอร์ เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกเป็นส่วนๆ แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบโดยใช้เครื่อง GC-MS จากขั้นตอนการสกัดจะได้ส่วนของสารอินทรีย์หรือที่เป็น

น้ำมันสามส่วนแล้วนำมาวิเคราะห์ห้วงศ์ประกอบที่อยู่ในน้ำมันแต่ละส่วน โดยทำการทดลองโดยใช้
อัตราส่วนระหว่างสารตัวอย่างกับตัวทำละลาย และปริมาณค่าที่แตกต่างกัน



72079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลองและดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาเกี่ยวกับการทำวัสดุเหลือใช้ให้เป็นของเหลว โดยเริ่มต้นจากศึกษาสารตัวอย่างหลายชนิดเพื่อหาสารที่นำมาทำให้เป็นของเหลวได้ โดยอาศัยตัวทำละลายช่วยในการทำให้เป็นของเหลว และใช้ค้างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นสกัดด้วยตัวทำละลาย สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. สารตัวอย่าง 9 ชนิดประกอบด้วย
 - แกลบ
 - ฟางข้าว
 - ช้างข้าวโพด
 - ขวดพลาสติกที่ใช้แล้ว
 - กาบมะพร้าว
 - ขางรถยนต์
 - ชานอ้อย
 - กระดาษ
 - ขี้เลื่อย
2. ตัวทำละลายในการทำให้เป็นของเหลว คือ กลีเซอรินบริสุทธิ์
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำให้เป็นของเหลว คือ โซเดียมคาร์บอเนต
4. ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด คือ เบนซีน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การทำให้เป็นของเหลวใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในขั้นตอนการเตรียมสารก่อนการทดลอง การทำให้เป็นของเหลว การแยกสาร และการสกัดสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นดังนี้

1. เครื่องบดพลาสติก
2. เครื่องบด
3. ตะแกรงร่อน
4. ตู้อบ
5. เครื่อง TGA (Thermo Gravimetric Analysis, TGA)
6. ขวดกั้นกลม ขนาด 1000 มิลลิลิตร
7. ข้อต่อ 75 องศา
8. คอนเดนเซอร์
9. ข้องอ
10. บีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ปรอทวักอุณหภูมิต
12. ถาดให้ความร้อนแบบหลุม
13. เครื่องชั่งสาร
14. กระจกครอบ
15. กรวยกรองบุชเนอร์
16. เครื่องสูบลมสุญญากาศ



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ในการทำให้เป็นของเหลว

3.3 การเตรียมสารก่อนการทดลอง

เนื่องด้วยในกระบวนการทางเคมีค่าร้อยละการแปลงผันทางเคมี (% Conversion) จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา รวมไปถึง ขนาดอนุภาค และค่าความชื้น ทำให้ในการทดลองนี้จำเป็นต้องกำหนดขนาดอนุภาค และปริมาณความชื้นเพื่อให้การวิเคราะห์ผลเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการเตรียมสารก่อนการทดลองดังนี้

1. นำสารตัวอย่างแต่ละชนิด ไปบดให้ละเอียด
2. นำสารตัวอย่างที่บดแล้วไปร่อนตะแกรงคัดขนาดเลือกขนาดที่ผ่านเมช 60 ลงมา
3. นำสารตัวอย่างที่คัดขนาดแล้วไปใส่ตู้อบอุณหภูมิ 120 °ซ อบจนน้ำหนักคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดลองการทำให้เป็นของเหลว

ขั้นตอนการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของสารตัวอย่าง ที่ผ่านการเตรียมดังที่กล่าวมา เพื่อพิจารณาผลของลักษณะผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้ และปริมาณของแข็งที่เหลือเป็นหลัก แล้วจึงสกัดสารเพื่อพิจารณาปริมาณของเหลวที่ละลายในตัวทำละลาย สรุปลักษณะการทดลองเป็นดังนี้

1. ชั่งสารตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในขวดก้นกลม
2. ใส่กลีเซอรินบริสุทธิ์ 50 กรัม ลงในขวดก้นกลม
3. ใส่โซเดียมคาร์บอเนตตามปริมาณที่กำหนดลงในขวดก้นกลม
4. จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1
5. ค่อยๆ ให้ความร้อนจนอุณหภูมิของสารถึงอุณหภูมิที่กำหนด แล้วควบคุมอุณหภูมิต่อไปอีก เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดสวิทซ์ภาคให้ความร้อนแบบหลุม ถอดขวดก้นกลมออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
7. เทน้ำกลั่นลงในขวดก้นกลมเพื่อช่วยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาใส่ในบีกเกอร์ และเก็บปิดขวดบรรจุแก๊ส
8. นำของเหลวที่ออกจากขวดก้นกลม ไปกรองนำตะกอนออก
9. นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่
10. นำของเหลวที่ผ่านการกรองเทลงในกรวยแยก
11. สกัดสารละลายที่ได้ด้วยเบนซีน 2 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร
12. นำส่วนที่ละลายในเบนซีน ไประเหยเบนซีนออก

3.5 แผนการดำเนินการ

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งออกแบบการทดลอง
2. จัดเตรียมอุปกรณ์ เตรียมสารตัวอย่าง และจัดชุดเพื่อทำการทดลอง
3. วิเคราะห์การแตกสลายโมเลกุลของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง TGA เพื่อช่วยให้ทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นของเหลว
4. ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการทำให้เป็นของเหลวของสารตัวอย่าง โดยพิจารณาจากลักษณะผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้และปริมาณกากของแข็งที่เหลือ
5. เลือกสารตัวอย่างเพื่อนำมาทำการทดลองต่อไป
6. ทำการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของสารตัวอย่างที่สนใจเพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำให้เป็นของเหลว ได้แก่ อุณหภูมิ และปริมาณค่า
7. นำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของสารด้วยเครื่อง GC-MS
8. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA

เครื่อง Thermo Gravimetric Analysis (TGA) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่จะสามารถบอกถึงอุณหภูมิที่องค์ประกอบต่างๆ ภายในสารตัวอย่างสลายตัวไป จากการวิเคราะห์การแตกสลายโมเลกุลด้วยเครื่อง TGA นี้จะช่วยให้เราทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นของเหลว



รูปที่ 3.2 เครื่อง TGA (Thermo Gravimetric Analysis)

3.7 การทดลองการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น

การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดสอบความเป็นไปได้ในการทำให้เป็นของเหลวของสารตัวอย่าง โดยนำผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA เพื่อเลือกสารตัวอย่าง และเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองของสารตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ดังตารางที่ 3.1 และพิจารณาผลการทดลองส่วนนี้จากลักษณะผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้และปริมาณของแข็งที่เหลือเป็นหลัก

ตารางที่ 3.1 ชนิดและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวหลัก (°ซ)
ฟางข้าว	270
ชานอ้อย	270
กระดาษ	270
ยางรถยนต์	330
ขวดพลาสติก	380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้เป็นของเหลว

จากการทดลองการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น จึงดำเนินการต่อด้วยการวิเคราะห์แนวโน้มในการทำให้เป็นของเหลวจากปัจจัยหลัก โดยในโครงการวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยสองชนิด ได้แก่ อุณหภูมิ และปริมาณค่า หรืออัตราส่วน โดยมวลระหว่างปริมาณค่าต่อสารตัวอย่าง (อัตราส่วนค่า) แล้วทำการทดลองแบบสุ่มในการเลือกอุณหภูมิและปริมาณค่าที่ใช้ทำการทดลอง โดยการทดลองนี้ดำเนินการที่อุณหภูมิ และอัตราส่วนค่าที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 ครั้ง ดังรูปที่ 3.3

3.8.1 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิในการทำให้เป็นของเหลว

อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญ ที่มีผลกระทบในกระบวนการทางเคมีเกือบทั้งหมดรวมถึงการทำให้เป็นของเหลวด้วยเช่นกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิย่อมหมายถึงปริมาณผลผลิตที่เปลี่ยนไปด้วย เพราะฉะนั้นการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างมาก

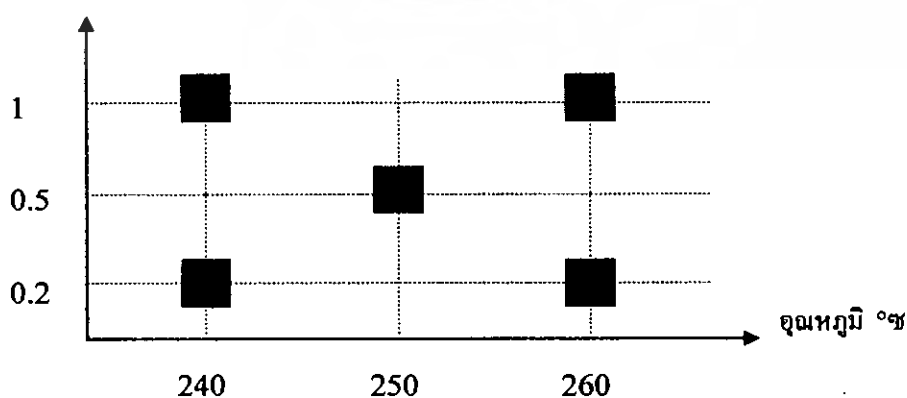
โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ทำให้เป็นของเหลวสามอุณหภูมิ คือ 240 °ซ 250 °ซ และ 260 °ซ ดังรูปที่ 3.3 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มในการทำให้เป็นของเหลวเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

3.8.2 การวิเคราะห์ผลของปริมาณค่าในการทำให้เป็นของเหลว

ปริมาณค่าในการทำให้เป็นของเหลวเป็นตัวแปรที่สำคัญ เนื่องจากค่าจะมีหน้าที่ในการช่วยย่อยสลายพันธะของสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ทำให้การทำให้เป็นของเหลวเกิดได้ง่ายขึ้น แต่ในทางกลับกันถ้าใส่ค่ามากเกินไปจะทำให้พันธะของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการทำให้เป็นของเหลวที่ได้ไม่เสถียร และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีล้นน้อยลง นอกจากนี้การใช้ปริมาณค่าที่เหมาะสม ไม่มากเกินไปจะช่วยประหยัดปริมาณสารเคมี จึงมีความสำคัญในการพิจารณาผลของปริมาณค่าด้วยเช่นกัน

การทดลองหาปริมาณค่าที่เหมาะสมนั้นโดยใช้ปริมาณค่าที่แตกต่างกันในอัตราส่วนค่า 0.2 0.5 และ 1 ดังรูปที่ 3.3

อัตราส่วนโดยมวลระหว่างปริมาณค่าต่อสารตัวอย่าง



รูปที่ 3.3 สภาวะในการทดลองการทำให้เป็นของเหลว

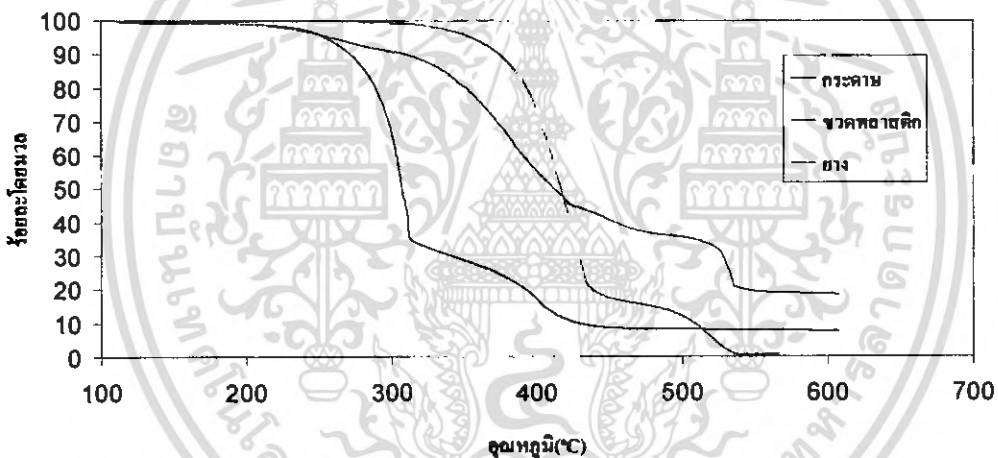
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

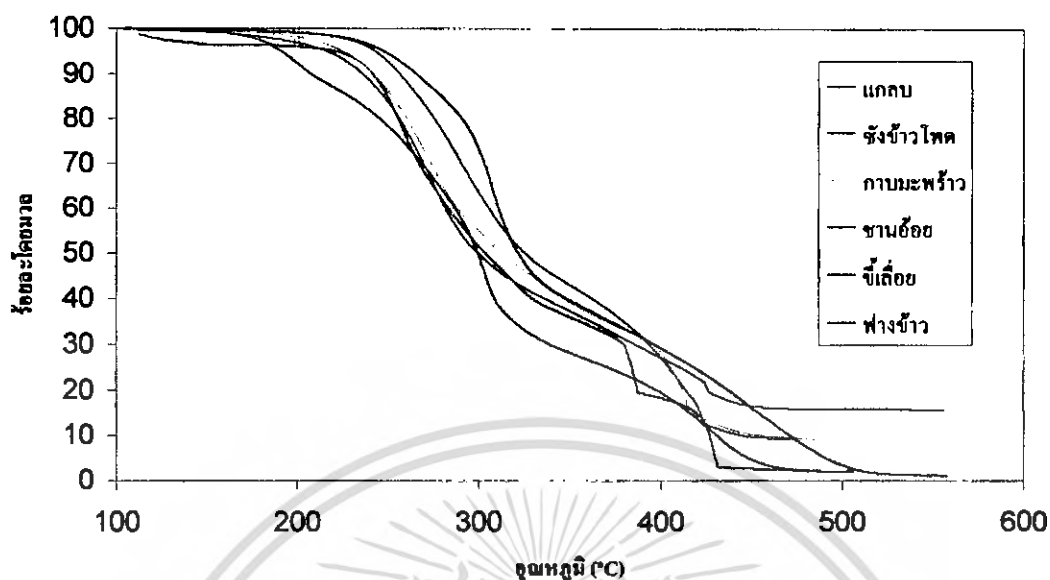
ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเครื่อง TGA

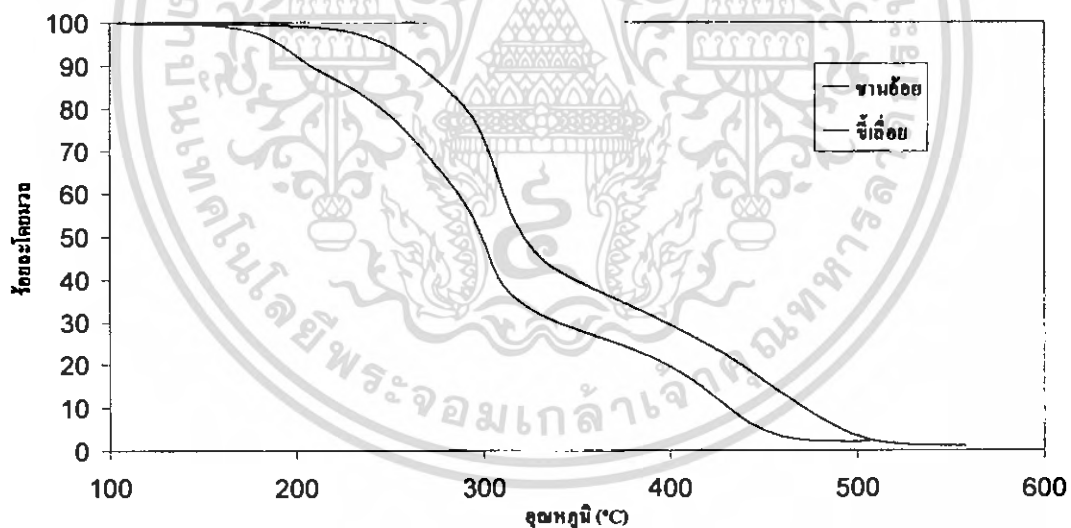
การวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง TGA เป็นการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของสารตัวอย่างที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ผลการวิเคราะห์นี้อยู่ในลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสารที่เหลืออยู่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น เครื่อง TGA มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของสารตัวอย่าง ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถคาดการณ์อุณหภูมิที่สารจะสลายตัว ปริมาณการสลายตัว และองค์ประกอบของสารได้ โดยทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 100 °ซ - 600 °ซ ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °ซ ต่อนาที ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ผลการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4.1 ถึง 4.3



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิ ของกระจก พลาสติก และยาง ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง TGA



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิ ของเหล็กชุบสังกะสีชุบไฟ กานมะพร้าว และสังกะสีชุบไฟฟ้า ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง TGA



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิ ของเหล็กชุบสังกะสีชุบไฟ และสังกะสีชุบไฟฟ้า ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง TGA

จากข้อมูลแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งพบว่า การสลายตัวของมีลักษณะเป็นรูปตัวเอส และพบว่ากลุ่มของเหล็กชุบสังกะสีชุบไฟ กานมะพร้าว และสังกะสีชุบไฟ หลังจากอุณหภูมิ 230 °ซ เริ่มมีการสลายตัวที่ช่วงอุณหภูมิค่าที่สุด ถัดมาคือ ช่วงอุณหภูมิ 270 °ซ เหล็กชุบสังกะสี และสังกะสีชุบไฟจะสลายตัว ส่วนกระดาษ พลาสติก และยางจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้นตามลำดับ จากข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลต่ออุณหภูมิ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การสลายตัวของสารชีวมวลจะเริ่มสลายตัวอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 200 °ซ อัตราการสลายตัวของมวลชีวภาพจะสูงขึ้นเป็นช่วงแรก และหลังจากอุณหภูมิ 400 °ซ เป็นช่วงที่สองจนค่อยๆ สลายตัวจนเกือบหมด การสลายของสารชีวมวลมีลักษณะต่างกันไป ปริมาณสารเหลืออยู่ก็จะไม่เท่ากัน โดยเมื่อเทียบที่อุณหภูมิประมาณ 270 °ซ ฟางข้าวจะสลายตัวมากที่สุด ถัดมาได้แก่ กาบมะพร้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ ขี้เลื่อย กระจ่าง ขวดพลาสติก และยางรถยนต์ ตามลำดับ ซึ่งพฤติกรรมการสลายตัวของสารที่แตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากสัดส่วนขององค์ประกอบ โดยการสลายตัวของสารชีวมวลที่แตกต่างกันเนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของสารชีวมวลแต่ละชนิดเป็นสำคัญ [17]

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 พบว่าสารตัวอย่างทั้ง 9 ชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวหลักที่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิที่สารจะสลายตัว และปริมาณการสลายตัวเบื้องต้นนี้ช่วยเลือกสารตั้งต้นที่นำมาทดลองการทำให้เป็นของเหลวที่มีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวหลักที่แตกต่างกัน 5 ประเภท ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย กระจ่าง ยางรถยนต์ และ ขวดพลาสติก ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวหลักประมาณ 230 °ซ 270 °ซ 280 °ซ 330 °ซ และ 380 °ซ ตามลำดับ

4.2 ผลการทดลองการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น

การทดลองการทำให้เป็นของเหลวของสารตัวอย่างทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย กระจ่าง ยางรถยนต์ และ ขวดพลาสติก โดยกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจากอุณหภูมิการสลายตัวหลักของสารแต่ละชนิด ยกเว้นฟางข้าวที่ทำให้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัวหลัก เพื่อเปรียบเทียบผลเมื่อใช้สารตั้งต้นที่มีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวต่างกัน โดยอุณหภูมิในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

การทำให้เป็นของเหลวโดยใช้ขวดก้นกลม หลังจากให้ความร้อนแล้วการนำของเหลวออกมาจากขวดก้นกลมทำให้เกิดการสูญเสีย เนื่องจากสารบางส่วนไหม้ติดกับขวดก้นกลมไม่สามารถนำออกมาวิเคราะห์ในส่วนต่อไปได้ จากตารางที่ 4.1 แสดงร้อยละโดยมวลของสารที่สูญเสีย พบว่ามวลสารของการทำให้เป็นของเหลวของยางและพลาสติกสูญเสียไปเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการทำให้เป็นของเหลวของสารบางชนิดมีเพียงแต่ของแข็งสีดำเกิดขึ้นภายในขวดก้นกลม และไม่สามารถนำออกมาเพื่อแยกตะกอนออกได้จึงไม่สามารถหาร้อยละของผลผลิตและร้อยละการแปลงผันสารในส่วนต่อไปได้

เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในตารางที่ 4.1 ปริมาณแก๊สของชานอ้อยและกระจ่างที่มีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวหลักที่ใกล้เคียงกันก็ให้ปริมาณแก๊สออกมาใกล้เคียงกัน แต่ในขณะที่ฟางข้าวซึ่งมีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวหลักที่ต่ำกว่า ให้ปริมาณแก๊สออกมามากกว่า เนื่องจากองค์ประกอบของฟางข้าวสลายตัวในปริมาณสูงกว่านั่นเอง และ ในส่วนของขวดพลาสติกและยางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์นั้นต้องทำให้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายหรือกลีเซอริน เมื่อให้ความร้อนจนถึงช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวหลักแล้วนั้น กลีเซอริน โดยมากจะเหวกลงเป็นไอ ซึ่งบางส่วนอาจจะควบแน่นออกมาอยู่ในส่วนของผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นทำให้มีปริมาณแก๊สสูง และบางส่วนจะควบแน่นตกลงในขวดก้นกลมทำให้มีกลีเซอรินที่ทำหน้าที่เป็นของเหลวช่วยในการเกิดปฏิกิริยาเหลืออยู่น้อย ดังนั้นสารส่วนมากจึงไม่เปลี่ยนเป็นของเหลว แต่เกิดการเผาไหม้เป็นของแข็งขึ้นแทน

ตารางที่ 4.1 ร้อยละโดยมวลของสารที่สูญเสีย และร้อยละโดยมวลของแก๊สที่เกิดขึ้น

สาร	มวลสารก่อนต้ม (กรัม)	มวลสารหลังต้ม (กรัม)	ปริมาณแก๊ส (กรัม)	สูญเสีย (%)	แก๊ส (%)
ฟางข้าว	60.11	50.82	13.42	15.45	22.33
ชานอ้อย	59.1	50.91	9.88	13.36	16.72
กระดาษ	60.22	59.63	8.82	0.98	14.65
พลาสติก	60.02	38.33	14.11	36.14	23.51
ยางรถยนต์	60.37	38.12	12.79	36.86	21.18

4.3 ผลการทดลองการศึกษาผลของปัจจัยหลักในการทำให้เป็นของเหลว

จากการทดลองการทำให้เป็นของเหลวเบื้องต้น ฟางข้าวมีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวต่ำที่สุด และมีการสลายตัวในปริมาณสูง อีกทั้งยังเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมากในประเทศไทย จึงเลือกสารตัวอย่างชนิดนี้มาทำการศึกษาต่อ เพื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลักที่มีต่อการทำให้เป็นของเหลว ซึ่งอุณหภูมิและปริมาณต่างจะมีผลต่อ ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ และที่สนใจในการทดลองนี้ได้แก่ ปริมาณส่วนที่สกัดด้วยเบนซีนออกมา

ผลการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของฟางข้าวแสดงผลดังตารางที่ 4.2 – 4.3 และแสดงเป็นกราฟระหว่างผลของปัจจัยทั้งสองชนิด ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างปริมาณต่างเทียบกับปริมาณสารตัวอย่าง และอุณหภูมิ กับปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น ร้อยละผลผลิต และร้อยละการแปลงผันสารดังแสดงในรูปที่ 4.4 - 4.6

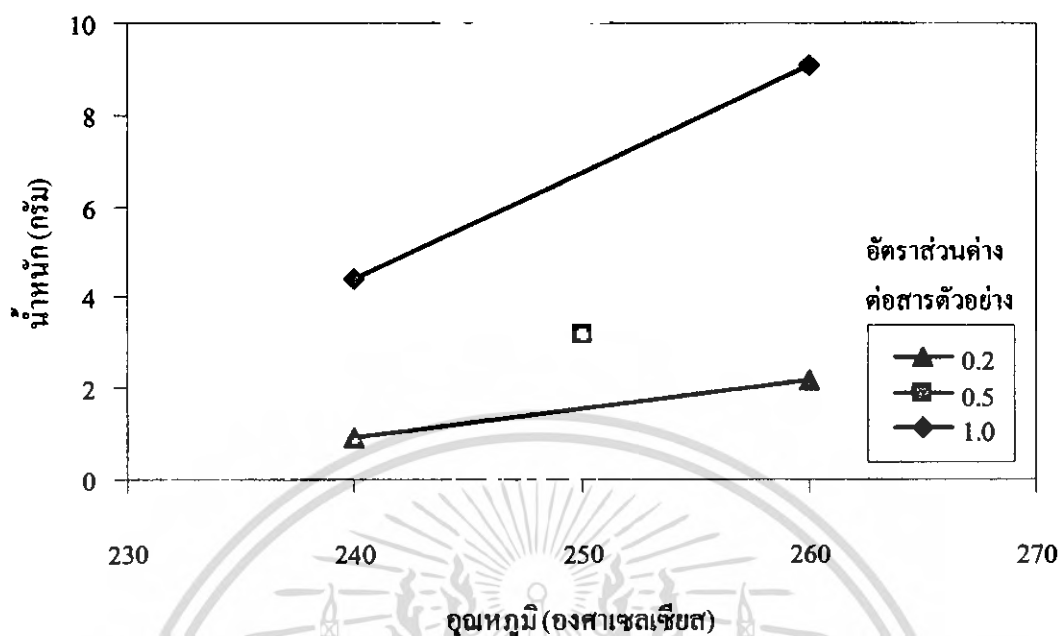
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลวครั้งที่ 1

อัตราส่วนต่าง	อุณหภูมิ (°ซ)	แก๊ส (กรัม)	ร้อยละการแปลงผันสาร	ร้อยละผลผลิต
1	240	3.21	84.76	1.3
1	260	8.21	83.32	3.54
0.2	240	0.697	45.82	0.54
0.2	260	2.444	48.66	1.52
0.5	250	3.373	79.5	3.86

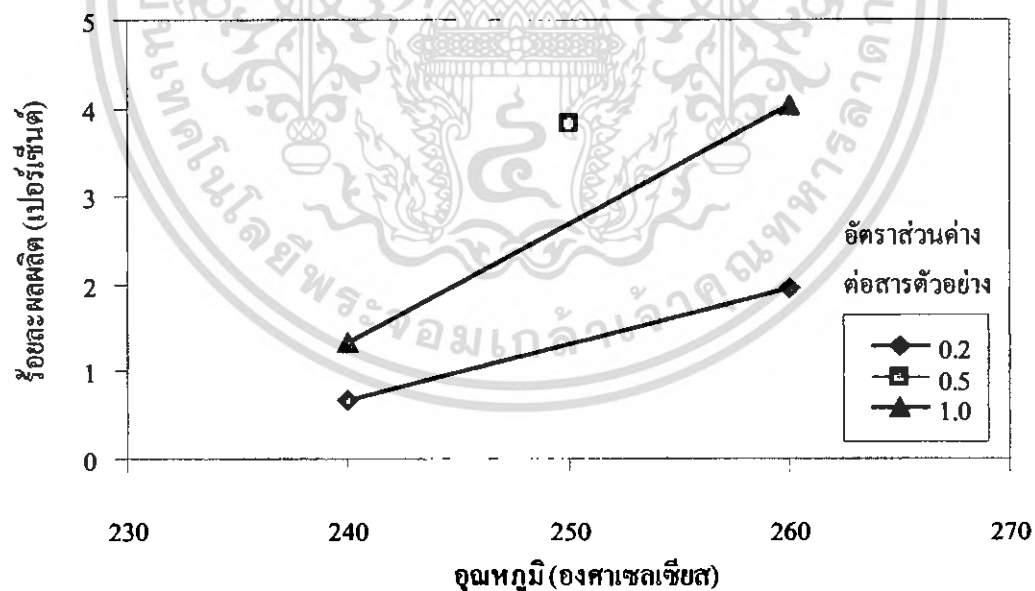
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลวครั้งที่ 2

อัตราส่วนต่าง	อุณหภูมิ (°ซ)	แก๊ส (กรัม)	ร้อยละการแปลงผันสาร	ร้อยละผลผลิต
1	240	5.611	90.38	1.38
1	260	9.948	93.72	4.52
0.2	240	1.164	54.6	0.8
0.2	260	1.881	60.78	2.4
0.5	250	3.023	56.46	3.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

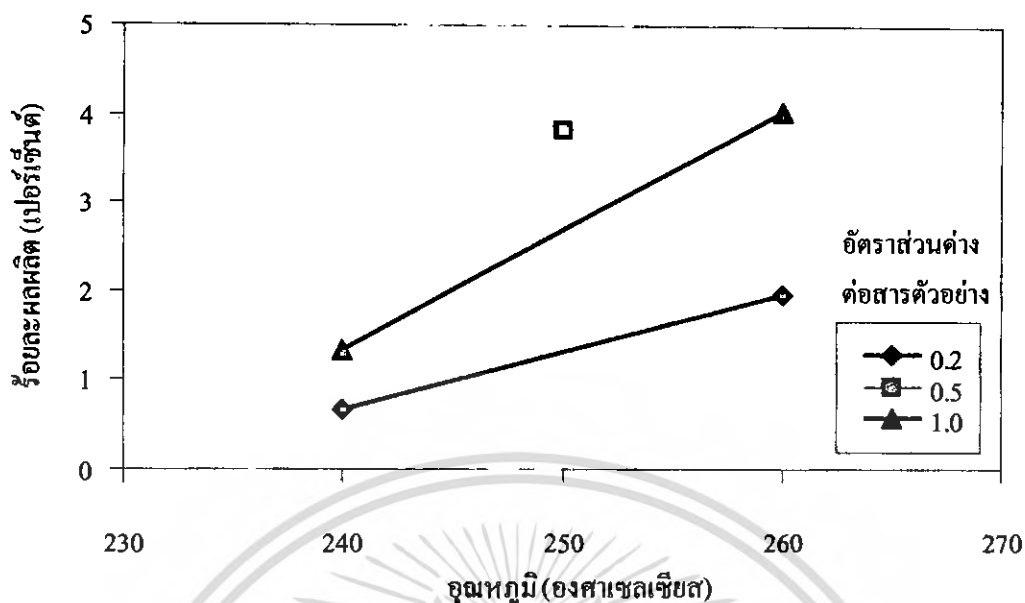


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของของแข็งที่ได้ต่ออุณหภูมิที่อัตราร้อยต่างต่อน้ำหนักฟางข้าว



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตต่ออุณหภูมิที่อัตราร้อยน้ำหนักร้อยต่างต่อน้ำหนักฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแปลงผันต่ออุณหภูมิที่อัตราส่วนน้ำหนัkd่างต่อฟางข้าว

4.4 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์แก๊สและของเหลวด้วยเครื่อง GC-MS

วิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างของเหลวส่วนที่สกัดด้วยเบนซีน และแก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-MS ; HP 5973 คอลัมน์ HP-1 ; cross-linked methyl siloxane, 25 × 0.32 mm. × 0.17 μm ตั้งอุณหภูมิเริ่มที่ 40 °ซ เป็นเวลานาน 10 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยอัตราทำให้ความร้อน 5 °ซ ต่อ นาที จนถึงอุณหภูมิ 300 °ซ แล้วคงที่ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที) และวิเคราะห์สารประกอบด้วย Wiley library-HP G1035A และ NIST library of mass spectra and subsets-HP G1033A ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงในตาราง 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.4 สารประกอบหลักของแก๊สที่ได้จากการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลว

ลำดับ	RT (นาที)	ชื่อสารประกอบ	พื้นที่ (%)
1	2.17	Benzene	0.56
2	3.60	Cyclopentanone	0.08
3	4.48	Cyclopentanone	0.19
4	4.59	Cyclopentanone	0.13
5	4.94	2-Furanmethanol	0.13
6	5.02	2-Furanmethanol	0.18
7	5.69	3-Hexene	0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สารประกอบหลักของแก๊สที่ได้จากการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลว (ต่อ)

ลำดับ	RT (นาที)	ชื่อสารประกอบ	พื้นที่ (%)
8	5.71	Nanofin	0.17
9	5.93	2-Cyclopenten-1-one	0.75
10	6.59	Benzenemethanol	0.03
11	6.71	1,3-Dimethyl-1-cyclohexene	0.59
12	6.91	2,4-Hexadiene	0.22
13	7.02	Cycloheptene	0.11
14	7.82	3-Methyl-3-hexene	0.10
15	7.96	Cycloheptanone	0.11
16	8.05	Phenol	0.11
17	8.16	Cyclobutene	0.33
18	8.31	Cyclopentene	0.41
19	8.98	Cyclohexene	0.08
20	9.07	2-Cyclopenten-1-one	0.15
21	9.18	1-Limonene	0.38
22	9.24	1,5-Cyclooctadiene	0.50
23	9.46	Pentalene	1.50
24	9.81	1,2-Cyclohexanedimethanol	0.27
25	10.12	2-Cyclopenten-1-one	1.81
26	10.34	Phenol	0.44
27	10.56	Cyclohexanone	0.64
28	10.65	Cyclohexanone	0.42
29	10.95	Phenol	6.62
30	11.18	Phenol	0.99
31	11.28	1,3-Benzenediol	1.54
32	11.44	Phenol	2.28
33	11.60	Phenol	1.52
34	11.77	2-Methoxy-4-methylphenol	1.52
35	12.11	1-Cyclohexene-4-carboxaldehyde	0.92
36	12.29	1,6-Cyclodecadiene	1.05
37	12.40	Cyclohexanone	0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขึ้นทะเบียนในบางกรณี ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สารประกอบหลักของแก๊สที่ได้จากการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลว (ต่อ)

ลำดับ	RT (นาที)	ชื่อสารประกอบ	พื้นที่ (%)
38	12.56	Benzene	1.16
39	12.65	2-methoxy-5-methylphenol	2.56
40	12.88	3-Cyclohexen-1-carboxaldehyde	1.61
41	13.13	Cyclohexane	0.91
42	13.26	Phenol	6.37
43	13.67	Phenol	2.45
44	13.89	Phenol	4.73
45	14.27	1-Cyclohexene-4-carboxaldehyde	2.25
46	14.50	Tricyclo[3.3.2.0(3,7)]decane	1.18
47	14.62	Phenol	0.45
48	14.74	Cyclopentane	1.21
49	15.02	1H-Imidazole	1.52
50	15.15	5-Ethyl-2-furaldehyde	0.79
51	15.22	Benzeneamine	1.70
52	15.54	2-Propenenitrile	2.24
53	15.79	3-Amino-4-methylbenzyl alcohol	0.96
54	15.86	4-(1-DEUTEROETHYL) BENZYL ALCOHOL	0.85
55	15.94	2-amino-5-chloropyrimidine	1.17
56	16.42	Benzeneamine	25.52
57	16.58	4-Nitroso-3-methylphenol	2.07
58	16.99	Propanedinitrile	0.83
59	17.07	3-Acetylpyridine-N-oxide	0.40
60	17.14	3-Acetylpyridine-N-oxide	0.46
61	17.25	Cyclohexane	0.96
62	17.49	Cycloheptane	0.89
63	17.65	Benzene	1.22
64	17.78	Phenol	0.47
65	17.90	Benzaldehyde	0.25
66	18.18	Salicylaldehyde	1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สารประกอบหลักของแก๊สที่ได้จากการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลว (ต่อ)

ลำดับ	RT (นาที)	ชื่อสารประกอบ	พื้นที่ (%)
67	18.36	3-Amino-2-methylbenzyl alcohol	0.32
68	18.46	1,4-Benzenediamine	0.64
69	18.63	4-Dimethylaminopyridin-2-amine	1.23
70	18.97	Benzene	0.59
71	19.87	1,3-Cyclopentadiene	0.28
72	20.32	Benzaldehyde	0.23
73	20.40	Salicylaldehyde	0.09
74	21.08	Phenol	0.08

ตารางที่ 4.5 สารประกอบของของเหลวที่ได้จากการทำฟางข้าวให้เป็นของเหลว

ลำดับ	RT (นาที)	ชื่อสารประกอบ	พื้นที่ (%)
1	5.10	2,4,6-Cycloheptatrien-1-one	21.875
2	5.62	1,3,5-Cyclooctatriene	9.375
3	6.74	Salicyl Alcohol	15.625
4	7.04	5-METHYL-3,6,8-TRIOXABICYCLO[3.2.1]octane	40.625
5	11.05	3,7,9-Trioxabicyclo[3.3.1]nonane	9.375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ฟางข้าวสามารถย่อยสลายได้มากที่สุดจากสารตัวอย่างที่สนใจทั้ง 9 ชนิด เนื่องจากฟางข้าวเริ่มการสลายตัวที่อุณหภูมิค่าที่สุคตามผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA
2. การทำวัสดุเหลือใช้ให้เป็นของเหลวโดยการใช้อัลติโซนเป็นตัวทำลายเหมาะสมกับสารที่มีช่วงอุณหภูมิที่เกิดในการสลายตัวต่ำกว่าจุดเดือดของอัลติโซน
3. การทำให้เป็นของเหลวแบ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นสามส่วน ได้แก่ แก๊ส ของแข็งที่เหลืออยู่ และส่วนของน้ำมันที่ได้ หรือส่วนที่ละลายในเบนซีน
4. ปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเพิ่มอัตราส่วนต่าง
5. ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ลดลง หรือร้อยละการแปลงผันสารเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเพิ่มปริมาณต่าง และอัตราส่วนต่างจะมีผลชัดเจนเมื่อใช้ปริมาณต่างเกินครึ่งของปริมาณสารตั้งต้น
6. ปริมาณสารส่วนที่ละลายในเบนซีน หรือร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และอัตราส่วนต่างจะมีผลชัดเจนเมื่อใช้ปริมาณต่างเกินครึ่งของปริมาณสารตั้งต้น ดังเช่น จากการทดลองครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 260 °ซ เมื่อใช้อัตราส่วนต่างค่อนำหนักฟางข้าว 0.2 และ 1.0 ได้ร้อยละผลผลิต 2.40 และ 4.52 ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 250 °ซ เมื่อใช้อัตราส่วนต่าง 0.5 ได้ร้อยละผลผลิตถึง 3.78
7. ผลิตภัณฑ์ของเหลวและแก๊สที่เกิดขึ้นเป็น สารประกอบของหมู่ออกซิเจน และกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน อะโรมาติก แอลเคน แอลคีน เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

วัสดุเหลือใช้ และสารชีวมวลมีหลายชนิด ทั้งที่มาจากการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมที่ใช้ผลผลิตทางการเกษตร เช่น กากใบชาจากโรงงานผลิตเครื่องคั้มหรือโรงงานประเภทอื่น เปลือกผลไม้จากการทำผลไม้กระป๋อง กากมันสำปะหลัง รวมทั้งวัสดุเหลือใช้ เช่น กระดาษ ขางรถยนต์ ขวดพลาสติก โดยโครงการวิจัยนี้จะเน้นมาจากการเกษตรกรรมมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณที่สูงรวมทั้งสามารถหาได้ง่ายกว่าของที่เหลือจากอุตสาหกรรม แต่ทั้งนี้อาจสารประเภทอื่นที่มีปริมาณการสลายตัวหรือสามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้ในปริมาณสูงกว่า และได้องค์ประกอบในเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลวที่แตกต่างออกไป ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาสารเพียงบางชนิดไว้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ให้เป็นของเหลวต่อไป

การทดลองการทำให้เป็นของเหลวนี้ทำการศึกษาที่อุณหภูมิไม่สูงมาก จากผลการทดลองที่ได้แนวโน้มในการทำให้เป็นของเหลวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แต่การเพิ่มอุณหภูมิในการทำวัสดุเหลือใช้ให้เป็นของเหลวโดยใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลายมีความเสี่ยงอันตรายในการเกิดสารอะโครลีนซึ่งเป็นสารที่พิษต่อร่างกาย ดังนั้นอาจหาตัวทำละลายชนิดอื่นที่มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงเป็นตัวทำละลายแทนกลีเซอรินเพื่อป้องกันการเกิดสารอะโครลีน และเพื่อให้การทำให้การทำวัสดุเหลือใช้ให้เป็นของเหลวมีร้อยละผลผลิตสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริรัตน์ จิตการคำ และ รัตนวรรณ มกรพันธ์. 2005. เสาขารถยนต์เก่าได้น้ำมัน ลดนำเข้า เชื้อเพลิงฟอสซิลถึง 10-15%. [Online]. Viable: http://www.trf.or.th/News/Content.asp?Art_ID=494. Accessed October, 2006.
- [2] Karinen, R.S. and Krause, A.O.I. 2006. "New biocomponent from glycerol." *Applied Catalysis A: General*. 2006(306) : 128-123.
- [3] Demirbas, A. 1998. "AQUEOUS GLYCEROL DELIGNIFICATION OF WOOD CHIPS AND GROUND WOOD." *Bioresource Technology*. 1998(63) : 179-185.
- [4] Demirbas, A. 2000. "Effect of lignin content on aqueous liquefaction products of biomass." *Energy Conversion & Management*. 2000(41) : 1601-1607.
- [5] Kirk, O. 1997. *Encyclopedia of Chemical Technology*. vol. 12. New York : John Wiley & Sons.
- [6] Barbara, E. 1994. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. vol. A12. 5th Ed. Germany : VCH.
- [7] Demirbas, A. 2000. "Mechanism of liquefaction and pyrolysis reaction of biomass." *Energy Conversion & Management*. 2000(41) : 633-646.
- [8] Brian He, B.Armando G. M. *Thermochemical Processes for Biomass Conversion*. [Online].: <http://www.webpages.uidaho.edu/~bhe/biorefinery/4.htm>. Accessed October, 2006.
- [9] ก่อฤกษ์ เชียงว่อง. 2544. "การศึกษาเบื้องต้นการทำกลีเซอรินจากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์." *ปริญญาณิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- [10] Zhen, F. 1996. "Direct liquefaction of waste plastics and coliquefaction of coal-plastic Mixtures." *Fuel Processing Technology*. 1996(49) : 17-30.
- [11] Rustamov, V.R. 1998. "Biomass conversion to liquid fuel by two-stage thermochemical cycle." *Energy Conversion & Management*. 1998(39) : 869-875.
- [12] Demirbas, A. 2000. "Conversion of biomass using glycerin to liquid fuel for blending gasoline as alternative engine fuel." *Energy Conversion & Management*. 2000(41) : 1741-1748.

- [13] Selhan, K. Thallada, B. Akinori, M. Yusaku, S. Toshiyuki O. and Tamiya K. 2005. "Low-temperature catalytic hydrothermal treatment of wood biomass :analysis of liquid products." *Chemical Engineering Journal*. 2005(1108) : 127–137.
- [14] Masaru, W. 2007. "Acrolein synthesis from glycerol in hot-compressed water." *Bioresource Technology*. 2007(98) : 1285–1290.
- [15] Selhan, K. Thallada B. Akinori M. and Yusaku S. 2005. "Comparative studies of oil compositions produced from sawdust, rice husk, lignin and cellulose by hydrothermal treatment." *Fuel*. 2005(84) : 875–884.
- [16] Selhan, K. Thallada B. Akinori M. and Yusaku S. 2006. "Hydrothermal upgrading of biomass: Effect of K_2CO_3 concentration and biomass/water ratio on products distribution." *Bioresource Technology*. 2006(97) : 90–98.
- [17] Raveendran, K., Ganesh, A. and Khilar, K. C. 1996. "Pyrolysis characteristics of biomass and biomass components." *Fuel*. 1996(75) : 987-998.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของเกลือเซอริน

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของเกลือเซอรินประเภทต่างๆ [9]

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ
		เกลือเซอรินชั้น คุณภาพเคมี	เกลือเซอรินชั้นคุณภาพ ไดนาไมต์	เกลือเซอรินชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม	เกลือเซอรินชั้นคุณภาพ ยา	
1	เกลือเซอริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไม่น้อยกว่า	99.0	99.0	99.0	99.0	BS 5711:Part 3
2	เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	-	-	-	-	ISO 2098
3	น้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	-	-	-	-	ISO 2097
4	สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่เกลือเซอริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	-	-	-	1.5	ISO 2464
5	สารหนู (มก./กก.) ไม่เกิน	2.0	-	-	-	มอก.1281
6	โพเพน-1,3-ไดออกส (ร้อยละโดย น้ำหนัก) ไม่เกิน	-	-	-	-	BS 5711:Part 11
7	น้ำตาล	ต้องไม่พบ	-	-	-	BS 5711:Part 18

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของกัลิเซอรินประเภทต่างๆ (ต่อ)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ
		กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ เดิม	กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ ไดนาไมต์	กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม	กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ ยา	
8	ค่าองศาไดวียนอนด์สเกลใน เซลล์ขนาด 113 มม. ไม่เกิน	-	(5.0Y+1.2R)	(5.0Y+1.2R)	BS 2621-5	
9	กัลิทิน	ต้องไม่มีกัลิทิน	ต้องไม่มีกัลิทิน	ต้องไม่มีกัลิทิน	BS 5711:Part 19	
10	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ - ที่อุณหภูมิ 20/20 °ซ - ที่อุณหภูมิ 25/25 °ซ	แปลกปดอม 1.261-1.264	แปลกปดอม 1.261-1.264	แปลกปดอม 1.261-1.264	ISO 2099	
11	ความเป็นต้นทางหรือความเป็น กรด (มก./กก.) ไม่เกิน	0.32	0.064	0.32	BS 5711:Part 5	
12	เถ้าซิลิเฟต (มก./กก.) ไม่เกิน	0.010	0.010	0.010	ISO 1616	
13	ตะกั่ว (มก./กก.) ไม่เกิน	1.0	-	-	BS 2621-5	
14	เถ้าโลหะหนักทั้งหมด (เทียบ เป็นตะกั่ว) (มก./กก.) ไม่เกิน	5.0	-	-	BS 5711:Part 5	

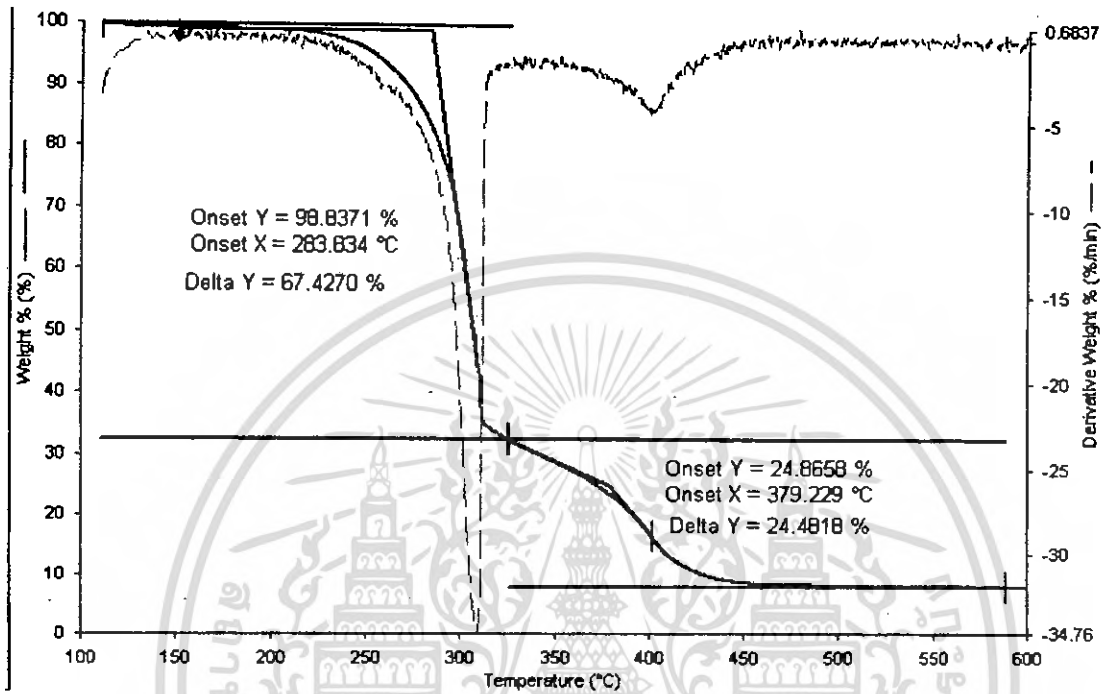
ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของกิลิเซอรินประเภทต่างๆ (ต่อ)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ
		กิลิเซอรินชั้นคุณภาพ เคมี	กิลิเซอรินชั้นคุณภาพ ไดนาไมต์	กิลิเซอรินชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม	กิลิเซอรินชั้นคุณภาพ ยา	
15	คลอไรด์ (ร้อยละโดย น้ำหนัก) ไม่เกิน	-	0.010	0.010	0.010	BS 5711:Part 12 BS 5711:Part 13
16	ขีดจำกัดปริมาณคลอไรด์ (chloride limit)	สารละลายที่ได้ต้องไม่มี ขุ่น	-	-	-	-
17	ขีดจำกัดปริมาณคลอไรด์ อินทรีย์	สารละลายที่ได้ต้องไม่มี ขุ่นกว่าสารละลาย ควบคุม	-	-	-	BS 5711:Part 14 BS 5711:Part 16
18	เหล็ก (มก./กก.) ไม่เกิน	-	-	-	-	-
19	สารประกอบคลอรีน (คำนวณเป็นคลอไรด์) ร้อย ละโดยน้ำหนักไม่เกิน	-	-	-	-	USP
20	ซัลเฟตร้อยละโดยน้ำหนักไม่ เกิน	-	-	-	0.002	USP

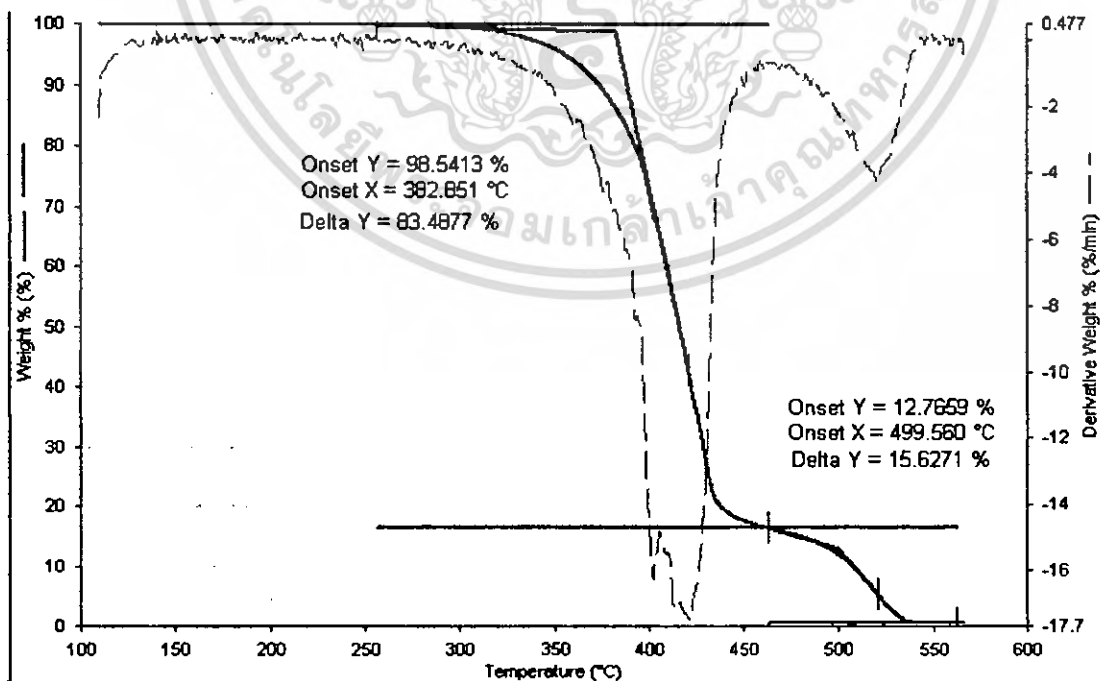
ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกัลิเซอรินประเภทต่างๆ (ต่อ)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ
		กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ เคมี	กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ ไดนาไมต์	กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม	กัลิเซอรินชั้นคุณภาพ ยา	
21	ขีดจำกัดปริมาณสารรีดิวิซ์	สีของสารละลายต้อง ไม่เข้มขึ้นกว่าสีของ สารละลายมาตรฐาน	สีของสารละลายต้องไม่ เข้มขึ้นกว่าสีของ สารละลายมาตรฐาน	-	-	BS 5711:Part 20
22	สะพอนิฟิเคชันอิกวีเวเลนซ์ มิลลิวลิควิวเลนซ์ต่อ 100 กรัม ไม่เกิน	0.64	0.64	-	-	BS 5711:Part 21
23	กรดไขมันและเอสเทอร์				ทำปฏิกิริยาพอดกับ สารละลายโซเดียมไฮ ดรอกไซด์ 0.5M ไม่ เกิน ลบ.ชม.	USP

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA

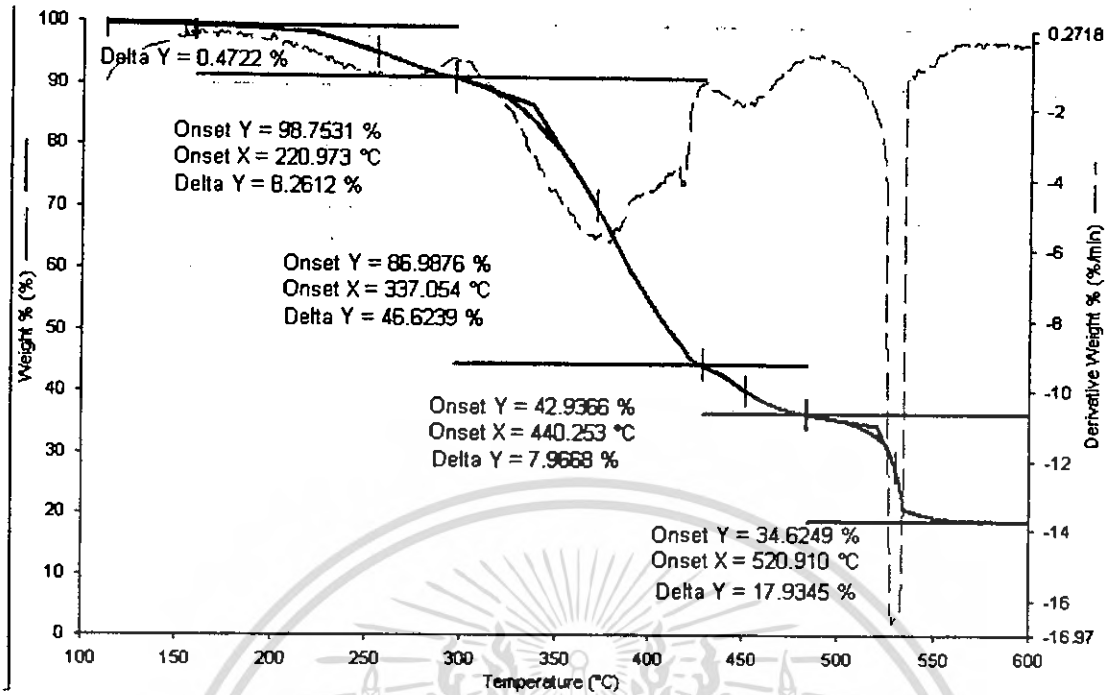


รูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของกระดาษ

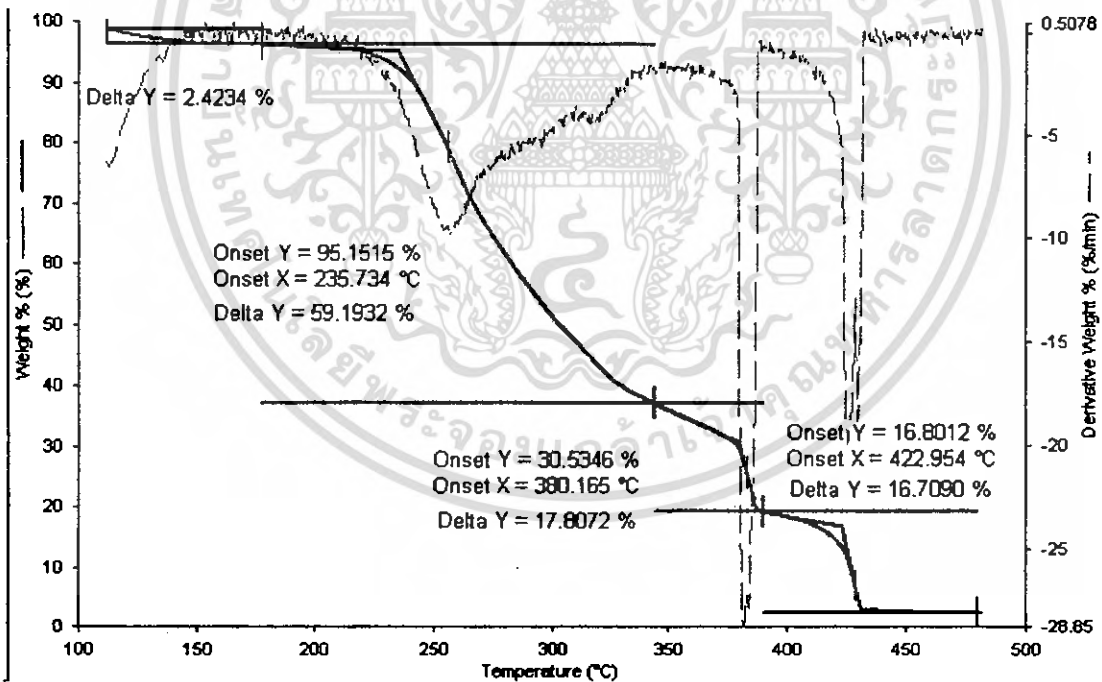


รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของขวดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

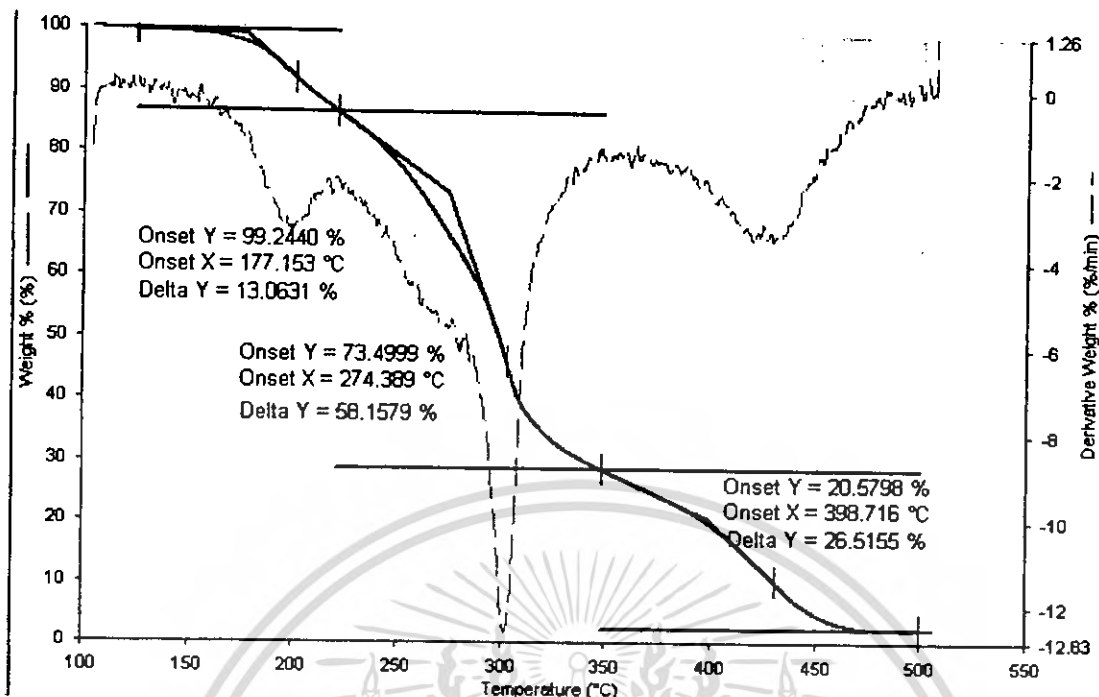


รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของยางรถยนต์

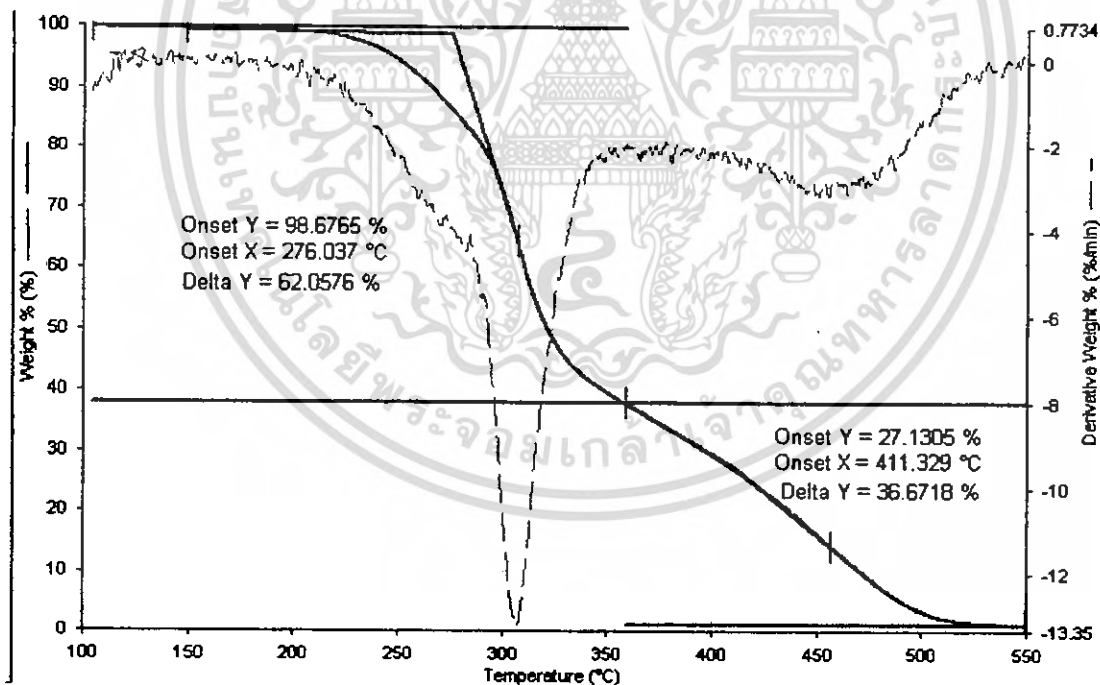


รูปที่ ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของขังข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

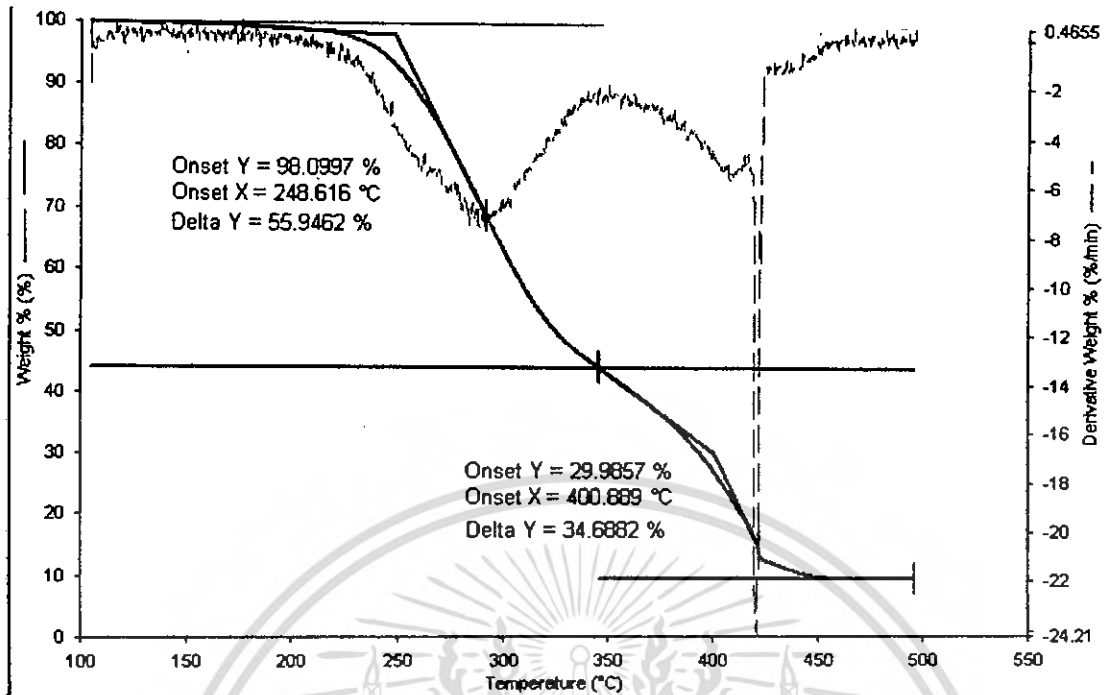


รูปที่ ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโคมวลของสารกับอุณหภูมิของขานอ้อย

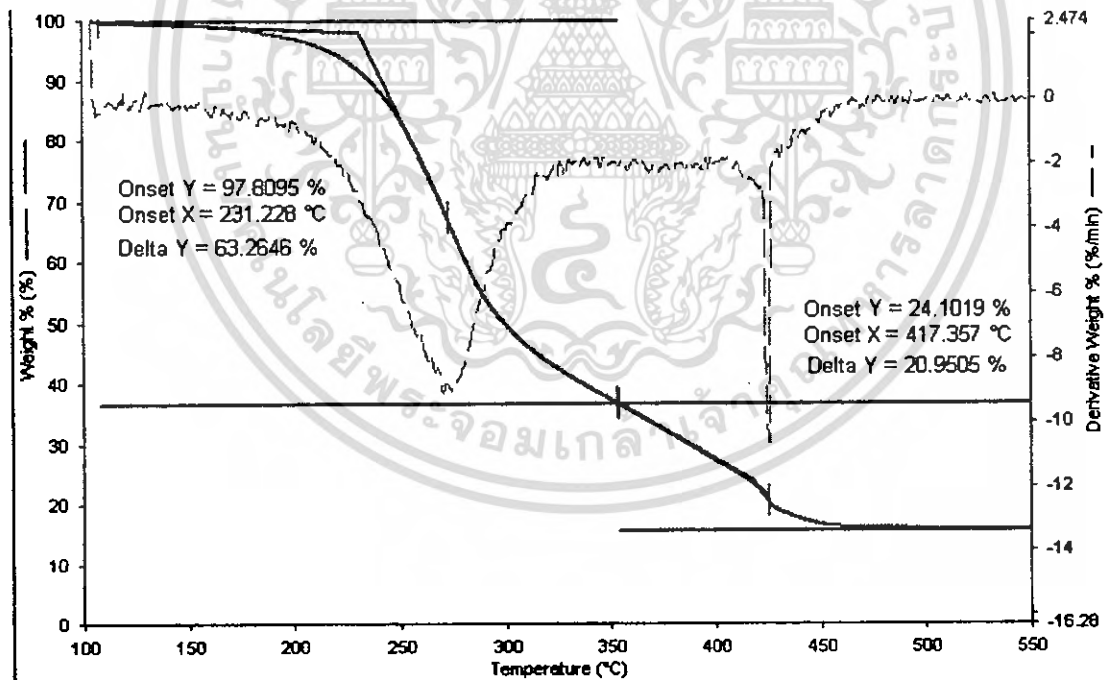


รูปที่ ข.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโคมวลของสารกับอุณหภูมิของขี้เถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

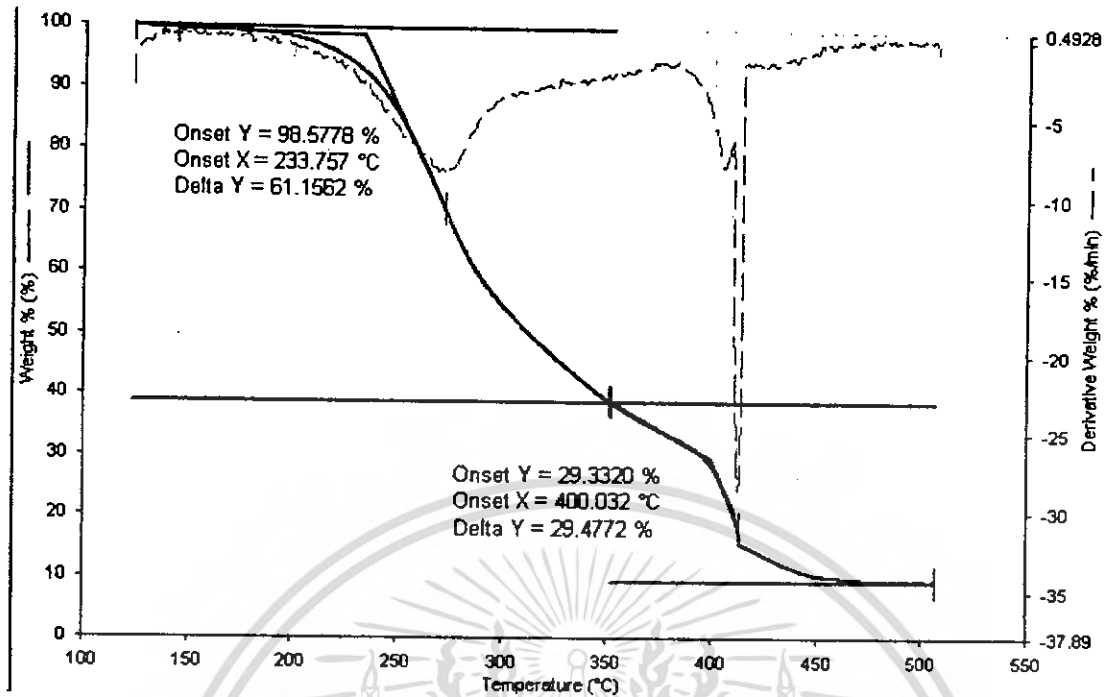


รูปที่ ข.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของแคลบ



รูปที่ ข.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

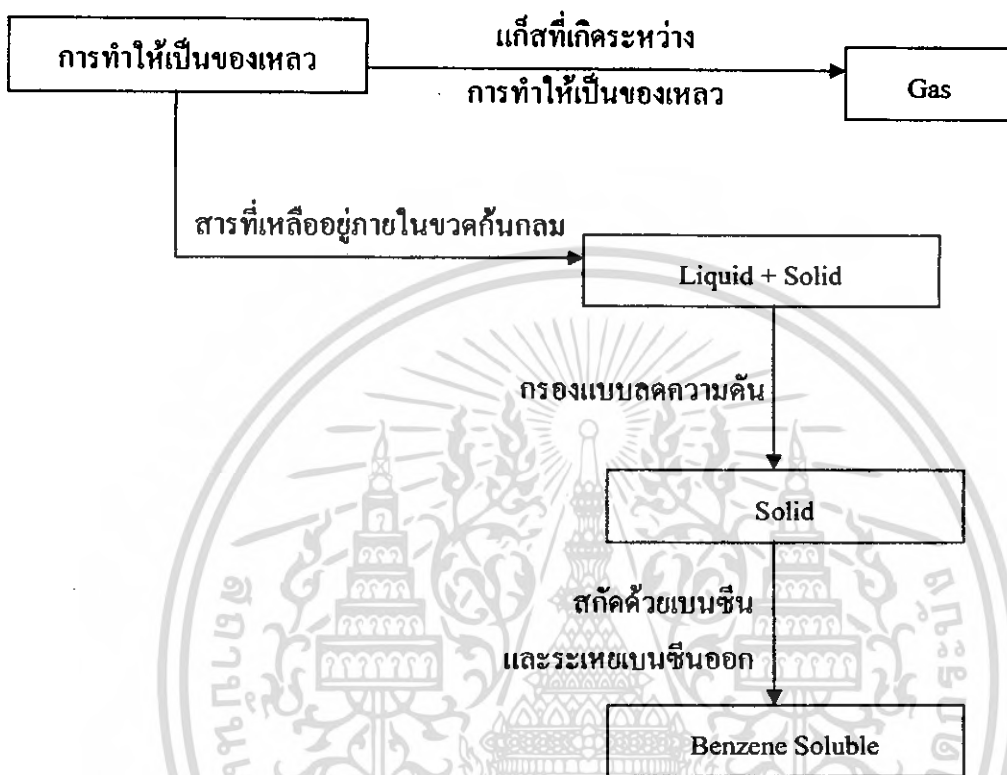


รูปที่ ข.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยมวลของสารกับอุณหภูมิของกาบมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบ



รูปที่ ค.1 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของฟางข้าวครั้งที่ 1

อัตราส่วนต่าง	อุณหภูมิ (°ซ)	สารตั้งต้น (กรัม)	Gas (กรัม)	Liquid + Solid (กรัม)	Solid	Benzene Soluble (กรัม)
1	240	57.36	3.21	45.491	0.762	0.065
1	260	57.32	8.21	40.06	0.834	0.177
0.2	240	54.119	0.697	38.714	2.709	0.027
0.2	260	54.088	2.444	46.391	2.567	0.076
0.5	250	56.424	3.373	47.828	1.025	0.193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๒.2 ผลการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของฟางข้าวครั้งที่ 2

อัตราส่วนต่าง	อุณหภูมิ (°ซ)	สารตั้งต้น (กรัม)	Gas (กรัม)	Liquid + Solid (กรัม)	Solid (กรัม)	Benzene Soluble (กรัม)
1	240	58.545	5.611	46.702	0.481	0.069
1	260	60.664	9.948	43.245	0.314	0.226
0.2	240	55.633	1.164	49.635	2.27	0.04
0.2	260	56.534	1.881	46.568	1.961	0.12
0.5	250	55.735	3.023	46.21	2.177	0.189



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณ

ร้อยละการแปลงผัน (% Conversion)

การหาร้อยละการแปลงผันสาร สามารถหาได้จากปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่เทียบกับ ปริมาณสารตัวอย่าง ซึ่งในการทดลองใช้สารตัวอย่างปริมาณเท่ากันคือ 5 กรัม

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสาร} = \frac{\text{ปริมาณสารตัวอย่าง} - \text{ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่}}{\text{ปริมาณสารตัวอย่าง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของฟางข้าวครั้งที่ 1 ที่อัตราส่วนค่างต่อปริมาณสาร ตัวอย่างเท่ากับ 1 และอุณหภูมิ 240 °ซ มีปริมาณของแข็งที่เหลือเท่ากับ 0.076

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแปลงผัน} &= \frac{(5-0.076)}{5} \times 100 \\ &= 84.76 \end{aligned}$$

ร้อยละผลผลิต (% Yield)

การหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงสาร สามารถหาได้จากปริมาณส่วนที่ละลายในเบนซีน หรือ ส่วนน้ำมันที่ต้องการเทียบกับปริมาณสารตัวอย่าง ซึ่งในการทดลองใช้สารตัวอย่างปริมาณเท่ากัน คือ 5 กรัม

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{ปริมาณส่วนที่ละลายในเบนซีน} \times 100}{\text{ปริมาณสารตัวอย่าง}}$$

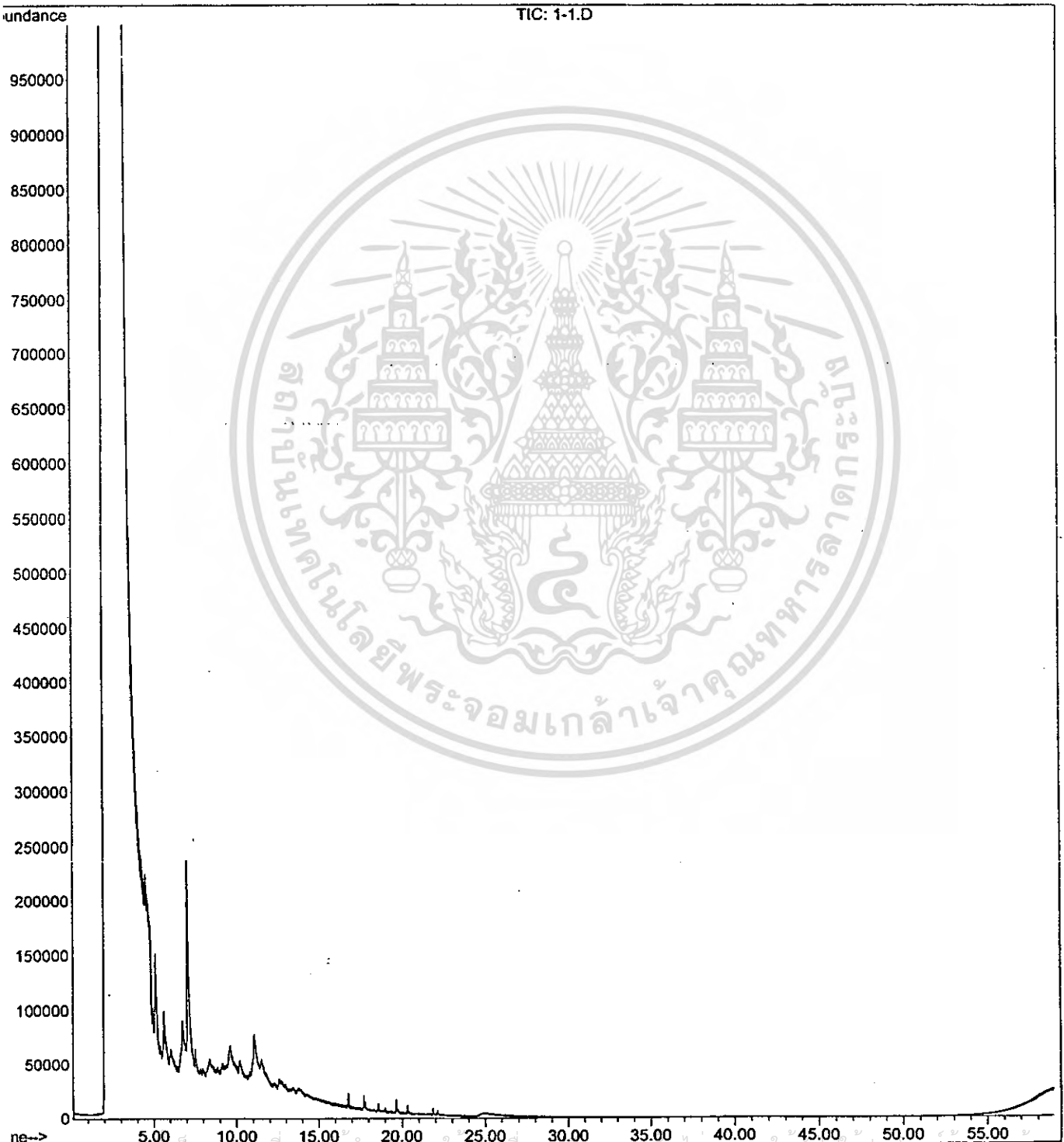
ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองการทำให้เป็นของเหลวของฟางข้าวครั้งที่ 1 ที่อัตราส่วนค่างต่อปริมาณสาร ตัวอย่างเท่ากับ 1 และอุณหภูมิ 240 °ซ มีปริมาณส่วนที่ละลายในเบนซีนเท่ากับ 0.065

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลผลิต} &= \frac{0.065 \times 100}{5} \\ &= 1.3 \end{aligned}$$

โครมาโตแกรม และสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เหลว

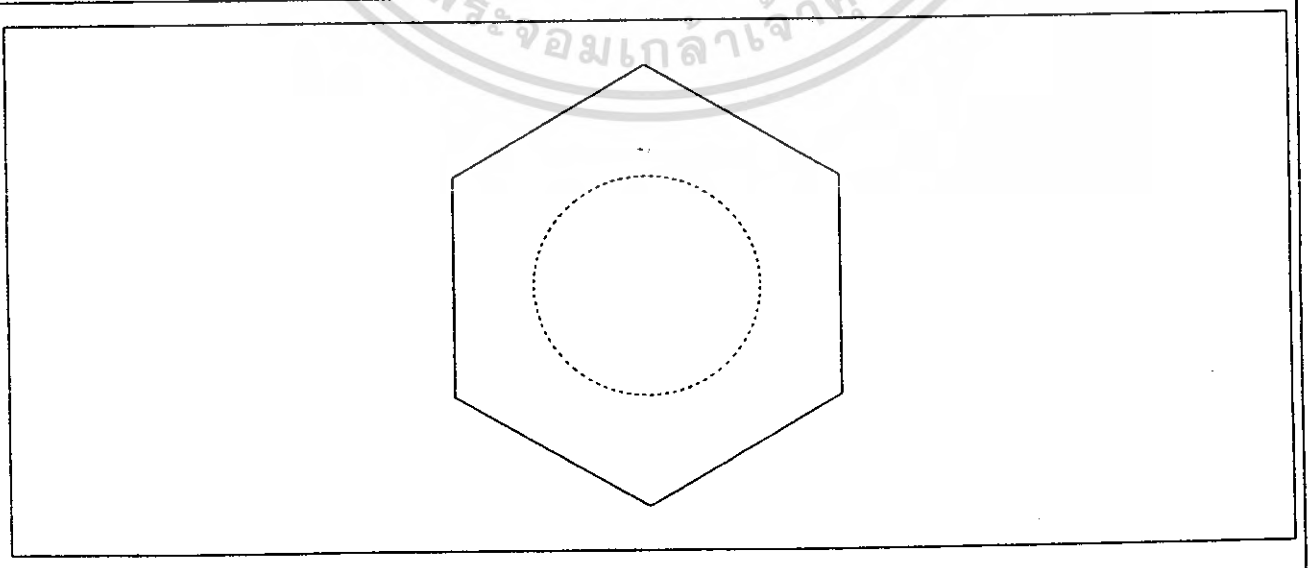
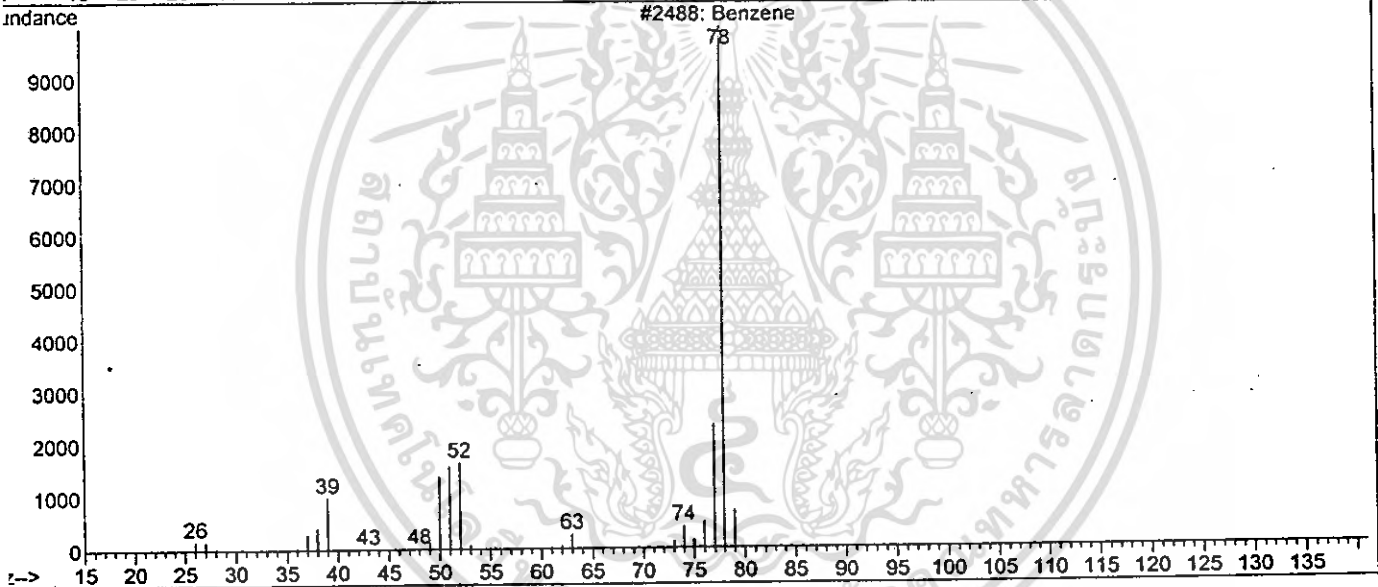
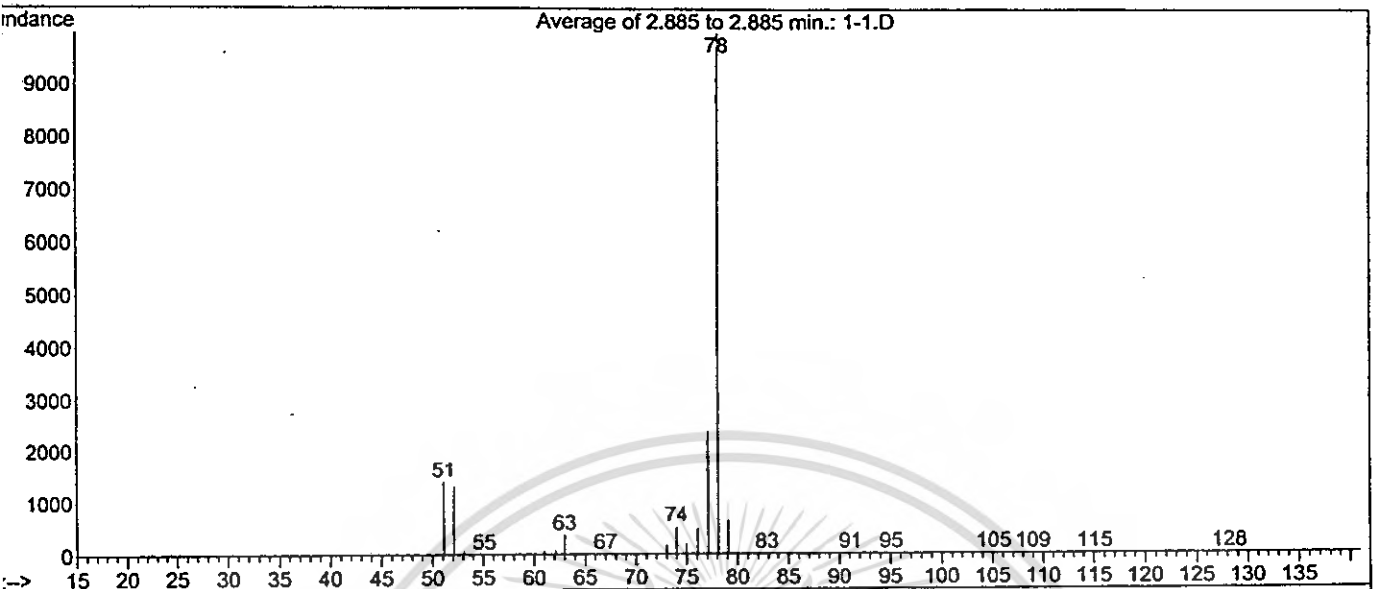
File : D:\290107\SNAPSHOT\1-1.D
Operator :
Acquired : 30 Jan 2007 13:23 using AcqMethod TUSSANEE
Instrument : Instrumen
Sample Name: 1-1
Disc Info :
Vial Number: 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาติให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

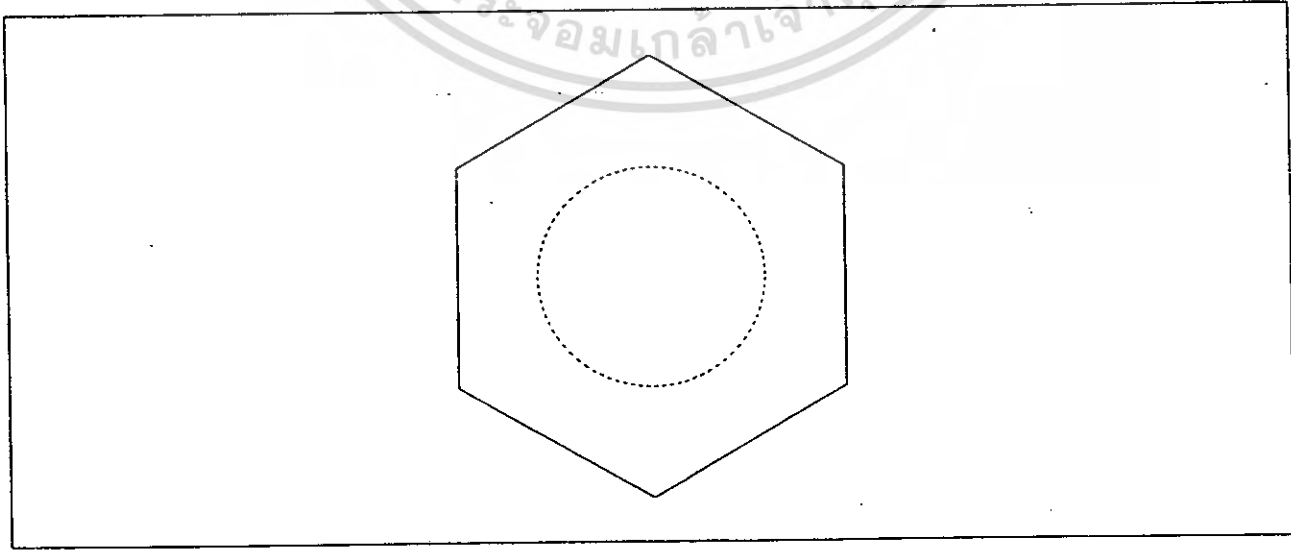
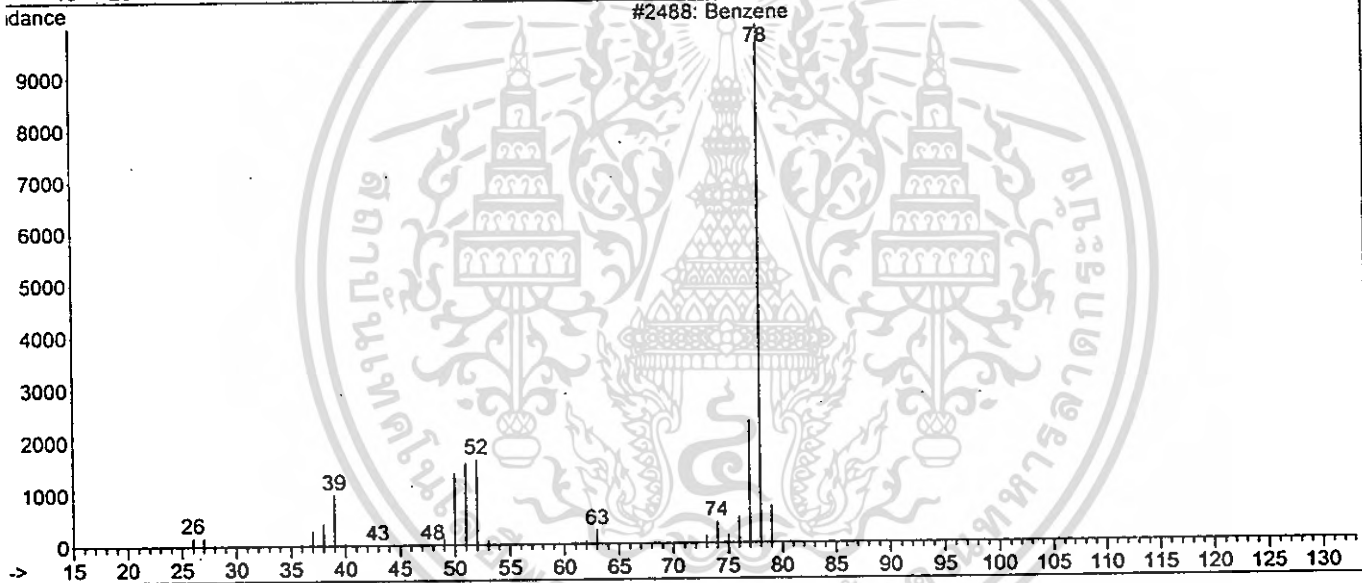
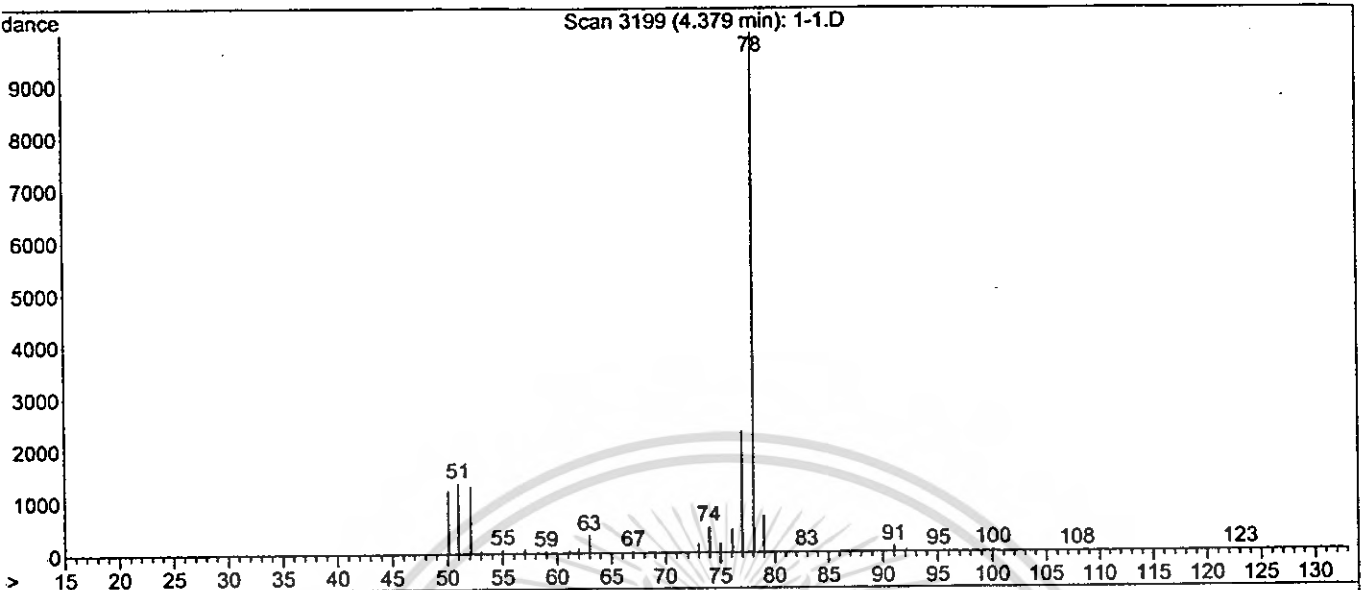
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ข้อมูลใดๆ และข้อมูลข้างต้นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.1 โครมาโตแกรมของผลิตภัณฑ์เหลว

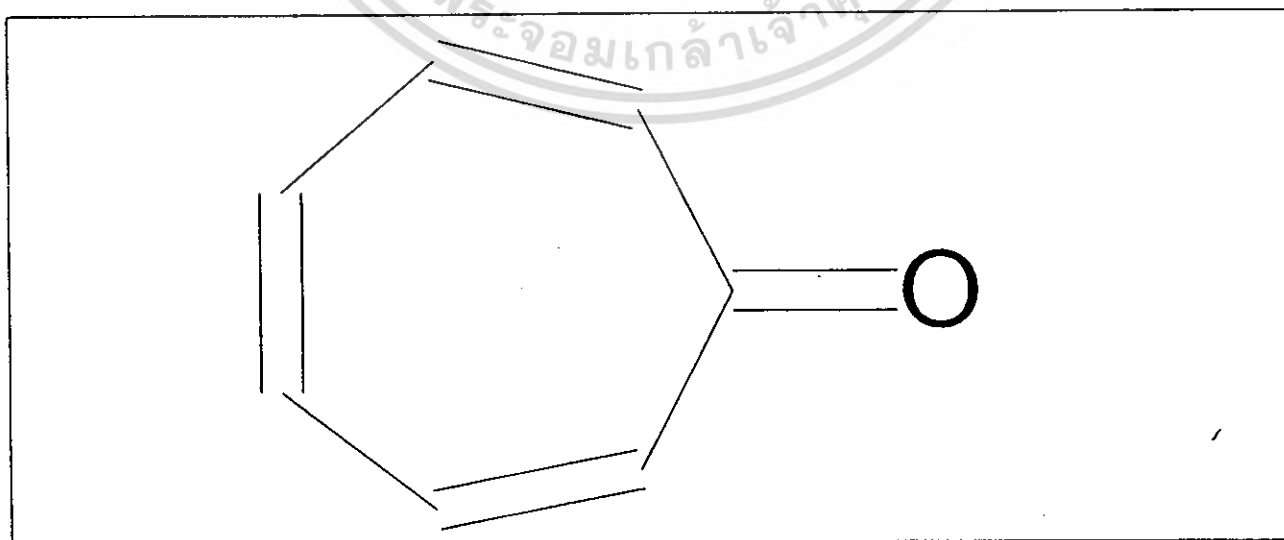
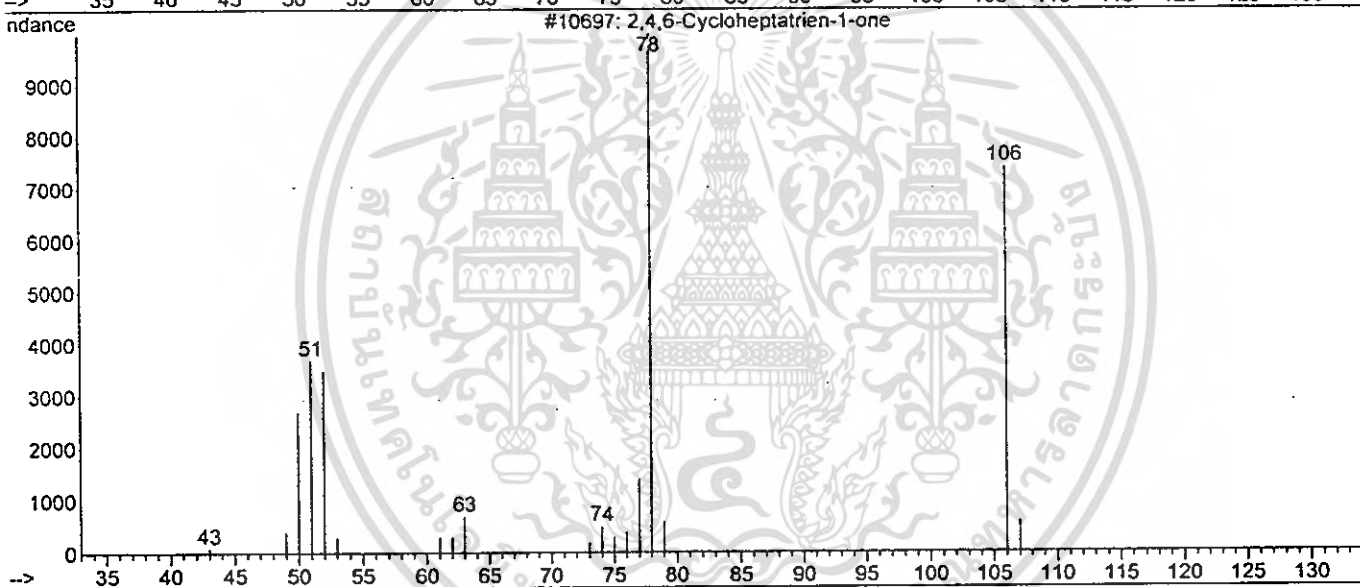
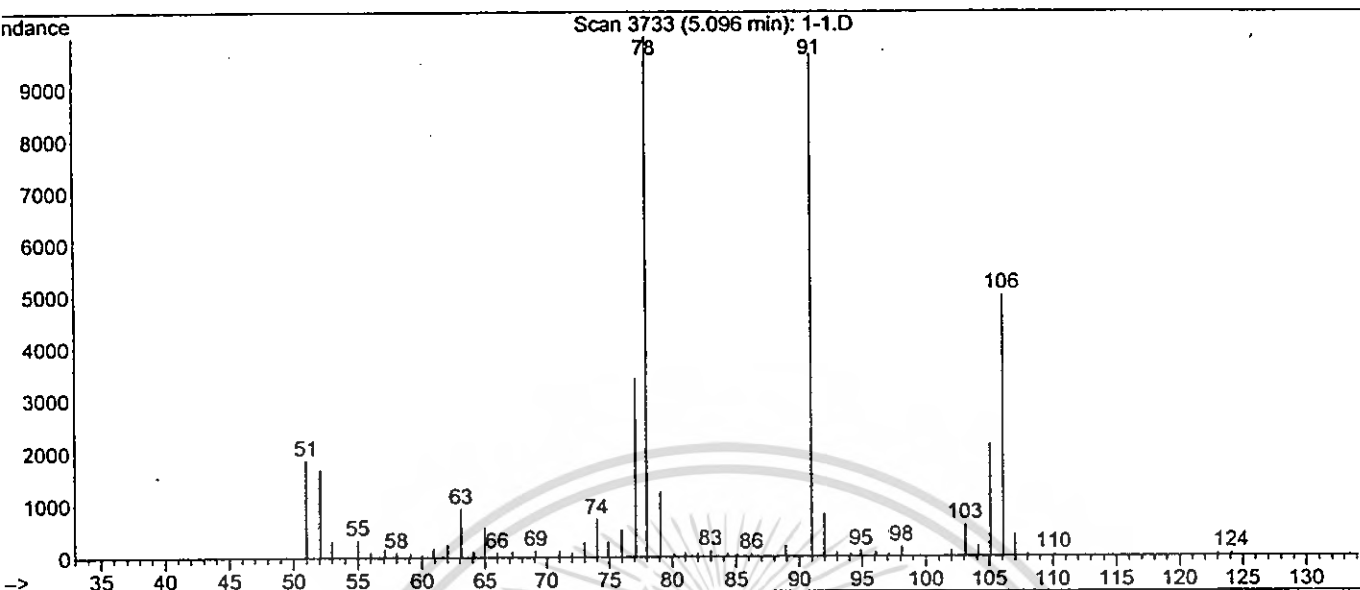


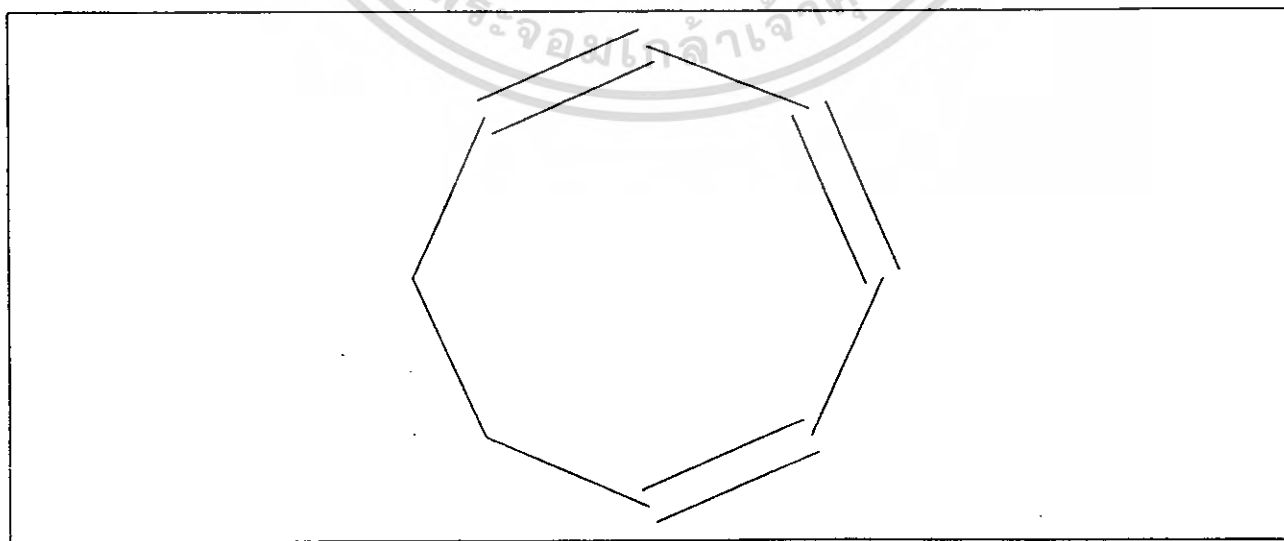
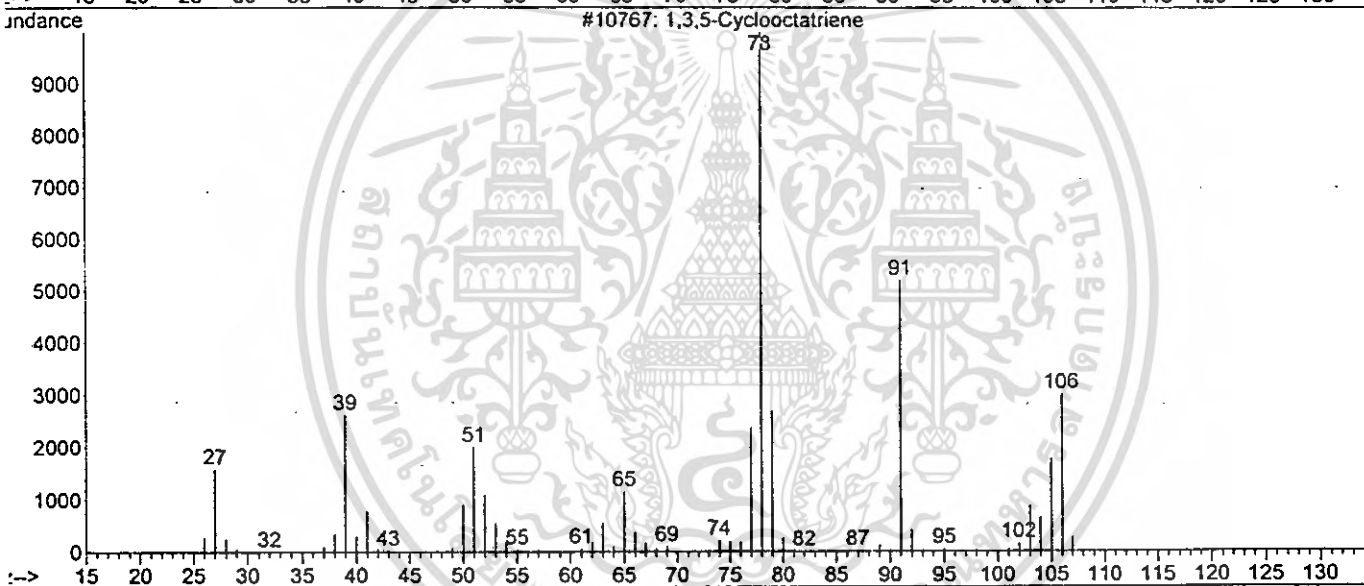
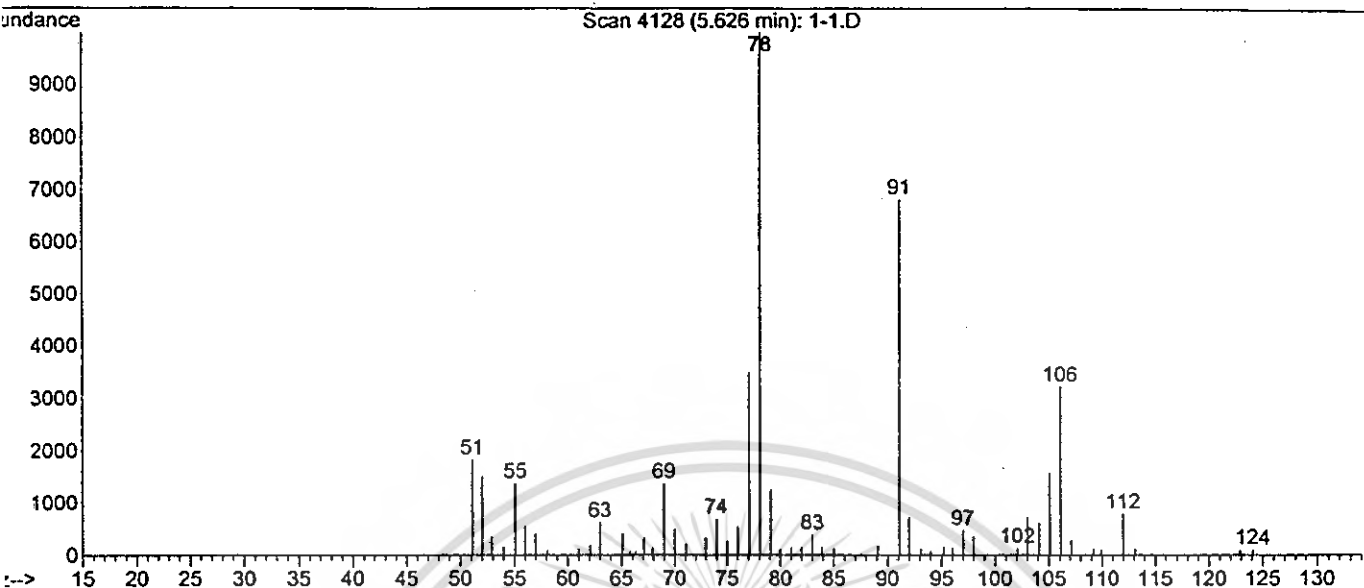
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำข้อมูลของเอกสารนี้ไปแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.2 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เหลว



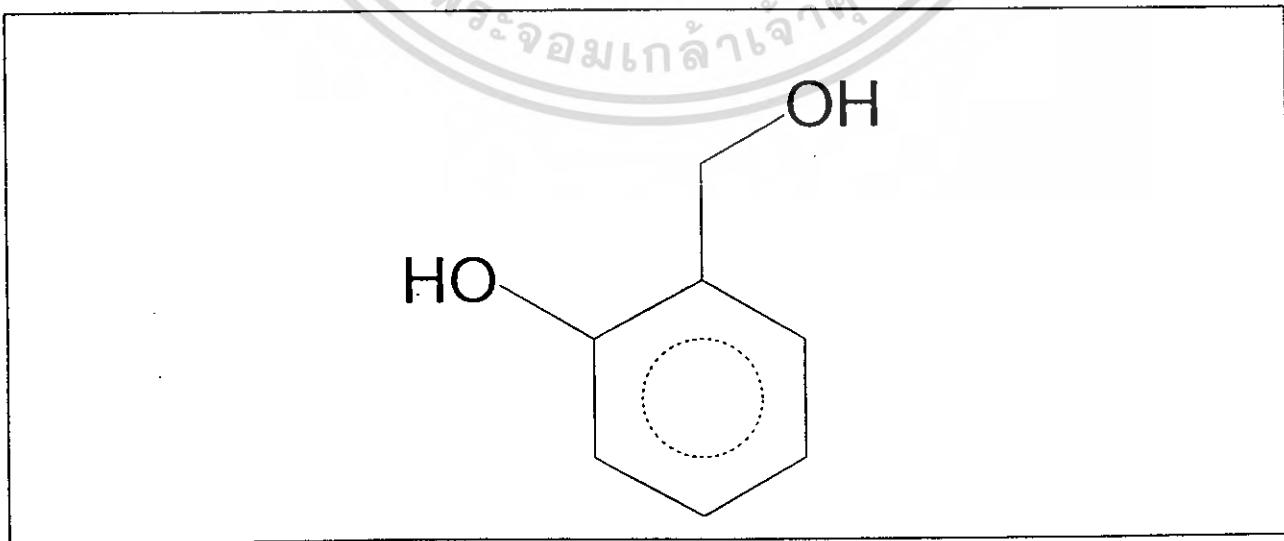
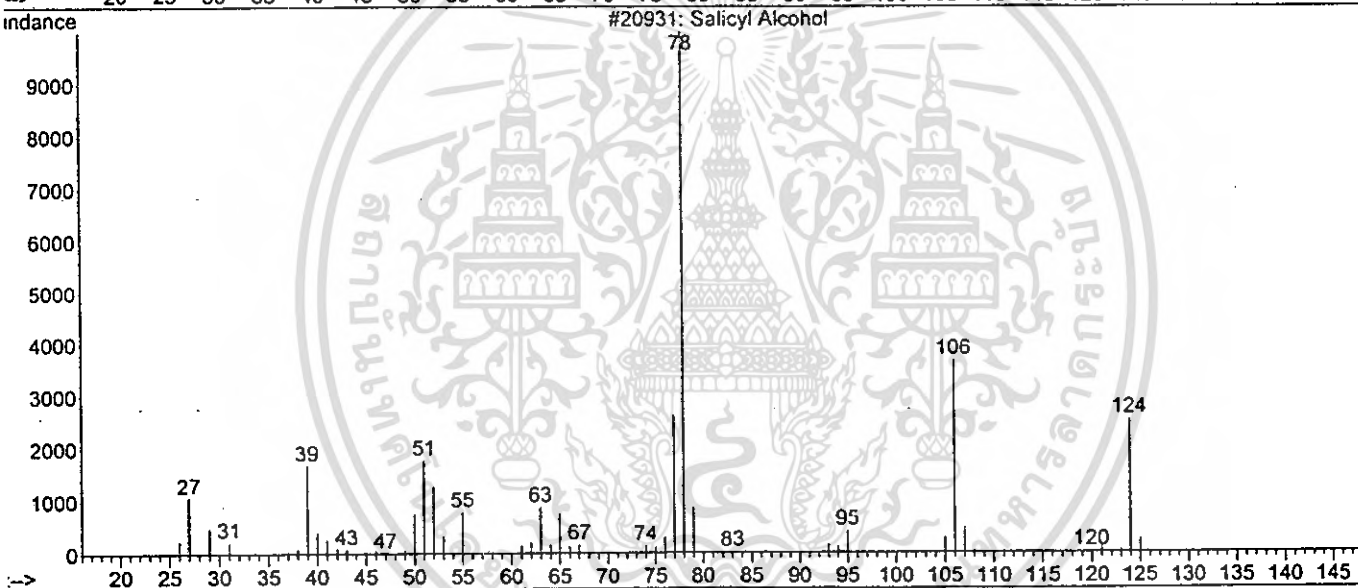
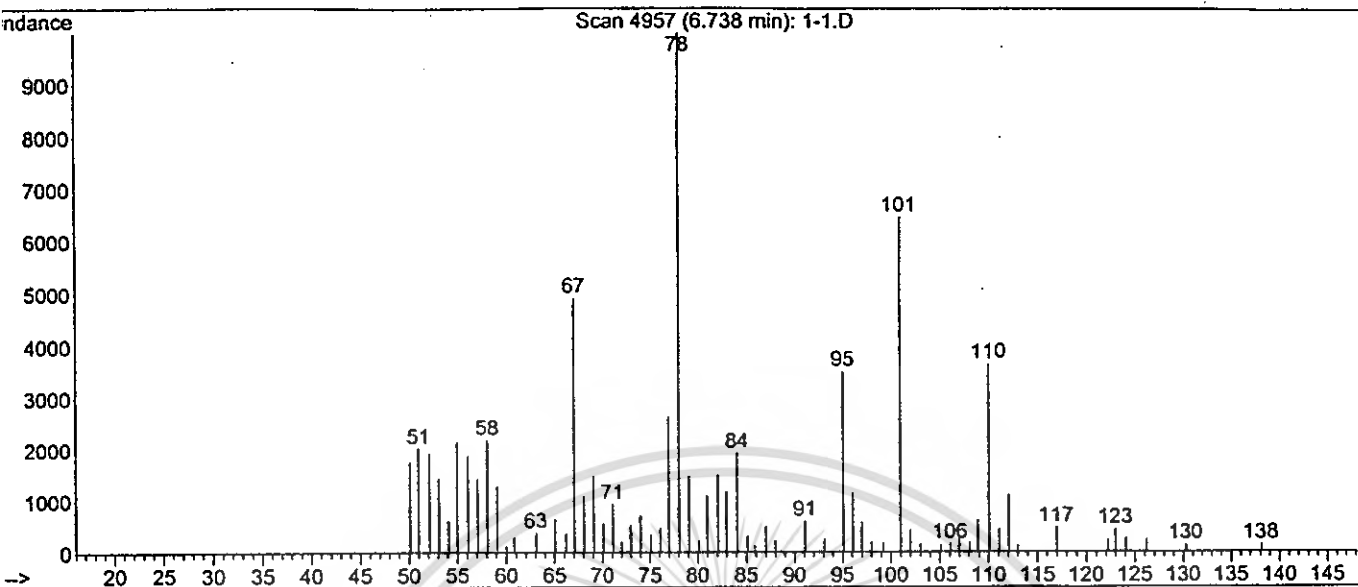
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ จ.2 ต่ปกครัมภ์ของผลิตภัณฑ์เหลว (ต่อ) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งที่ **รูปที่ จ.2** สเตปक्रमของผลิตภัณฑ์เหลว (ต่อ) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 53
: Salicyl Alcohol

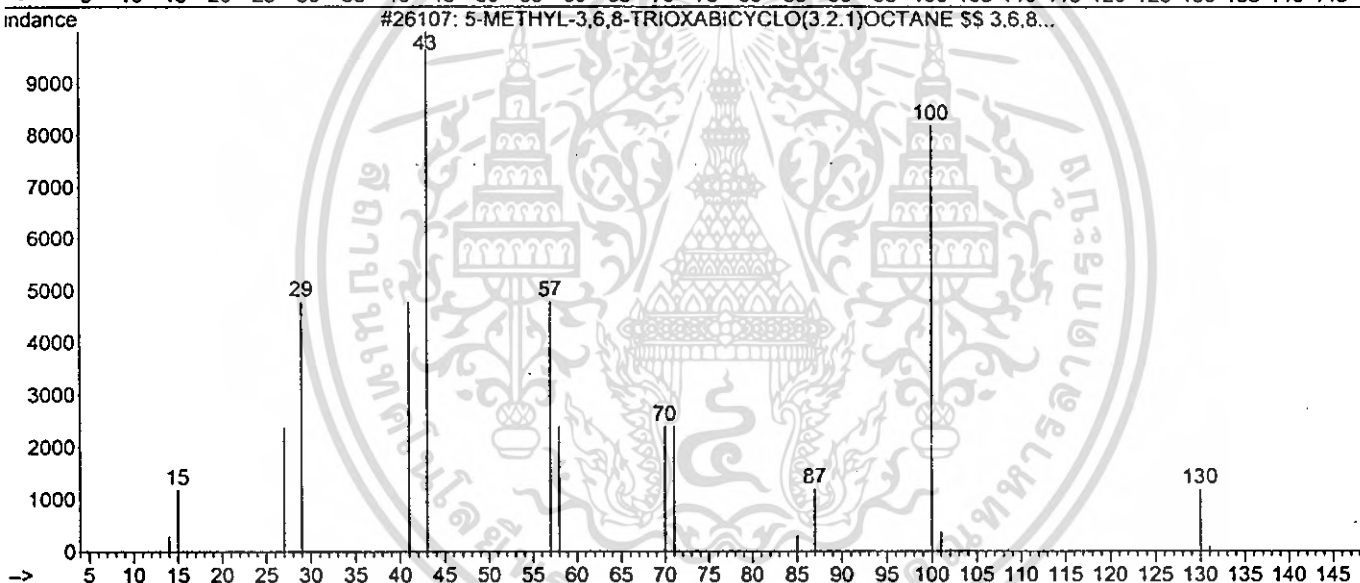
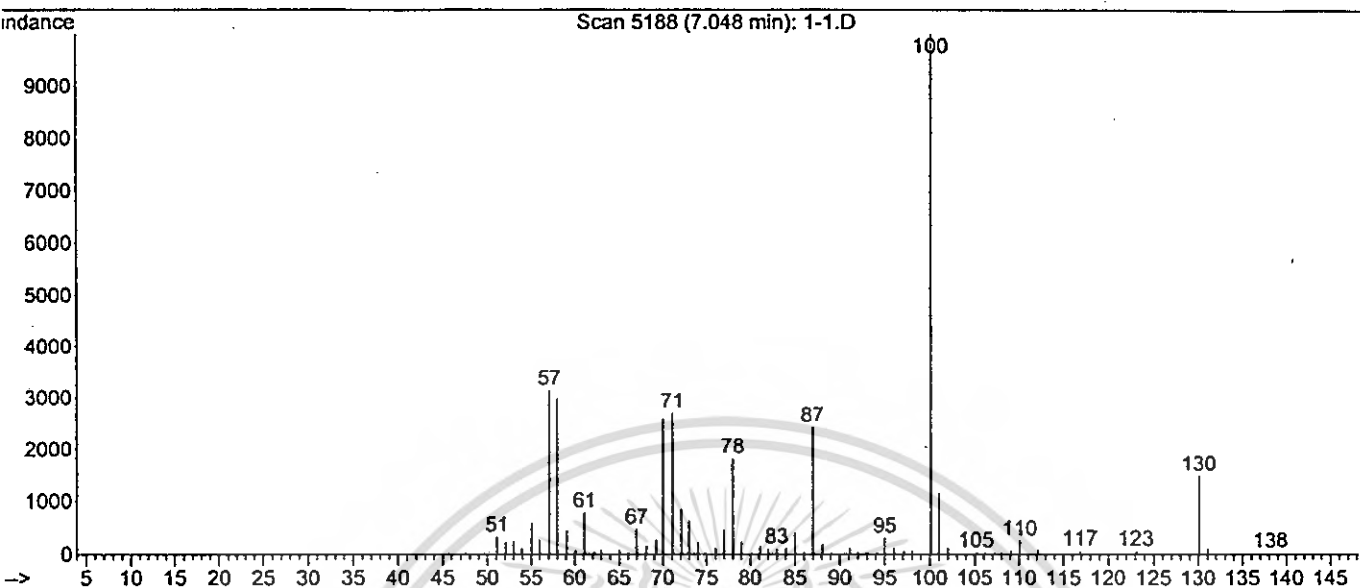


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้ไปยังบุคคลอื่นใดโดยเด็ดขาด (เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้)

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1

Quality : 72

56
: 5-METHYL-3,6,8-TRIOXABICYCLO(3.2.1)OCTANE \$\$ 3,6,8-Tri
oxabicyclo[3.2.1]octane, 5-methyl- (CAS)



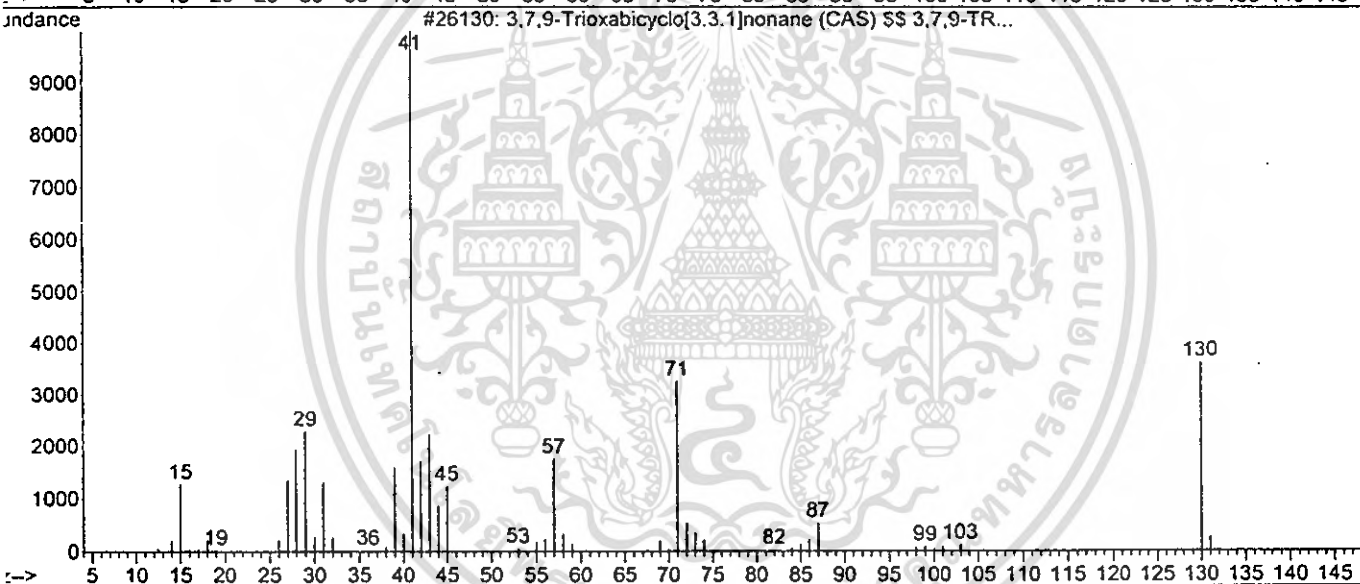
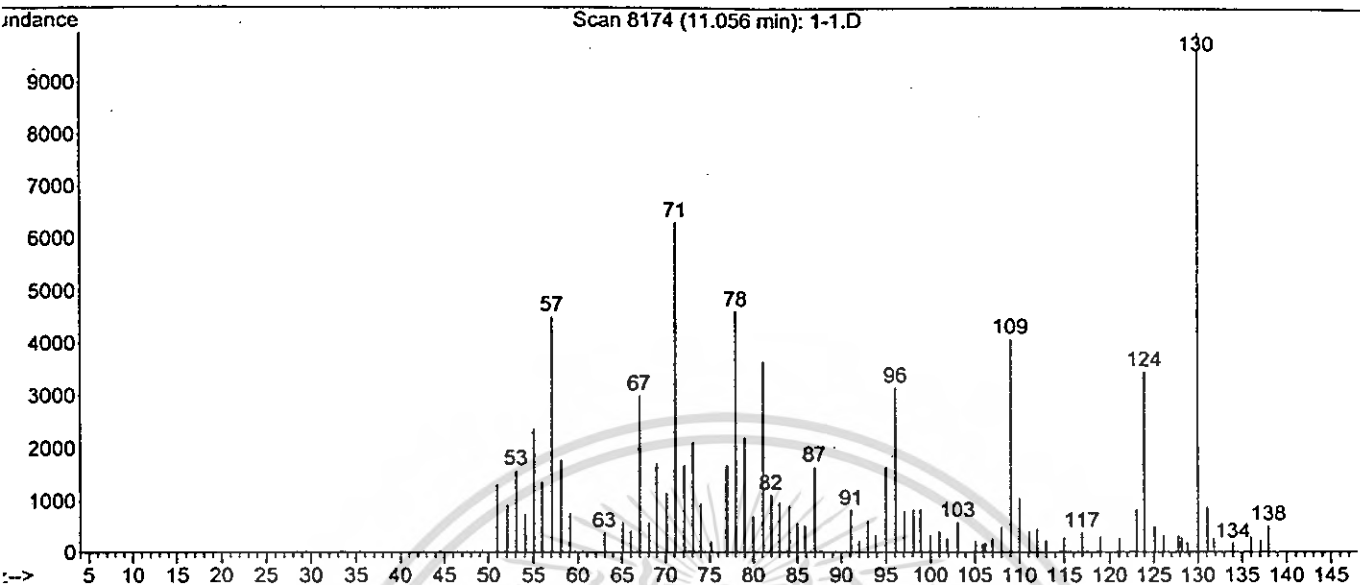
รูปที่ ๑.๒ สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เหลว (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1

Quality : 14

3,7,9-Trioxabicyclo[3.3.1]nonane (CAS) 57
BICYCLO(3.3.1)NONANE

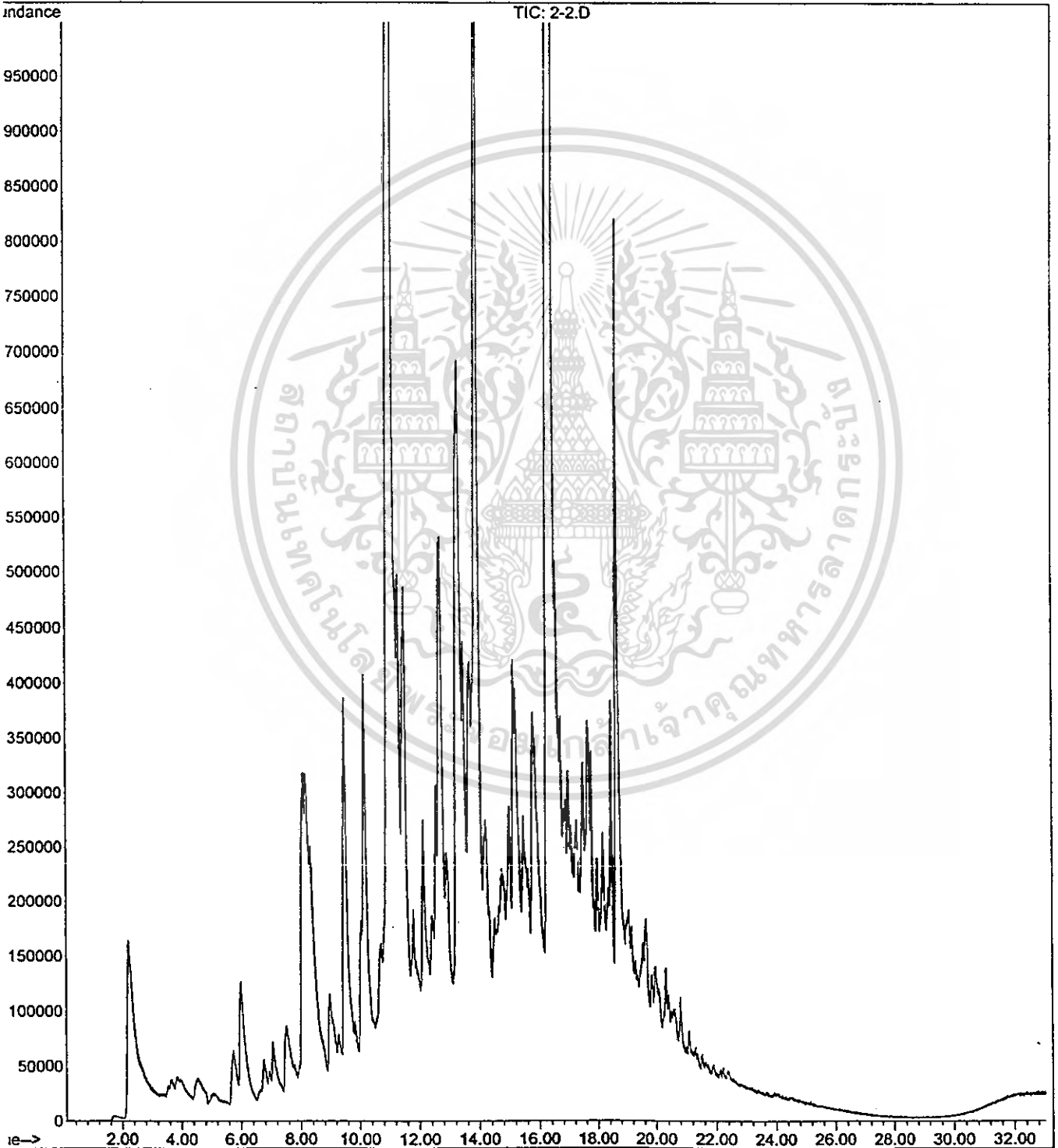


รูปที่ ๒.๒ สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เหลว (ค่อ)

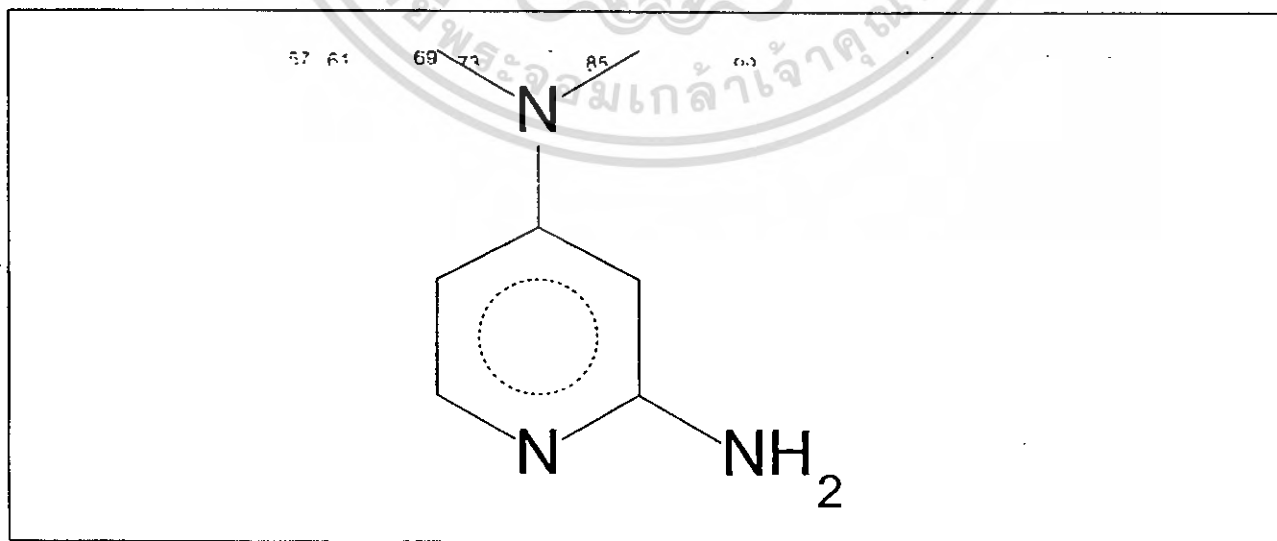
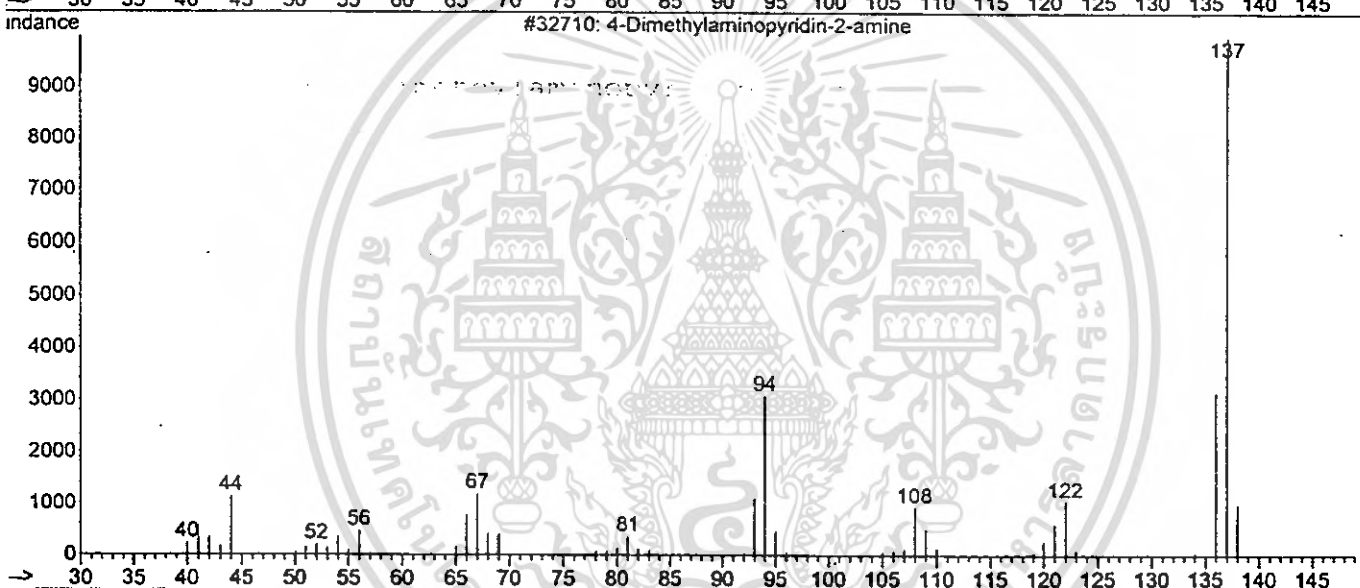
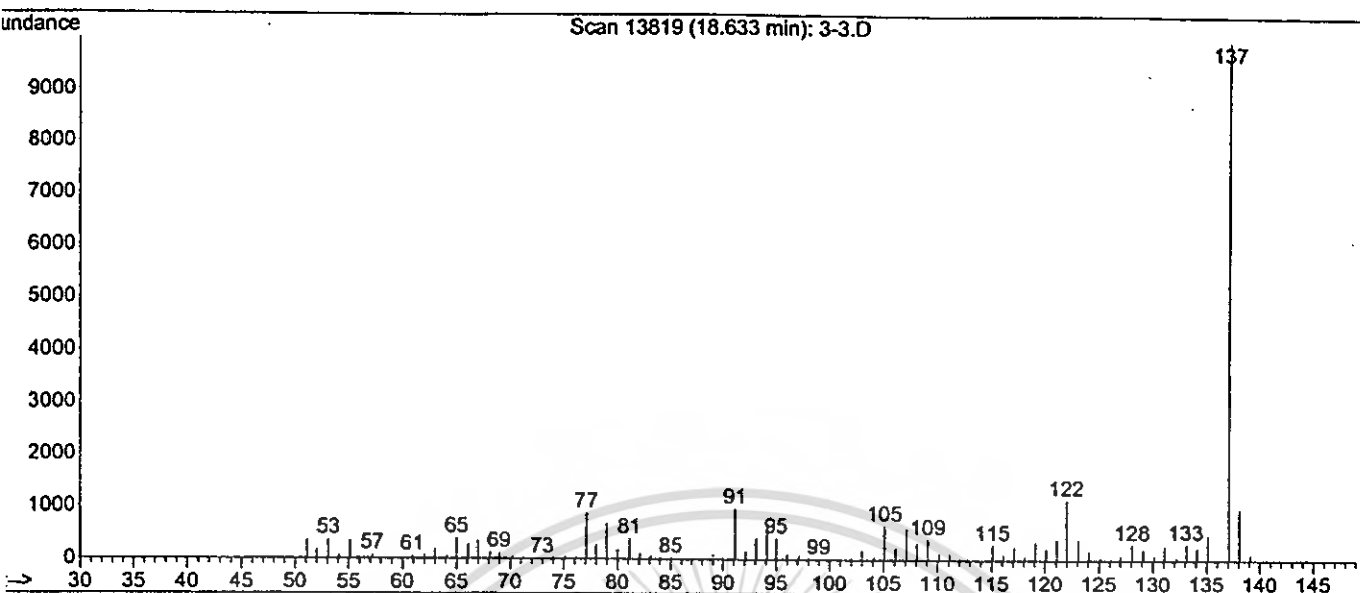
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครมาโตแกรม และสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์แก๊ส

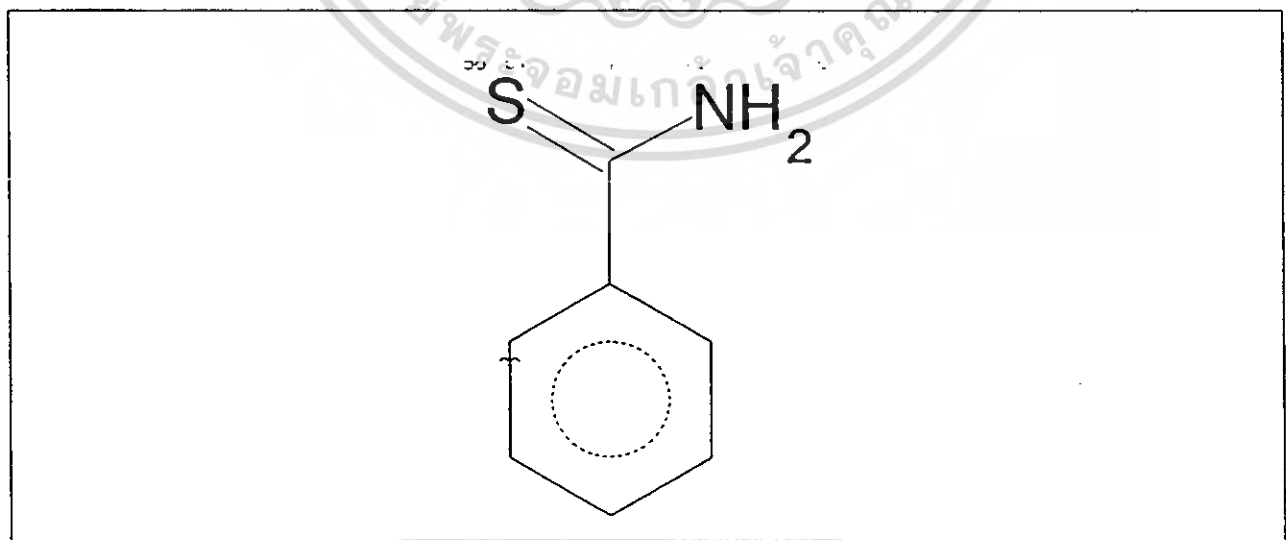
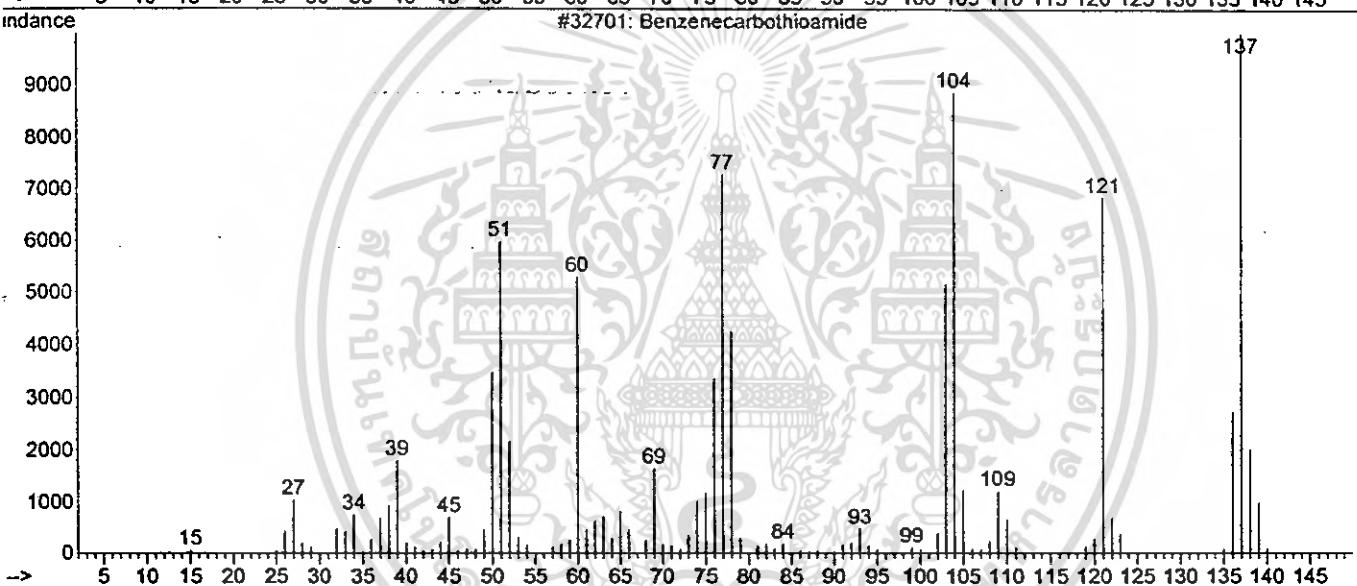
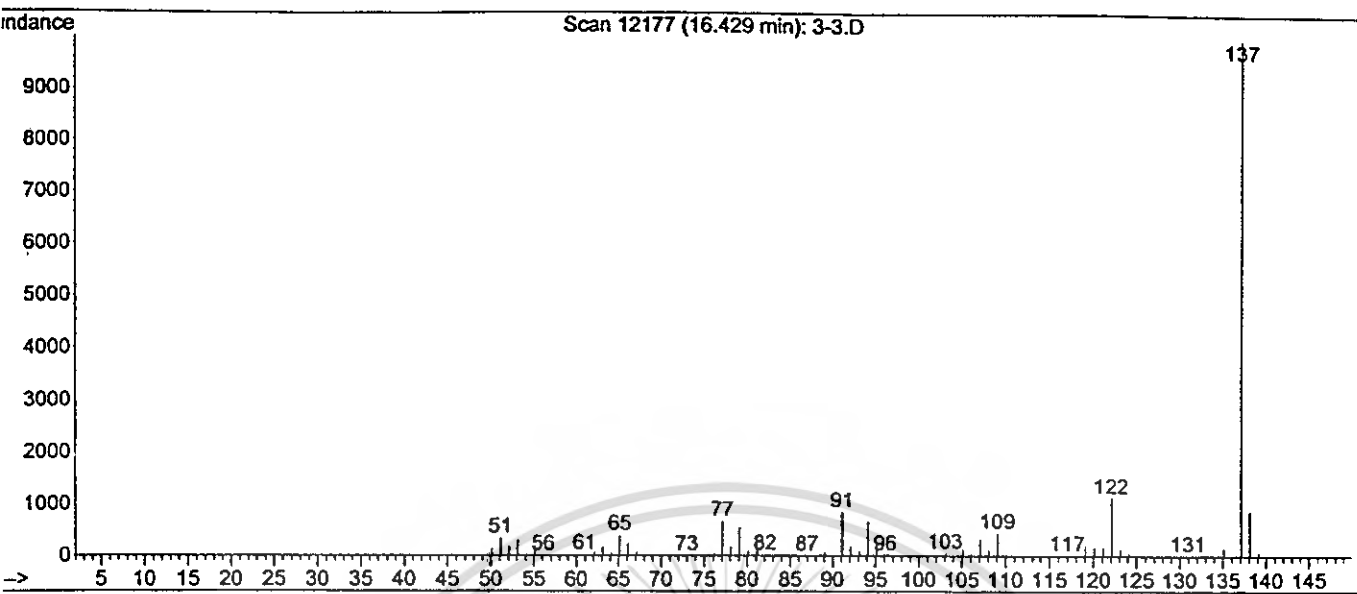
File : D:\290107\SNAPSHOT\2-2.D
Operator :
Acquired : 30 Jan 2007 14:36 using AcqMethod TUSSANEE
Instrument : Instrumen
Sample Name: 2-2
.sc Info :
.al Number: 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ ๑.1 โครมาโตแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊ส ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



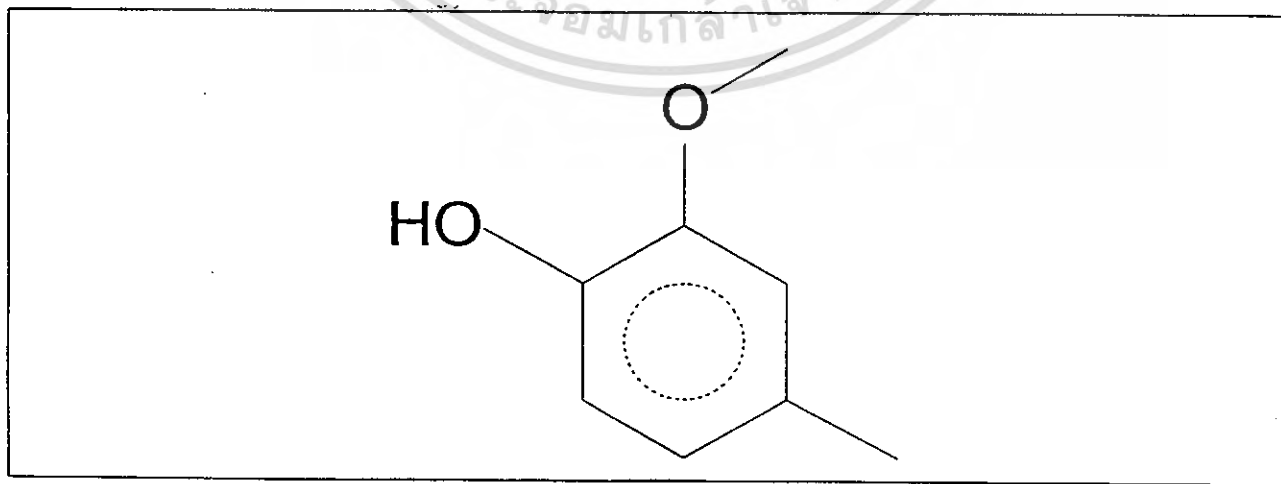
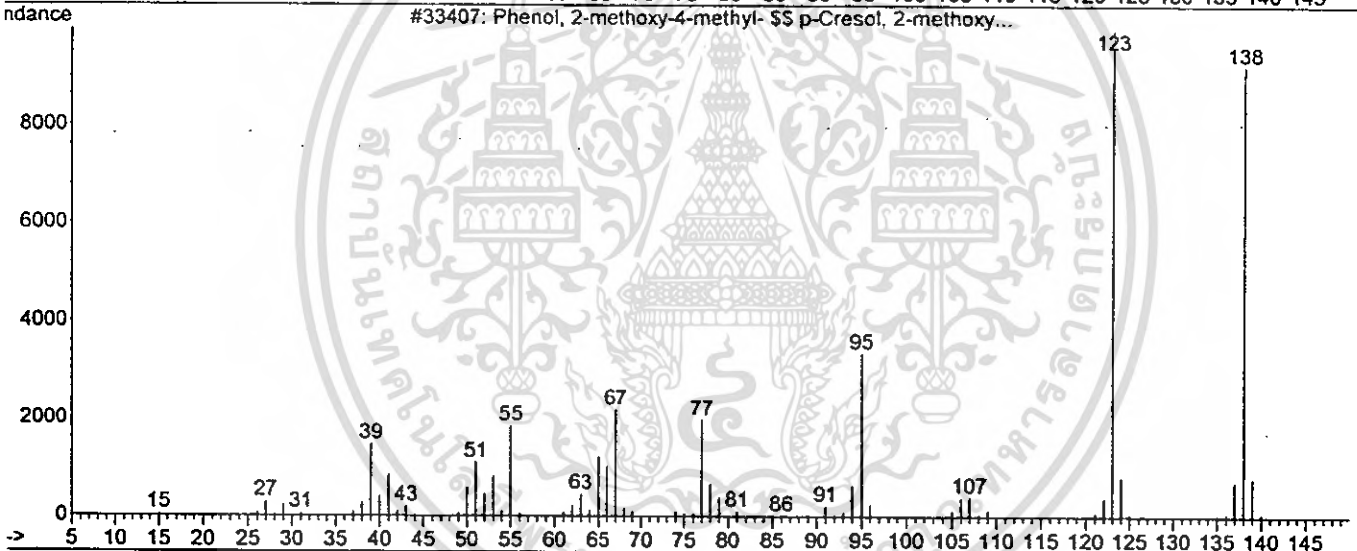
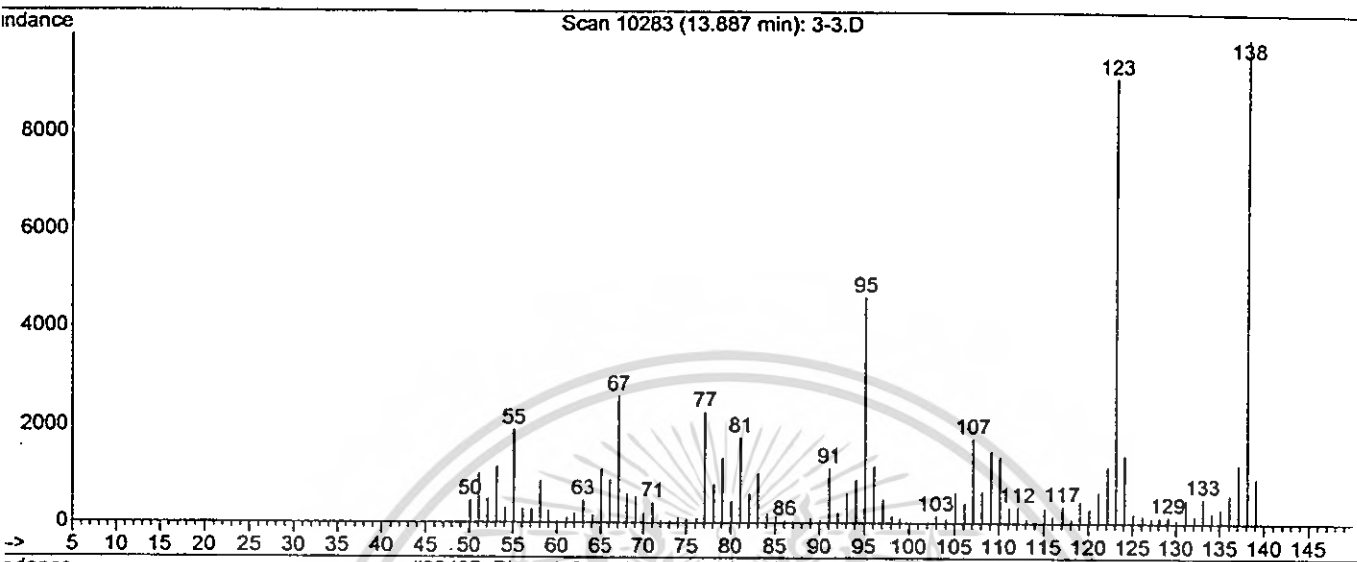
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ ๑.2** สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์แก๊ส อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



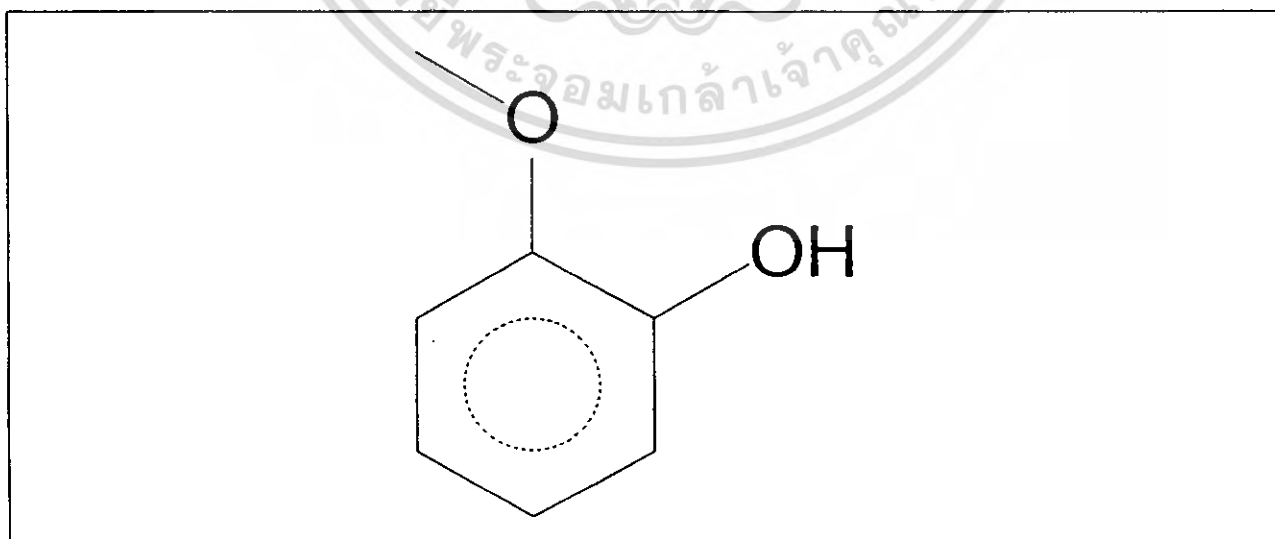
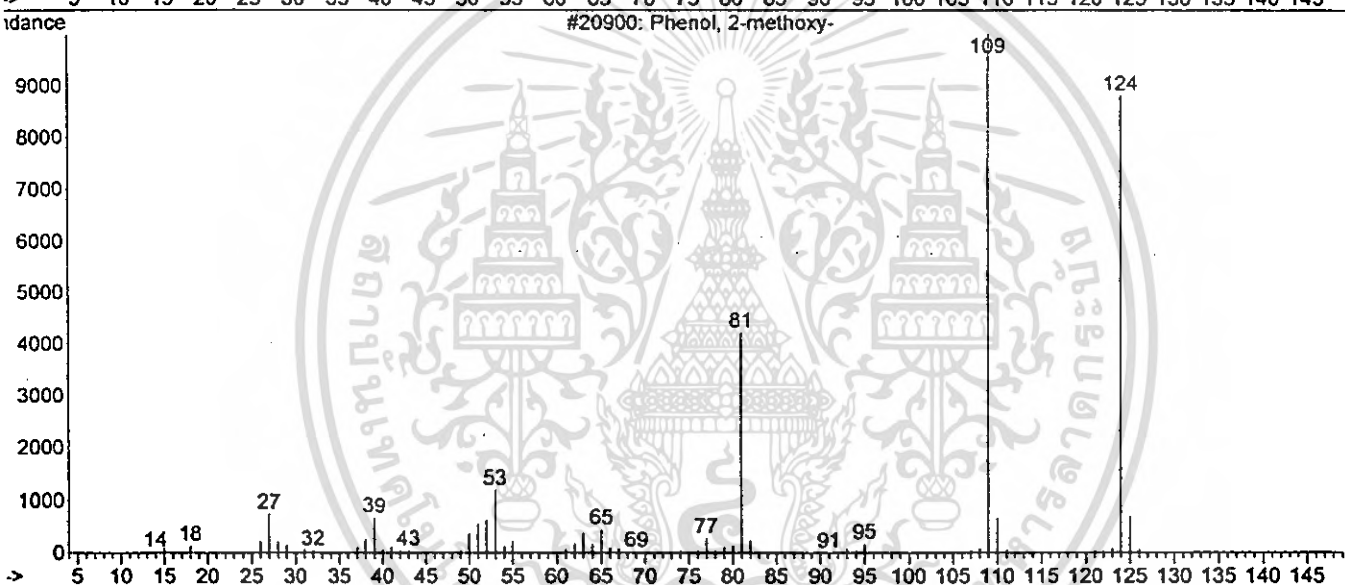
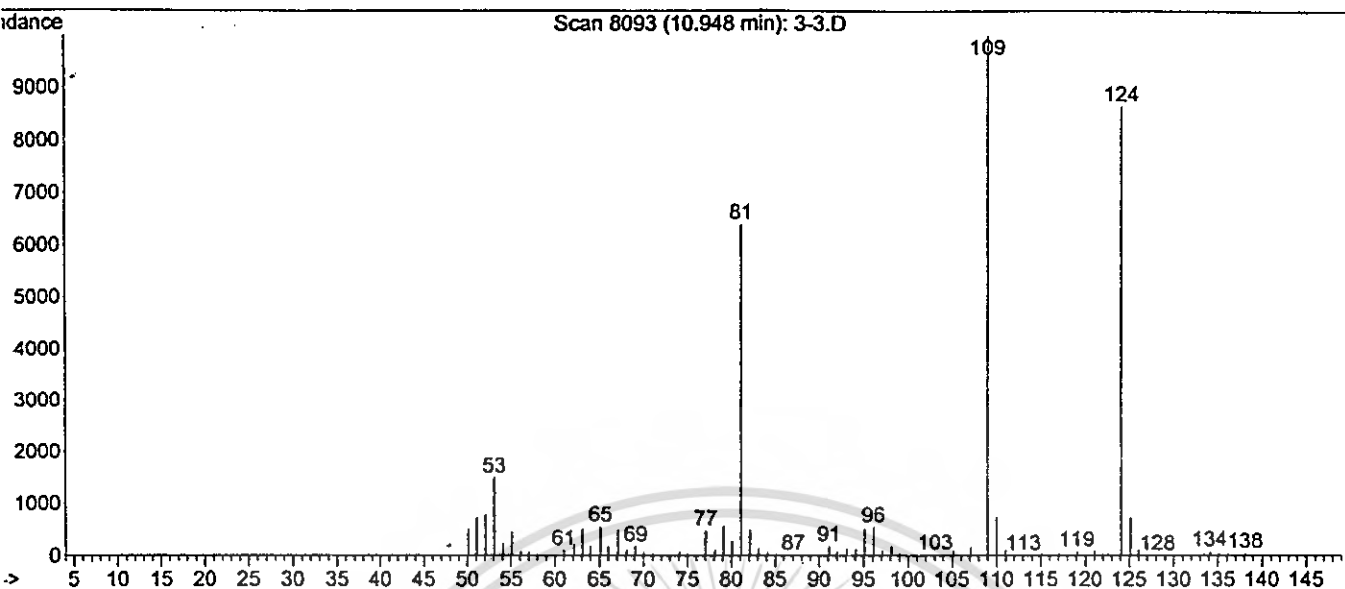
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ๑.2 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์แก๊ส (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 94

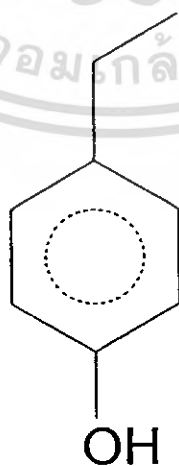
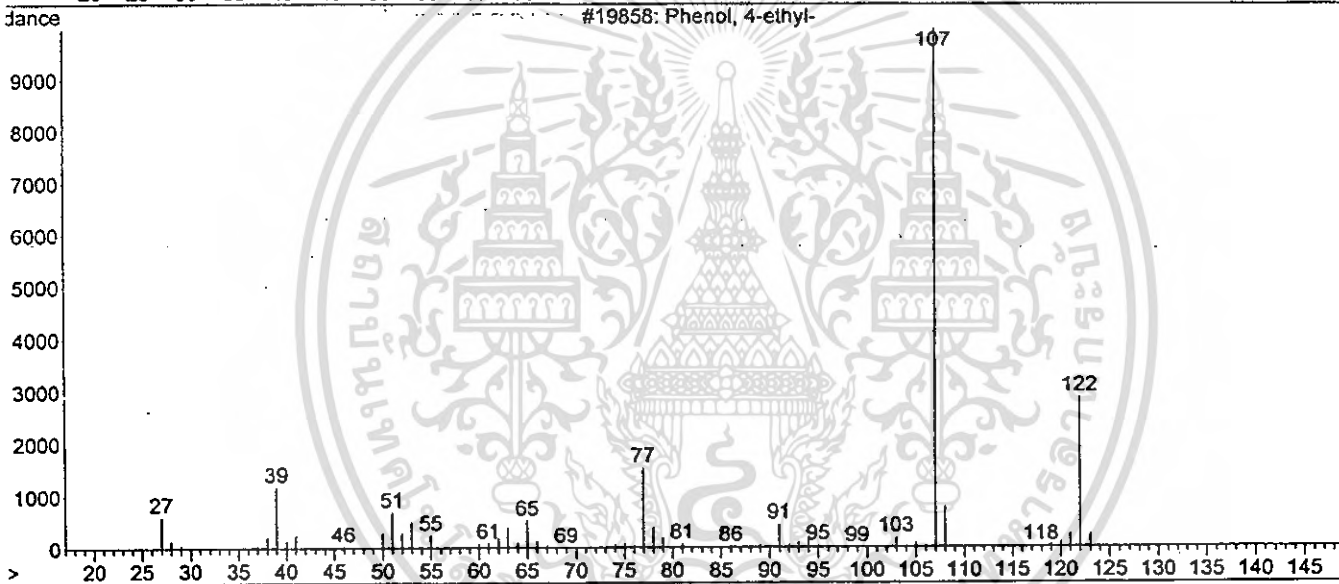
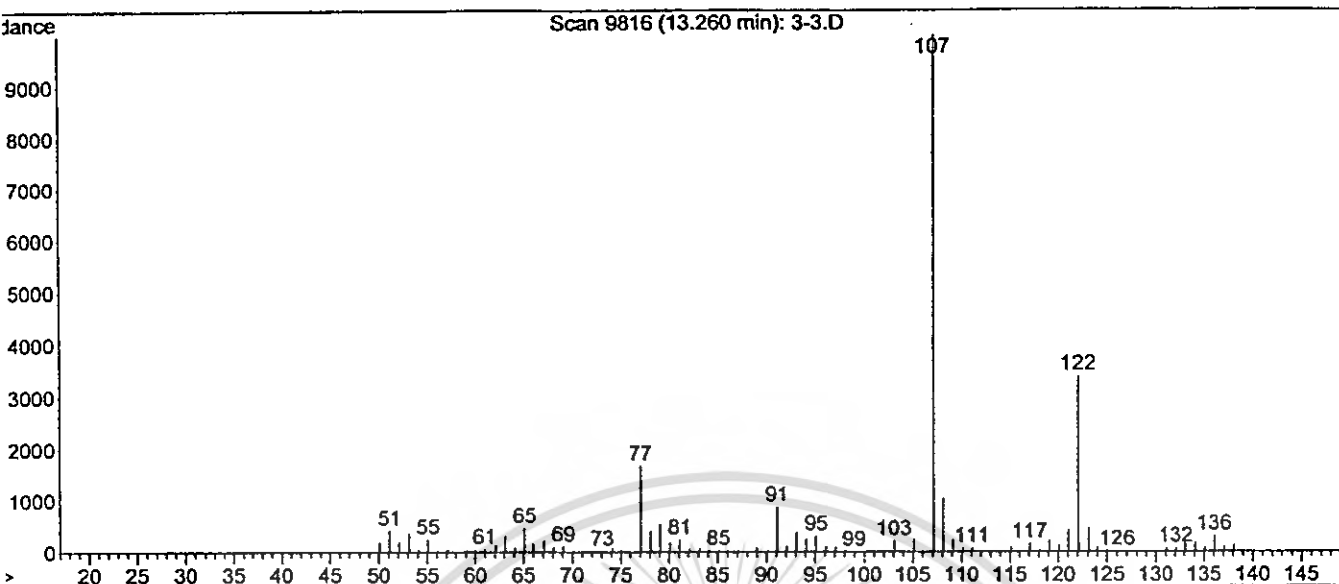
61
: Phenol, 2-methoxy-4-methyl- \$\$ p-Cresol, 2-methoxy- \$\$
p-Creosol \$\$ p-Methylguaiacol \$\$ Creosol \$\$ Homoguaia
col \$\$ 2-Methoxy-p-cresol \$\$ 2-Methoxy-4-cresol \$\$ 2-M
ethoxy-4-methylphenol \$\$ 3-Methoxy-4-hydroxytoluene \$\$
4-Hydroxy-3-methoxytoluene \$\$ 4-Methyl



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ๑.2 สเตอริโอเคมีของผลิตภัณฑ์แก๊ส (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ ๑.๒ ตเปกครมิของผลติภักฉนจ์แก็ศ (ต่อ) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ๑.2 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์แก๊ส (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้