13 มี.ค. 2528

รายงานวิจัย

เรื่อง

การสกัดน้ำมันตะไคร้หอมโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

โดย

นายชวัญชัย	สุวรรณฉัฬฑ์	วศ.ม.(เคมี)
นางกรรณิการ์	สถาปิตานนท์ ...	วท.บ.เกียรตินิยม (เคมี)
นางสาวอัจฉราพร	พันธุ์รักส์วงส์	วท.บ.(เคมี)
นายไพบูลย์	ธรรมรัตนวาสิก	Post Grad.Dipl.Teeh (Food Sciences)
นายพิพัฒน์	ภูริปัญญาคุณ	วศ.บ.(โยธา)

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยร่วมระหว่างมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โดยได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจาก

เลขทะเบียน 008825
วัน เดือน ปี 29 มีค 2528

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กันยายน ๒๕๒๒

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของน้ำมันตะไคร้หอม

น้ำมันตะไคร้หอม (citronella oil) ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันสองชนิด คือ ชนิดลังกา (the Ceylon type) และชนิดชวา (the Java type) ชนิดแรกได้มาจากตะไคร้หอมพันธ์ Cymbopogon nardus Rendle หรือชื่อพื้นเมืองเรียก lenabatu ซึ่งปลูกกันมากในเกาะลังกา ชนิดหลังได้มาจากตะไคร้หอมพันธ์ Cymbopogon winterianus Jowitt (Andropogon nardus java de Jong) หรือชื่อพื้นเมืองว่า mahapengiri ซึ่งปลูกกันมากในหมู่เกาะชวา แล้วยังแพร่หลายไปยังเกาะไหหลำ (the island of Formosa), เกาะไฮติ (Haiti), ประเทศกัวเตมาลา (Guatemala) และประเทศฮอนดูรัส (Hondurus)

การผลิตน้ำมันตะไคร้หอมอย่างเป็นล่ำเป็นสันเพื่อการอุตสาหกรรม ได้เริ่มต้นตั้งแต่ระหว่างครึ่งหลังของศตวรรษที่ 18 (ค.ศ. 1851 - 1900) เป็นต้นมา โดยในระยะแรกมีการผลิตเฉพาะน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกาเท่านั้น จนกระทั่งหลัง ค.ศ. 1890 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน น้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวาจึงมีบทบาทและความสำคัญมากที่สุด ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันตะไคร้หอมของลังกาและชวารุ่งเรืองมาก มีรายงานที่แสดงอัตราการผลิตน้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวาและลังกาได้ถึง 2,000 และ 600 เมตริกตันต่อปีตามลำดับ.[1] ในปัจจุบันข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต ยังไม่สามารถทราบได้แน่ชัด อย่างไรก็ดี, เมื่อ 11 ปีมาแล้ว (ราว ค.ศ. 1968) ประมาณกันว่าน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกามีปริมาณการผลิตเท่ากับ 700 เมตริกตันต่อปี และน้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวามีปริมาณการผลิตประมาณ 6,000 เมตริกตันต่อปี ในจำนวนนี้ประมาณ 2,000 เมตริกตันผลิตที่ไฮนาน (Hainan) ในสาธารณรัฐประชาชนจีน[2]

ข้อแตกต่างระหว่างน้ำมันตะไคร้หอมทั้งสองชนิดนี้ อยู่ที่ปริมาณ geraniol และ citronellal น้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวา มีส่วนประกอบเคมีที่สำคัญ ได้แก่ citronellal, d - citronellol และ geraniol น้ำมันที่มีคุณภาพดีในทางการค้านั้นต้องประกอบด้วย ปริมาณ aldehyde และ total alcohol ไม่น้อยกว่า 35 % และ 85 % เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี acetylation ตามลำดับ, ซึ่งมากกว่าปริมาณที่พบในน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกา เป็นผลให้น้ำมันชนิดนี้มีราคาสูงและคุณภาพดี เหมาะสมในการนำมาผลิตสารประกอบย่อย (isolates) และสารเคมีสังเคราะห์ (synthetics) ต่าง ๆ เช่น แยกเอา citronellal จากน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบแบบวงแหวน (aromatic) มาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่ น้ำหอม รวมทั้งการสกัดเมนทอล

สังเคราะห์ (synthetic mental) ซึ่งใช้ในการผลิตน้ำยาบ้วนปาก, ยาสีฟัน, น้ำมันทาแก้ปวดเมื่อยต่างๆ (liniments) เป็นต้น และแยกเอา geraniol ซึ่งใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่ น้ำหอม กลิ่นเทียม (articial flavors) และใช้ในการผลิตเอสเตอร์ เช่น geranyl acetate เป็นต้น

สำหรับน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกา (Celon type) นั้น ส่วนประกอบเคมีที่สำคัญ ได้แก่ terpene alcohol geraniol. น้ำมันชนิดนี้ที่จัดว่ามีระดับคุณภาพ (grade) ดีที่สุด จะประกอบด้วยปริมาณ total alcohol ประมาณ 60 % เมื่อทำการวิเคราะห์โดย acetylation โดยเหตุที่น้ำมันชนิดลังกานี้มีคุณภาพและราคาต่ำกว่าน้ำมันชนิดชวาเนื่องจากมีปริมาณ total alcohol น้อยกว่า ดังนั้น จึงเหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิตยาฆ่าแมลงและสเปรย์ฉีดไล่แมลง มากกว่าการนำไปใช้งานด้านอื่น[2, 1]

1.2 ความสำคัญของตะไคร้หอมต่อการอุตสาหกรรม

ในชวา ลังกา สาธารณรัฐประชาชนจีน และไต้หวัน ได้มีการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมอย่างเป็นล่ำเป็นสัน และนิยมปลูกพืชนี้ตามเนินเขาสูง ๆ มากกว่าที่ราบ เพราะธรรมชาติของตะไคร้หอมชอบขึ้นตามเนินเขาในที่มีอากาศร้อนชื้นอยู่แล้ว[3] น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้นี้จะมีสีเหลืองใสหรือเหลืองแกมน้ำตาล มีกลิ่นคล้ายคลึงกับสารประกอบพวก aldehyde (aldehydic odor)[4] จากกลิ่นและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอมนี่เองทำให้น้ำมันนี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอางค์ เช่น น้ำหอม น้ำมันตกแต่งเรือนผม สบู่หอม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในกิจการผลิตเวชภัณฑ์บางประเภทด้วย[2]

สำหรับประเทศไทย การปลูกตะไคร้หอมเพื่อกิจกรรมอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันตะไคร้หอมยังไม่เกิดขึ้นเท่าที่เป็นอยู่ทุกวันนี้เป็นเพียงการสั่งซื้อน้ำมันตะไคร้หอมจากภายนอกประเทศเป็นสินค้าเข้า, ตามรายงานประจำปีของกรมศุลกากร ดังแสดงในตารางที่ 1-1 ปริมาณที่สั่งเข้ามาสนองความต้องการภายในประเทศยังมีปริมาณไม่มากนัก อย่างไรก็ดี, ปริมาณการสั่งเข้านี้ได้เพิ่มขึ้นทุกปี กล่าวคือ จากปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมสั่งเป็นสินค้าเข้าทั้งหมด 220 ลิตร ในพ.ศ. 2517 เป็น 2,114 ลิตร ในพ.ศ. 2520 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่าตัวในช่วงระยะเวลาเพียง 3 ปี ที่เป็นเช่นนี้ย่อมแสดงให้เห็นถึงความต้องการน้ำมันตะไคร้หอมที่เพิ่มขึ้นอย่างมากมายในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมประเภทเครื่องสำอางค์และเวชภัณฑ์ภายในประเทศ

ตารางที่ 1-1 ปริมาณและมูลค่าของน้ำมันตะไคร้หอมที่ซื้อจากต่างประเทศ[I]

แหล่งที่สั่งซื้อ	ระหว่างเดือน, พ.ศ.	ปริมาณ, ลิตร	มูลค่า[II] บาท	ราคาต่อหน่วย[II] บาท
ฝรั่งเศส	ม.ค. - ธ.ค. 2518	194	18,315	94.40
เยอรมันตะวันตก	ม.ค. - ธ.ค. 2518	233	9,819	42.14
อังกฤษ	ม.ค. - ธ.ค. 2518	726	45,042	62
	2518	รวม=1,152	73,176	-
ฝรั่งเศส	ม.ค. - ธ.ค. 2519	477	34,007	71.30
อังกฤษ	ม.ค. - ธ.ค. 2519	6	2,082	347
	2519	483	36,089	-
ฝรั่งเศส	ม.ค. - ธ.ค. 2520	1,413	73,577	52.07
เยอรมัน	ม.ค. - ธ.ค. 2520	116	5,331	46
เนเธอร์แลนด์	ม.ค. - ธ.ค. 2520	579	21,547	37.21
อังกฤษ	ม.ค. - ธ.ค. 2520	6	1,491	248.5
	2520	2,114	101,946	-

I กรมศุลกากร, สถิติการค้าต่างประเทศประจำปีของประเทศไทย, (กรุงเทพ ฯ พ.ศ. 2518 - 2520)

II มูลค่าราคา C.I.F. (Cost, Insurance, Freight)

จากตารางที่ 1-1 เป็นที่สังเกตได้ว่า ราคาของน้ำมันตะไคร้หอมที่ส่งเป็นสินค้าเข้าภายในประเทศจะแตกต่างกันมาก เช่น น้ำมันตะไคร้หอมจากเยอรมันตะวันตก มีราคาลิตรละ 42 บาท ในขณะที่น้ำมันนี้จากฝรั่งเศสราคาลิตรละ 71 บาท และน้ำมันตะไคร้หอมจากอังกฤษมีราคาสูงมากถึงลิตรละ 347 บาท เป็นต้น ที่เป็นเช่นนี้เข้าใจว่า เนื่องจากคุณภาพของน้ำมันที่แตกต่างกัน คุณภาพที่ดีของน้ำมันนี้ขึ้นอยู่กับการมี geraniol ในปริมาณมากกว่า citronellal มีผู้ประมาณว่าราคาของ geraniol สูงกว่าราคา

citronellal ถึง 5 เท่า[III] ดังนั้น การปรับปรุงเงื่อนไขในการสกัดเพื่อทำให้ได้น้ำมันที่มีความบริสุทธิ์และมีปริมาณ geraniol สูงในราคาต้นทุนการสกัดต่ำสุด จึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสนใจอย่างยิ่ง

1.3 ตะไคร้หอมในประเทศไทย

ถึงแม้ว่าจะไม่มีอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมในประเทศไทยในขณะนี้ก็ตาม แต่ก็ควรจะให้ความสำคัญและให้ความสนใจแก่ตะไคร้หอมบ้าง เพราะสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย, โดยทางทฤษฎีแล้ว, กล่าวได้ว่าเหมาะสมต่อการเพาะปลูกและการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย (ส.ว.ป.) ได้ทดลองเพาะปลูกตะไคร้หอมพันธ์ Cymbopogon Nardus (Rendle) ที่สถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป. ดอยช่างเคี่ยน ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ภูมิประเทศของสถานีทดลองดังกล่าวเป็นเนินเขาสูง อากาศเย็นชื้น อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 25 ^{o}C ตะไคร้หอมดังกล่าวได้มาจากประเทศอินโดนีเซีย จากการทดลองปลูกพบว่าตะไคร้หอมดังกล่าวสามารถเติบโตได้ดี โดยมีความสูงถึงประมาณ 1.75 เมตร เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ ดังแสดงในภาพที่ 1-1 นอกจากนี้ ส.ว.ป. ยังได้ริเริ่มทำการทดลองสกัดน้ำมันตะไคร้หอมด้วยเครื่องมือสกัดไอน้ำขนาดเล็กแบบ water-and-steam distillation ดังแสดงในภาพที่ 1-2

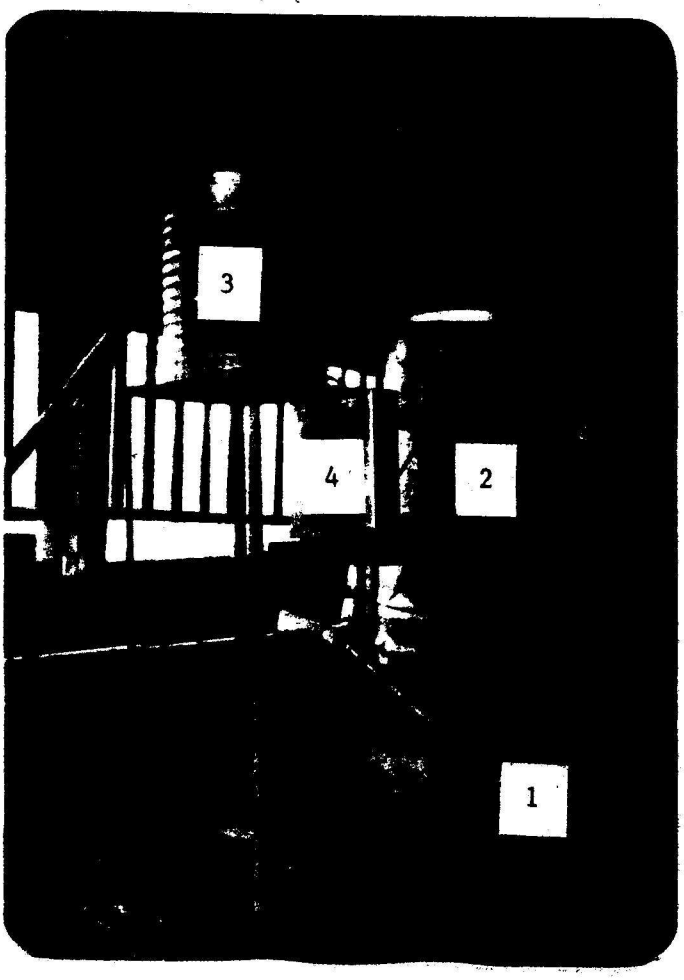
คณะผู้ดำเนินการวิจัยนี้ได้นำส่วนหนึ่งของตะไคร้หอมจากสถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป. ไปทดลองปลูกในบริเวณแปลงสาธิตของคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ ในเดือนกันยายน 2521 ภูมิประเทศของแปลงสาธิต เป็นพื้นที่ราบ อากาศร้อนชื้น อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 30 ^{o}C ผลการทดลองปลูกพบว่าตะไคร้หอมดังกล่าว เจริญเติบโตได้ดีโดยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1.30 เมตร

1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยร่วมระหว่างนักวิจัยของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และนักวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย (ส.ว.ป.) โดยนำตัวอย่างตะไคร้หอมพันธ์ Cymbopogon Nardus (Rendle) จากสถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป. ที่จังหวัดเชียงใหม่ ไปทำการสกัดด้วยเครื่องกลั่นขนาดเล็ก แบบ steam distillation ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ ตัวอย่างน้ำมันที่

III จากการสอบถามผู้มีความรู้ในด้านนี้เป็นการส่วนตัว

ภาพที่ 1-1 ตะไคร้หอม Cymopogon Nardus (Rendle) ที่สถานีทดลองพืชเมืองหนาว ของ ส.ว.ป. จังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 1-2 เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยขนาดเล็ก แบบ water-and-steam distillation ที่สถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป.

สัญญลักษณ์: 1- เตาไฟ
2- หม้อต้มกลั่น บรรจุตะไคร้หอม
3- เครื่องควบแน่น
4- ถังแยกน้ำมัน

สกัดได้ที่เงื่อนไขต่าง ๆ กันจะถูกส่งไปยัง ส.ว.ป. เพื่อดำเนินการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี จุดประสงค์หลักของการวิจัยนี้ เป็นการศึกษารายละเอียดกรรมวิธีและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม (citronella oil) โดยวิธี steam distillation ตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนดเงื่อนไขในการกลั่นที่ถูกศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ระยะเวลาและความกดดันไอน้ำที่ใช้ในการกลั่น โดยมีช่วงของระยะเวลาในการกลั่นตั้งแต่ 15 นาทีถึง 2 ชั่วโมง และช่วงความกดดันไอน้ำตั้งแต่ 0 psig. ถึง 35 psig.ตามลำดับ

1.5 <u>ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้</u>

ผลจากการวิจัยนี้จะมีประโยชน์ในการที่จะบอกให้ทราบถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม เมื่อคำนึงถึงคุณภาพและ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการกลั่น ถ้าประจักษ์แน่ชัดว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมดังกล่าว คุ้มกับการลงทุนก็จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศ คือ

1. เป็นการวางรากฐานการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตน้ำมันตะไคร้หอมภายในประเทศ
2. ส่งเสริมให้มีการเพาะปลูกตะไคร้หอม และมีโรงงานผลิตน้ำมันตะไคร้หอมอย่าง - อุตสาหกรรมขึ้นเป็นการส่งเสริมและพัฒนาอาชีพของประชาชนได้วิธีหนึ่ง
3. ลดอัตราความต้องการน้ำมันตะไคร้หอมจากต่างประเทศลงและในอนาคตประเทศไทยอาจเป็นประเทศผู้ผลิตน้ำมันตะไคร้หอมเพื่อส่งเป็นสินค้าออก ที่สำคัญของประเทศหนึ่ง
4. ข้อคิดเห็นและความสำเร็จหรือความล้มเหลวในโครงการวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ซึ่งสกัดโดย steam distillation ต่อไปในอนาคต.

$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

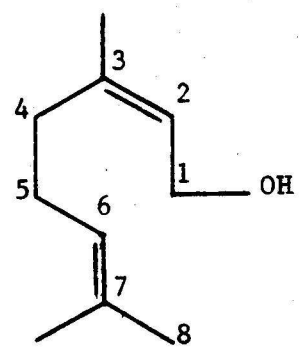
2.1 เคมีและคุณสมบัติของน้ำมันตะไคร้หอม

น้ำมันตะไคร้หอมเป็นน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีมากกว่า 15 ชนิด ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย geraniol และ citronellal[3] ซึ่งเป็น - สารประกอบอินทรีย์จำพวก terpene การยึดเกาะระหว่างอะตอมคาร์บอนของสารประกอบจำพวก terpene นี้ประกอบด้วย isoprene (monoterpene) 2 หน่วย (unit), isoprene (sesquiterpene) 3 หน่วย, isoprene (diterpene) 4 หน่วย และ isoprene (triterpene) 6 หน่วย หน่วยต่าง ๆ (units) เหล่านี้มักจะต่อกันแบบหัวต่อหางเสียเป็นส่วนมาก มีเป็นส่วนน้อยเท่านั้นที่ต่อกันในลักษณะอื่น สูตรเอ็มพิริกัลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในลักษณะอนุกรมอาจเขียนได้เป็น $(C_5H_8)_x$ โดยที่ x มีค่าเท่ากับ 2, 3, 4 หรือ 6[2]

ตารางที่ 2-1 แสดงรายการสารเคมีที่สกัดได้จากน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกาและชนิดชวา รายละเอียดเกี่ยวกับสารเคมีแต่ละชนิดเป็นเรื่องยุ่งยากและไม่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มากนักจึงไม่ขอกล่าวไว้ในที่นี้ อย่างไรก็ดี, รายละเอียดดังกล่าว อาจศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 และ 2 ในที่นี้จะขอกล่าวถึงสารเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเท่านั้น คือ

2.1.1 Geraniol

Geraniol อาจจะได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีหรือได้จาก rectification ของน้ำมัน - ตะไคร้หอมก็ได้ สูตรโครงสร้างโมเลกุลของมันเขียนได้ดังแสดงในภาพที่ 2-1 ข้างล่างนี้



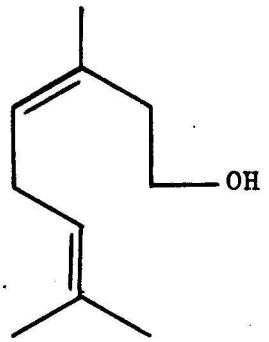
ภาพที่ 2-1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ geraniol

ตารางที่ 2-1 สารเคมีที่สำคัญบางชนิดที่สกัดได้จากน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกาและชนิดชวา[1]

น้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกา	น้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวา*
1. Camphene.	1. Isobutyl Alcohol and Isoamyl Alcohol.
2. Limonene.	2. 3-Hexen-1-ol.
3. Dipentene.	3. n-1-Hexanol.
4. Methyl Heptenone.	4. Methyl Heptenone.
5. d-Citronellal.	5. Isovaleraldehyde.
6. l-Borneol.	6. Fufural.
7. Nerol.	7. Bensaldehyde and d-1-Methyl-3-cyclohexanone.
8. Geraniol.	8. 1-3-Methyl-1-pentanal.
9. Geranyl Acetate.	9. l-Limonene and Dipentene.
10. Methyl Eugenol.	10. Citronellal, d-Citronellol, and Geraniol.
11. Sesquicitronellene.	11. Citral.
12. Farnesol.	12. Methyl Eugenol.
	13. Eugnol, Geranyl Butyrate and Citronellyl Citronellate.
	14. Elemol.
	15. Cadinol.
	16. Cymbopol.
	17. ɣ-Cadinene
	18. Sesquicitronellene.
	19. Dicitronelloxide.
	20. Vanillin.

* เรียงตามลำดับจุดเดือด และ groups ต่างๆ ของสารองค์ประกอบ

Geraniol เมื่อถูกทำให้ร้อนบนตัวเร่งปฏิกริยาเคมีซึ่งผลิตด้วยทองแดง (copper catalyst) จะให้ citronellal ซึ่งเมื่อทำให้เกิดปฏิกริยาเคมีด้วยการใช้ตัวเร่ง (catalyst) หรือโดยการ hydrate ก็จะให้ผลลัพธ์เป็น hydroxy citronellal ได้ นอกจากนี้ geraniol สามารถจะให้ citronellol ได้โดยการ hydrogenation เมื่อทำ dehydrogenation กับ geraniol โดยการผ่านไอของมันไปบนตัวเร่งทองแดง (copper catalyst) ในสภาวะไร้ความกดดัน (under vacuum) ก็จะให้ผลลัพธ์เป็น citral และถ้าหากทำให้ geraniol ร้อนขึ้นด้วย metal alcoholates ก็จะเกิด isomerization ให้ isogeraniols ซึ่งมีสูตรโครงสร้างโมเลกุล ดังนี้

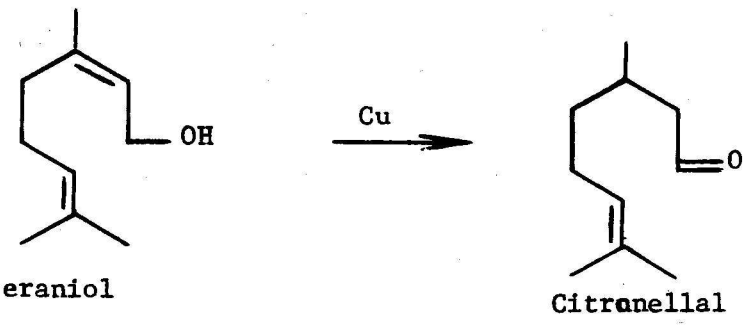


ภาพที่ 2-2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ isogeraniol

Geraniol ทำหน้าที่เป็นตัวให้กลิ่นหอมต่าง ๆ (odorants) ในการผลิตเครื่องสำอางค์, ใช้ผลิตสารเคมีต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น และใช้ในการผลิตวิตามินเอด้วย

2.1.2 Citronellal

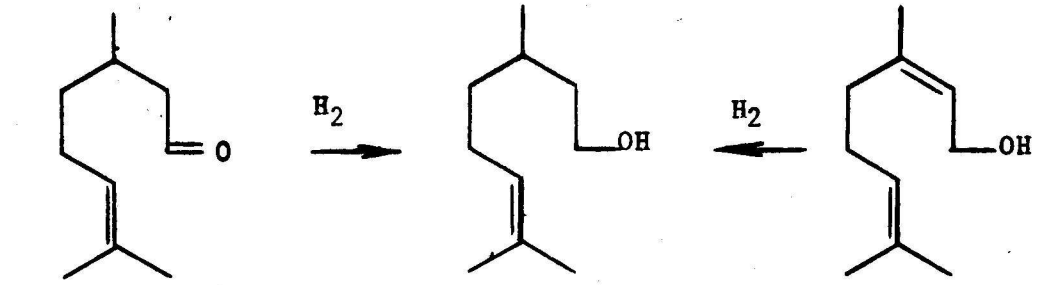
d - Citronellal ได้จาก rectification น้ำมันตะไคร้หอม หรืออาจได้จากการทำให้ geraniol สังเคราะห์ร้อนขึ้นบนตัวเร่งทองแดง ก็จะให้ผลลัพธ์เป็น dl - citronellal ดังสมการข้างล่างนี้



คุณสมบัติของ citronellal ในระดับคุณภาพเพื่อการค้า (commercial grade) จะขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ไม่แน่นอนเป็นมาตรฐานเดียวกันเสมอไป เช่น ความถ่วงจำเพาะที่ 25/25 ^{o}C อาจเป็น 0.852 - 0.860 ; refractive index at 20 ^{o}C หรือ n_D^{20} ระหว่าง 1.4460 - 1.4520 ; ความบริสุทธิ์วัดโดย oximation อาจมากกว่า 85 % สำหรับผู้ผลิตรายหนึ่งก็ได้ เป็นต้น[2] เมื่อทำ reduction หรือการ hydrogenate ด้วยการใช้ตัวเร่งกับ citronellal ก็จะให้ผลลัพธ์เป็น citronellol การทำ cyclization และ hydration ของ citronellal จะทำให้ได้ isopulegol และ hydroxycitronellal ตามลำดับ ปฏิกริยาดังกล่าวข้างต้นเป็นปฏิกริยาที่สำคัญในการเปลี่ยน citronellal ให้เป็นสารประกอบอื่น ๆ ความสำคัญของ d - citronellal อยู่ที่การใช้เป็นตัวทำปฏิกริยา (reactant) เพื่อการผลิต l - menthol สังเคราะห์ หรือใช้เป็นตัวให้กลิ่นหอมต่าง ๆ (odorants) โดยตรงก็ได้

2.1.3 Citronellol

Citronellol ได้จาก reduction ของ citronellal หรือ geraniol ในการทำ reduction นี้ อาจกระทำได้สองวิธีกล่าวคือ โดย catalytic hydrogenation หรือ chemical reduction ก็ได้ สำหรับการทำ catalytic hydrogenation นั้น มักจะมี dimethyloctanol บางจำนวนเกิดขึ้นด้วยเสมอ ซึ่งมีผลทำให้กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยเลวลง ตามปกติแล้ว citronellol ชนิดต่าง ๆ ที่ขายในทางการค้า มักจะประกอบด้วย geraniol ปะปนอยู่บ้างเสมอ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตและวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ สมการของการผลิต citronellol โดยวิธีการดังกล่าวข้างต้นอาจเขียนได้เป็น



Citronellal Citronellol Geraniol

ในด้านคุณสมบัติของ citronellol ทางการค้า ซึ่งผลิตจากน้ำมันตะไคร้หอมนั้น สมาคมน้ำมันหอมระเหยแห่งสหรัฐอเมริกา (the Essential Oil Association of the U.S.A. หรือ E.O.A.)[4] ได้กำหนดค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25/25 °C อยู่ระหว่าง 0.850 - 0.860 ; refractive index at 20 °C หรือ n_D^{20} ระหว่าง 1.4540 - 1.4620 ; และจะต้องประกอบด้วยแอลกอฮอลชนิดต่าง ๆ (คำนวณในเทอมของ citronellol) ไม่น้อยกว่า 90 % สำหรับคุณสมบัติของ citronellolในระดับคุณภาพ (grade) อื่นที่แตกต่างจากระดับคุณภาพทางการค้า (commercial grade) นี้ บริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดเอง ปฏิกริยาเคมีที่สำคัญสำหรับ citronellol ได้แก่ การเปลี่ยน citronellol เป็นสารประกอบพวกเอสเตอร์ชนิดต่าง ๆ (esters) ด้วยการทำ esterification,citronellol และเอสเตอร์ของมันจะถูกใช้เป็นตัวให้กลิ่นหอมต่าง ๆ กัน (odorants) สำหรับอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอางค์

2.1.4 <u>คุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันตะไคร้หอม</u>

คุณสมบัติและข้อกำหนด (specification) ระหว่างน้ำมันตะไคร้หอมชนิดสังกาและชวาตามมาตรฐานทางการค้า (commercial grade) ของ E.O.A. แสดงในตารางที่ 2-2 สำหรับมาตรฐานคุณภาพ (grade) อื่น ๆ นอกเหนือจากนี้นั้น จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งอาจไม่เหมือนกันก็ได้

ในระหว่างค่าคงที่ทางเคมีและกายภาพดังปรากฏในตารางที่ 2-2 นี้, ความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์ เป็นดัชนีสำคัญที่นิยมใช้วัดมาตรฐานคุณภาพของน้ำมันในทางการค้า เพราะสามารถกระทำได้ง่ายให้ผลน่าเชื่อถือได้ดีพอสมควร จุดประสงค์หลักของการวัดความสามารถในการละลายก็เพื่อทำให้ทราบถึงปริมาณ mineral oil ซึ่งมักจะได้แก่น้ำมันก๊าด (kerosene) ที่ปะปนกับน้ำมันว่ามีอยู่ในปริมาณมากเกินขีดกำหนดหรือไม่ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะผู้ผลิตและผู้ขายส่งน้ำมันตะไคร้หอมบางรายได้เจือปน น้ำมันก๊าด(kerosene) บางจำนวนลงไปในน้ำมันตะไคร้หอม เพื่อทำให้ได้กำไรมากขึ้นหรือสามารถขายได้ในราคาที่ถูกลง อย่างไรก็ดีในกรณีที่มีปริมาณน้ำมันก๊าดเจือปนอยู่เพียงเล็กน้อย เช่นในปริมาณไม่เกิน 5 % การตรวจสอบโดยวัดความสามารถในการละลายอาจจะให้ผลลัพธ์ไม่ถูกต้องแน่นอนเสมอไป ในกรณีเช่นนี้, การตรวจสอบ mineral oil (saturated hydrocarbon) ควรกระทำโดยวิธีทางเคมี สำหรับรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์นี้ ศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 4 [E.O.A. No. 12]

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าคงตัวของคุณสมบัติและข้อกำหนดบางประการ สำหรับน้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวา (Java type) และชนิดลังกา (Ceylon type)

	ข้อกำหนดต่าง ๆ ของน้ำมันตะไคร้หอม	
	ชนิดชวา	ชนิดลังกา
ชื่อวิทยาศาสตร์ของตะไคร้หอม	Cymbopogon Nardus (Rendle), Andropogon Nardus (L) Family : Gramineae.	Adropogon Nardus Ceylon, Cymbopogon Nardus Rendle Family : Gramineae.
วิธีการเตรียม	โดย direct steam distillation ของตะไคร้ตัดมาสด ๆ หรือทำให้แห้งเป็นบางส่วน	โดย direct steam distillation ของตะไคร้แห้ง
ค่าคงที่ทางเคมีและกายภาพ		
1. สีและกลิ่น	เหลืองอ่อนหรือน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นคล้ายสารประกอบพวกอัลดีไฮด์ (aldehydic odor)	เหลืองหรือเหลืองแกมน้ำตาล กลิ่นเลวกว่าน้ำมันชนิดชวา
2. ความถ่วงจำเพาะที่ 25/25 ^{o}C	0.877 - 0.893	0.880 - 0.907
3. Optical Rotation	- 0^{o} 30' to - 6^{o}	-9^{o} to - 18^{o}
4. Refractive index at 20 ^{o}C	1.4660 to 1.4730	1.4790 to 1.4850
5. ความสามารถในการละลายในอัลกอฮอล	ละลายได้ดีในสองเท่าโดยปริมาตรของแอลกอฮอล	ละลายได้ดีใน 1 ถึง 2 เท่าโดยปริมาตรของแอลกอฮอล
6. ปริมาณอัลดีไฮด์	ไม่น้อยกว่า 35 % (คำนวณในเทอมของ citronellal)	7 % ถึง 15 % (คำนวณในเทอมของ citronellal)

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

	ข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับน้ำมันตะไคร้หอม	
	ชนิดชวา	ชนิดลังกา
7. ปริมาณแอลกอฮอลชนิดต่าง ๆ (total alcohols)	ไม่น้อยกว่า 85 % (คำนวณในเทอมของ geraniol)	55 % ถึง 65 % (คำนวณในเทอมของ geraniol)
8. Volatile Oil Content	ไม่น้อยกว่า 98 %	

โดยปกติในทางการค้าน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกามีมาตรฐานคุณภาพ 2 ระดับ ได้แก่ "estate" oils ซึ่งหมายถึงน้ำมันตะไคร้หอมบริสุทธิ์ไม่มีน้ำมันก๊าดเจือปน และ "ordinary" หรือ "market" หรือ "fair average quality" (f.a.q.) oils หมายถึงน้ำมันตะไคร้หอมซึ่งมีปริมาณของน้ำมันก๊าดเจือปนอยู่ในราว 5 %

สำหรับน้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวานั้น แบ่งระดับคุณภาพออกได้เป็น 3 ระดับ[1] กล่าวคือ

1. Contract "A" กำหนดให้มีปริมาณ total geraniol ไม่น้อยกว่า 85 %, citronellal ไม่น้อยกว่า 35 %
2. Contract "B" มีปริมาณ total geraniol ไม่น้อยกว่า 85 % โดยไม่บ่งชัดลงไปว่าปริมาณของ citronellal ควรจะมีอย่างน้อยที่สุดในปริมาณเท่าไร
3. Contract "C" มีปริมาณ total geraniol น้อยกว่า 85 % โดยที่ปริมาณของ citronellal จะเป็นเท่าไรก็ได้

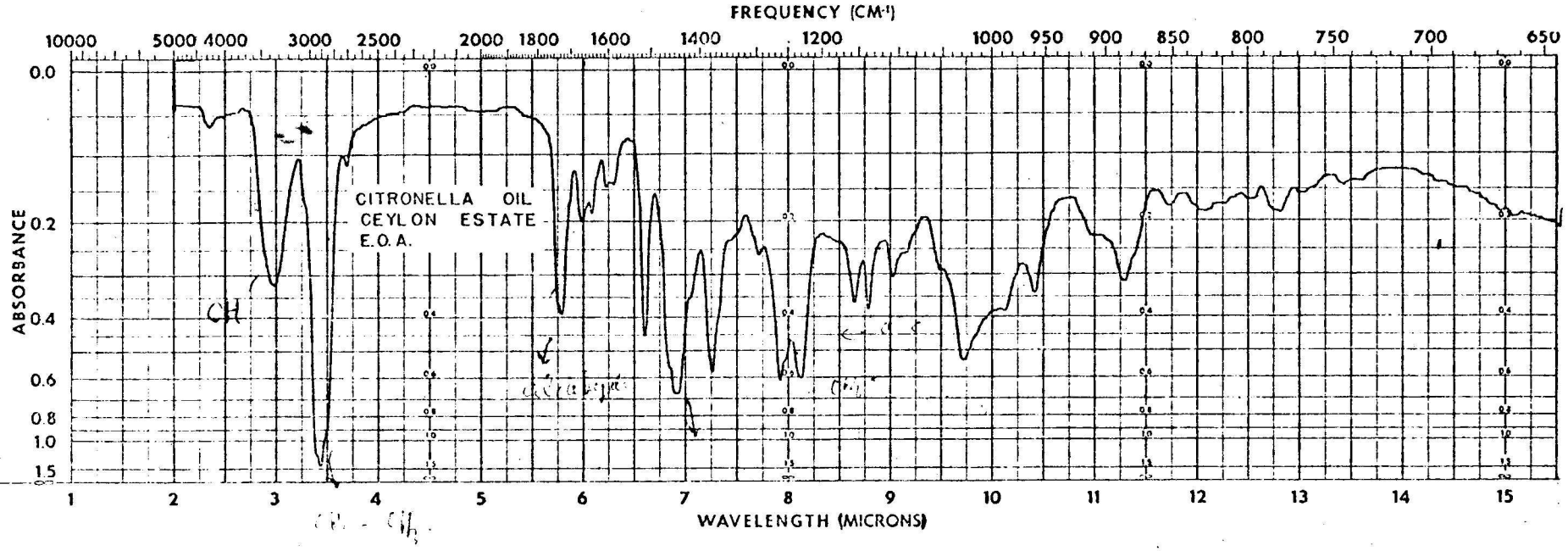
การบ่งบอก (identify) ชนิดของน้ำมันตะไคร้หอมระหว่างชนิดสังกาและชวา อาจกระทำได้ด้วยการเปรียบเทียบค่า absorbance ของ spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์โดย spectrophometer กับค่า absorbance ของ spectrum มาตรฐานของ E.O.A. ดังแสดงในภาพที่ 2-3 และ 2-4 ตามลำดับ อย่างไรก็ดีผลการวิเคราะห์ spectrum นี้ ไม่สามารถบ่งบอกมาตรฐานของความบริสุทธิ์ของน้ำมันตะไคร้หอมดังกล่าวได้[4]

คุณภาพและมาตรฐานของน้ำมันตะไคร้นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ตะไคร้หอมและกรรมวิธีการผลิตแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการบรรจุในภาชนะและการเก็บรักษาด้วย เพื่อรักษาคุณภาพของน้ำมันให้คงที่ควรบรรจุน้ำมันหอมระเหยนี้ในภาชนะที่ทำด้วยแก้ว, โลหะที่เคลือบผิวด้วยดีบุกหรืออลูมิเนียม หากต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน เมื่อต้องการเก็บในระยะเวลาสั้น ๆ เช่น ระหว่างการขนส่ง ก็อาจบรรจุน้ำมันนี้ในถังที่ทำด้วย galvanized หรือclean black iron การบรรจุน้ำมันตะไคร้หอมในภาชนะควรบรรจุให้เต็มภาชนะอย่าให้มีช่องว่างของอากาศเกิดขึ้น, เมื่อบรรจุเสร็จแล้วปิดฝาให้แน่น เก็บรักษาไว้ในที่เย็นและไม่มีแสงสว่าง [1, 2, 4, 5]

2.2 วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

น้ำมันหอมระเหย (essential oil) เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีกลิ่นหอม, ระเหยได้ง่ายและรวดเร็วแม้จะอยู่ในที่ซึ่งมีอุณหภูมิห้องปกติ, ละลายได้ดีใน organic solvents แต่ไม่ละลายในน้ำ, ไม่มีสี ถ้ามีสีก็มักเป็นสีเหลือง หรือน้ำตาล และมี index of refraction สูง, ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิดปะปนกัน เช่น กรดต่าง ๆ, อัลกอฮอล, อัลดีไฮด์, เอสเตอร์และไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ เป็นต้น[5] สิ่งที่แตกต่างกันมากระหว่างน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ คือ volatility, จุดเดือดของน้ำมันหอมระเหยโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในช่วง 150 ^{o}C (302 ^{o}F) ถึง 300 ^{o}C (572 ^{o}F) ที่ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้สารเคมีอินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยสามารถจะสลายตัว, เกิดอ๊อกซิเดชั่น (oxidation), ได้รวดเร็วทำให้กลิ่นและคุณภาพของน้ำมันเปลี่ยนไปได้มาก ดังนั้นอุณหภูมิขณะทำการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมด้วยการกลั่น จึงไม่ควรจะมีค่าเท่ากับจุดเดือดของน้ำมันหอมระเหย[6]

E.O.A. SPECTRUM for: CITRONELLA CEYLON



Product: Citronella Ceylon

Phase: Liquid

Cell Thickness: .016 mm

Reference: Air

Instrument: Perkin Elmer #21 Optics: NaCl

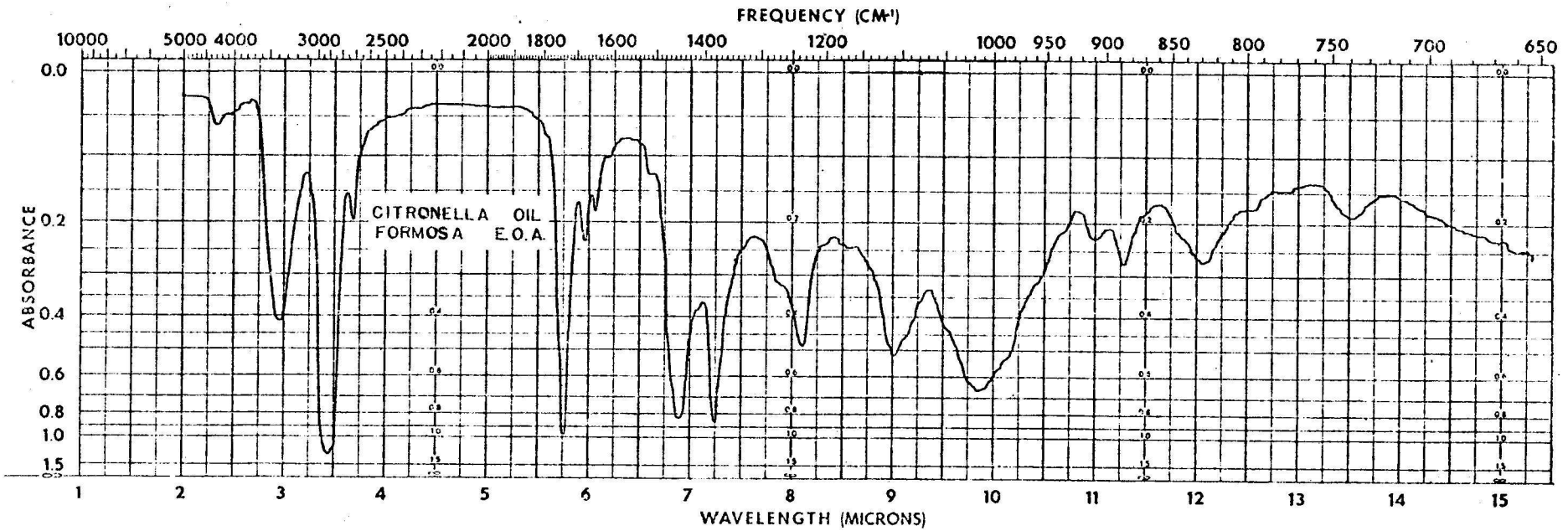
Remarks:

This spectrum is presented for identification purposes only and is not intended as a standard of purity.

E.O.A. Spec. No. 12
Citronella Ceylon

ภาพที่ 2-3 E.O.A. Spectrum มาตรฐานของน้ำมันตะไคร้หอมชนิดลังกา

E.O.A. SPECTRUM for: CITRONELLA OIL — JAVA TYPE



Product: Citronella Oil Java Type
Phase: Liquid
Cell Thickness: .016 mm
Reference: Air
Instrument: Perkin Elmer #21 Optics: NaCl
Remarks:

Note: E. O. A. grade of Citronella Oil — Java Type consists of isomers and related materials. Variations in isomer content may alter the relative absorptions.

This spectrum is presented for identification purposes only and is not intended as a standard of purity.

E. O. A. Spec. No. 14
Citronella Oil Java Type

ภาพที่2-4 E.O.A. Spectrum มาตรฐานของน้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวา

สำหรับน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากพืช การกลั่นด้วยไอน้ำหมายถึงการทำให้ผนังเซลของพืชอ่อนตัวด้วยไอน้ำร้อน และทำให้น้ำมันแพร่ผ่านผนังเซล, ระเหยกลายเป็นไอ (vapor) แล้วจะถูกควบแน่นและแยกออกจาก condensate ส่วนที่เป็นน้ำ (distilled water) ในขั้นสุดท้าย กรรมวิธีการสกัด กระทำได้ - ลักษณะดังต่อไปนี้

2.2.1 Water Distillation

การกลั่นในลักษณะนี้พืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการกลั่นจะแช่อยู่ในน้ำภายในหม้อต้มกลั่น (still) และจะถูกทำให้ร้อนด้วย

1. การใช้ไฟเผาหม้อต้มกลั่นโดยตรง วิธีนี้เป็นวิธีการสกัดอย่างง่าย ๆ และล้าสมัย ข้อดีของวิธีนี้อยู่ที่การไม่ต้องใช้เงินลงทุนมาก (low initial cost) แต่ทว่าน้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีคุณภาพเลวกลิ่นไม่ดี หากเกิดการไหม้เกรียม (burnt) ในส่วนหนึ่งส่วนใดของพืช อันเนื่องมาจากการสัมผัสกับผิวของหม้อต้มกลั่นซึ่งถูกทำให้ร้อนเป็นเวลานานเกินไป นอกจากนี้ยังเสียเวลาในการเปลี่ยนวัตถุดิบในการสกัดในแต่ละครั้งนานมาก ไม่สดวกในการควบคุมอุณหภูมิ

2. การใช้ไอน้ำไปทำให้หม้อต้มกลั่นร้อนขึ้น อาจจะโดยการใช้ขดท่อไอน้ำ (steam coil) ใส่ลงในหม้อต้มกลั่นก็ได้ อย่างไรก็ดี, ถ้าหากส่วนหนึ่งส่วนใดของพืชไปพันกับขดท่อไอน้ำเข้า ก็อาจเป็นผลให้น้ำมันที่สกัดได้มีกลิ่นเลวลงก็ได้ การใช้ steam jacket แทนขดท่อไอน้ำจะช่วยลดปัญหานี้ ทั้งยังทำให้เนื้อที่ภายในหม้อต้มกลั่น (still) มีที่ว่างเพิ่มมากขึ้น สามารถทำความสะอาดได้ง่ายและสดวกขึ้น จะมีข้อเสีย - ตรงที่ทำให้หม้อต้มกลั่นมีราคาแพงมากขึ้น

ข้อดีของการใช้ไอน้ำทำให้หม้อต้มกลั่นร้อนนี้ ได้แก่การควบคุมอุณหภูมิขณะทำการกลั่นซึ่งสามารถกระทำได้โดยง่ายและแม่นยำ ใช้เวลาในการสับเปลี่ยนวัตถุดิบก่อนและภายหลังสกัดน้อยกว่า และสามารถเพิ่มอัตราการทำให้หม้อต้มกลั่นร้อนขึ้นได้เร็วกว่าการใช้ไฟเผาหม้อต้มกลั่นโดยตรง

2.2.2 Water and Steam Distillation

โดยวิธีนี้พืชที่จะนำมาสกัดน้ำมันจะวางอยู่บนตาข่ายรองรับ (grid) ซึ่งอยู่เหนือก้นหม้อต้มกลั่นพอสมควร ในส่วนล่างของหม้อต้มกลั่นจะมีน้ำบรรจุอยู่ ระดับน้ำจะต่ำกว่าตาข่ายรองรับเล็กน้อย เมื่อน้ำถูกทำให้

ร้อนจนเดือด ไอน้ำอิ่มตัว (saturated หรือ wet steam) จะสัมผัสกับพืชทันทีหรือเกือบทันทีที่มันระเหย ที่ความกดดันเท่ากับหรือสูงกว่าความกดดันของบรรยากาศปกติเล็กน้อย เครื่องมือชนิดนี้สามารถสร้างได้ง่าย ในราคาไม่แพงและสามารถสกัดน้ำมันได้รวดเร็ว โดยที่คุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้จะดีกว่าการสกัดโดย water distillation มาก จึงนิยมใช้เครื่องมือและวิธีการกลั่นแบบ water-and-steam นี้กันมากที่สุดในงานสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือโรงงานย่อม ๆ ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกพืชน้ำมัน

อย่างไรก็ดี, เนื่องจากความกดดันและอุณหภูมิไอน้ำที่ใช้มีค่าต่ำมีผลให้ไอน้ำอาจจะไม่สามารถ - แทรกซึมเข้าไปและออกจากพืช, เซลของพืช, เพื่อดึงเอาน้ำมันออกมาได้อย่างทั่วถึง ทำให้ต้องใช้เวลาในการแทรกซึมดังกล่าวโดยทั่วถึงนานมาก หมายความว่าอัตราการสกัดต่ำ และยังต้องทำให้ต้องใช้ไอน้ำในปริมาณมาก เพื่อที่จะทำให้น้ำมันร้อนจนระเหยเป็นไอ นั่นคือประสิทธิภาพของไอน้ำมีค่าต่ำไปด้วย นอกจากนี้การใช้ระยะเวลาในการสกัดนาน ๆ เช่นนี้ อาจทำให้คุณภาพของน้ำมันเลวลงก็ได้[5] เพื่อลดระยะเวลา, ปริมาณไอน้ำในการสกัด และเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำมัน อาจจะทำการสกัดโดย steam distillation ดังนี้

2.2.3 Steam Distillation

การสกัดในลักษณะนี้แตกต่างจาก water-and-steam distillation ตรงที่ใช้ dry saturated steam ร้อนจัดที่ความกดดันสูงกว่าความกดดันบรรยากาศในการสกัด เช่น 1-2 เท่าของความกดดันบรรยากาศ สำหรับการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมเป็นต้น.[1,5] ไอน้ำร้อนนี้จะถูกผ่านเข้าไปยังส่วนล่างของหม้อต้มกลั่นซึ่งมีลักษณะ-คล้ายกับหม้อต้มกลั่นแบบ water-and-steam distillation ไอน้ำร้อนดังกล่าวได้มาจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งแยกออกต่างหากจากหม้อต้มกลั่น การสกัดแบบนี้จะแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการสกัดแบบแรก ๆ ได้ คุณภาพของน้ำมันที่ได้ก็ควรจะดีกว่าด้วย[5, 6]

2.2.4 Dry Steam Distillation

ลักษณะการจัดรูปเครื่องมือคล้ายคลึงกับ steam distillation เพียงแต่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (superheated steam) แทน dry saturated steam ในหัวข้อ 2.2.3 บางครั้งอาจเพิ่มตัวทำร้อน (heater) ให้แก่หม้อต้มกลั่น ซึ่งบรรจุพืชที่นำมาสกัดน้ำมัน มีผลให้ไม่มีไอน้ำส่วนใดในหม้อต้มกลั่นควบแน่นเป็นน้ำเลยขณะทำการกลั่น เนื่องจากไอน้ำในสภาพเช่นนี้ โดยปกติจะร้อนจัดมาก (superheated steam) จึง-ต้องระมัดระวังไม่ให้พืชถูกอบจนไหม้เกรียม ด้วยการออกแบบตะแกรงกระจายความร้อน (grid) ให้ไอน้ำ -

Library Songkla University

กระจายผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางของหม้อต้มกลั่นอย่างสม่ำเสมอกันทั่วทุกจุด เพื่อป้องกันการเกิดบริเวณร้อนจัด (hot spot) อันเป็นผลจากการที่ไอน้ำร้อนผ่านเฉพาะจุดนั้นในปริมาณมากผิดปกติกว่าจุดอื่น ๆ[7]

โดยทั่วไป steam distillation ใช้ได้ผลดีกับการสกัดน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีความเสถียร (stability) สูง หากน้ำมันที่จะทำการสกัดสลายตัวได้ง่าย เมื่อสกัดด้วยอุณหภูมิและความกดดันสูง ก็อาจจำเป็นต้องทำการกลั่นด้วยการลดความกดดันลงมากกว่าความกดดันบรรยากาศปกติ (reduced pressure distillation) ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงกว่าการกลั่นตามปกติมาก และถ้าหากว่าน้ำมันที่สกัดได้ละลายน้ำได้ง่ายหรือมี hydrosolubility สูงก็จะมีผลให้บางส่วนของน้ำมันละลายปนไปกับน้ำที่ควบแน่นออกมาจากเครื่องสกัด ซึ่งทำให้น้ำกลั่นนี้มีลักษณะขุ่นขาวคล้ายนม (emulsion) เราอาจดึงน้ำมันที่สูญเสียไปนี้คืนมาได้ด้วยการนำน้ำกลั่นผสมบางส่วนของน้ำมันนี้ไปทำการกลั่นอีกครั้ง หรืออาจแยกน้ำมันออกจากน้ำด้วยเครื่องแยกแรงเหวี่ยงก็ได้[5]

สำหรับการกลั่นแบบ water-and-steam นั้น จะใช้ได้ผลดีก็ต่อเมื่อน้ำมันหอมระเหยที่ต้องการสกัดมีความเสถียร (stability) สูง ซึ่งจะไม่สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกทำให้ร้อนจัดจนระเหยด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลานาน ๆ. หลักการที่สำคัญอีกสองประการในการสกัดน้ำมัน คือ หนึ่ง พยายามป้องกันหรือทำให้ไม่เกิดออโตอ๊อกซิเดชั่น (autoxidation), การระเหย (evaporation) และการสลายตัวเนื่องจากการหมัก (fermentation) ของน้ำมันให้มากที่สุด ซึ่งอาจทำได้โดยทำการสกัดน้ำมันให้เร็วที่สุดหลังการตัด, เก็บพืชจากไร่, การแยกเอ็นไซม์ส์ (enzymes) ของพืชออกจากน้ำมัน, การเก็บน้ำมันที่สกัดได้ไว้ในที่เย็น, มืดและในสภาพที่มีอากาศเจือจางเป็นต้น. สอง สำหรับ เมล็ดพืช, ราก, ลำต้น, เปลือกและเนื้อไม้ของพืช ซึ่งจำเป็นต้องทำการตัดย่อยให้มีขนาดเล็กลง จะต้องไม่ตัดบดจนมีขนาดเล็กละเอียดเกินไป ซึ่งจะทำให้น้ำมันบางส่วนระเหยสูญเสียไปได้มากก่อนทำการสกัด[7] สิ่งที่พึงระวังก็คือหลักการสำคัญสองประการดังกล่าวมาแล้วนี้ รายละเอียดบางอย่าง อาจใช้ไม่ได้ผลดีกับการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมก็ได้ ซึ่งจะต้องทำการศึกษารายละเอียดดังกล่าวเป็นกรณีพิเศษอีกครั้งหนึ่ง

รายละเอียดของเครื่องมืออุปกรณ์การกลั่นแบบต่าง ๆ อาจศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือเรื่อง "การปลูกและการสกัดน้ำมันมินต์" โดย ดร.ฉรงค์ โฉมเฉลา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย (พ.ศ. 2518) หลักวิชาการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ ในรายละเอียดที่นอกเหนือจากที่กล่าวมา

แล้วนี้ จะศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 6 ในรายงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีการกลั่น (theory of distillation) โดยย่อเอาไว้ในภาคผนวก ก. เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านที่ต้องการ - ความรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมันนี้ เป็นการเสริมความเข้าใจในหลักวิชาการสกัดน้ำมันหอมระเหยให้ดียิ่งขึ้น

2.3 การเก็บเกี่ยวและการกลั่นตะไคร้หอมในประเทศอินโดนีเซีย

โดยที่อินโดนีเซีย, เป็นประเทศที่มีการพัฒนาอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมมาเป็นเวลานานแล้ว โดยเริ่มมีการเพาะปลูกและมีอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันตะไคร้หอม ตั้งแต่ ค.ศ. 1890 จนถึงปัจจุบันนี้ เป็นเวลาถึง 79 ปี ชวาเป็นเกาะใหญ่เป็นลำดับที่สองของประเทศและเป็นเกาะที่มีการปลูกและสกัดน้ำมันตะไคร้หอมอย่างเป็นล่ำเป็นสันมากที่สุดเกาะหนึ่งของประเทศนี้ ประมาณกันว่าอินโดนีเซียสามารถผลิตน้ำมันตะไคร้หอมส่งเป็นสินค้าออกได้ถึงประมาณ 6,000 เมตริกตัน ในปี 1968[IV] กล่าวได้ว่าเป็นประเทศผู้ผลิตน้ำมันตะไคร้หอมเป็นสินค้าออกรายใหญ่ของโลกเลยทีเดียว เมืองที่เป็นศูนย์กลางการผลิตน้ำมันตะไคร้หอมที่สำคัญ ได้แก่ Bandoeng, Bantam, Tasikmalaja, Tjiamis และ Tjitjalengka เป็นต้น ดังนั้นการสำรวจทฤษฎีสำหรับหัวข้อนี้ จึงเน้นหนักเฉพาะอินโดนีเซียเท่านั้น ซึ่งสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

2.3.1 การเก็บเกี่ยวและตากแห้ง

ตะไคร้หอมเป็นพืชที่ขึ้นได้ง่ายในที่ที่มีอากาศชื้น มีฝนตกสม่ำเสมอ และสามารถเจริญเติบโตได้ดีตามพื้นที่ราบ และพื้นที่สูงของภูเขา การเพาะปลูกตะไคร้หอมบริเวณเชิงเขาสูง ๆ จะทำให้มันเจริญเติบโตได้ดีกว่าการปลูกในพื้นที่ราบลุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้ง ในชวานิยมเพาะปลูกพืชชนิดนี้ในเดือนธันวาคมหรือมกราคม แล้วปล่อยให้เจริญเติบโตเต็มที่เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี จึงลงมือตัดตะไคร้

การตัดตะไคร้โดยปกติจะกระทำในเวลาเช้าตรู่ โดยการใช้มีดคม ๆ ตัดบริเวณที่เรียกว่าใบ (leaves) ซึ่งอยู่เหนือพื้นดินประมาณ $\frac{1}{3}$ ของความสูงเหนือพื้นดินทั้งหมดของตะไคร้หอม เหตุผลที่ทำเช่นนี้ก็เพื่อให้ส่วนที่เหลือจากการตัดสามารถเจริญเติบโตทดแทนส่วนที่ถูกตัดได้ใหม่ในเวลาอันรวดเร็ว ใบตะไคร้เหล่านี้จะถูกแสงแดดให้แห้งประมาณ 3-4 ชั่วโมง หรือนานกว่านี้ในกรณีที่ไม่ค่อยจะมีแสงแดด หรือในระยะ

IV เรื่องเดิม หน้า 1

ที่มีฝนตกมาก ในขณะที่ทำการตากแห้งนี้ จะต้องพลิกใบตะไคร้ที่ตากแดดไว้ให้ได้รับแสงแดดโดยทั่วถึงกัน เป็นครั้งคราว เพื่อป้องกันไม่ให้ใบตะไคร้เน่าเสียเนื่องจากการหมัก (fermentation) ถ้าหากสามารถทำให้ใบตะไคร้เหล่านี้แห้งโดยเร็วตามที่ต้องการในระยะอันสั้นเพียงไร ก็จะทำให้คุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ดียิ่งขึ้นเพียงนั้น ระยะเวลาที่ใช้ในการตากแห้งใบตะไคร้หอมนี้ ปกติจะไม่เกิน 1 วัน หมายความว่าการตัด การตากแห้งและการกลั่นตะไคร้หอมนี้ควรจะเป็นวันเดียวกัน ในกรณีที่ไม่สามารถจะกระทำเช่นนี้ได้ ก็ควรจะนำตะไคร้เหล่านี้ไปตากแห้งภายในที่ร่มหรือภายในโรงงานสกัด โดยพยายามวางบนชั้นสำหรับตากแห้ง และหากวางไว้ใกล้ ๆ บอยเลอร์ (boiler) ก็จะทำให้ตะไคร้หอมดังกล่าวแห้งเร็วยิ่งขึ้น

ตามปกติในปีหนึ่ง ๆ จะสามารถทำการตัดใบตะไคร้หอมเพื่อนำไปกลั่นได้ ปีละ 3-4 ครั้ง และนิยมทำการตัดใบตะไคร้กันเป็นปริมาณมากระหว่างฤดูฝน สำหรับฤดูแล้ง, การตัดใบตะไคร้จะลดน้อยลงกว่าปกติ ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดจะขึ้นอยู่กับระดับความเจริญเติบโตของตะไคร้หอม โดยยึดเป็นกฎเกณฑ์ว่าหากลำต้นของตะไคร้ (stem) มีจำนวนใบที่เจริญเต็มที่ถึง 6 ใบ และใบที่เจ็ดมีลักษณะม้วนงอขึ้น ก็ถือได้ว่าถึงเวลาเหมาะสมที่จะทำการตัดได้แล้ว[1]

2.3.2 <u>การกลั่นน้ำมันตะไคร้หอม</u>

ใบตะไคร้หอมภายหลังการตากแห้งแล้วมักจะมีใบหญ้าและ วัชพืชชนิดอื่นปะปนอยู่ด้วยเสมอ อย่างไรก็ดีผู้ผลิตน้ำมันตะไคร้หอมส่วนใหญ่ มักจะไม่ยอมแยกเอาสิ่งเจือปนเหล่านี้ออกจากตะไคร้หอมก่อนจะทำการกลั่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ราคาน้ำมันตะไคร้หอมในท้องตลาดตกต่ำลง ก็ยิ่งเป็นการไม่คุ้มค่าต่อการให้ความสนใจในการแยกสิ่งเจือปนดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น

ใบตะไคร้หอมเหล่านี้จะถูกบรรจุลงในหม้อต้มกลั่น (still) โดยไม่ได้ทำการตัดย่อยขนาดให้เล็กลง แต่ประการใด การกระทำดังกล่าวจะทำให้เกิดช่องว่างภายใน retort ที่ใช้กลั่นมากกว่าการตัดย่อยขนาดใบตะไคร้หอมก่อนการกลั่น นอกจากนี้ยังทำให้การกระจายของไอน้ำเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดภาคตัดขวางของหม้อต้มกลั่น เป็นผลให้เกิด steam channeling และทำให้ % yield ของน้ำมันที่ได้ลดลง การตัดย่อยขนาด ของใบตะไคร้หอมเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ ทั้งยังทำให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ต่อปริมาณไอน้ำที่ใช้ (economy) ของเครื่องต้มกลั่นเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการกลั่นต่อหน่วยเวลา จะสูงมากในระยะแรก ๆ ของการกลั่น และจะลดลงอย่างช้า ๆ ภายหลังที่ $\frac{2}{3}$ ของน้ำมันหอมระเหยในใบตะไคร้หอมถูกกลั่นออกมาแล้ว ค่าเฉลี่ย % yield ของน้ำมันที่กลั่นได้จะมีค่าประมาณ 0.7 % และจะมีค่าระหว่าง 0.5 % ในฤดูฝน ถึง 1.2 % ในฤดูแล้ง Guenther[1] กล่าวว่าการกลั่นน้ำมันจากใบตะไคร้หอมที่แห้งและถูกสับย่อยให้มีขนาดเล็กลง จะทำให้ได้น้ำมันตะไคร้หอมที่มีคุณภาพดี และให้ % yield ถึง 0.83 %

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของไอน้ำซึ่งผ่านตลอดใบตะไคร้ จะแปรเป็นสัดส่วนผกผันกับ - ปริมาณน้ำมันที่กลั่นได้ กล่าวคือ ถ้าหากผ่านไอน้ำเข้าไปยังใบตะไคร้ซึ่งบรรจุอยู่ในหม้อต้มกลั่นในอัตราเร็วกว่าปกติ ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้คิดเป็นร้อยละของปริมาณกิโลกรัมของ condensate steam จะลดลงในทางตรงข้าม, หากผ่านไอน้ำเข้าไปยังใบตะไคร้หอมด้วยอัตราที่ช้าลง ระยะเวลาที่ใช้ในการกลั่นจะเพิ่มมากขึ้น และ hourly yield ของน้ำมันต่อการสกัด 1 ครั้งจะลดลง เนื่องจากความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการกลั่นเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้น ผู้ผลิตส่วนมากมักจะนิยมนำเอากากของใบตะไคร้หอมที่เหลือจากการสกัดมาเป็นเชื้อเพลิงในการกลั่น แทนที่จะนำไปทิ้งเฉย ๆ ยกเว้นในบางท้องถิ่นที่ไม้ฟืนราคาถูกสามารถหาได้ง่ายในปริมาณที่มากพอ

คุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้นั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความรอบรู้และความเชี่ยวชาญในการกลั่นเพียงเท่านั้น สาเหตุที่น้ำมันซึ่งกลั่นได้มีคุณภาพไม่ดีพอ อาจเกิดจากพันธ์ของตะไคร้หอม เช่นตะไคร้หอมพันธ์ Cymbopogon Nardus Rendle ปลูกในลังกาจะให้น้ำมันที่มีคุณภาพ และ % yield ที่สกัดได้ (ประมาณ 0.5 %) ต่ำกว่าพันธ์ Cymbopogon nardus (Rendle) ซึ่งปลูกในชวา (% yield ที่สกัดได้ประมาณ 0.7 %) หรือเกิดจากสภาพที่ไม่เอื้ออำนวยของดินฟ้าอากาศ, ฤดูกาล และการนำตะไคร้หอมมาสกัดน้ำมันก่อนถึงอายุอันควรก็ได้

นอกเหนือจากคุณภาพแล้ว % yield ของน้ำมันก็เป็นปัจจัยสำคัญยิ่งที่จะต้องพิจารณา ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดจึงไม่ใช่เงื่อนไขที่ขึ้นอยู่กับคุณภาพหรือ % yield ของน้ำมันเพียงประการหนึ่งประการใด ตัวอย่าง เช่น การสกัดน้ำมันตะไคร้หอมจากใบตะไคร้หอมตากแดดเป็นเวลานานเกินไปจนแห้งกว่าปกติ และการขยายระยะเวลาการกลั่นให้ยาวนานออกไปมากจนสามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยได้หมดอย่างสมบูรณ์ จะทำให้ได้ % yield สูงสุด แต่คุณภาพของน้ำมันที่ได้จะเลวลงและมีปริมาณของ citronellal ลดลง เป็นต้น ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสกัดคือ เงื่อนไขซึ่งทำให้คุณภาพและ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ไปด้วยกันได้ เป็นผลให้ได้ผลกำไรสูงสุด ทั้งนี้เมื่อคำนึงถึงต้นทุนในการสกัดด้วย

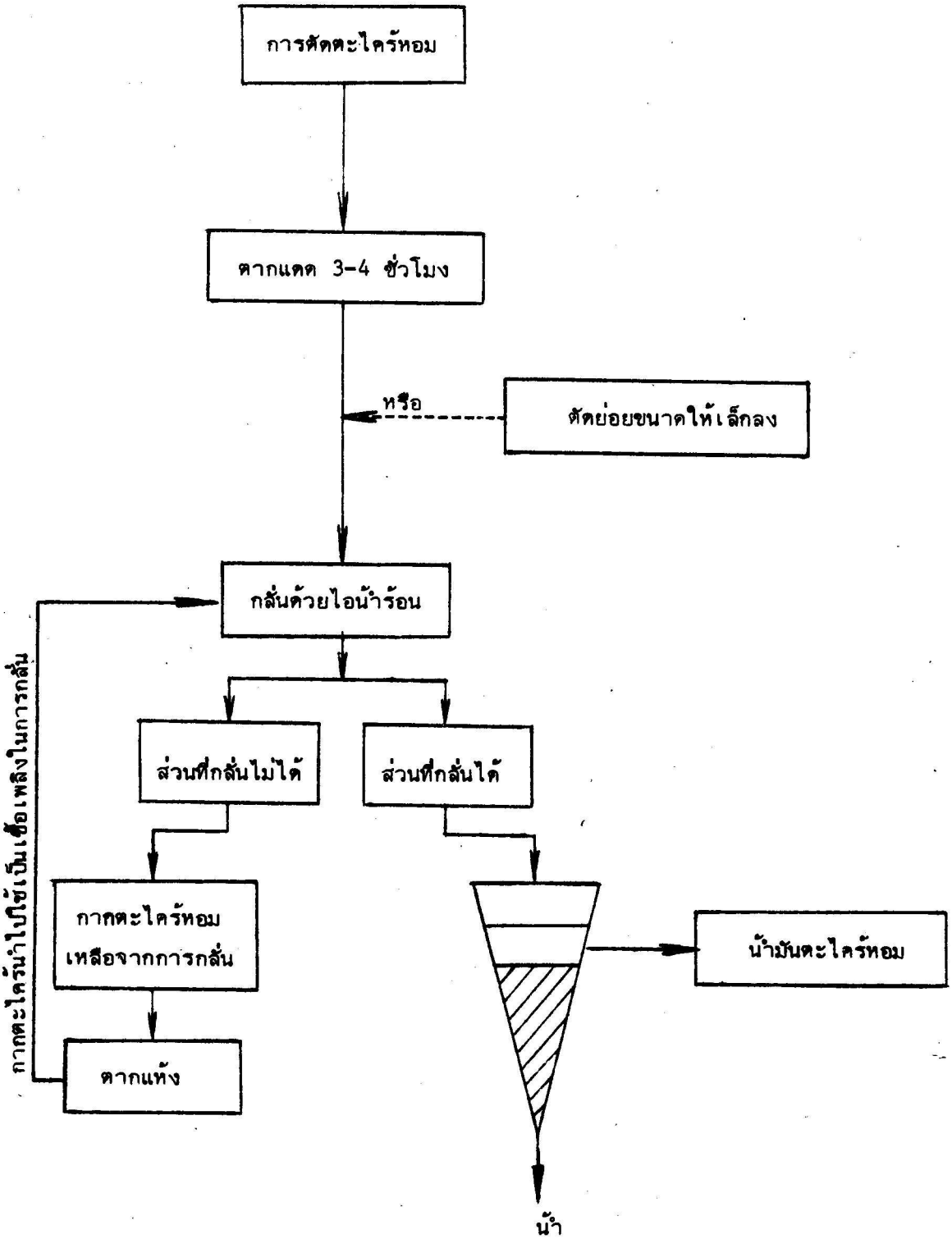
โดยสรุป, กรรมวิธีการเตรียมงานและการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม อาจแสดงเป็นลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 2-5 โดยเริ่มจากการตัดตะไคร้หอมด้วยมีดคม นำไปตากแดดเพื่อลดความชื้นเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย แล้วจึงนำไปสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ ผู้ผลิตบางรายอาจจะทำการตัดย่อยขนาดของตะไคร้หอมให้เล็กลงก่อนทำการสกัดก็ได้ ภายหลังการกลั่น, ส่วนที่ถูกกลั่นได้จะถูกเก็บไว้ในถังแยกน้ำมันออกจากน้ำ น้ำมันหอมระเหยจะสะสมอยู่ด้านบนและระบายเก็บไว้ในภาชนะต่อไป น้ำที่กลั่นได้ก็จะถูกระบายทิ้งเช่นกัน ส่วนที่กลั่นไม่ได้ได้แก่กากตะไคร้หอม ก็จะนำไปตากแห้ง แล้วนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการกลั่นได้อีก.

2.3.3 เครื่องมือในการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอม

เครื่องกลั่นที่ใช้กันในอินโดนีเซีย แบ่งออกได้เป็น 3 แบบด้วยกัน กล่าวคือ เครื่องกลั่นแบบ water and-steam ; เครื่องกลั่นไอน้ำ (steam still) และเครื่องกลั่นแบบ "godokkans" เป็นแบบที่อยู่ระหว่างเครื่องกลั่นแบบแรกและแบบที่สอง รายละเอียดของเครื่องกลั่นแต่ละแบบโดยสังเขปมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องกลั่นแบบ Water-and-Steam ; เครื่องกลั่นแบบนี้ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากราคาก่อสร้างถูก วิธีการกลั่นและการควบคุมการกลั่นเป็นไปอย่างง่าย ๆ และประหยัด ข้อดีของเครื่องสกัดแบบนี้อยู่ที่การที่ไอน้ำซึ่งได้จากผิวน้ำใต้ตาข่ายรองรับตะไคร้หอม (grid) จะค่อย ๆ ซึมผ่าน (penetrate) ตะไคร้ที่บรรจุอยู่ในหม้อต้มกลั่นอย่างสม่ำเสมอ เป็นการลดการเกิด steam channeling ใน retort เป็นอย่างดี อย่างไรก็ดี, ข้อบกพร่องของเครื่องสกัดชนิดนี้ ได้แก่การเกิดการควบแน่นของไอน้ำเสมอ ๆ ในบริเวณระหว่างผนังของหม้อต้มกลั่นกับตะไคร้หอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการสูญเสียความร้อนภายในหม้อต้มกลั่นอย่างมากมาย เนื่องจากการหุ้มฉนวนเป็นไปอย่างไม่เหมาะสม ไอน้ำที่ควบแน่นนี้ (condensate) จะประกอบด้วยสารที่ได้จากการสกัดซึ่งไม่ระเหย (nonvolatile) และมีสีดำหรือคล้ำ เมื่อมีการควบแน่นของไอน้ำภายในหม้อต้มกลั่นมากเพียงไร สารสีดำคล้ำดังกล่าวก็จะสะสมอยู่ในน้ำใต้ตาข่ายรองรับตะไคร้ (grid) ในปริมาณที่มากขึ้นทุกขณะ จนกระทั่งมีผลทำให้ กลิ่น, สีและคุณภาพอื่น ๆ ของน้ำมันที่สกัดได้เลวลง ดังนั้น เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องนี้ จึงต้องเสียเวลาในการเปลี่ยนน้ำภายในหม้อต้มกลั่นก่อนทำการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมชุดใหม่ต่อไปทุกครั้ง

นอกจากการหุ้มฉนวนแล้ว steam channeling ยังสามารถจะลดได้ด้วยการกำหนดอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางต่อความสูง ของ retort ที่ใช้ในการกลั่นให้มีค่าอย่างน้อยที่สุด 1 ถึง 1.5 ถึง 2 หรืออาจสร้าง retort ให้มีลักษณะคล้ายกรวย กล่าวคือฐานส่วนล่างใหญ่ และค่อย ๆ เรียวเล็กลงตามความสูง จนถึงยอดบนของ retort ก็ได้. อย่างไรก็ดี retort ซึ่งมีลักษณะคล้ายกรวยดังกล่าวไม่สะดวกในการบรรจุตะไคร้



ภาพที่ 2-5 แผนผังขั้นตอนการผลิตน้ำมันตะไคร้หอมในชวา

หอม จึงไม่ค่อยนิยมใช้กันเท่าที่ควร

เนื่องจากเครื่องกลั่นแบบ water-and-steam นี้จะใช้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองมากกว่าเครื่องสกัดแบบอื่น ๆ ซึ่งสามารถทำงานในลักษณะอนุกรมโดยใช้ไอน้ำจาก boiler เพียงเครื่องเดียว ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้กับตะไคร้หอมซึ่งต้องสกัดน้ำมันในปริมาณต่อวันที่ไม่มากนัก และใช้ในกรณีที่เชื้อเพลิงซึ่งโดยปกติ ได้แก่ไม้ฟืนมีราคาถูกมาก ๆ เท่านั้นการกลั่นตะไคร้หอมในปริมาณมาก นอกจากจะทำให้เสียเวลามาก (ประมาณ 3-4 ชม.) กว่าการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) แล้ว ยังทำให้ % yield ของน้ำมันที่ได้น้อยกว่าการกลั่นด้วยไอน้ำอีกด้วย[1]

2. เครื่องกลั่นแบบ Godokkans ; เครื่องกลั่นแบบนี้ปรับปรุงจากเครื่องกลั่นแบบ water-and steam โดยแยก retort ไว้ต่างหากจากเตาไฟ (fire hearth) และ water boiler นิยมใช้กับการกลั่นตะไคร้หอมในปริมาณมาก ๆ เช่น ครั้งละ 400 ถึง 4,000 กิโลกรัม เป็นต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการกลั่นสำหรับปริมาณตะไคร้หอมตั้งแต่ 1,000 - 1,200 กิโลกรัม ควรอยู่ระหว่าง 3 ถึง 4 ชั่วโมง yield ของ total geraniol จะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลัง 2-3 ชั่วโมงแรกของการกลั่น หลังจากนั้นแล้ว สารเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีคุณค่าของน้ำมันจะเหลืออยู่น้อยมาก จนอาจจะไม่คุ้มกับการกลั่นต่อไป โดยปกติจะทำการกลั่นเป็นเวลา 4½ ชั่วโมง น้ำมันที่กลั่นได้จะมีระดับคุณภาพสูงกว่า Contract "A" หมายถึงการมีปริมาณ total geraniol และ citronellal สูงกว่า 85 % และ 35 % ตามลำดับ การใช้ระยะเวลาในการกลั่นนานกว่านี้จะมีผลให้ระดับคุณภาพของน้ำมันที่ได้เลวลงกว่าเดิม

3. เครื่องกลั่นไอน้ำ (Steam Still) ; ลักษณะของเครื่องกลั่นชนิดนี้คล้ายคลึงกับเครื่องกลั่นแบบ water-and-steam แตกต่างกันตรงที่ ไอน้ำร้อนที่ใช้ในการสกัดน้ำมันโดยเครื่องกลั่นไอน้ำนี้ ได้มาจาก steam boiler แยกต่างหากจากหม้อต้มกลั่น บอยเลอร์ที่ใช้ส่วนมากจะใช้เศษไม้, ฟืน และกากของตะไคร้หอมในการให้ความร้อนแก่น้ำ ความกดดันไอน้ำที่เหมาะสมในการสกัด (วัดที่บอยเลอร์) จะมีค่าสูงกว่าความกดดันบรรยากาศปกติ ในราว ½ ถึง 1 เท่าหรือระหว่าง 7.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้วถึง 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว(gage pressure) และระยะเวลาที่เหมาะสมในการกลั่นไม่ควรจะนานกว่า 3 ชั่วโมง การใช้ความกดดันที่สูงกว่านี้ เช่น ความกดดัน 4 เท่าบรรยากาศหรือประมาณ 59 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (วัดที่บอยเลอร์) จะทำให้ % yield ของน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ช่วยร่นระยะเวลาในการกลั่นให้สั้นลงแต่คุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ จะเลวลงกว่าเดิม (ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดที่ความกดดัน 4 เท่าบรรยากาศนี้ มีค่าประมาณ 36 นาที ซึ่งสามารถให้น้ำมันหอมระเหยที่มีปริมาณของ total geraniol สูงกว่า 85 % พ้นช่วงระยะเวลาดังกล่าวแล้ว ปริมาณของ total geraniol จะมีค่าลดลง)

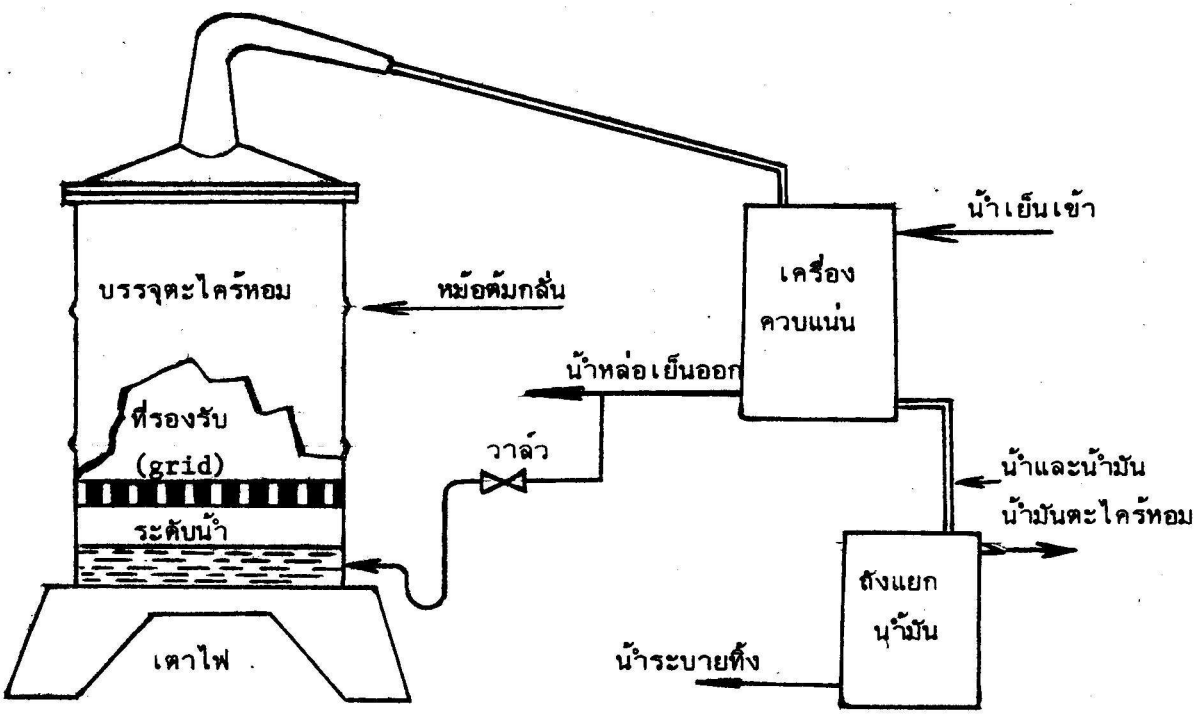
โดยทั่วไปแล้ว ความกดดันไอน้ำในหม้อต้มกลั่น (still) ไม่ควรจะมีค่าสูงเกินไป เพราะจะต้องใช้เงินลงทุนสร้างหม้อต้มกลั่นในราคาสูงกว่าเดิมมาก และน้ำมันหอมระเหยอาจจะสลายตัวได้ หากอุณหภูมิขณะทำการกลั่นสูงมากเกินไป

ค่าใช้จ่ายในการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมด้วยเครื่องกลั่นแบบนี้จะสูงกว่าการกลั่นด้วยเครื่องกลั่น แบบ water-and-steam อย่างไรก็ดีคุณภาพของน้ำมันที่กลั่นได้จะดีกว่า การเลือกใช้เครื่องกลั่นชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น จึงขึ้นอยู่กับความต้องการและนโยบายของผู้ผลิตว่าสนใจปริมาณหรือคุณภาพของน้ำมันมากน้อยแตกต่างกันเพียงไร การลดต้นทุนการผลิตนอกจากจะปรับปรุงกรรมวิธีการกลั่นแล้ว การปรับปรุงพันธุ์ตะไคร้หอมให้มีปริมาณน้ำมันที่มีคุณภาพดีในปริมาณที่มากขึ้น ก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ควรให้ความสนใจอย่างยิ่ง[1]

2.4 การทดลองสกัดน้ำมันตะไคร้หอมในประเทศไทย

ข้อมูลเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมในประเทศไทย มีอยู่น้อยมาก อย่างไรก็ดีเท่าที่ทราบอยู่ในขณะนี้ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย (ส.ว.ป.) ได้นำตะไคร้หอมจากประเทศอินโดนีเซียมาทดลองปลูกและทำการสกัดที่สถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป. ที่ดอยช่างเคี่ยน ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการปลูกในพื้นที่ขนาด 20 X 20 $ม^2$ หรือ 440 ตารางเมตร เริ่มทำการเพาะปลูกประมาณเดือนมีนาคม 2521 ตะไคร้จะเจริญเติบโตเต็มที่ เมื่อมีอายุประมาณ 6 เดือน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ตะไคร้หอมเริ่มจะออกดอก ความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 1.75 เมตร การตัดตะไคร้จะทำการตัดด้วยการใช้มีดคมตัดต้นตะไคร้ให้เหลือตอตะไคร้สูงจากพื้นดินประมาณ 1 ฟุต แล้วตากแดดไว้ 1 วัน จากนั้นก็ทำการมัดเป็นท่อนเล็ก ๆ นำไปเก็บในเรือนโรง เพื่อเตรียมสกัดน้ำมันต่อไป

เมื่อความชื้นของตะไคร้ที่ตากในที่ร่ม (เรือนโรง) มีความชื้นลดลงมาประมาณ 50 % ของน้ำหนักสด ก็นำไปสกัดโดยเครื่องสกัดแบบ water-steam-distillation ดังแสดงในภาพที่ 2-6 ปริมาณของตะไคร้หอมที่สกัดในครั้งหนึ่ง ๆ เท่ากับ 50 กิโลกรัม ระยะเวลาในการสกัดแต่ละครั้ง เท่ากับ 8 ชั่วโมง จำนวนน้ำหนักที่ความชื้น 50 % ของตะไคร้หอมทั้งหมดในแปลงทดลอง (440 ตร.ม.) ที่เข้าทำการสกัดเท่ากับ 780 กิโลกรัม ปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้รวมกันเท่ากับ 3,016 มิลลิลิตร % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ต่อน้ำหนักตะไคร้หอมที่ใช้ประมาณ 0.38% ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 16 วัน ใช้คนงานในการเก็บเกี่ยวและการสกัดจำนวน 20 คน คิดเป็นเงินค่าแรงงานเท่ากับ 500 บาท และใช้ไม้เนื้อแข็งเป็นเชื้อเพลิงในการ-



ภาพที่ 2-6 แผนผังเครื่องสกัดน้ำมันตะไคร้หอมขนาดเล็กแบบ water-and-steam distillation

สกัดทั้งหมดประมาณ 900 กิโลกรัม [V]

สำหรับการทดลองสกัดน้ำมันตะไคร้หอมโดยผู้วิจัยอื่น ๆ นั้น เท่าที่ผู้เขียนทราบในขณะนี้ ได้แก่ การทดลองสกัดซึ่งกระทำโดย ดร.สุพจน์ ชัยมังคลานนท์ แผนกวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับนักศึกษาวิศวกรรมเคมี ปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (พ.ศ. 2519) ซึ่งได้เริ่มดำเนินการทดลองในราวกลางปี พ.ศ. 2519 โดยการใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการเคมี ทำการสกัดงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันตะไคร้หอมด้วยการกลั่นแบบลดความดัน (reduced pressure distillation) ทำการดัก (trap) ไอสารของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องควบแน่น ซึ่งใช้น้ำเย็น, ice brine และ คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง เป็น coolant ตามลำดับ อย่างไรก็ดี, รายงานวิจัยดังกล่าวนี้ไม่ได้ถูกตีพิมพ์เผยแพร่ในวงกว้าง ผู้สนใจในรายละเอียดเพิ่มเติม อาจจะทำได้โดยการสอบถามผู้ทำการวิจัยได้โดยตรง.

V รวบรวมจากรายงานสรุปผลแปลงทดลองหาผลิตผลตะไคร้หอม ของคุณปริญญา วิไลรัตน์ เจ้าหน้าที่ประจำสถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป. (2521)

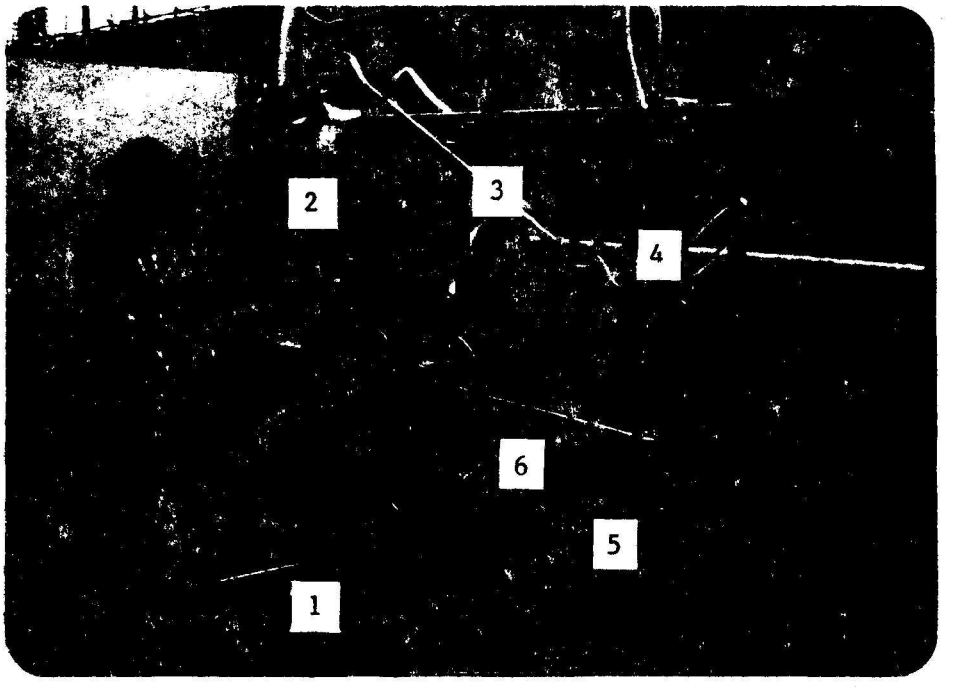
บทที่ 3

วิธีทำวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำเพื่อใช้ในห้องทดลอง ขนาดของเครื่องสกัดจะอยู่ระหว่างเครื่องสกัดน้ำมันตะไคร้หอมเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพในห้องปฏิบัติการเคมี และเครื่องสกัดน้ำมันขนาดโรงงานประลอง (pilot plant) เครื่องสกัดนี้สร้างขึ้นเพื่อศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจากการสกัดในห้องปฏิบัติการเคมี โดยเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับความกดดันไอน้ำ ความสิ้นเปลืองพลังงานและเวลาในการสกัด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปดัดแปลงแก้ไขขบวนการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมด้วยเครื่องกลั่นไอน้ำ (steam still) ในทางอุตสาหกรรมต่อไป เครื่องมือนี้สามารถบรรจุตะไคร้หอมได้ประมาณ 1.2 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) หรือประมาณ 2 กิโลกรัมเมื่อคิดเป็นน้ำหนักตะไคร้หอมสด ๆ อุปกรณ์ทุกชิ้นทำด้วยเหล็กไร้สนิม (stainless steel) วาล์วบังคับการไหลของน้ำมันและภาชนะแยกน้ำมัน (separating funnel) ทำด้วยแก้ว ลักษณะและรายละเอียดของเครื่องสกัดนี้แสดงในภาพที่ 3-1 แผนผังเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ แสดงในภาพที่ 3-2 ชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องกลั่นแบ่งออกได้ดังนี้คือ

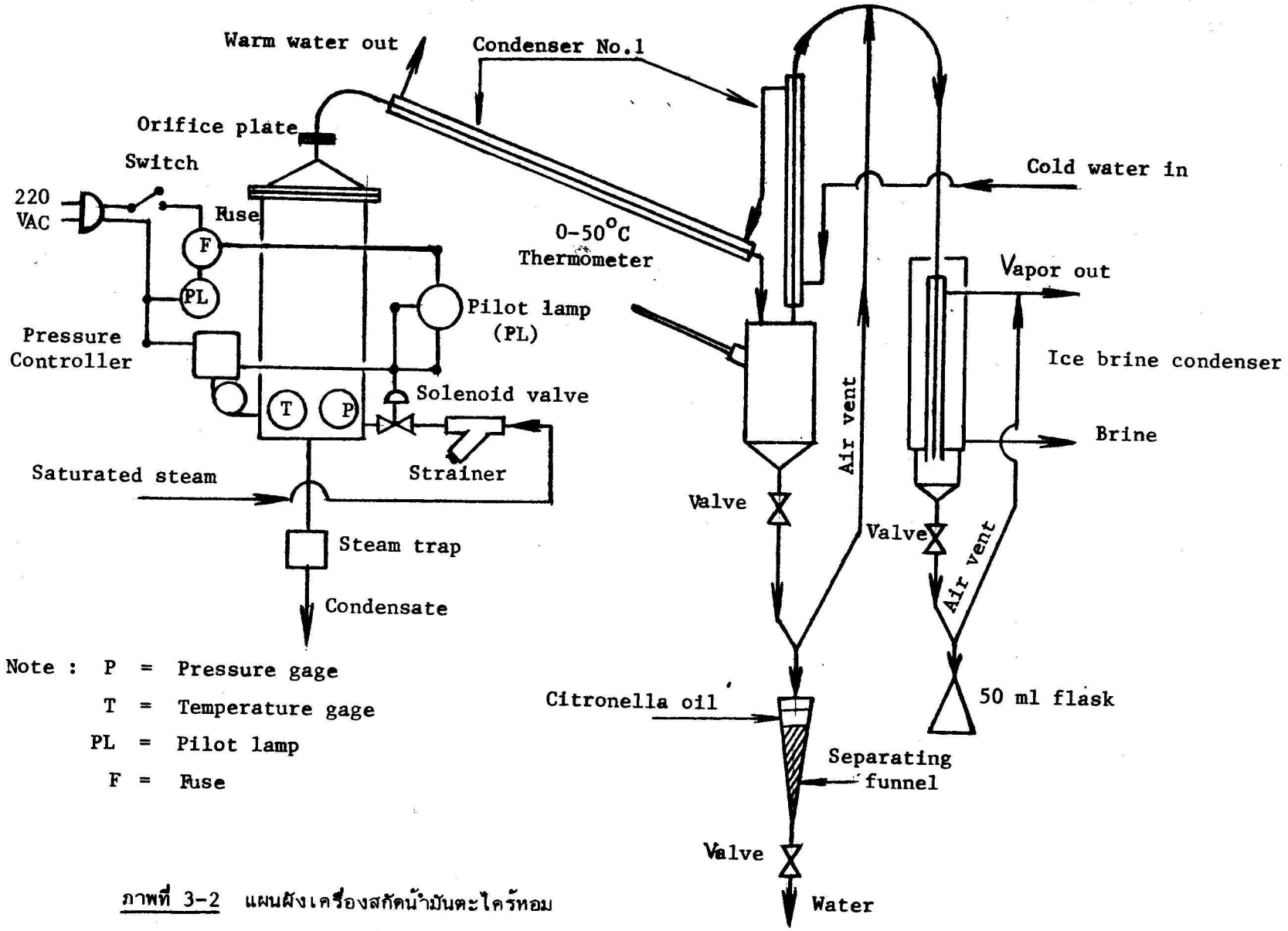
1. หม้อต้มกลั่น ทำด้วยเหล็กไร้สนิม เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. สูง 60 ซม. ทนความกดดันได้มากกว่า 8 เท่าของความกดดันบรรยากาศปกติ (ประมาณ 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว - gage pressure) ภายในหม้อต้มกลั่นประกอบด้วยตะกร้าบรรจุตะไคร้หอมทำด้วยตาข่ายเหล็กไร้สนิม วางอยู่บนแผ่นรองรับ (supporter) สูงจากก้นของหม้อต้มกลั่น 10 เซนติเมตร ที่บริเวณใต้ตะกร้านี้ จะมีอุปกรณ์ควบคุมความดันไอน้ำโดยอัตโนมัติ ใช้งานในช่วงความดัน 0 ถึง 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุปกรณ์วัดความกดดัน (pressure gage) ในช่วง 0 - 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดหน้าปัทม์ (dial gage thermometer) ในช่วง 0 - 200 ^{o}C วาล์วไฟฟ้า (solenoid valve) พร้อมกับเครื่องกรองเศษผงออกจากไอน้ำ (strainer) และเครื่องดักไอ (steam trap) ประกอบติดอยู่ด้วย ส่วนบนของหม้อต้มกลั่นเป็นฝากรวย มี orifice plate บังคับอัตราการไหลของไอน้ำ ฝากรวยนี้จะยึดติดกับหม้อต้มกลั่นด้วยน็อตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$" เกลียวหยาบ จำนวน 4 ตัว โดยมีปะเก็นยาง (rubber gasket) ทนความร้อนคั่นระหว่างกลางเพื่อกันการรั่วซึมของไอสาร (vapor) ขณะกลั่น ส่วนปลายของฝากรวยจะต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบแน่นตัวที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 3-1 และ 3-2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3-1 เครื่องสกัดน้ำมันตะไคร้หอมแบบ steam distillation

สัญญลักษณ์:

1- ตะกร้าบรรจุตะไคร้หอม
2- หม้อกลั่น ควบคุมความดันและระยะเวลาการกลั่นโดยอัตโนมัติ
3- ชุดเครื่องควบแน่น หมายเลข1
4- ชุดเครื่องควบแน่น หมายเลข2 (ice brine condenser)
5- ขวดแยกน้ำมัน
6- เครื่องกำเนิดไอน้ำขนาดเล็ก



Note : P = Pressure gage
T = Temperature gage
PL = Pilot lamp
F = Fuse

ภาพที่ 3-2 แผนผังเครื่องสกัดน้ำมันตะไคร้หอม แบบ steam distillation

2. อุปกรณ์ควบแน่น ทำด้วยเหล็กไร้สนิม มีสองชุดด้วยกันคือ เครื่องควบแน่นไอสารบางส่วน (partial condenser - โปรดพิจารณาภาพที่ 3-2) เป็นเครื่องควบแน่นตัวที่ 1 ใช้น้ำประปา (tap water) เป็นตัวหล่อเย็น (coolant) และเครื่องควบแน่นไอสารทั้งหมด (total condenser) ใช้ ice brine ที่อุณหภูมิประมาณ - 15 ^{o}C เป็นตัวหล่อเย็นไอสาร (vapor) จากหม้อต้มกลั่นซึ่งประกอบด้วยไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่จะถูกควบแน่นด้วยเครื่องควบแน่นตัวที่ 1 มีเพียงไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยส่วนน้อยซึ่งมี volatility สูง เท่านั้น จึงจะถูกควบแน่นใน เครื่องควบแน่นตัวที่ 2 (total condenser) สำหรับส่วน (fraction) ของน้ำมันหอมระเหยที่มี volatility สูงมาก ๆ นั้น ไม่สามารถจะทำการดัก (trap) ได้โดยอุปกรณ์ควบแน่นนี้ ในกรณีที่ต้องการดักไอสารน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นให้ได้หมดทุกส่วน ก็อาจกระทำได้โดย ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง เป็นตัวหล่อเย็นแทน ice brine ในเครื่องควบแน่นตัวที่ 2 หรือต่อท่อนำไอสารจากเครื่องควบแน่นตัวที่ 2 เข้ากับเครื่องควบแน่นพิเศษ ซึ่งใช้สารชนิดอื่นที่มีอุณหภูมิเย็นจัดมากกว่า ice brine มาก ๆ เป็นตัวหล่อเย็นก็ได้

3. อุปกรณ์แยกน้ำออกจากน้ำมัน เป็น separating funnel ทำด้วยแก้ว PYREX ขนาด 500 ml ทำหน้าที่รองรับ condensate จากเครื่องควบแน่นตัวที่ 1 โดยที่น้ำมันจะลอยอยู่ชั้นบนและน้ำจะอยู่ชั้นล่าง สำหรับเครื่องควบแน่นตัวที่ 2 ไม่จำเป็นต้องใช้ separating funnel เนื่องจากจะมีน้ำปะปนมากับน้ำมันน้อยมาก การใช้เพียง flask ขนาด 50 ml ทำด้วยแก้วรองรับ condensate ดูจะเป็นการเหมาะสมมากกว่า

3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ตะไคร้หอมพันธ์ Cymbopogon Nardus (Rendle) ซึ่งปลูกที่สถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป. จ.เชียงใหม่ เป็นวัตถุดิบในการสกัด ตะไคร้ดังกล่าวถูกตัดบริเวณโคนต้นแล้วบรรจุใส่กระสอบในสภาพสด ลำเลียงส่งไปยังมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ โดยทางรถยนต์และรถไฟ ปริมาณของตะไคร้ที่ใช้ทั้งหมด (โดยประมาณ) เท่ากับ 130 กิโลกรัม (น้ำหนักสด) ระยะเวลาขนส่งตะไคร้จากสถานที่ปลูกไปยังมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อเข้าเครื่องสกัด เท่ากับ 3 วัน

3.3 กรรมวิธีการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม

3.3.1 ตากตะไคร้หอมซึ่งได้รับมาจากจังหวัดเชียงใหม่ ในที่ร่มเป็นเวลา 1 วัน เพื่อลดความชื้น

3.3.2 นำตะกร้าบรรจุตะไคร้ในหม้อต้มกลั่นไปชั่งหาน้ำหนักโดยละเอียด

3.3.3 ตัดตะไคร้หอมที่ตากไว้ให้เล็กลงทั้งลำต้นและส่วนที่เป็นใบ บรรจุลงในตะกร้า อัดให้แน่นแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักโดยละเอียด น้ำหนักในข้อ 3.3.3 หักออกด้วยน้ำหนักในข้อ 3.3.2จะเป็นน้ำหนักสุทธิของตะไคร้หอมที่ใช้ในแต่ละการทดลอง

3.3.4 ในแต่ละวัน นำส่วนหนึ่งของตะไคร้หอมที่ตากไว้ไปหา % ความชื้น ค่าความชื้นนี้จะบอกให้ทราบถึงน้ำหนักแห้งสนิทของตะไคร้ที่ถูกใช้ในการสกัดในแต่ละวัน

3.3.5 บรรจุตะไคร้หอมลงในหม้อต้มกลั่น ขันน็อตสกรูที่ยึดฝากรวยและส่วนบนของหม้อต้มกลั่นให้แน่นและแน่ใจว่าไม่มีการรั่วไหลของไอสารขณะกลั่น ตั้งระดับความดันไอน้ำที่ใช้ในการสกัดด้วยเครื่องควบคุมความดัน (pressure controller) ดังแสดงในภาพที่ 3-2

3.3.6 เปิดน้ำหล่อเย็นให้ไหลผ่านตลอดเครื่องควบแน่น

3.3.7 ตั้งสวิทช์ตั้งเวลา (ภาพที่ 3-1) ไว้ที่เวลา 5 นาที, เปิดสวิทช์วาล์วไฟฟ้า (solenoid valve) ไปที่ตำแหน่ง "ON" ไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำจะผ่านเครื่องกรองเศษผงออกจากไอน้ำ (strainer), ผ่านวาล์วไฟฟ้าไปยังส่วนล่างของหม้อต้มกลั่น และพาไอสารบางส่วนหลุดผ่าน orifice plate (ภาพที่ 3-2) เข้าสู่เครื่องควบแน่นตามลำดับ

ในระยะแรกนี้ จะมีไอน้ำเป็นจำนวนมากคายความร้อนให้แก่ระบบท่อส่งไอน้ำ, วาล์ว, ข้อต่อ, หม้อต้มกลั่น และตะไคร้หอมที่บรรจุอยู่ภายใน จึงทำให้มี condensate เป็นจำนวนมากไหลออกมาจากเครื่องดักไอน้ำ (steam trap) ปริมาณ condensate นี้จะลดลงทุกขณะและจะไหลออกมาจากเครื่องดักไอน้ำอย่างสม่ำเสมอ เมื่อขบวนการของการสกัดอยู่ในภาวะเสถียร (steady state)

3.3.8 เมื่อขบวนการสกัดอยู่ในภาวะเสถียร ให้ทำการเก็บ condensate ที่ออกมาจากเครื่องดักไอ และเก็บไอสารที่ควบแน่นได้จากเครื่องควบแน่นพร้อมกับตั้งสวิทช์ตั้งเวลาไปในตำแหน่งที่ต้องการใช้เวลาในการสกัดทันที. ในระหว่างการสกัดนี้ เครื่องควบคุมความดันจะคอยปรับให้ความดันไอน้ำในหม้อต้มกลั่นคงที่เสมอ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการวิจัย

ตลอดงานทดลองนี้ น้ำหนักตะไคร้สดที่ใช้สำหรับการทดลองแต่ละครั้งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,064 ถึง 1,573 กรัม หรือคิดเป็นน้ำหนักตะไคร้แห้งสนิทระหว่าง 610.74 ถึง 934.51 กรัม ความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated steam pressure) มีค่าระหว่าง 2 ถึง 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) และระยะเวลาในการสกัดมีค่าอยู่ระหว่าง 15 ถึง 180 นาที ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองสกัดที่ระยะเวลา ความดันไอน้ำและความชื้นของตะไคร้หอมซึ่งใช้ในการสกัดต่าง ๆ กัน โดยที่การทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ความชื้นของตะไคร้หอมคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตะไคร้หอมแห้งสนิทและระยะเวลาในการสกัดจะถูกควบคุมให้คงที่ประมาณ 45.8 % และ 30 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ความดันไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงจาก 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig) จนถึง 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สำหรับการทดลองที่ 6, 7, 8, 15, 16 และ 17 ความดันไอน้ำจะถูกควบคุมให้คงที่ประมาณ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในขณะที่ระยะเวลาในการสกัดและความชื้นของตะไคร้หอมเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 15 ถึง 180 นาที และ 16.8 ถึง 45.9 % ตามลำดับ ในขณะที่การทดลองที่ 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 ทั้งความดันไอน้ำและระยะเวลาในการสกัดจะถูกทำให้คงที่ประมาณ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 30 นาที ตามลำดับ จะมีเพียงความชื้นของตะไคร้หอมเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 33 ถึง 47 % ตลอดการทดลองทุกครั้ง น้ำเย็นที่อุณหภูมิห้องปกติจะถูกใช้เป็นตัวหล่อเย็น (coolant) สำหรับเครื่องควบแน่น โดยมีอุณหภูมิของไอสาร (vapor) ขณะเกิดการควบแน่นค่อนข้างคงที่กล่าวคือมีค่าอยู่ระหว่าง 26.5 ถึง 31.5 ^{o}C

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพบางประการของน้ำมันตะไคร้หอมที่สกัดได้ จะกระทำทำโดยกรรมวิธีมาตรฐานของ E.O.A. No. 12 ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี เช่นปริมาณ geraniol, citronellol และ citronellal ได้จากการวิเคราะห์ด้วย gas chromatograph สำหรับผลการวิเคราะห์หรือ chromatogram ต่าง ๆ นั้นจะแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งจะประกอบด้วยภาพที่ ข-1, ข-2, ข-3, ข-4, ข-5, ข-6, ข-7 และ ข-8 แสดง chromatogram ของน้ำมันที่ได้จากการทดลองที่ 5, 6, 8, 11, 15, 16 17 และตัวอย่างน้ำมันตะไคร้หอมจากเมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหา percentage ขององค์ประกอบที่สำคัญดังกล่าวข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 4-2 อย่างไรก็ดีรายละเอียดการคำนวณนี้จะแสดงให้ดูเป็นตัวอย่างดังปรากฏในภาคผนวก ข. เฉพาะการทดลองที่ 16 เท่านั้น นอกจากตัวอย่างของน้ำมันที่

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองสกัดน้ำมันตะไคร้หอมด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ

การทดลองที่	น้ำหนักตะไคร้สด กรัม	น้ำหนักตะไคร้แห้งสนิท กรัม	% ความชื้น	ความดันไอน้ำ	ระยะเวลาในการสกัด นาที	อุณหภูมิของไอน้ำ ^{o}C	น้ำหนักน้ำน้ำมันที่สกัดได้ กรัม
1.	1,271.2	688.86	45.81	15	30	121	3.0467
2.	1,414.4	766.46	45.81	30	30	135	3.2867
3.	1,415.2	766.90	45.81	40	30	143	3.2005
4.	1,371.6	743.27	45.81	2	30	107	1.2215
5.	1,128.7	610.74	45.89	20	30	127	3.4350
6.	1,229.2	665.12	45.89	20	15	127	2.0634
7.	1,398	756.46	45.89	20	45	127	4.2683
8.	1,236	715.15	42.14	20	60	127	5.0760
9.	1,260	729.04	42.14	20	30	127	3.6910
10.	1,573	832.75	47.06	20	30	127	4.1908
11.	1,331	883.65	33.61	20	30	127	4.4321
12.	1,395	934.51	33.01	20	30	127	3.7078
13.	1,227	818.04	33.33	20	30	127	3.6202
14.	1,264.5	855.94	32.31	20	30	127	3.7317
15.	1,195.7	727.583	39.15	20	90	127	5.6091
16.	1,069.2	734.63	31.29	20	120	127	6.2438
17.	1,064	885.23	16.80	20	180	127	7.4701

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

การทดลองที่	% yield ของน้ำมันที่สกัดได้	สีของน้ำมันที่สกัดได้	อุณหภูมิขณะควบแน่น ^{o}C	ปริมาณน้ำ จาก steam trap ml	ปริมาณน้ำ จาก condenser ml	หมายเหตุ
1	0.4423	เหลืองเข้ม	27	780	290	1 Pressure drop กว่า 20 psig เป็นเวลา 5 นาที
2	0.4288	เหลืองเข้ม	27	1,200	370	
3	0.4173	เหลืองอ่อน	28.5	1,370	450	
4	0.1643	เหลืองอ่อน	26.5	580	120	
5	0.5624	เหลืองใส	27.9	1,170	280	
6	0.3102	แดงอ่อน	31.5	840	140	2 Solenoid valve เสียในบางขณะ
7	0.5642	แดงอ่อน	29.3	1,550	395	
8	0.7093	แดงอ่อน	28	2,280	500	
9	0.5063	เหลืองใส	28.5	920	250	
10	0.5032	เหลืองน้ำตาล	29.5	1,170	260	
11	0.5016	เหลืองอ่อนใส	30	1,285	255	
12	0.3968[1]	เหลืองใส	29	1,240	255	
13	0.4425	เหลืองอ่อน	29.5	1,185	250	
14	0.4359[2]	เหลืองใส	28	1,595	315	
15	0.7809	เหลืองใส	29	2,350	770	
16	0.84992	เหลืองใส	30.5	3,250	1,050	
17	0.8440	เหลืองใส	30	4,410	1,430	

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีในเชิงปริมาณของน้ำมันตะไคร้หอมด้วย gas chromatograph

การทดลองที่	% Geraniol	% Citronellal	% Citronellol	% Total geraniol
5	38.14	26.04	12.02	64.18
6	29.29	36.22	12.11	65.51
8	35.26	27.00	12.35	62.26
11	32.08	35.44	12.78	67.52
15	43.31	34.34	16.23	77.65
16	50.43	22.18	15.95	72.61
17	35.55	24.50	9.90	60.05
บันดุง*	17.19	26.42	10.32	43.67

* ตัวอย่างน้ำมันตะไคร้หอมจากบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย

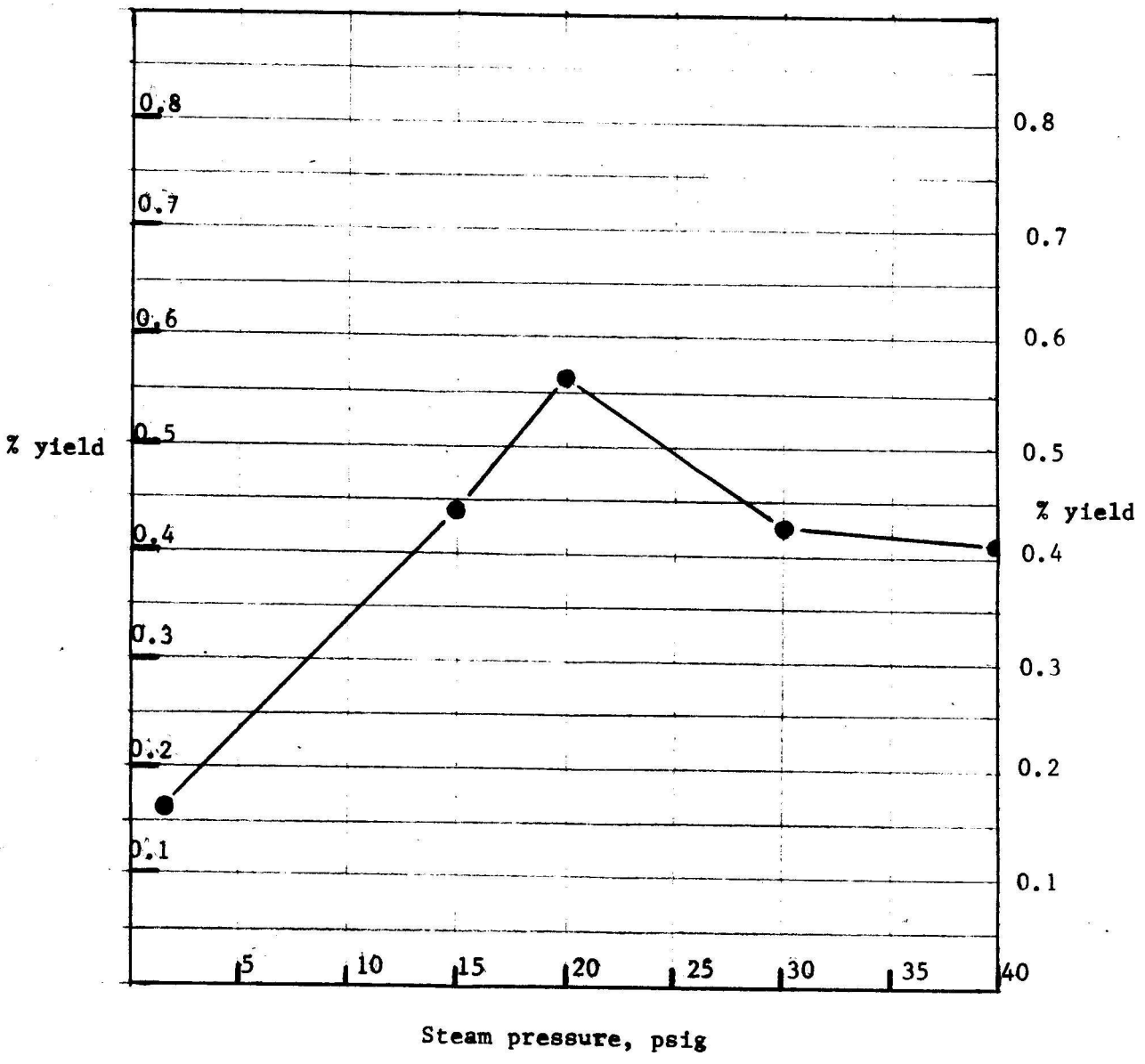
สกัดได้ในบางเงื่อนไขการทดลอง ยังได้ถูกนำมาวิเคราะห์ spectrum โดย IR spectrophotometer เปรียบเทียบกับ E.O.A. Spectrum เพื่อประโยชน์ในด้านการทดสอบยืนยัน (identification purposes) อีกด้วย ผลการวิเคราะห์ spectrum นี้แสดงโดยภาพที่ ค-1, ค-2, ค-3, ค-4 และ ค-5 ในภาคผนวก ค. สำหรับการทดลองที่ 8, 11, 15, 16 และ 17 ตามลำดับ อย่างไรก็ดีผลของทั้ง chromatogram และ spectrum ต่าง ๆ เหล่านี้ จะกล่าวถึงในบทการวิจารณ์ผลการทดลองนี้เท่าที่จำเป็นจริง ๆ เท่านั้น เพราะจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จะเน้นหนักในด้านการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์ในการผลิตน้ำมันตะไคร้หอมด้วยเครื่องสกัดไอน้ำแบบ steam distillation เท่านั้น ซึ่งตัวอย่างการคำนวณผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ง. การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (parameter) ต่าง ๆ ในลักษณะของกราฟจะใช้วิธีการทำ curve fitting โดยวิธีของ Lee H. Johnson(เอกสารอ้างอิงหมายเลข 8)ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันว่าเหมาะสมและให้ความถูกต้องแม่นยำสูง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำต่อ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้

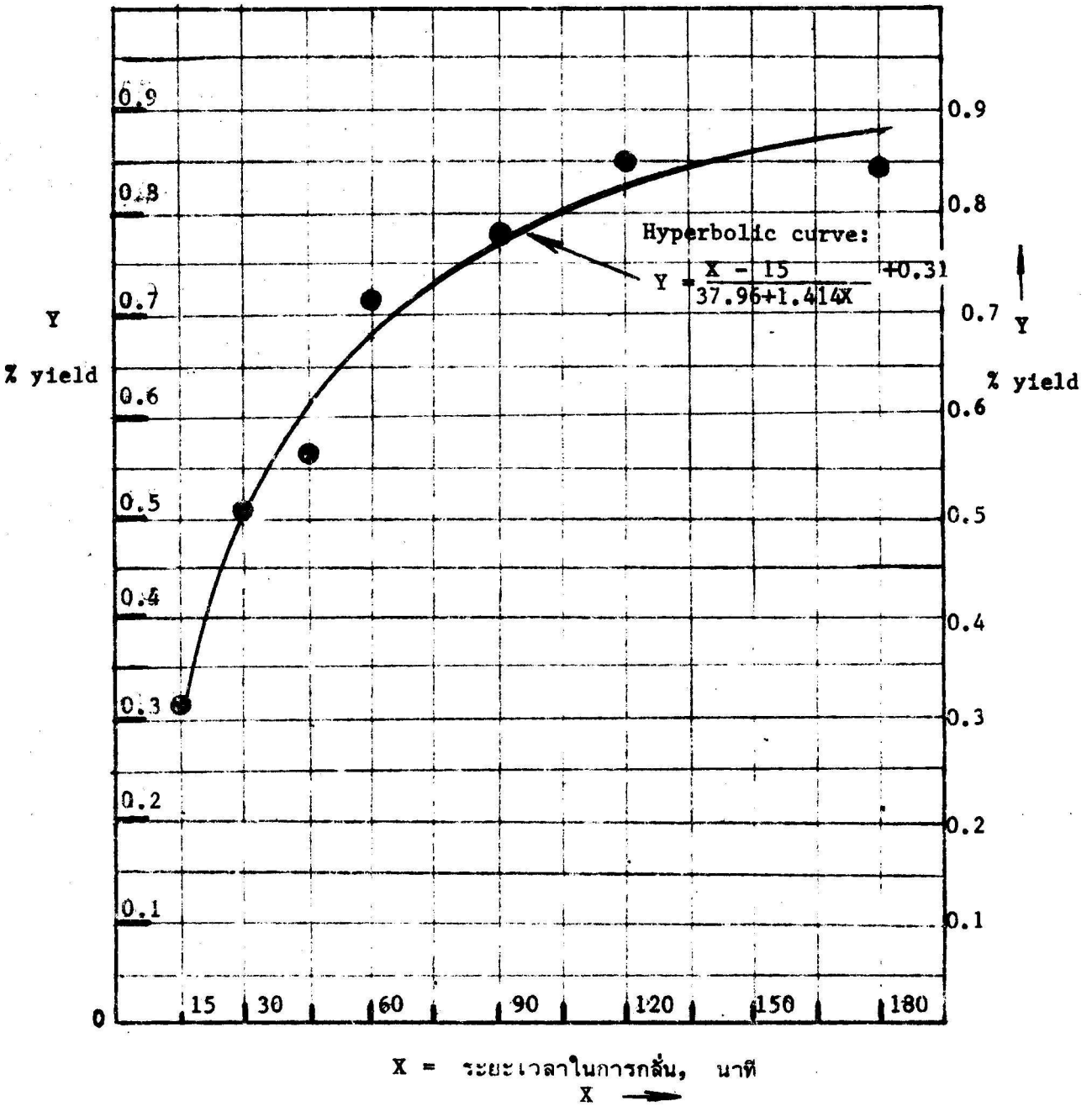
โดยอาศัยข้อมูลการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ในตารางที่ 4-1 ซึ่งปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตะไคร้หอมแห้งสนิท มีค่าคงที่ประมาณ 45.9 % และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 30 นาที ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำต่อ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ ซึ่งคิดในหน่วยน้ำหนักร้อยละของน้ำหนักตะไคร้หอมแห้งสนิทที่ใช้ในการกลั่นสามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 4-1 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการกลั่น จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเป็น 0.56 % ที่ความกดดัน 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) เมื่อเพิ่มความดันไอน้ำจาก 20 psig. ต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง 40 psig. ค่า % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน. ดังนั้นค่าความดันไอน้ำที่ 20 psig. กล่าวได้ว่าเหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองครั้งต่อไปสำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดในการสกัดต่อไป สาเหตุที่ % yield ลดต่ำลงเมื่อความกดดันไอน้ำสูงขึ้น เข้าใจว่าที่ความกดดันไอน้ำสูง ๆ อุณหภูมิในการสกัดจะสูงตามไปด้วย (โปรดพิจารณาตารางที่ 4-1) ทำให้ส่วนประกอบบางชนิดของน้ำมันหอมระเหยสลายตัวเนื่องจากความร้อนได้

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสกัดและ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้

ผลการทดลองที่ 6, 7, 8, 9, 15, 16 และ 17 จากตารางที่ 4-1 นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสกัดและ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ ดังแสดงในภาพที่ 4-2 ในกรณีนี้ความดันไอ



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำต่อ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสกัดและ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้

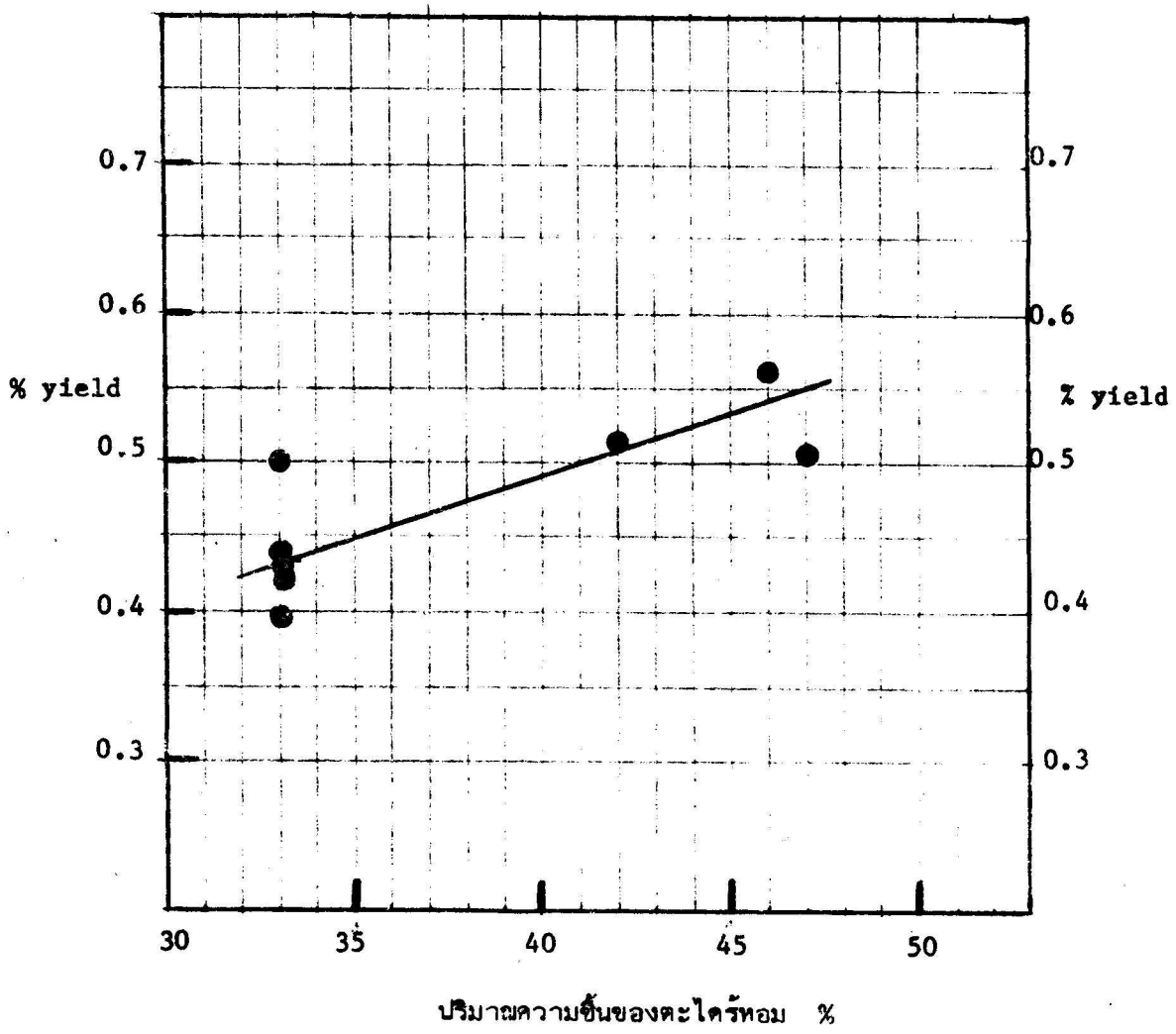
น้ำจะถูกควบคุมให้คงที่ประมาณ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) สำหรับทุกการทดลอง ผลการทดลองพบว่า % yield ของน้ำมันที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นระหว่าง 0 ถึง 45 นาที และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 ถึง 120 นาที การใช้ระยะเวลาในการกลั่นยาวนานกว่า 120 นาที (2 ชั่วโมง) จะไม่ทำให้ % yield เพิ่มขึ้นแต่อย่างไร ตรงกันข้ามการใช้ระยะเวลาการสกัดยาวนานเกินไป จะเป็นผลให้สิ้นเปลืองปริมาณไอน้ำ หรือค่าใช้จ่ายในการสกัดมากเกินความจำเป็น ระยะเวลาที่เหมาะในการสกัด ควรจะอยู่ระหว่าง 30 ถึง 120 นาที อย่างไรก็ดีระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดนี้จะต้องนำต้นทุนการสกัดหรือปริมาณไอน้ำที่ใช้ และคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้มาประกอบการพิจารณากับ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ด้วยเพื่อเลือกเงื่อนไขของระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดอย่างแท้จริง ซึ่งจะได้กล่าวอีกครั้งในหัวข้อ 4.4

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของตะไคร้หอมต่อ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้

ความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงในภาพที่ 4-3 โดยใช้ข้อมูลการทดลองที่ 5, 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 ซึ่งทั้งระยะเวลาในการสกัดและความดันไอน้ำมีค่าคงที่เท่ากับ 30 นาที และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) ตามลำดับ

จากภาพที่ 4-3 โดยการทำ curve fitting ด้วยวิธีการเฉลี่ยตามปกติ พบว่า % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ดูเหมือนว่าจะแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความชื้นของตะไคร้หอมที่ใช้ในการสกัด สำหรับช่วงปริมาณความชื้นในหน่วยน้ำหนักของน้ำซึ่งระเหยได้ของตะไคร้หอมต่อน้ำหนักแห้งสนิทของตะไคร้หอมที่ใช้ในการกลั่นคูณด้วย 100 มีค่าอยู่ระหว่าง 33 % ถึง 47 % อย่างไรก็ดีข้อมูลการสกัดที่ % ความชื้นประมาณ 33 % จะให้ผลลัพธ์ของ % yield แตกต่างกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองที่ 11 จะให้ % yield เท่ากับ 0.5 % ต่างจากการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมี % ความชื้นเท่ากันเป็นอย่างมาก เป็นที่น่าเสียดายที่จำนวนการทดลองเหล่านี้มีน้อยเกินไปที่จะยืนยันความสัมพันธ์ระหว่าง % yield และ % ความชื้นดังกล่าวได้ ดังนั้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จึงควรจะทำการศึกษายืนยันอีกครั้งในการทำวิจัยครั้งต่อไป

นอกจากนี้การดำเนินการทดลองกับตะไคร้หอมที่อยู่ในสภาพสดใหม่และมีปริมาณความชื้นสูงกว่า 47 % ก็ไม่สามารถกระทำได้ ทั้งที่ควรจะทำการศึกษาเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เป็นเพราะในระหว่างการลำเลียงตะไคร้หอมสดจากสถานีทดลองพืชเมืองหนาวของ ส.ว.ป. ที่จังหวัดเชียงใหม่ มายังมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อทำการ-



ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของตะไคร้หอมต่อ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้

ทดลองสกัดนี้ จะต้องใช้ระยะเวลาในการเดินทางประมาณ 3 วัน ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าปริมาณความชื้นจำนวนหนึ่งจะสูญเสียไปในขณะทำการขนส่ง

4.4 ผลของเงื่อนไขต่าง ๆ ต่อ % yield และคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ (quantitative) และในเชิงคุณภาพ (qualitative) ของน้ำมันตะไคร้หอมที่สกัดได้ โดย gas chromatograph แสดงในภาพที่ ข-1, ข-2, ข-3, ข-4, ข-5, ข-6 ข-7,และ ข-8 รายละเอียดในเชิงปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญซึ่งวิเคราะห์โดย gas chromatograph เช่น % geraniol, % citronellol และ % citronellal จากภาพต่าง ๆ ดังกล่าวนี้สรุปไว้ในตารางที่ 4-2 และคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญบางประการ แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 4-3

จาก chromatogram ต่าง ๆ เหล่านี้ และข้อมูลในตารางที่ 4-2 พบว่าองค์ประกอบเคมีที่น่าสนใจมีเพียง 3 ชนิดด้วยกันกล่าวคือ citronellal, citronellol และ geraniol ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตามเงื่อนไขต่าง ๆ มี percentage ขององค์ประกอบเหล่านี้แตกต่างกัน แต่เนื่องจากตลาดที่ต้องการน้ำมันตะไคร้หอมนี้จะพิจารณา percentage ของ geraniol เป็นสำคัญและมูลค่าราคาของ geranoil ก็สูงกว่าองค์ประกอบเคมีชนิดอื่น ๆ ด้วย[VI] ดังนั้นเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 16 ซึ่งให้ น้ำมันที่มี percentage ของ geraniol สูงสุดถึง 50.43 % และให้ % yield สูงถึง 0.85 (โปรดพิจารณาตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2) จึงควรจะได้รับความสนใจมากกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ กล่าวได้ว่าเงื่อนไขในการสกัดที่ความดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 120 นาที ปริมาณความชื้นเท่ากับ 31.3 % และอุณหภูมิขณะทำการควบแน่นเท่ากับ 30.5 ^{o}C จะให้ % yield ปริมาณ geraniol สูงสุด ทั้งยังให้ปริมาณ total geraniol สูงถึง 72.61 % ซึ่งเป็นที่คาดหมายได้ว่า คุณภาพของน้ำมันที่ได้นี้ควรจะดีด้วย

อย่างไรก็ดี, เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ total geraniol ของการสกัดโดยเงื่อนไขการทดลองต่างๆ ในตารางที่ 4-2 แล้ว พบว่าเงื่อนไขของการทดลองที่ 15 จะให้ปริมาณ total geraniol สูงสุดถึง 77.65 % และเงื่อนไขการทดลองที่ 11 ให้ปริมาณ total geraniol สูงถึง 69.52 % ทั้งนี้การทดลองสกัดทั้งสองเงื่อนไข

VI เรื่องเดิมหน้า 3

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของน้ำมันตะไคร้หอมที่สกัดได้

	รายละเอียดเกี่ยวกับค่าคงที่ทางกายภาพ
1. สีและกลิ่น	สีเหลืองอ่อนหรือน้ำตาลอ่อน, ใส, มีกลิ่นคล้ายสารประกอบอัลดีไฮด์ (aldehydic odor)
2. ความถ่วงจำเพาะที่ 25/25 °C	0.8960
3. Optical rotation at 20 °C	- 0.2 °
4. Refractive index at 20 °C*	1.4741, 1.4722, 1.4734. 1.4746 และ 1.4740 สำหรับการทดลองที่ 5, 11, 15, 16 และ 17 ตามลำดับ
5. ความสามารถในการละลายในสารละลายอัลกอฮอล์	ทุกตัวอย่างน้ำมันตะไคร้หอมละลายได้สารละลายใสในอัลกอฮอล์ 70 % ที่ 4 ถึง 10 ปริมาตรอัลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 1 ปริมาตร

* Refractive index at 20 °C ของน้ำมันตะไคร้หอมจากบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าเท่ากับ 1.4640

ใช้ความดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) โดยมีระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 90 และ 30 นาที ตามลำดับ การมีปริมาณ total geraniol และ % geraniol ในน้ำมันสูงมากขึ้นเพียงไรก็หมายความว่าคุณภาพของน้ำมันจะสูงมากขึ้นเพียงนั้น ดังนั้น ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 90 และ 30 นาที จึงควรจะได้รับความสนใจรองลงมาจากระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 120 นาที อนึ่ง เมื่อคำนึงถึงความสิ้นเปลืองไอน้ำที่ใช้ในการสกัด (โปรดพิจารณาตารางที่ 4-1) จะพบว่า ที่ระยะเวลาการสกัด 120 นาที จะใช้ประมาณไอน้ำในการสกัดเท่ากับ 1,050 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตะไคร้แห้งสนิท 734.63 กรัม หรือ 1.43 กิโลกรัมต่อ 1 กิโลกรัมของตะไคร้หอมแห้งสนิท มากกว่าการใช้ระยะเวลาในการสกัดที่ 90 และ 30 นาที ถึง 1.35 และ 4.96 เท่าตามลำดับ ดังนั้นเงื่อนไขการสกัดที่ระยะเวลา 120 นาที อาจจะไม่ใช่เงื่อนไขที่ดีที่สุดหากจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายคิดในเทอมของปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการสกัดสูงจนไม่คุ้มกับการลงทุน เงื่อนไขในการสกัดที่เหมาะสมจึงควรจะเป็นเงื่อนไขที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ในขณะที่ระดับ % yield และคุณภาพของน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ดีพอที่จะสามารถแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่น ๆ ในท้องตลาดได้ รายละเอียดเกี่ยวกับเงื่อนไขที่คุ้มและไม่คุ้มนี้จะกล่าวถึงอีกครั้งหนึ่งในหัวข้อ 4.7

อนึ่งสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอมด้วย gas chromatograph ดังปรากฏผลการวิเคราะห์ในภาพต่าง ๆ ของภาคผนวก ข. ซึ่งนำมาสรุปผลได้ดังแสดงในตารางที่ 4-2 นี้นั้น มีข้อน่าสังเกตว่าทั้ง % total geraniol, % geraniol และ % citronellal มีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานของ E.O.A. สำหรับน้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวา (โปรดพิจารณาตารางที่ 2-1) เสมอ ทั้งที่ใช้ตะไคร้พันธุ์เดียวกันกับที่ปลูกในชวา [Cymbopogon Nardus (Rendle)] เป็นวัตถุดิบในการสกัด และเมื่อนำตัวอย่างน้ำมันตะไคร้จากเมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย มาวิเคราะห์โดย gas chromatograph ก็พบว่ามีคุณภาพด้อยกว่าน้ำมันที่ได้จากการทดลองในการสกัดจากงานวิจัยนี้มาก สิ่งที่สำคัญคือตัวอย่างน้ำมันที่ส่งไปทำการวิเคราะห์โดย gas chromatograph มีปริมาณเพียง 8-10 มิลลิลิตรสำหรับแต่ละตัวอย่างเท่านั้น อีกทั้งยังมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นการยากมากที่จะแยกเอาน้ำและสิ่งเจือปนออกได้อย่างสมบูรณ์ จึงเป็นที่สงสัยว่า % total geraniol, % geraniol และ % citronellal ที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานนี้น่าจะเกิดจากการมีน้ำและสิ่งเจือปนดังกล่าวข้างต้นปะปนในตัวอย่างน้ำมันขณะทำการทดสอบคุณภาพ จากสาเหตุและผลลัพธ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ควรจะเป็นที่คาดหวังได้ว่า คุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้จากงานวิจัยนี้ ควรจะดีกว่าผลการวิเคราะห์คุณภาพด้วย gas chromatograph ที่ปรากฏในตารางที่ 4-2

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) บางอย่างของน้ำมันตะไคร้หอมที่สกัดได้ จากตารางที่ 4-3 จะพบว่าค่า refractive index ที่ 20 ^{o}C ของน้ำมันสกัดที่เงื่อนไขต่าง ๆ กัน

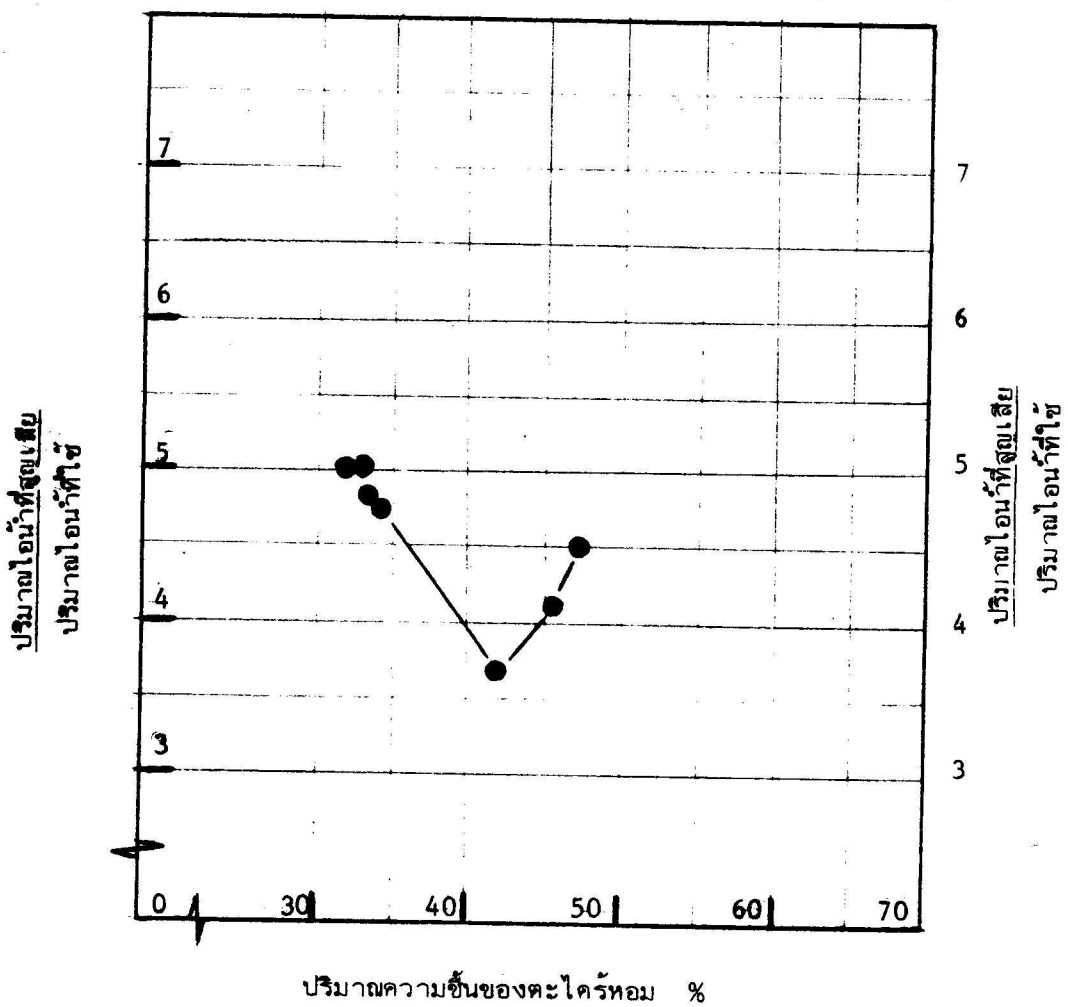
จะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และมีค่าใกล้เคียง 1.4740 มากกว่า 1.4640 ซึ่งเป็นค่า refractive index ของตัวอย่างน้ำมันตะไคร้หอมจากเมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย เมื่อเปรียบเทียบ refractive index เหล่านี้กับ refractive index ตามข้อกำหนดมาตรฐานในตารางที่ 2-1 ปรากฏว่า refractive index ของน้ำมันตะไคร้หอมที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีค่าใกล้เคียง 1.4730 ซึ่งเป็นขีดจำกัดสูงสุดตามมาตรฐาน E.O.A. สำหรับน้ำมันตะไคร้หอมชนิดชวา [Cymbopogon Nardus (Rendle)] ในขณะที่ refractive index ของตัวอย่างน้ำมันตะไคร้หอมจากบันดุง มีค่าต่ำกว่า 1.4660 ซึ่งเป็นขีดจำกัดต่ำสุดตามมาตรฐาน E.O.A. สำหรับน้ำมันชนิดชวา โดยปกติแล้ว refractive index ที่สูงกว่า จะเป็นปัจจัยหนึ่งในหลายปัจจัยที่แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยมีคุณภาพดีกว่า ดังนั้นเป็นที่น่าเชื่อได้ว่า น้ำมันตะไคร้หอมที่ทำการทดลองสกัดได้นี้จะมีคุณภาพสูงกว่าน้ำมันตะไคร้หอมที่สกัดจากเมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งสกัดจากตะไคร้หอมพันธุ์ Cymbopogon Nardus ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีปริมาณน้ำมันมากขึ้น[VII] ปริมาณของ total geraniol ของตัวอย่างน้ำมันจากบันดุง ในตารางที่ 4-2 ซึ่งมีค่าเพียง 43.67 % น้อยกว่าปริมาณ total geraniol ที่ทำการสกัดโดยคณะผู้ทำวิจัยนี้ได้ยืนยันยืนยันอีกครั้งหนึ่งว่าน้ำมันตะไคร้หอมที่ได้จากการวิจัยนี้มีคุณภาพดีกว่าตัวอย่างน้ำมันจากบันดุง อย่างไรก็ดี, เนื่องจากตัวอย่างน้ำมันจากบันดุงได้ถูกเก็บไว้ในขวดเป็นเวลาหลายเดือนก่อนนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนั้น ค่า refractive index และปริมาณ total geraniol จึงอาจจะต่ำกว่าความเป็นจริงก็ได้

สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25/25 ^{o}C และ optical rotation ที่ 20 ^{o}C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.8960 และ -0.2 ^{o} ตามลำดับ จากตารางที่ 4-3 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ จากตารางที่ 2-1 แล้ว จะเห็นได้ว่า ค่าความถ่วงจำเพาะและ optical rotation มีค่าใกล้เคียงและตรงตามมาตรฐาน E.O.A. ตามลำดับ

4.5 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนไอน้ำที่สูญเสียต่อไอน้ำที่ใช้ในการสกัด และปริมาณความชื้นของตะไคร้หอม</u>

จากข้อมูลในตารางที่ 4-1 สำหรับการทดลองที่ความดันไอน้ำและระยะเวลาในการสกัดคงที่เท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) และ 30 นาทีตามลำดับ ซึ่งได้แก่การทดลองที่ 5, 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 อัตราส่วนของน้ำที่เก็บได้จากเครื่องควบแน่น (condenser) หรือปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการสกัดต่อน้ำที่เก็บได้จากเครื่องดักไอน้ำ (steam trap) หรือปริมาณไอน้ำที่สูญเสียขณะทำการสกัด และ % ความชื้นของตะไคร้หอมสามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 4-4 ซึ่งจะเป็นได้ชัดเจนว่า ที่ปริมาณความชื้นสูง ๆ เช่นในช่วง 45-47 % อัตราส่วนของไอน้ำที่สูญเสีย ต่อไอน้ำที่ใช้จะมีค่าสูงถึงประมาณ 4.5 และจะลดลงต่ำลงเป็น 3.7 เมื่อความชื้น

VII จากการสอบถาม ดร.ผรงค์ โฆมเฉลา, ส.ว.ป. : กรุงเทพ ฯ



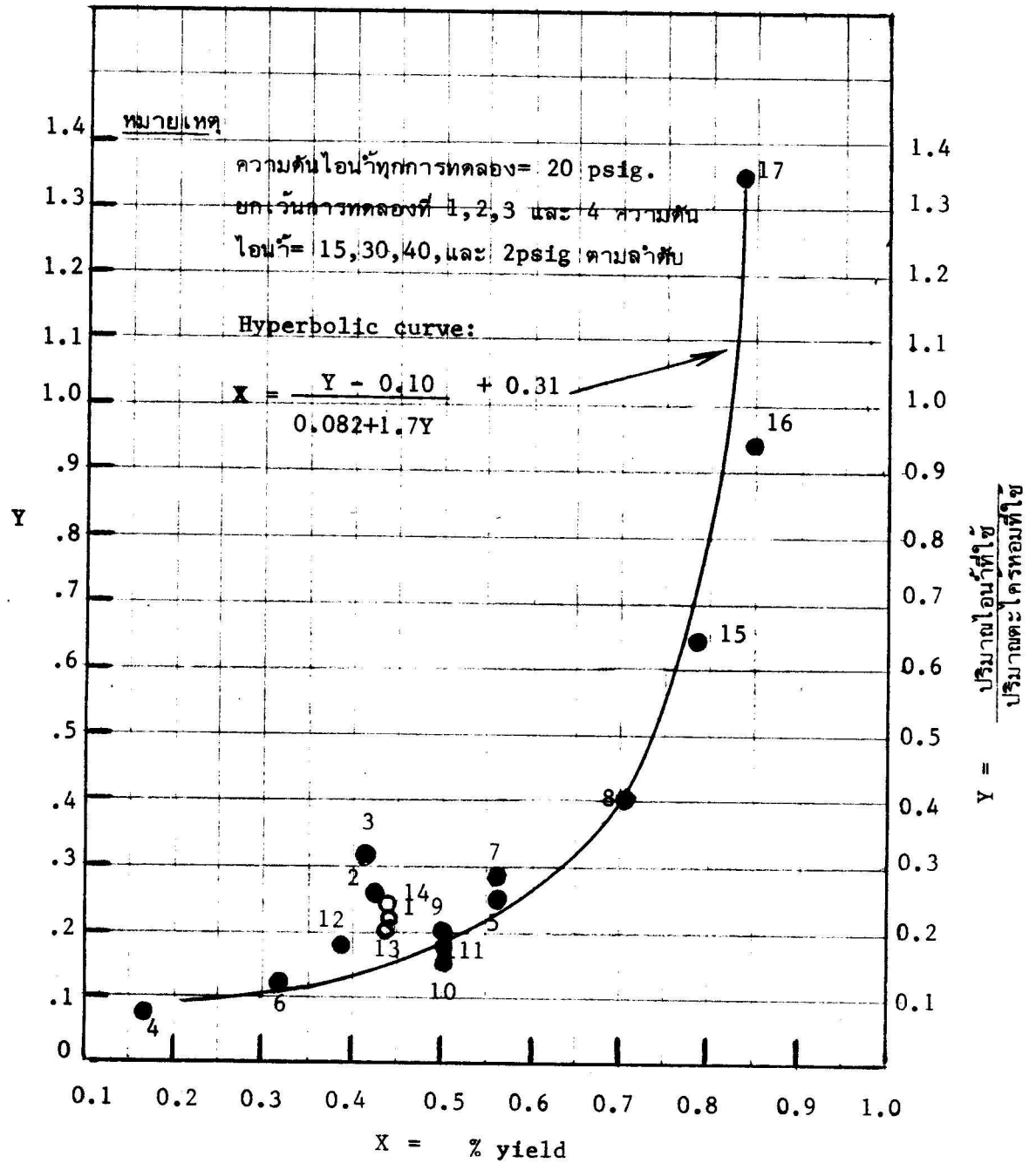
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนไอน้ำที่สูญเสียต่อไอน้ำที่ใช้ในการสกัดและปริมาณความชื้นของตะไคร้หอม

ลดลงเป็น 42 % การลดปริมาณความชื้นลงต่อไปอีก จะมีผลให้อัตราส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เข้าใจว่า ที่ % ความชื้นสูง ๆ หรือเมื่อน้ำตะไคร้ค่อนข้างสดมาสกัด ไอน้ำที่ใช้ในการสกัดส่วนใหญ่จะสูญเสียความร้อนให้แก่น้ำซึ่งมีอยู่ในปริมาณมากในเซลของตะไคร้หอม เป็นเหตุให้ต้องสูญเสียไอน้ำในปริมาณมาก สำหรับการสิ้นเปลืองไอน้ำในปริมาณมาก เมื่อน้ำตะไคร้แห้งจนเกินไป (% ความชื้นต่ำ ๆ เช่นประมาณ 30–35 % สำหรับกรณีนี้) มาสกัด เข้าใจว่าไอน้ำซึ่งซึมแทรก (penetrate) ผ่านผนังเซล (cell wall) เข้าไปภายใน cell ของพืชจะควบแน่นเป็นน้ำ และโดยที่ภายในเซลของพืชมีปริมาณน้ำอยู่น้อยมาก (เพราะ % ความชื้นต่ำ) ดังนั้น จึงมีน้ำซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำภายในเซลพืช ตกค้างอยู่ภายในเซลเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นการเพิ่มความชื้นให้แก่ตะไคร้หอมโดยปริยาย ในที่สุดเมื่อปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ภายในเซลพืชมีมากเกินความพอดี ก็จะเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับกรณีน้ำตะไคร้ค่อนข้างสดมาสกัด กล่าวคือ อัตราส่วนไอน้ำที่สูญเสียต่อไอน้ำที่ใช้จะมีค่าสูงขึ้น

การวิจัยนี้บอกเราได้ว่าปริมาณความชื้นมีอิทธิพลต่อความสิ้นเปลืองไอน้ำที่ใช้ในการสกัดเป็นอย่างมาก ความชื้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดซึ่งแตกต่างกันเพียง 4–5 % มีผลให้อัตราส่วนไอน้ำที่สูญเสียต่อไอน้ำที่ใช้แตกต่างกันอย่างเด่นชัด สำหรับการทดลองที่เงื่อนไขความดันไอน้ำ 20 psig. ระยะเวลาเท่ากับ 30 นาทีนี้ ความชื้นของตะไคร้ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 42 %

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัดต่อน้ำหนักตะไคร้ที่ใช้ในการสกัด และ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้

ด้วยการใช้ข้อมูลของทุกการทดลอง ในตารางที่ 4–1 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการสกัดซึ่งควบแน่นในเครื่องควบแน่นต่อหน่วยน้ำหนักเป็นกิโลกรัมของตะไคร้หอมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และ % yield สามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 4–5 ตลอดงานวิจัยนี้ ความสัมพันธ์ดังกล่าวดูเหมือนจะเป็นเส้นโค้งของ hyper–bolic curve. ซึ่งสามารถให้สมการเอ็มพิริกัล (empirical equation) ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองที่ 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,และ 17 ซึ่งมีค่าความดันไอน้ำที่ใช้ในการสกัดคงที่เท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 16.8 % ถึง 45.9 % และระยะเวลาในการสกัดอยู่ในช่วง 30 ถึง 180 นาที. จากการอภิปรายผลการวิจัยในหัวข้อ 4.3 เราพบว่า % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ น่าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความชื้นของตะไคร้หอม และจากการอภิปรายผลการทดลองในหัวข้อ 4.5 สรุปได้ว่า เมื่อความชื้นของตะไคร้หอมที่ใช้สกัดมีค่าสูงหรือต่ำมากเกินพอดี จะทำให้สูญเสียไอน้ำที่ใช้ในการสกัดเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ ในการที่จะทำการสกัดเพื่อให้ได้ % yield เท่าเดิม. ผลการอภิปรายดังกล่าว



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัดต่อน้ำหนักตะไคร้ที่ใช้ในการสกัดและ % yieldของน้ำมันที่สกัดได้

นี้สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่แสดงในภาพที่ 4-5 กล่าวคือที่ความดันไอน้ำและระยะเวลาในการสกัดคงที่เท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 30 นาที ตามลำดับ การทดลองที่ 12, 13 และ 14 (% ความชื้นประมาณ 33 %) จะให้ % yield ของน้ำมันตะไคร้หอมได้น้อยกว่าผลลัพธ์จากการทดลองที่ 5, 9,และ 10 (% ความชื้นอยู่ระหว่าง 42 % ถึง 47 %) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ตัวอย่างตะไคร้หอมที่มีความชื้นและ % yield ต่ำ ๆ จะทำให้สิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัดน้อยกว่าตัวอย่างตะไคร้หอมที่มีความชื้นสูง และต้องการ % yield สูง ๆ

อย่างไรก็ดี ดูเหมือนว่าความชื้นเพียงอย่างเดียวจะไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัด ปัจจัยที่สำคัญในกรณีนี้คือระยะเวลาในการสกัด ซึ่งแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อ % yield ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.2 จากภาพที่ 4-5 ทุก ๆ จุดของการทดลองภายใต้ความดัน 20 psig. จะแสดงความสัมพันธ์ของความสิ้นเปลืองไอน้ำต่อน้ำหนักตะไคร้หอมที่ใช้ในการสกัด และ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ในลักษณะ parabolic curve. สำหรับการทดลองที่กระทำภายใต้ความกดดันอื่น ๆ ก็มีส่วนคล้อยตามลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวเช่นกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าการทดลองที่ 2 และ 3 ซึ่งใช้ความกดดันในการสกัดเท่ากับ 30 และ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาในการสกัดคงที่เท่ากับ 30 นาที จะให้ผลลัพธ์เบี่ยงเบนไปจาก exponential curve มาก จึงเป็นที่น่าเชื่อว่า ความกดดันไอน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัดมาก กล่าวคือเมื่อใช้ความกดดันไอน้ำสูงขึ้นจากเดิม ความสิ้นเปลืองไอน้ำก็จะมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นกัน

จากภาพที่ 4-5 ช่วงของ % yield ที่ควรจะกำหนดไว้ในการดำเนินการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม โดยให้มีความสิ้นเปลืองไอน้ำต่อน้ำหนักตะไคร้หอมที่ใช้ในการสกัดในปริมาณน้อย ๆ ควรจะอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.75 % อย่างไรก็ดี, ที่ % yield สูง ๆ เช่นระหว่าง 0.75 ถึง 0.85 % (การทดลองที่ 15, 16 และ 17)คุณภาพของน้ำมันที่ได้จะดีกว่าน้ำมันที่สกัดโดยใช้เงื่อนไข % yield ต่ำ ๆ มาก (โปรดพิจารณาตารางที่ 4-2) หมายความว่าราคาของน้ำมันที่ได้นี้จะมีราคาแพงกว่าน้ำมันที่สกัดโดยใช้ % yield ต่ำ ๆ ดังนั้น % yield ที่ควรจะเลือกใช้ในการสกัด จึงควรจะตัดสินด้วยค่าใช้จ่ายในการสกัดคิดจากความสิ้นเปลืองไอน้ำ และมูลค่าของน้ำมันที่ผลิตได้ซึ่งขึ้นอยู่กับ % yield และคุณภาพของน้ำมันที่ได้ประกอบกัน

อนึ่ง ความสิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัดนี้ คิดจากปริมาณไอน้ำที่ควบแน่นในเครื่องควบแน่น (condenser) เท่านั้น ไม่ได้รวมเอาปริมาณไอน้ำที่ได้จากเครื่องดักไอ (steam trap) มาคิดคำนวณด้วย ทั้งนี้ก็เพราะ

ไอน้ำจากเครื่องต้มไอนี้ไม่ใช่ไอน้ำที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมโดยตรง แต่เป็นไอน้ำที่สูญเปล่าเนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อนของไอน้ำขณะทำการกลั่น ไอน้ำที่สูญเสียนี้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และกรรมวิธีการผลิตเป็นสำคัญ ดังนั้น เราอาจจะแก้ไขการสูญเสียไอน้ำจำนวนนี้ได้โดยมาตรการต่าง ๆ และเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดในหัวข้อ 4.7

4.7 เงื่อนไขที่เหมาะสมและมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต

นำข้อมูลเกี่ยวกับเงื่อนไขต่าง ๆ ในการสกัดและปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการสกัด ซึ่งเก็บได้จากเครื่องควบแน่น จากตารางที่ 4-1 มาคำนวณมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกลั่นได้ดังแสดงในตารางที่ 4-4 ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง. การคำนวณมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการสกัดนี้ อยู่บนพื้นฐานของการใช้ไอน้ำอิ่มตัว (saturated steam) ซึ่งได้จาก packaged boiler ที่ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นเชื้อเพลิง โดยมีประสิทธิภาพของ boiler เท่ากับ 80 % จากข้อมูลในตารางที่ 4-4 พบว่าที่เงื่อนไขของการทดลองที่ 16 ซึ่งจะให้ % geraniol สูงสุด 50.43 % จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการสกัดถึง11.331 กิโลกรัม หรือ 67.99 บาท ต่อการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร ในขณะที่เงื่อนไขการทดลองที่ 5, 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยตลอด 7 การทดลองเพียง 4.72707 กิโลกรัม หรือ 28.36 บาทต่อน้ำมันตะไคร้หอม ลิตร เท่านั้น

เนื่องจากราคาของน้ำมันตะไคร้หอมในท้องตลาด ซึ่งปรากฏในตารางที่ 1-1 สามารถจะจัดระดับราคาออกได้ 3 ระดับอย่างหยาบ ๆ กล่าวคือ ระดับราคาสูงมีค่าอยู่ระหว่าง 284.5 ถึง 347 บาทต่อลิตร (มูลค่าราคา C.I.F.) สำหรับน้ำมันที่มีคุณภาพสูง ระดับราคากลางมีค่าอยู่ระหว่าง 71.30 ถึง 94.40 บาทต่อลิตร และระดับราคาต่ำมีค่าอยู่ระหว่าง 37.21 ถึง 62 บาทต่อลิตร

เป็นที่เข้าใจโดยผู้เขียนว่ากลุ่มราคาทั้ง 3 ระดับนี้จะแบ่งออกสอดคล้องกับระดับคุณภาพของน้ำมันตะไคร้หอม ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ระดับ เช่นกัน[VIII] กล่าวคือ Contract "A", Contract "B" และ Contract "C" ตามลำดับ ดังนั้น หากคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้โดยเงื่อนไขการทดลองที่ 16 สามารถจัดอยู่ในระดับ Contract "A" ได้ก็จะคุ้มต่อการลงทุนเป็นอย่างยิ่ง แต่เนื่องจากผลการวิเคราะห์ % citronellal

---

VIII เรื่องเดิมหน้า 14

ตารางที่ 4-4 ปริมาณไอน้ำและมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร

การทดลองที่	เงื่อนไขการสกัด		คุณภาพของน้ำมันที่ได้		% yield ของน้ำมันที่สกัดได้	น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับ boiler[ก] ในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร		หมายเหตุ*
	ความดันไอน้ำ psig	ระยะเวลาในการสกัด;นาที	% Geraniol	% total geraniol		ปริมาณ, kg	มูลค่า, บาท[ข]	
1	15	30			0.4423	6.4133	38.48	ก
2	30	30			0.4288	7.5856	45.51	คิดจากปริมาณไอน้ำจากเครื่อง
3	40	30			0.4173	9.4746	56.85	ควบแน่นเท่านั้น
4	2	30			0.1643	6.6211	39.73	
5	20	30	38.14	64.18	0.5624	5.4927	32.96	
6	20	15	29.29	65.51	0.3102	4.5721	27.43	ข
7	20	45			0.5642	6.2361	37.42	คิดตามราคาน้ำมันดีเซลหมุน
8	20	60	35.26	62.26	0.7098	6.6370	39.82	เร็ว กิโลกรัมละ 6 บาท
9	20	30			0.5063	4.5637	27.38	
10	20	30			0.5032	4.1807	25.08	
11	20	30	32.08	67.52	0.5016	3.8765	23.26	ค
12	20	30			0.3968[ค]	4.6336	27.80	ความดันต่ำกว่า
13.	20	30			0.4425	4.6536	27.92	เป็นเวลา 5 นาที
14	20	30			0.4359[ง]	5.6887	34.13	
15	20	90	43.31	77.65	0.7809	9.1316	54.79	
16	20	120	50.43	72.61	0.84992	11.331	67.99	ง
17	20	180	35.55	60.05	0.8440	12.8965	77.38	Solenoid valve เสียใน
								บางขณะ

ด้วย gas chromatograph[IX] พบว่ามีค่าเพียง 22.18 % เท่านั้น จึงไม่อาจเชื่อได้ว่าเงื่อนไขการทดลองที่ 16 นี้ จะให้น้ำมันที่มีระดับคุณภาพ Contract "A" โดยตรงได้ หนทางที่อาจเป็นได้สำหรับกรณีนี้คือการนำเอาน้ำมันหอมระเหยจากเงื่อนไขนี้ไปทำการสกัดใหม่ เพื่อเพิ่มปริมาณ total geraniol จากเดิม 72.61 % (โปรดพิจารณาตารางที่ 4-2) ให้มีค่ามากกว่า 85 % ตามมาตรฐาน Contract "A" ก็จะมีผลให้ % citronellal สูงเข้าสู่ระดับคุณภาพนี้ได้ ทั้งยังเป็นการเพิ่ม % geraniol ให้สูงขึ้นกว่าเดิมด้วย

เนื่องจากตัวอย่างน้ำมันตะไคร้หอมที่นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี ด้วย gas chromatograph เป็นที่คาดหมายว่ามีปริมาณน้ำและสิ่งเจือปน (impurities) ปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นปริมาณ total geraniol, % geraniol และ % citronellal จึงต่ำกว่าความเป็นจริงมาก[X] หรือเป็นที่น่าเชื่อว่าคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้จากงานวิจัยนี้จะดีกว่าที่เป็นอยู่ในขณะนี้ หมายความว่าโอกาสที่จะคุ้มต่อการลงทุนสกัดน้ำมันตะไคร้หอมในทางการค้าควรจะมีมากยิ่งขึ้น

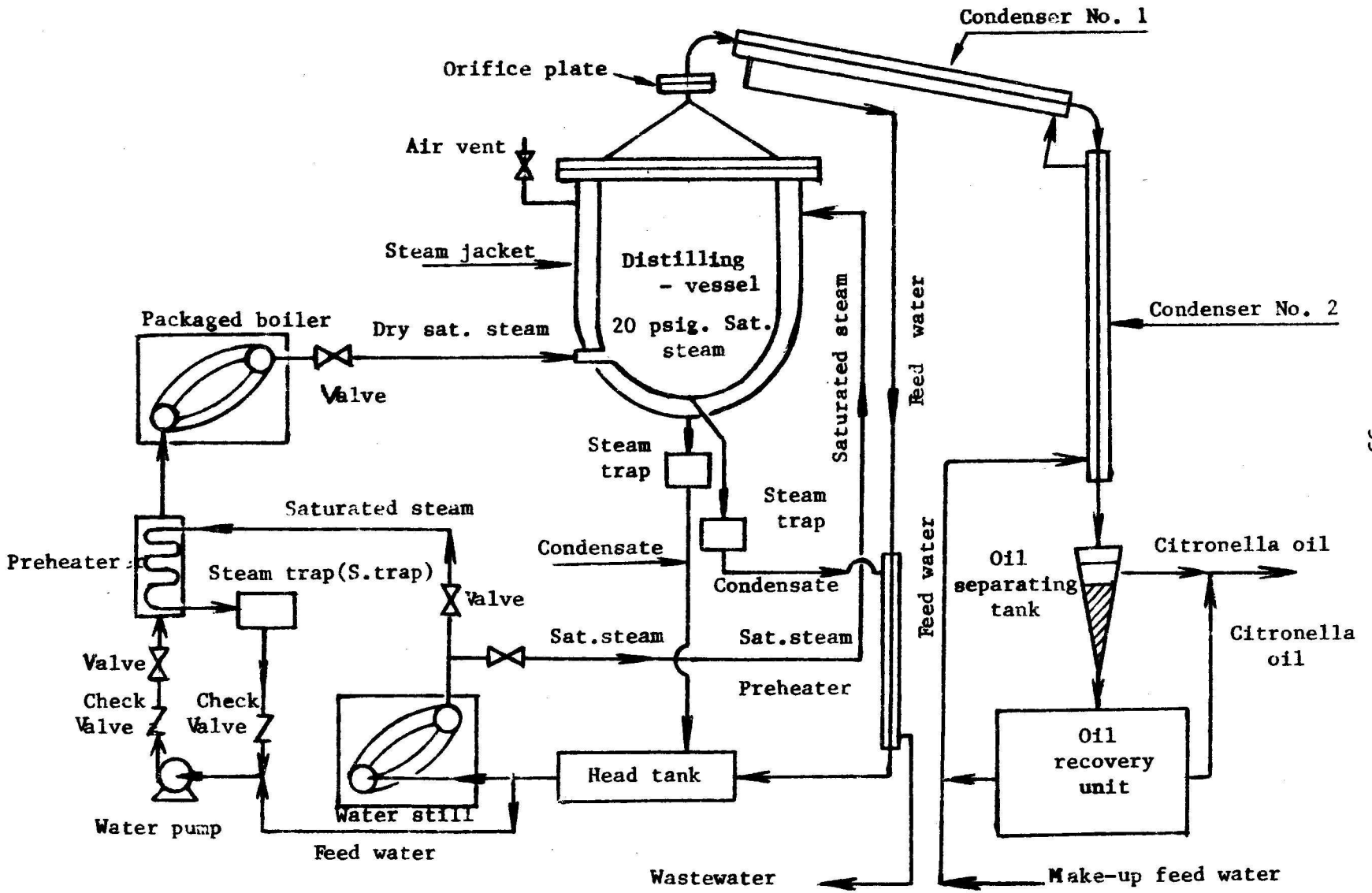
เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการสกัดที่ 5, 9 ถึง 14 พบว่ามูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้โดยเฉลี่ยมีค่าเพียง 28.36 บาทต่อการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร เปรียบเทียบราคาขายสำหรับระดับราคากลางระหว่าง 71.30 ถึง 94.40 บาท แล้วก็มีกำไรเพียงพอที่จะดำเนินการสกัดในเชิงการค้าได้เช่นกัน แต่หากน้ำมันที่ได้มีคุณภาพต่ำและราคาขายจัดอยู่ในระดับต่ำสุด (ราคาขายลิตรละ 37.21 ถึง 62 บาท) ถึงแม้ว่ายังคงได้กำไรอยู่บ้างแต่ก็ไม่คุ้มต่อการลงทุนแต่อย่างไร นอกจากจะดัดแปลง boiler ให้ใช้แกลบ, ไม้ฟืน, ขี้เลื่อย หรือกากตะไคร้หอมซึ่งผ่านการสกัดแล้ว ซึ่งหาได้ในราคาถูกหรือได้มาเปล่า ๆ เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเชื้อเพลิง

วิธีการที่จะทำให้ความหวังในการลงทุนในกิจการอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมเป็นจริงขึ้นมาได้นั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญสองประการ กล่าวคือ ต้นทุนการผลิตและราคาขายหรือคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ในด้านการลดต้นทุนการผลิตนั้นอาจจะทำได้โดยการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ตะไคร้ ให้มี % yield และคุณภาพของน้ำมันดีขึ้น นอกเหนือจากการปรับปรุงกรรมวิธีการสกัดซึ่งพยายามทุกวิถีทางเพื่อลดต้นทุนการสกัดให้มากที่สุด แผนผังของโรงงานกลั่นน้ำมันตะไคร้หอม ดังแสดงในภาพที่ 4-6 เป็นแนวความคิดหนึ่งของผู้เขียนในการที่จะลดต้นทุนของปริมาณเชื้อเพลิงในการสกัดลง การใช้กากตะไคร้หอมเป็นเชื้อเพลิงสำหรับ water still

---

IX เรื่องเดิมหน้า 38 และ 44

X เรื่องเดิมหน้า 46



ภาพที่ 4-6 แผนผังเครื่องสกัดน้ำมันตะไคร้หอมแบบ steam distillation โดยความเห็นชอบของผู้เขียน

จะเป็นการแก้ไขการสูญเสียไอน้ำเนื่องจากการสูญเสียความร้อนขณะทำการสกัดได้เป็นอย่างดี ทั้งยังเป็นการช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย

ในด้านคุณภาพของน้ำมันที่ผลิตได้ เป็นที่น่าสงสัยว่าผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันน่าจะมีบางสิ่งผิดปกติ จึงไม่อาจจะกล่าวลงไปให้แน่นอนว่า น้ำมันที่ได้จากงานวิจัยนี้จัดอยู่ในระดับคุณภาพไหน และสิ่งที่สำคัญคือ ผู้เขียนไม่มีข้อมูลที่แน่นอนเกี่ยวกับราคาของน้ำมันตะไคร้หอมที่ระดับคุณภาพต่าง ๆ ในตลาดโลก ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะบ่งบอกเงื่อนไขการสกัดที่เหมาะสมในการลงทุนทางการค้า โดยสรุปจากข้อมูลที่จำกัดและขาดความสมบูรณ์เหล่านี้

อย่างไรก็ดี ผลการคำนวณมูลค่าเชื้อเพลิงในการสกัดชี้ให้เห็นว่า มีโอกาสเป็นไปได้เป็นอย่างมากที่จะลงทุนสกัดน้ำมันตะไคร้หอมแบบการค้าอย่างคุ้มทุน ทั้งนี้จะต้องอาศัยข้อมูลที่แน่นอนเกี่ยวกับราคาขายในระดับคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ มาประกอบการตัดสินใจอีกครั้งหนึ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สอดคล้องกับขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ความเกี่ยวพัน (correlation) ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขการสกัดสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้

5.1 ความเกี่ยวพันระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขการสกัด

ความเกี่ยวพันระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กับเงื่อนไขการสกัดจากงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า

5.1.1 % yield ของน้ำมันที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น เมื่อความกดดันไอน้ำเพิ่มขึ้นและจะมีค่าสูงสุดที่ความกดดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) การเพิ่มความกดดันไอน้ำมากขึ้นไปกว่านี้ จะมีผลให้ % yield ลดลง กล่าวได้ว่าความกดดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (gage pressure) เป็นค่าความกดดันเหมาะสมที่สุดในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม สำหรับงานวิจัยนี้

5.1.2 ระยะเวลาในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมที่ความกดดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 30 ถึง 120 นาที ซึ่งจะให้ % yield ระหว่าง 0.5 ถึง 0.85 % ตามลำดับ การใช้ระยะเวลาในการสกัดยาวนานกว่า 120 นาที จะไม่ทำให้ % yield เพิ่มขึ้นแต่อย่างไร ซึ่งจะมีผลให้สิ้นเปลืองปริมาณไอน้ำ หรือค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็น

5.1.3 % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ดูเหมือนว่า จะแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความชื้นของตะไคร้หอมที่ใช้ในการสกัด สำหรับช่วงปริมาณความชื้นในหน่วยน้ำหนักของน้ำซึ่งระเหยได้ของตะไคร้หอมต่อน้ำหนักแห้งสนิทของตะไคร้หอมที่ใช้ในการกลั่น คูณด้วย 100 มีค่าอยู่ประมาณ 33 ถึง 47 %

5.1.4 เงื่อนไขการสกัดที่ความกดดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 120 นาที ปริมาณความชื้นเท่ากับ 31.3 % และอุณหภูมิขณะทำการควบแน่นเท่ากับ 30.5 ^{o}C จะให้

% yield และปริมาณ geraniol สูงสุดถึง 0.85 % และ 50.43 % ตามลำดับ และยังให้ปริมาณ total geraniol สูงถึง 72.61 % ซึ่งเป็นที่คาดหมายว่าคุณภาพของน้ำมันที่ได้นี้ควรจะดีด้วย อย่างไรก็ดี, ผลการทดลองโดยการใช้ความดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig,) โดยมีระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 90 และ 30 นาที จะให้ปริมาณ total geraniol สูงสุดถึง 77.65 % และ 67.52 % ตามลำดับ ซึ่งนับว่าเป็นเงื่อนไขที่น่าสนใจเช่นกัน

5.1.5 ผลการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและคุณภาพของน้ำมันตะไคร้หอม พบว่าน้ำมันตะไคร้หอมที่สกัดได้มีคุณภาพดีกว่าน้ำมันตะไคร้หอมตัวอย่างจากเมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย ทั้ง ๆ ที่วัตถุดิบในการสกัดเป็นตะไคร้หอมพันธ์เดียวกัน คือ Cymbopogon Nardus (Rendle) ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า refractive index $20^{o}C$ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.4722 ถึง 1.4741 ความถ่วงจำเพาะที่ 25/25 ^{o}C และ optical rotation ที่ 20 ^{o}C มีค่าเท่ากับ 0.8960 และ -0.2^{o} ตามลำดับ ค่าคงที่ของคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ ได้ตามข้อกำหนดมาตรฐานของ E.O.A.

5.1.6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนไอน้ำที่สูญเสียต่อไอน้ำที่ใช้ในการสกัดและปริมาณความชื้นของตะไคร้หอม ; พบว่า ที่ปริมาณความชื้นสูง เช่นในช่วง 45 ถึง 47 % อัตราส่วนของไอน้ำที่สูญเสียต่อไอน้ำที่ใช้จะมีสูงถึงประมาณ 4.5 และจะลดต่ำลงเป็น 3.7 เมื่อความชื้นลดลงเป็น 42 % การลดปริมาณความชื้นลงต่อไปอีก จะมีผลให้อัตราส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่าปริมาณความชื้นมีอิทธิพลต่อความสิ้นเปลืองไอน้ำที่ใช้ในการสกัดเป็นอย่างมาก สำหรับการทดลองที่เงื่อนไขความดันไอน้ำ 20 psig. ระยะเวลาเท่ากับ 30 นาที ความชื้นของตะไคร้หอมที่เหมาะสมที่สุด มีค่าเท่ากับ 42 %

5.1.7 อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการสกัดต่อหน่วยน้ำหนักของตะไคร้หอมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ มีความสัมพันธ์กับ % yield ในลักษณะ hyperbolic curve โดยเฉพาะอย่างยิ่งเงื่อนไขที่ใช้ความดันไอน้ำในการสกัดคงที่เท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) ปริมาณความชื้นระหว่าง 16.8 ถึง 45.9 % และระยะเวลาในการสกัดอยู่ในช่วง 30 ถึง 180 นาที ผลการวิจัยพบว่าความกดดันไอน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัดมาก กล่าวคือ เมื่อใช้ความดันไอน้ำสูงขึ้นกว่าเดิม ความสิ้นเปลืองไอน้ำก็จะมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นกัน

5.1.8 ถ้าต้องการให้ความสิ้นเปลืองไอน้ำต่อน้ำหนักตะไคร้หอมที่ใช้ในการสกัดมีค่าน้อย ๆ ควรจะกำหนด % yield ในการสกัดให้อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.75 % ; การกำหนด % yield ให้สูงกว่านี้ เช่น ระหว่าง 0.75 ถึง 0.85 % จะมีผลให้ได้น้ำมันซึ่งมีคุณภาพดีกว่า แต่จะต้องสิ้นเปลืองไอน้ำในการสกัดเพิ่มขึ้นอีกมาก

5.1.9 ในการเลือกเงื่อนไขในการสกัดที่เหมาะสมที่สุดนั้น ควรนำข้อมูลค่าใช้จ่ายในการสกัดคิดจากความสิ้นเปลืองไอน้ำ และมูลค่าของน้ำมันที่ผลิตได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับ % yield และคุณภาพของน้ำมันที่ได้มาพิจารณาประกอบกัน

5.2 เงื่อนไขที่เหมาะสมและมูลค่าเชื้อเพลิงในการสกัด

การคำนวณมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการสกัดนี้ อยู่บนพื้นฐานของการวัดปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่ใช้ไป (เก็บจากเครื่องควบแน่น) ซึ่งได้มาจาก packaged boiler ที่ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นเชื้อเพลิงโดยกำหนดให้ประสิทธิภาพของ boiler เท่ากับ 80 % ผลการทดลองพบว่าที่ความดันไอน้ำเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig.) ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 120 นาที ซึ่งให้ % total geraniol ในน้ำมันเท่ากับ 72.61 % ให้ % geraniol และ % yield สูงสุดเท่ากับ 50.43 และ 0.85 % ตามลำดับ จะใช้เชื้อเพลิงในการสกัดถึง 11.33 กิโลกรัมหรือ 67.99 บาทต่อการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร หากกำหนดระยะเวลาในการสกัดและ % ความชื้นเท่ากับ 30 นาทีและ 39.19 % จะทำให้ได้ % total geraniol ; % geraniol และ % yield โดยเฉลี่ยเท่ากับ 65.85 ; 35 และ 0.532 % ตามลำดับ โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพียง 4.685 กิโลกรัม หรือคิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 28.11 บาทต่อการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร เท่านั้น อย่างไรก็ดี , เนื่องจากไม่ทราบแน่ชัดว่าน้ำมันที่สกัดได้จัดอยู่ในระดับคุณภาพไหน และไม่มีข้อมูลที่แน่นอนเกี่ยวกับราคาของน้ำมันตะไคร้หอมที่ระดับคุณภาพต่าง ๆ ในตลาดโลก จึงไม่สามารถบ่งบอกเงื่อนไขการสกัดที่เหมาะสมทางการค้าในขณะนี้ได้

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะต่อไปนี้ ผู้เขียนคิดว่าจะเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันตะไคร้หอมในอนาคต

5.3.1 การทดสอบยืนยันในเชิงปริมาณและคุณภาพของน้ำมันตะไคร้หอม ; เนื่องจากผลการวิเคราะห์

ในเชิงปริมาณและคุณภาพของน้ำมันตะไคร้หอม ยังเป็นที่สงสัยว่าจะเชื่อถือได้ไม่สนิทใจนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีโดย gas chromatograph

5.3.2 ศึกษาผลของอายุตะไคร้หอมซึ่งใช้ในการสกัดต่อคุณภาพและ % yield ของน้ำมันที่สกัดได้ ; นอกเหนือจากเงื่อนไขการสกัดและพันธ์ตะไคร้หอมแล้ว % yield และคุณภาพของน้ำมันตะไคร้หอม ยังขึ้นอยู่กับอายุและความเจริญเติบโตของตะไคร้หอมอีกด้วย ดังนั้นจึงควรจะทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอายุตะไคร้หอมกับ % yield และคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ด้วย

5.3.3 การลดความสิ้นเปลืองไอน้ำในการกลั่น ; นอกจากจะสามารถกระทำได้โดยการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสกัดและการปรับปรุงพันธ์ตะไคร้หอมแล้ว ยังสามารถที่จะกระทำได้โดยปรับปรุงเทคโนโลยี่การกลั่นให้ทันสมัยยิ่งขึ้น เช่นการลดปริมาณความร้อนที่สูญเสีย ด้วยการใช้ฉนวนความร้อนที่เหมาะสม พยายามนำ - ความร้อนที่เหลือใช้หรือความร้อนที่เคยสูญเปล่ามาใช้ในการทำให้ feed water ของ boiler มีอุณหภูมิสูงขึ้น พยายามแยกน้ำซึ่งปะปนกับน้ำมันภายหลังการกลั่น ออกมาใช้เป็น feed water สำหรับ boiler ใหม่ เป็นต้น

ในส่วนที่เกี่ยวกับการลดความสิ้นเปลืองไอน้ำ ซึ่งผู้เขียนคิดว่าน่าจะได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยขั้นต่อไปนั้น ได้แก่

- การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในหม้อต้มกลั่น (distilling vessel) ต่อความหนาของตะไคร้ที่บรรจุอยู่ในหม้อต้มกลั่น ว่ามีผลต่อความสิ้นเปลืองไอน้ำและมีผลต่อ % yield อย่างไรบ้าง

- การศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของorifice plate ต่าง ๆ กัน (โปรดพิจารณาภาพที่ 4-6) ซึ่งใช้ควบคุมปริมาณไอน้ำที่ออกจากหม้อต้มกลั่นโดยตรง ว่ามีอิทธิพลต่อ % yield ของน้ำมันที่กลั่นได้หรือไม่ และอย่างไร พยายามหาขนาดของorifice plate ขนาดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเงื่อนไขความกดดันไอน้ำและระยะเวลาในการสกัดที่เหมาะสม ซึ่งเป็นผลให้สิ้นเปลืองไอน้ำน้อยที่สุด ในขณะที่ได้ % yield สูง ๆ

เอกสารอ้างอิง

(1) Guenther, Ernest., The Essential Oils. volume 4, D. Van Nostrand Comp. Inc., New york. (1950)

(2) Kirk, E. & Othmer, F., Encyclopedia of Chemical Technology. volume 17, Interscience Publishers, Inc., New York. (1968)

(3) ขวัญชัย สุวรรณสัมฤทธิ์, ไพบูลย์ ธรรมรัตนวาสิก., วารสารเคมีสัมพันธ์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 (17 - 21), ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่. (พ.ศ.2521)

(4) Essential Oil Association of U.S.A., Inc., E.O.A. No 12 & No 14 Scientific Section, New York, (1965)

(5) ขวัญชัย สุวรรณสัมฤทธิ์., วารสารเคมีสัมพันธ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 (1 - 9), ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่. (พ.ศ. 2521)

(6) Brown, E. & Islip, H. T., Stills for Essential Oil., reprinted from Colonial Plant and Animal Products, 1952 - 3, V. III, No 4, pp. 287 - 319, Her Majesty's Stationery Office, London. (1954)

(7) Dryden, C.E., Outline of Chemical Technology. 3rd edition, Affiliated East West Press P. Ltd., New Delhi. (1969)

(8) Lee H. Johnson., Nomography and Empirical Equations. 4th Printing, John Wiley & Sons, Inc., New York. (1966)

ภาคผนวก ก

ทฤษฎีการกลั่นโดยย่อ[6]

การกลั่น (distillation) เป็นขบวนการที่ใช้ในการแยกส่วนประกอบของสารผสมของของเหลวตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยอาศัยผลต่างระหว่างความดันไอ (vapour pressure) ของของเหลวนั้น การกลั่นอาจแบ่งออกได้เป็นสองแบบดังต่อไปนี้

ก. การกลั่นของเหลวต่าง ๆ ซึ่งผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Distillation of homogenous liquids)

ได้แก่การกลั่นน้ำมันหอมระเหยซึ่งผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ในระยะแรก ๆ ของการกลั่น จะกลั่นได้องค์ประกอบสารที่มีจุดเดือดต่ำ ๆ ออกมา ทำให้จุดเดือดของน้ำมันหอมระเหยค่อย ๆ สูงขึ้น จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเมื่อเหลือแต่องค์ประกอบสารซึ่งมีจุดเดือดสูงที่สุด การกลั่นแบบนี้ใช้เพื่อจุดประสงค์ในการทำให้น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ (purification) และใช้เพื่อการแยกสัดส่วนองค์ประกอบ (fractionation) ของน้ำมันหอมระเหย เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์ในการทำให้น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์หรือแยกสัดส่วนองค์ประกอบของมัน ดังนั้นจะไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการกลั่นแบบนี้แต่อย่างไร

ข. การกลั่นของเหลวซึ่งไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Distillation of heterogenous liquids)

ในการกลั่นโดยวิธีนี้ ค่าความดันไอทั้งหมด (total vapour pressure) ของสารผสมจะเท่ากับผลบวกของความดันไอสารแต่ละตัว ซึ่งเป็นองค์ประกอบอยู่ในสารผสมนั้น หรือ

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \ldots\ldots + P_n \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (ก)$$

โดยที่ P = ความดันไอทั้งหมดของสารผสม

$P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots + P_n$ เป็นความดันไอของสารแต่ละตัว จำนวนต่าง ๆ กันในสารผสม หรือเป็น "partial pressures" ของสารผสมนั้น

ความสัมพันธ์ในสมการ (ก) เรียก Dalton's Law of Partial Pressures จากสมการ (ก) จะเห็นได้ว่าจุดเดือดของสารผสมจะต่ำกว่าจุดเดือดของสารบริสุทธิ์แต่ละองค์ประกอบ หมายความว่าเมื่อ

น้ำสารเหล่านี้มาผสมกันจุดเดือดของมันจะต่ำลง

เนื่องจากน้ำไม่ละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันหอมระเหย มันจึงนิยมใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย เพราะทำให้สารผสมของน้ำและน้ำมันเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย ภายหลังที่กลั่นเอาน้ำมันหอมระเหยออกจากพืชหมดแล้ว จุดเดือดของสารผสมซึ่งแทบไม่มีน้ำมันอยู่เลยจะสูงขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นอย่างไรเลยที่จะทำการกลั่นโดยให้ความร้อนเกินขนาด (overheating) เพราะจะทำให้สูญเสียความร้อนและไอน้ำเป็นจำนวนมาก

เมื่อสารผสมของของเหลวซึ่งไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันถูกนำมากลั่น ไอของสารจะประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ในสัดส่วนโดยปริมาตรของความดันไอสารแต่ละตัวที่อุณหภูมิขณะทำการกลั่น ถ้าให้ความดันไอสารแต่ละองค์ประกอบปริมาณต่าง ๆ กันในไอสารที่ได้จากการกลั่นเป็น Pa และ Pb โดยที่ Da และ Db เป็นความหนาแน่นของไอสาร (vapour density) ของสาร a และ b ตามลำดับ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของของเหลวสองชนิดนี้ จะหาได้จาก

$$\frac{Wa}{Wb} = \frac{Pa \times Da}{Pb \times Db} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (ข)$$

เมื่อความหนาแน่นของไอสารของของเหลวที่จุดเดือดมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของน้ำหนักโมเลกุล, M, ของมันหรือ $M = 2D$

$$\frac{Wa}{Wb} = \frac{Pa \times Ma}{Pb \times Mb} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (ค)$$

น้ำหนักปกติขององค์ประกอบแต่ละตัวจะเป็น

$$Wa = \frac{Pa \times Ma}{Pa + Pb} \quad \text{และ} \quad Wb = \frac{Pb \times Mb}{Pa + Pb} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (ง)$$

เงื่อนไขในการกลั่นที่ดีนั้น จะต้องทำให้อัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำมันที่ได้ต่อน้ำหนักไอน้ำที่ใช้มีค่าสูงที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ อัตราส่วนน้ำหนักนี้หรืออัตราส่วนของ PM ในสมการ (ค) จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความกดดันไอน้ำเป็นสำคัญ หากความกดดันลดลงหรือทำการกลั่นแบบ reduced pressure distillation จุดเดือดของน้ำมันและน้ำจะยิ่งลดต่ำลง (เพราะ partial pressures ของน้ำมันและน้ำลดลง) จนกระทั่งเมื่อ partial pressure ของน้ำแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิด้วยอัตราต่ำกว่า partial pressure ของน้ำมันซึ่งแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิเช่นกันก็จะมีผลทำให้อัตราส่วนของ $P_{oil} M_{oil}/P_{water} M_{water}$ ลดลง หมายความว่า การกลั่นแบบลดความดันนี้ จะให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยได้น้อยกว่าการกลั่นที่ความกดดันบรรยากาศปกติ

ในทางตรงข้าม หากความกดดันไอน้ำสำหรับการกลั่นเพิ่มมากขึ้นจากความกดดันบรรยากาศ จุดเดือดของสารผสมก็จะสูงขึ้นด้วย partial pressure ของน้ำมันและน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จนกระทั่งทำให้ partial pressure ของน้ำมันมีค่ามากกว่าของน้ำ ดังนั้นอัตราส่วน $P_{oil} M_{oil}/P_{water} M_{water}$ มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือจะได้ปริมาณน้ำมันจากการกลั่นเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการกลั่นน้อยกว่าการกลั่นที่ความกดดันปกติอีกด้วย ข้อเสียของการใช้ความกดดันสูง ๆ ในการกลั่นคือ คุณภาพของน้ำมันที่ได้จะเลวลงกว่าเดิมหากระยะเวลาในการสกัดยาวนานเกินไป หรือความกดดันไอน้ำในการสกัดสูงเกินพอดี

ภาคผนวก ข

Chromatogram ของตัวอย่างของน้ำมันตะไคร้หอมจากการทดลองโดยเงื่อนไขการสกัดต่าง ๆ

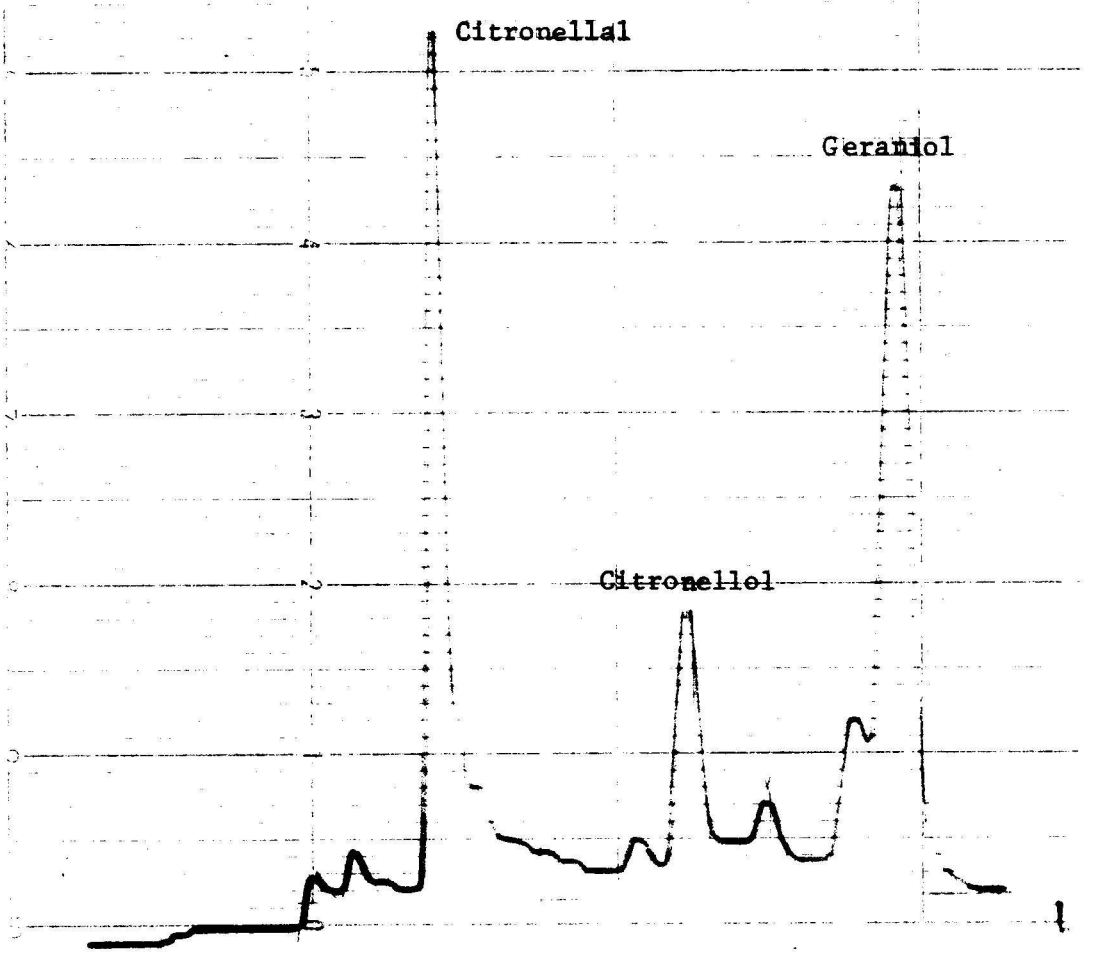
ภาพที่ ข-1

Description: Citronella oil (ตาย) Sample No. 5

Temperature: Programme 150°-180°C, rate 4°C/min.

Column: 20% DEGS Sample size: 0.3µl.

Detector	Instrument:
Type: F I D	Varian Aerograph Series 2400
Temperature: 180°C	Recorder:
Attenuation: 32 x 10^{-9}	I mV recorder, speed 50 cm/hr
Injector:	
Temperature 170°C	Operator: อัจฉราพร.



ภาพที่ ข-2

Description: Citronella oil (สวน) Sample No. 6

Temperature : Programme 150°-180°C, rate 4°C/min.

Column 20 % DEGS Sample size: 0.1 µl

Detector:

Type: F I D

Temperature: 180°C

Instrument:

Varian Aerograph Series 24000

Recorder:

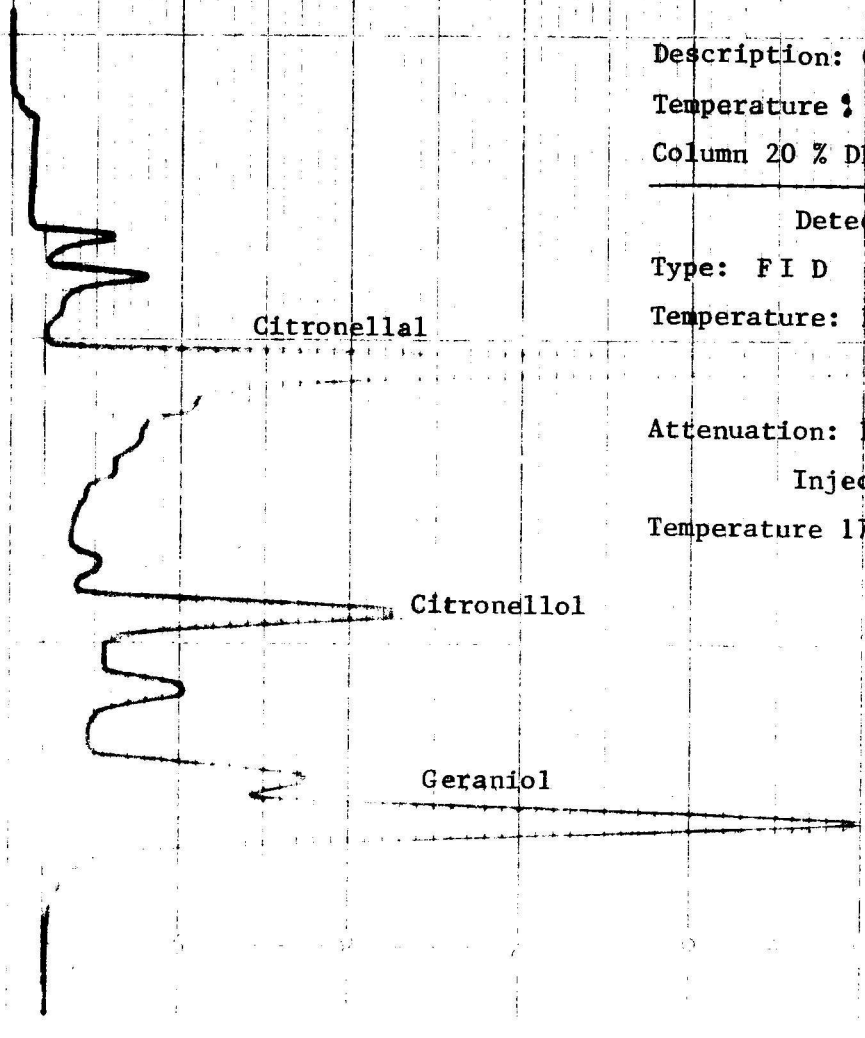
Attenuation: 16 x 10^{-9}

I mV recorder, speed 50 cm/hr.

Injector:

Temperature 170°C

Operator: อัจฉราพร



ภาพที่ ข-3

Description: Citronella oil (สาป) Sample No. 8

Temperature: Programme 150°-180°C, rate 4°C/min.

Column: 20 % DEGS Sample size: 0.2 µl.

Detector:

Type: F I D

Temperature: 180°C

Attenuation: 32 x 10^{-9}

Injector:

Temperature 170°C

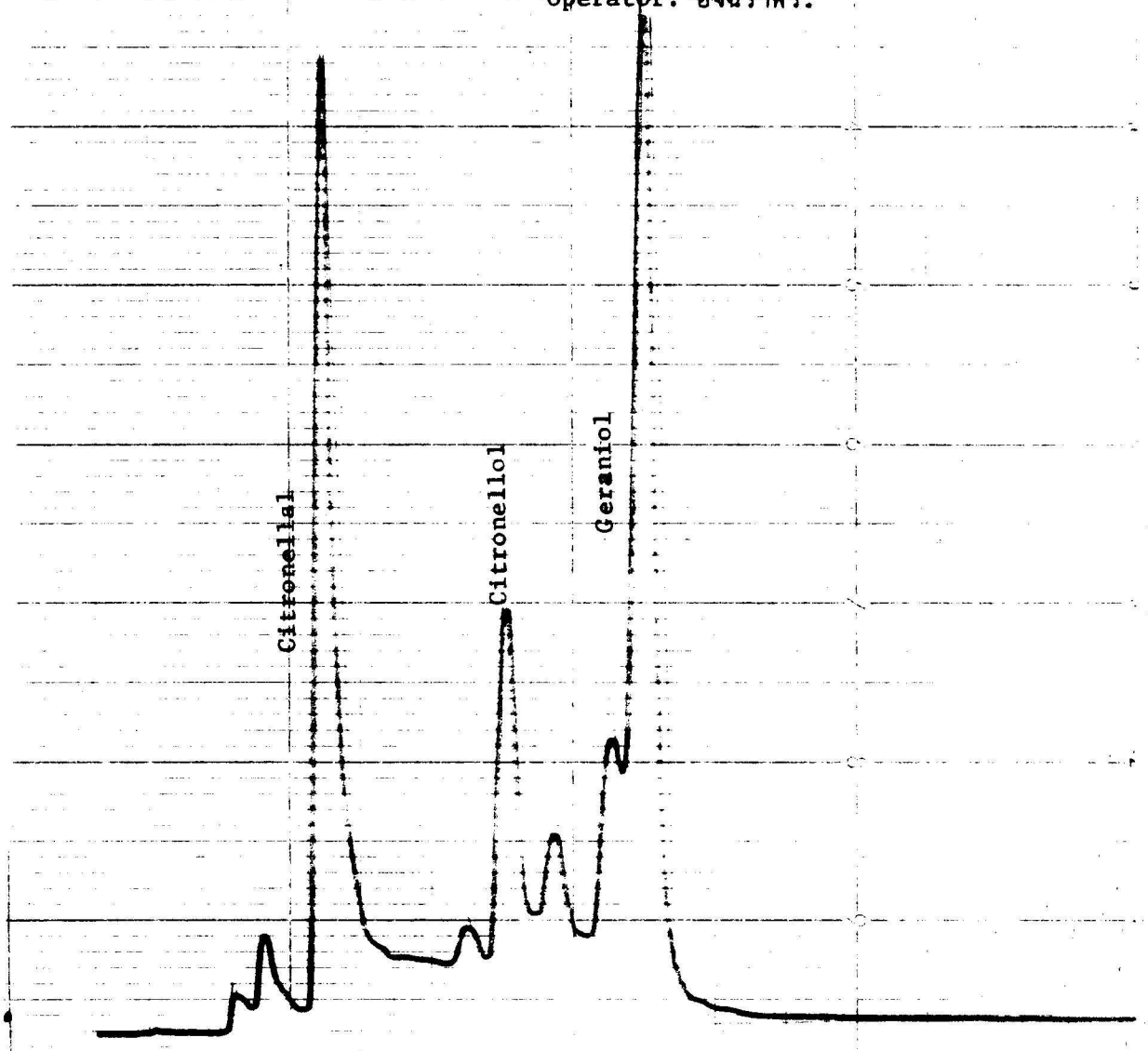
Instrument:

Varian Aerograph Series 2400

Recorder:

1 mV recorder, speed 50 cm/hr

Operator: อัจฉราพร.



ภาพที่ ข-4

Description: Citronella oil (ตาบ) Sample No. 11

Temperature: Programme 150°-180°C, rate 4°C/min.

Column: 20 % DEGS Sample size: 0.2 µl

Detector:

Type: FID

Instrument:

Varian Aerograph Series

Temperature: 180°C

Attenuation 16 x 10^{-9}

Recorder:

1 mV recorder, speed 50 cm/hr

Injector:

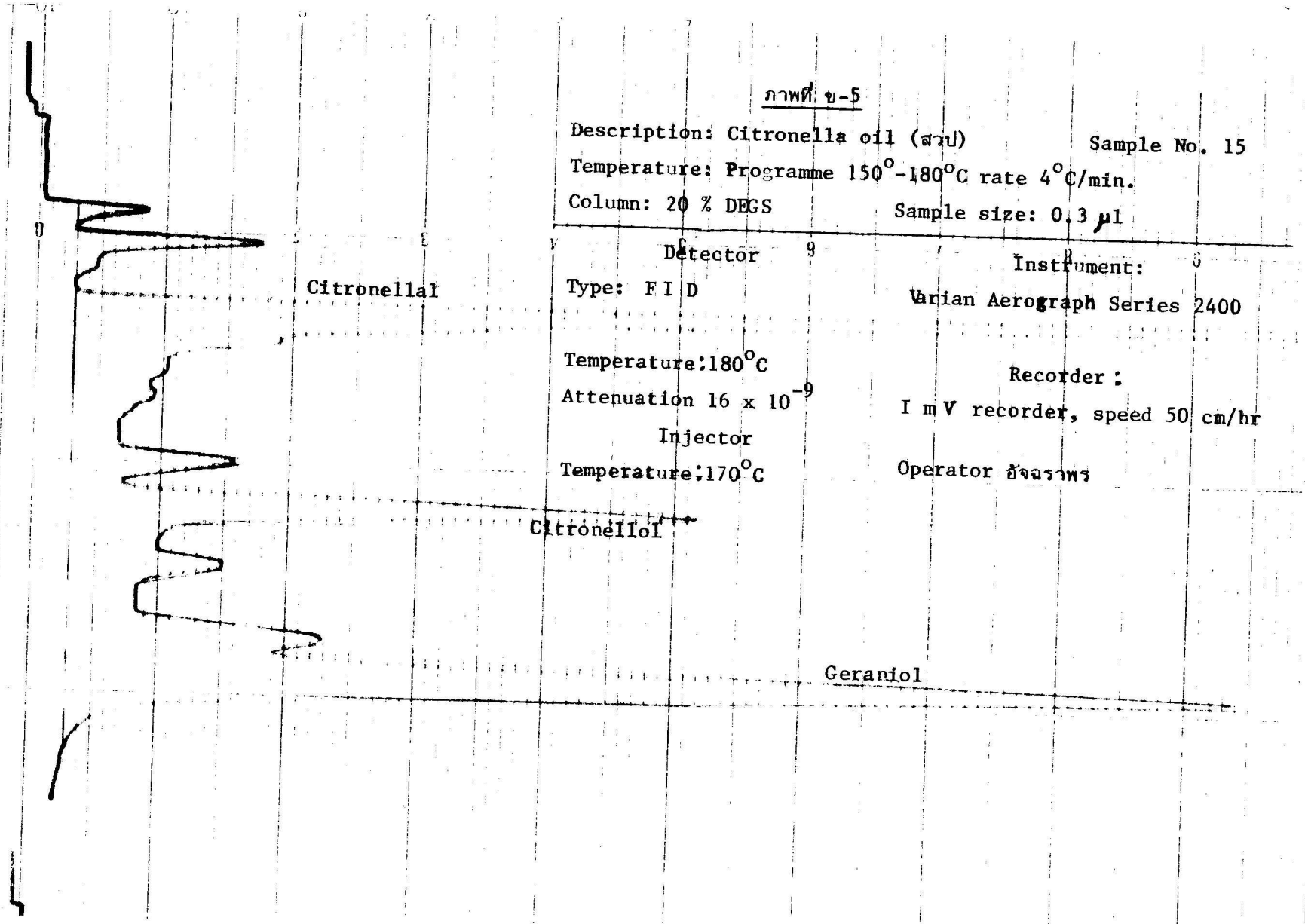
Temperature 170°C

Operator: [illegible]

Citronellal

Citronellol

Geraniol



ภาพที่ ข-5

Description: Citronella oil (สาป) Sample No. 15

Temperature: Programme 150°-180°C rate 4°C/min.

Column: 20 % DEGS Sample size: 0.3 µl

Detector

Type: F I D

Temperature: 180°C

Attenuation 16 x 10^{-9}

Injector

Temperature: 170°C

Instrument:

Varian Aerograph Series 2400

Recorder :

I m V recorder, speed 50 cm/hr

Operator อัจฉราพร

Varian Aerograph WALNUT CREEK CALIF 70 CHART NO. 413A

ภาพที่ ข-6

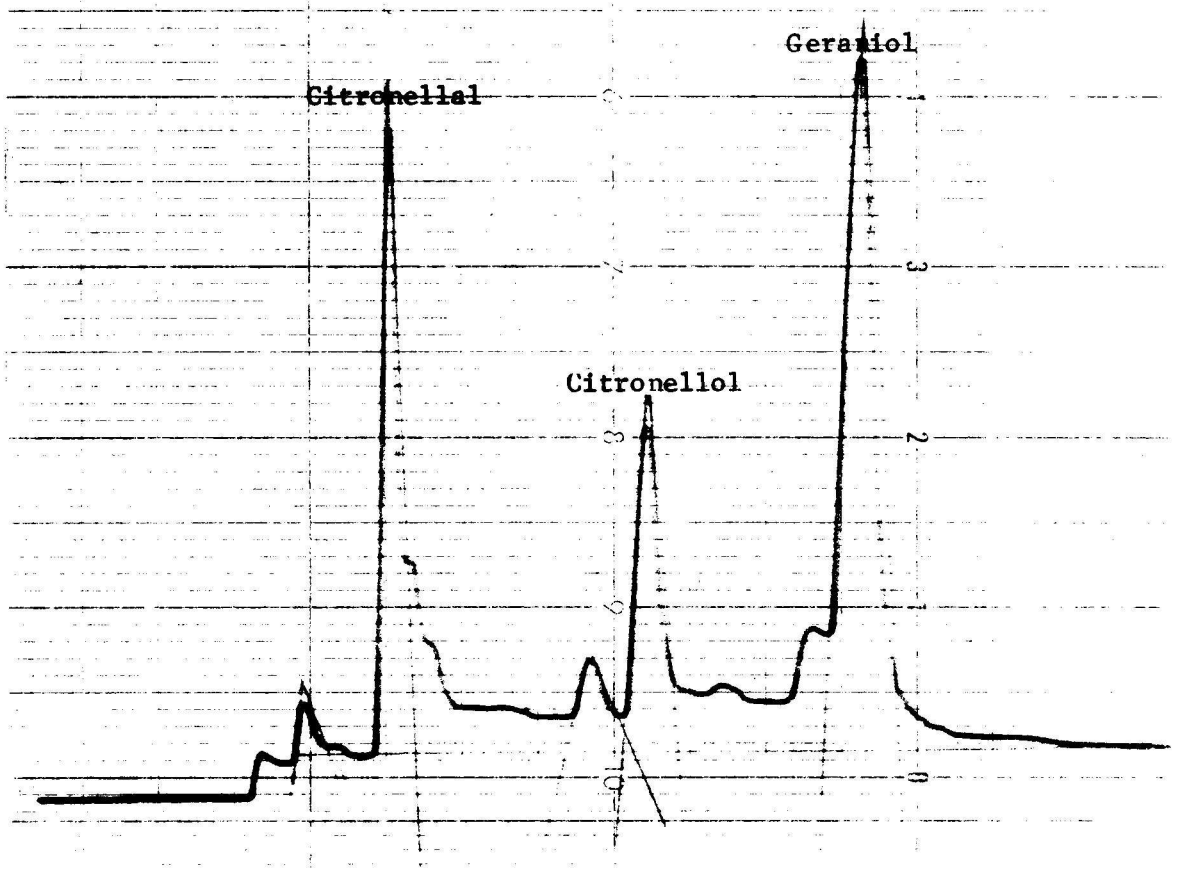
Description: Citronell oil (ผวน) Sample No. 16

Temperature: Programme 150°-180°C, rate 4°c/min.

Column: 20 % DEGS Sample size 0.1 µl

Detector	Instrument:
Type: F I D	Varian Aerograph Series 2400
Temperature 180°C	Recorder
Attenuation 16 x 10^{-9}	I m V recorder, speed 50 cm/hr
Injector	
Temperature 170°C	

Operator: อัจฉราพร



ตัวอย่างการคำนวณองค์ประกอบเคมีจากchromatogram

เงื่อนไขการทดลองที่ 16

จาก chromatogram ของการทดลองที่16(ภาพที่ ข-6);

พื้นที่สามเหลี่ยมใต้ curve ของ citronella = 9.2x0.55/2 = 2.53 ซม^2

พื้นที่สามเหลี่ยมใต้ curve ของ citronellol = 5x0.7/2 = 1.75 ซม^2

พื้นที่สามเหลี่ยมใต้ curve ของ geraniol = 10.2x1.1/2 = 5.61 ซม^2

พื้นที่สามเหลี่ยมใต้ curve ของสารประกอบอื่นๆ = $\frac{1.3x0.6}{2} + \frac{1.6x1.1}{2}$ = 1.27 ซม^2

รวมพื้นที่ใต้ curve ทั้งหมด = 11.16 ซม^2

$$\% \text{ geraniol} = \frac{5.61}{11.16} = 50.43\ \%$$

$$\% \text{ citronellal} = \frac{2.53}{11.16} = 22.18\ \%$$

$$\% \text{ citronellol} = \frac{1.75}{11.16} = 15.95\ \%$$

และ % total geraniol = 72.61 %

ภาพที่ ข-7

Description: Citronella oil (ตะไคร้หอม) Sample No. 17

Temperature: Programme 150°-180°C rate 4°C/min.

Column: 20 % DEGS Sample size 0.3 µl.

Detector

Type: F I D

Temperature: 180°C

Attenuation 16 x 10^{-9}

Injector:

Temperature 170°C

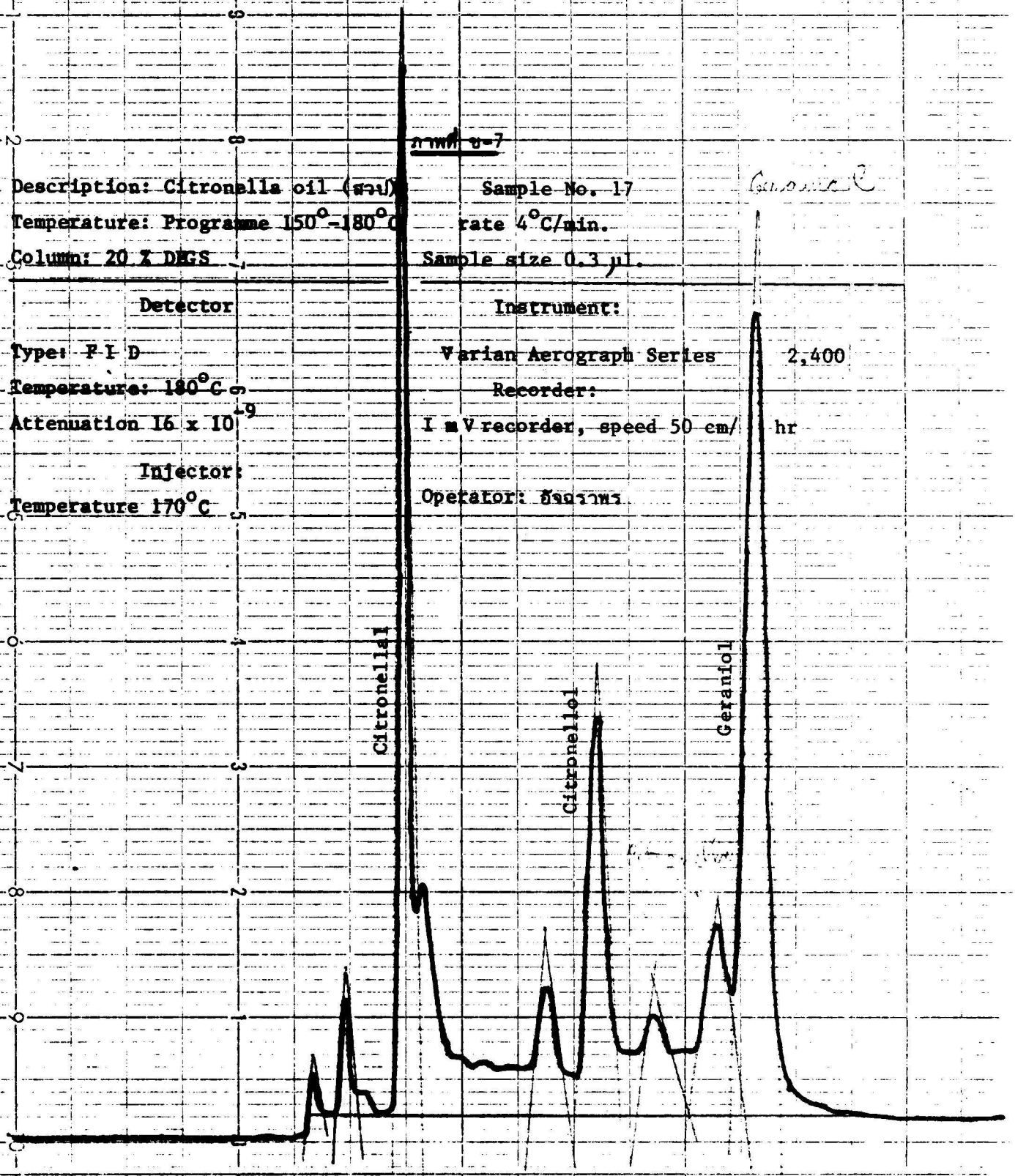
Instrument:

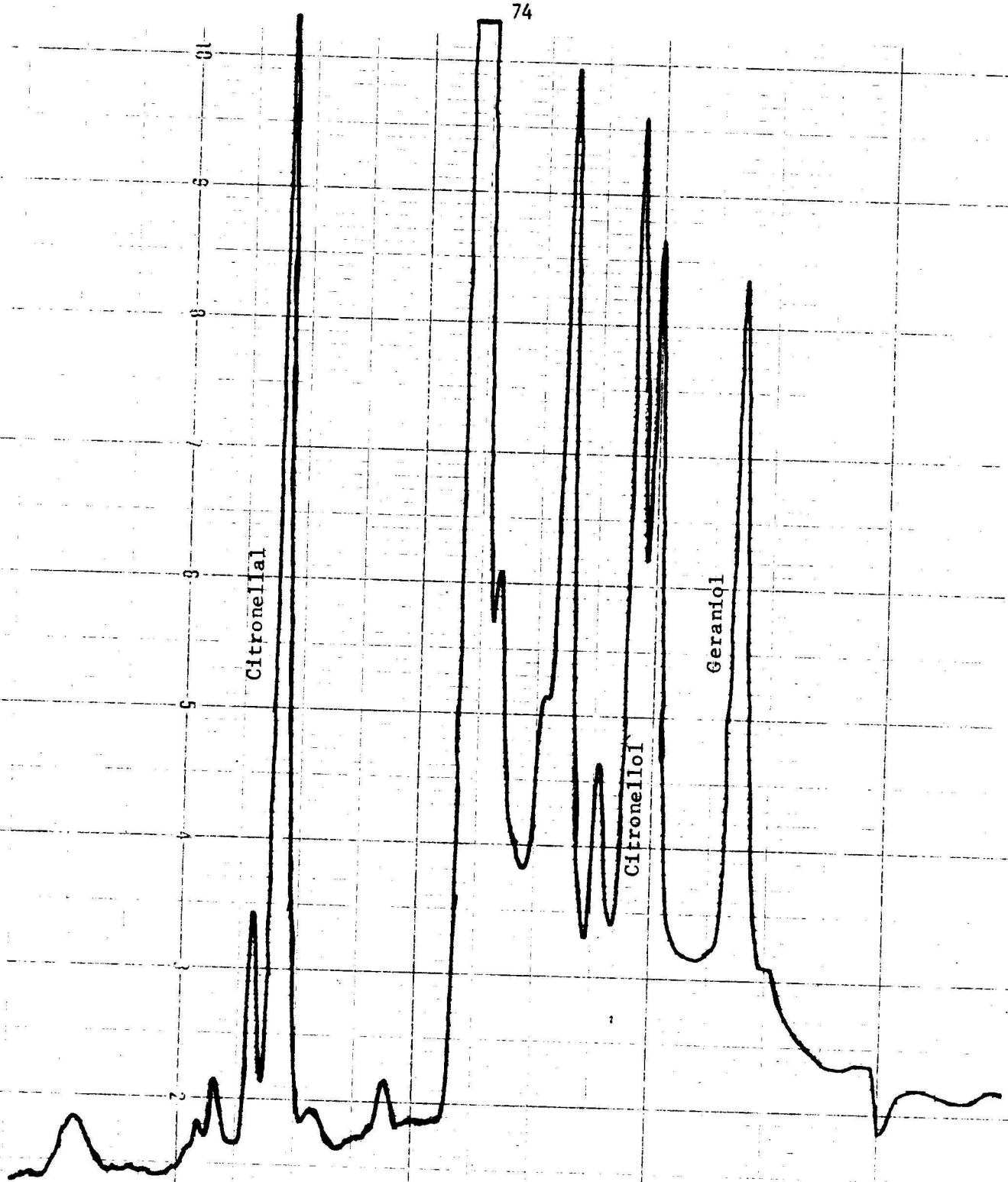
Varian Aerograph Series 2,400

Recorder:

1 mV recorder, speed 50 cm/ hr

Operator: อัญชลา





ภาพที่ ข-8

Description: น้ำมันตะไคร้หอมจากบันดุง (อินโดนีเซีย)
Temperature: Programme 150°-180°C, rate 4°C/min.
Column: 20% DEGS Sample size: 0.5 µl

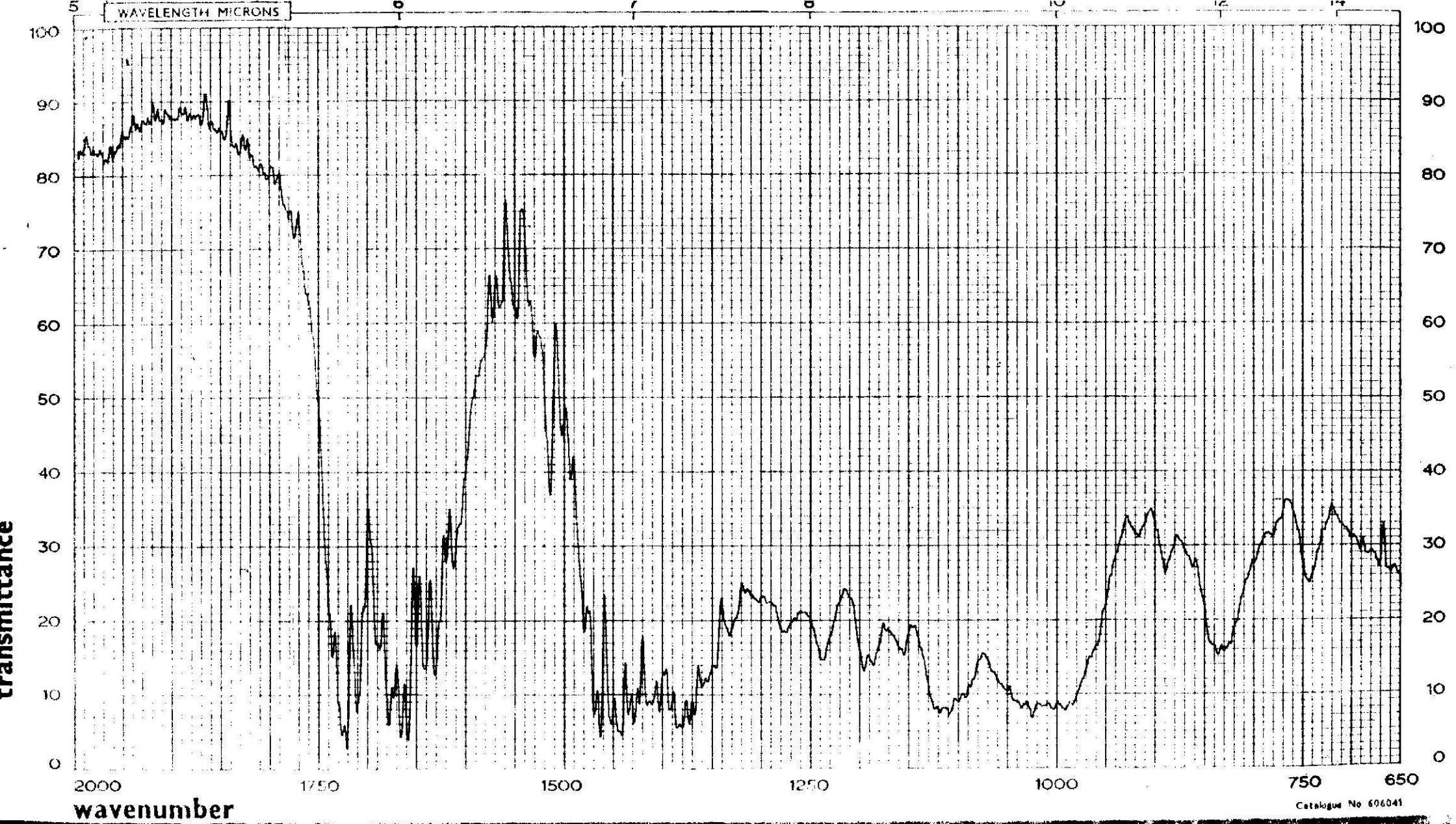
Detector
Type: F I D
Temperature 180°C
Attenuation 32 x 10^{-9}
Injector:
Temperature 170°C

Instrument:
Varian Aerograph Series 2,400
Recorder:
I m Vrecorder, speed 50 cm/hr

Operator

ภาคผนวก ค

IR Spectrum ของตัวอย่างน้ำมันตะไคร้หอมจากการทดลองโดยเงื่อนไขการสกัดต่าง ๆ



SIGN WITH INDEX

SAMPLE No. 4 (น้ำมันงาดำร้อน)

FORMULA ภาพที่ ค-1

PHASE liquid

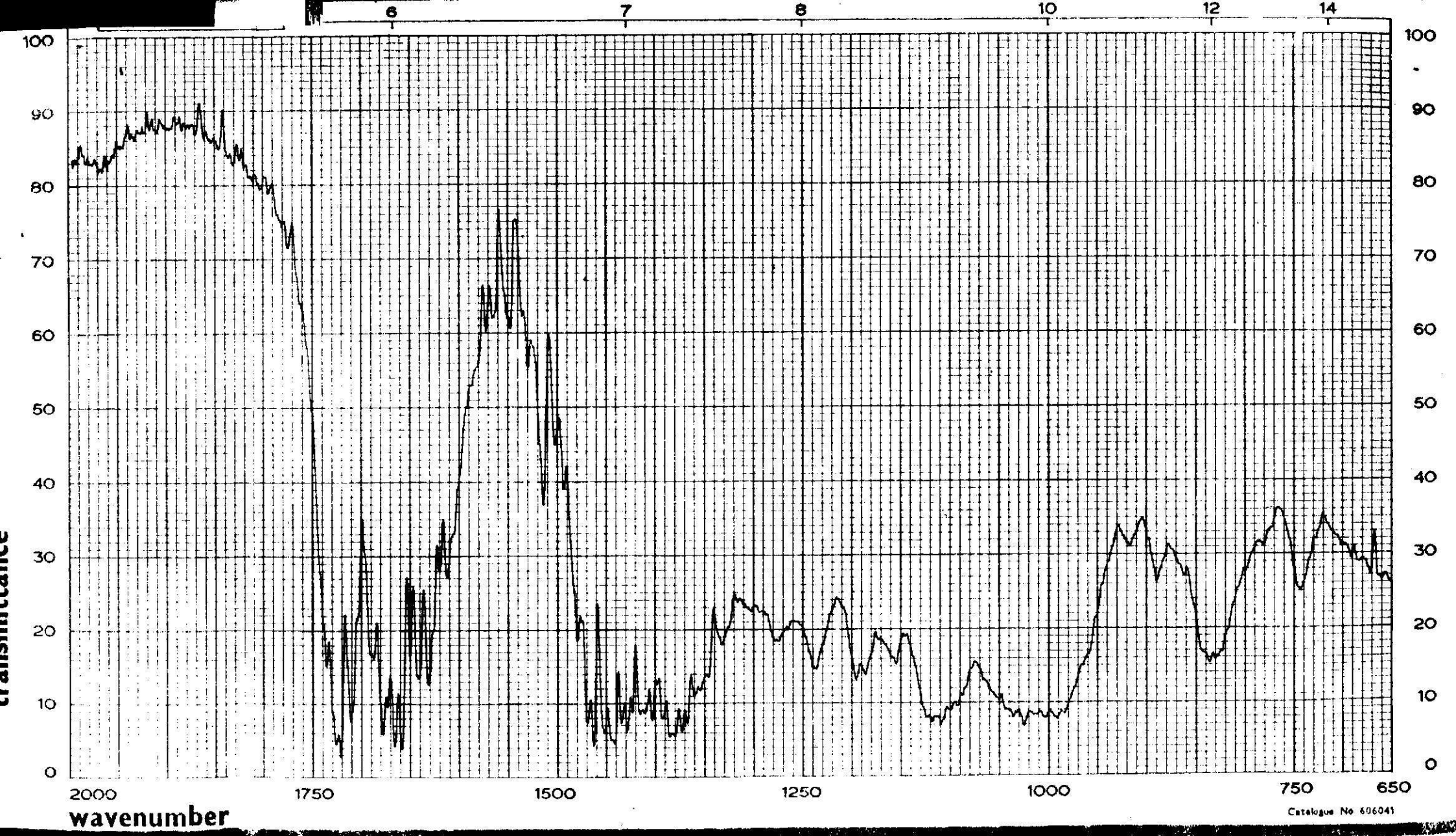
THICKNESS 04 mm

REMARKS

SCAN SPEED medium

DATE

OPERATOR



ALIGN WITH INDEX
ON THE RECORDER

SAMPLE No. 4 (น้ำมันเมล็ดทานตะวัน)

REFERENCE Air

FORMULA ภาพที่ ค-1

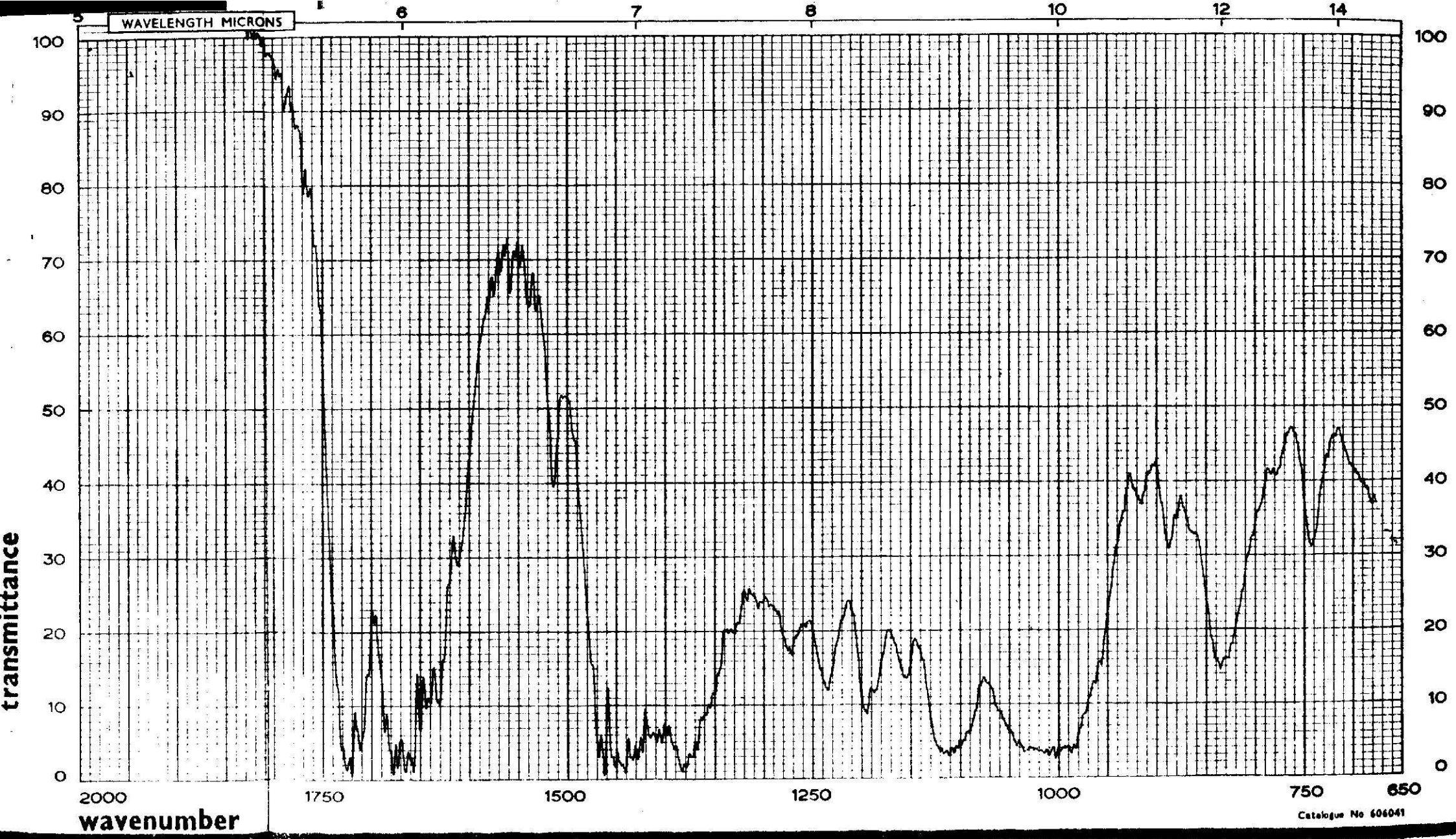
PHASE liquid

THICKNESS 04 mm.

SCAN SPEED medium

DATE

OPERATOR ผู้ช่วยงาน



ALIGN WITH INDEX ON THE RECORDER

SAMPLE No. 8 (น้ำมันหอมระเหย)

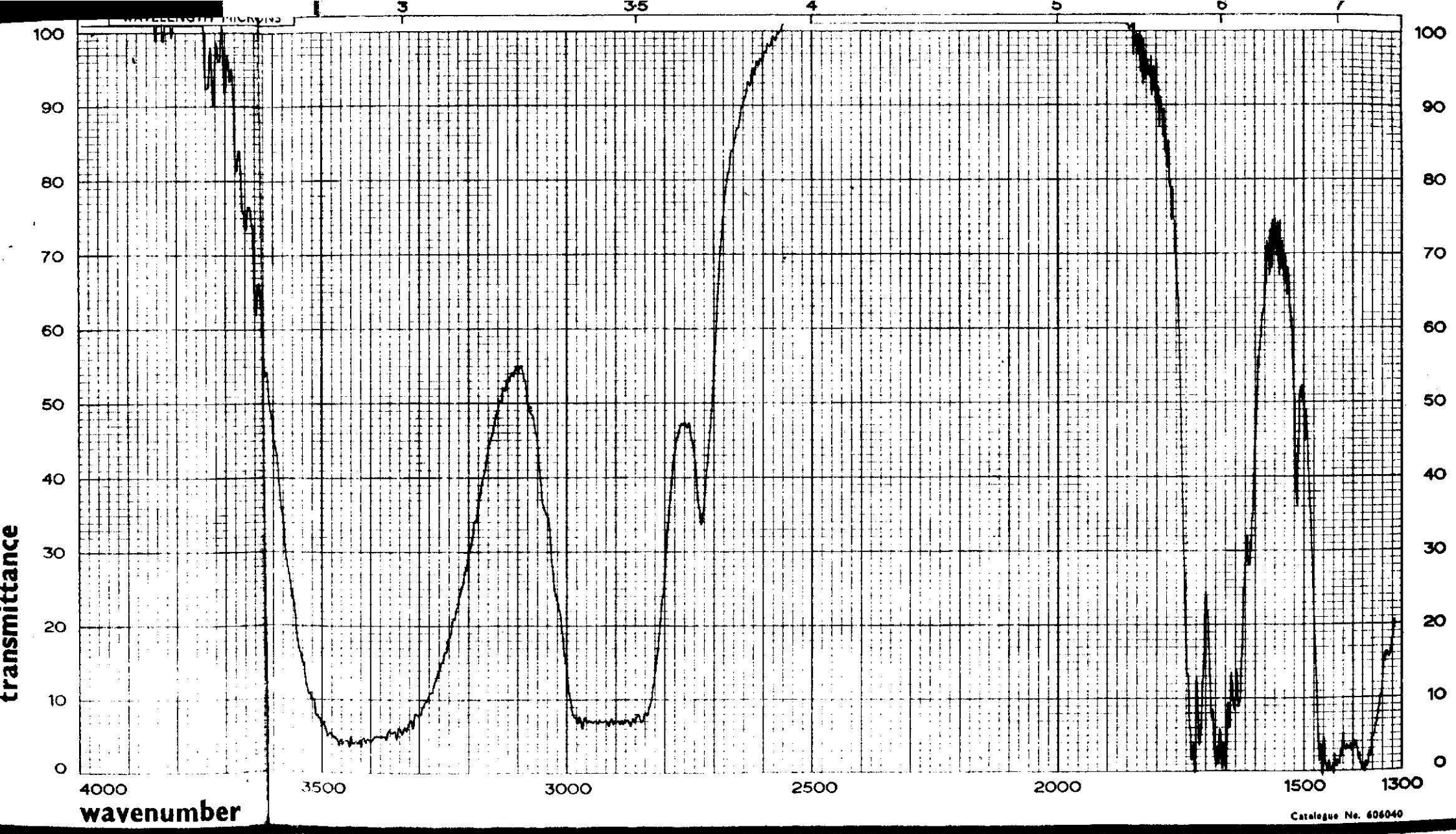
FORMULA ภาพที่ ค-2

PHASE liquid

THICKNESS 0.1 mm.

SCAN SPEED medium

DATE



Catalogue No. 606040

ALIGN WITH INDEX ON THE RECORDER

SAMPLE

No. 8 (น้ำมันหอมไพล้นอก)

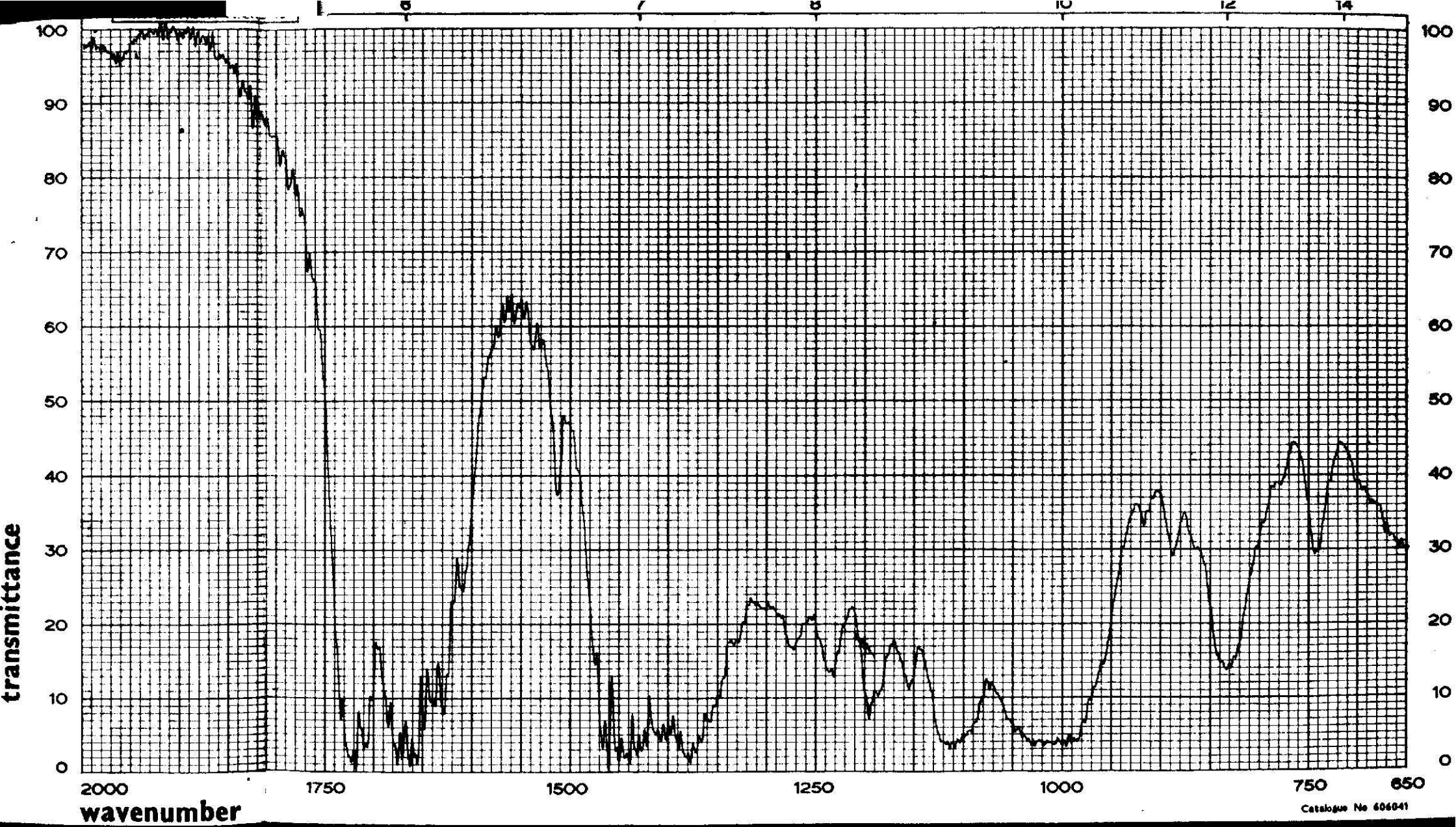
FORMULA ภาพที่ ค-2 (ต่อ)

PHASE liquid

THICKNESS 0·1 mm

SCAN SPEED medium

DATE



ALIGN WITH INDEX ON THE RECORDER

SAMPLE No. II (น้ำมันตะไคร้หอม)

FORMULA ภาพที่ ก-3

PHASE liquid

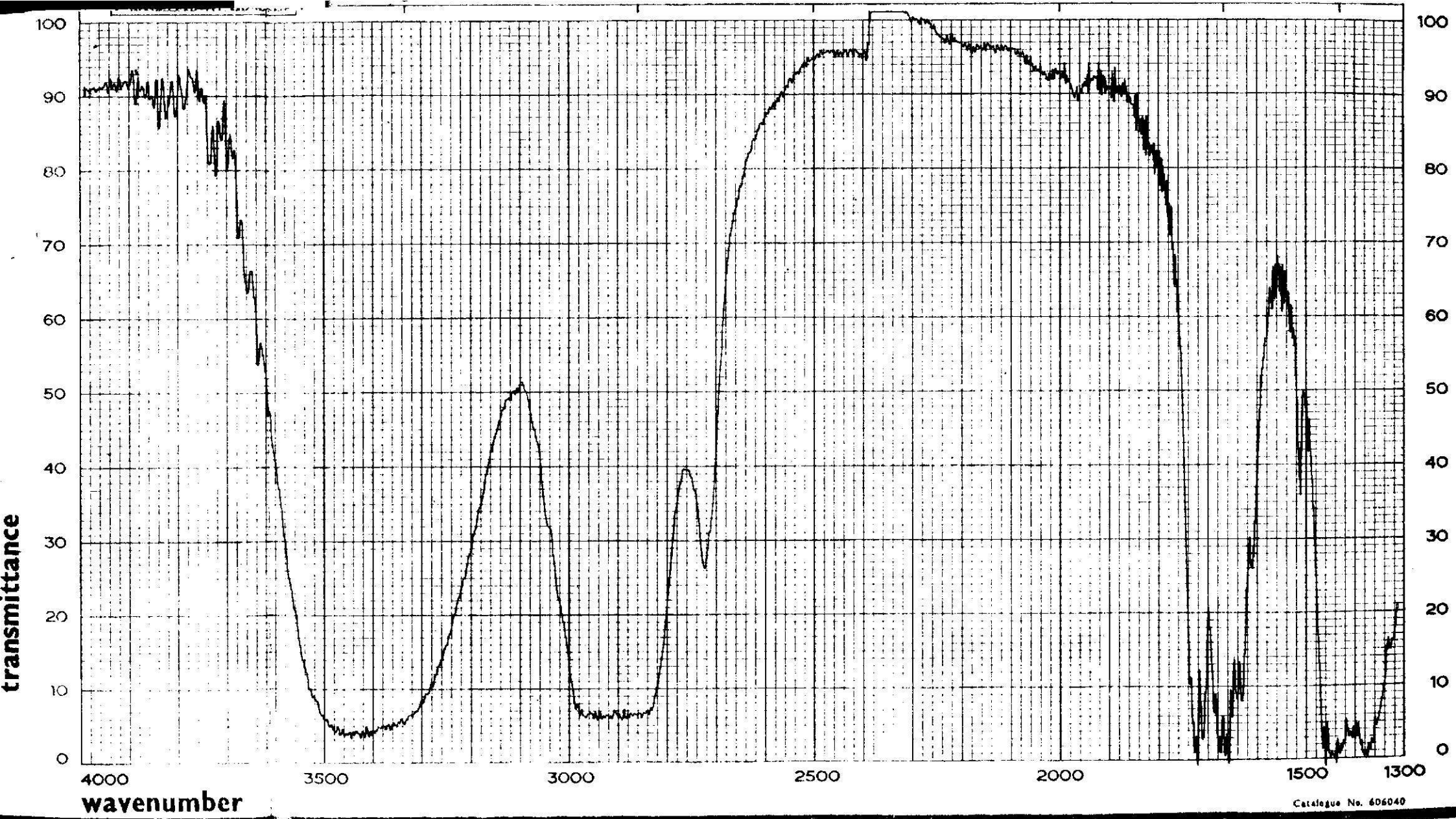
THICKNESS 0.1 mm.

REMARKS

SCAN SPEED medium.

DATE Dec , 1978

OPERATOR [illegible]



Catalogue No. 606040

ALIGN WITH INDEX ON THE RECORDER

SAMPLE No. 11 (น้ำมันหล่อลื่น)

REFERENCE Air

FORMULA ภาพที่ ค-3(ต่อ)

PHASE liquid.

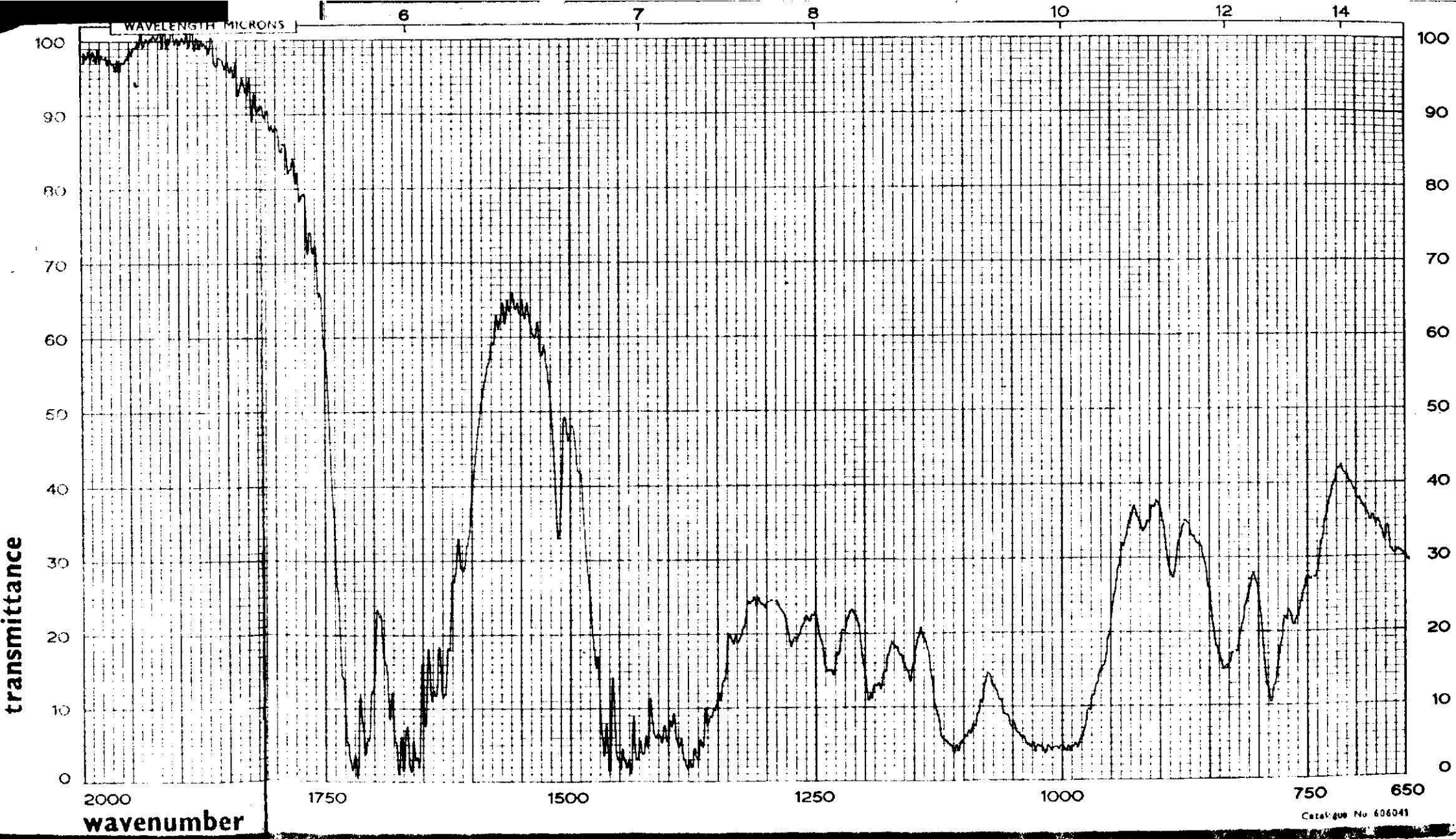
THICKNESS 0.1 mm.

REMARKS

SCAN SPEED medium

DATE Dec , 1938

OPERATOR ชำนาญ



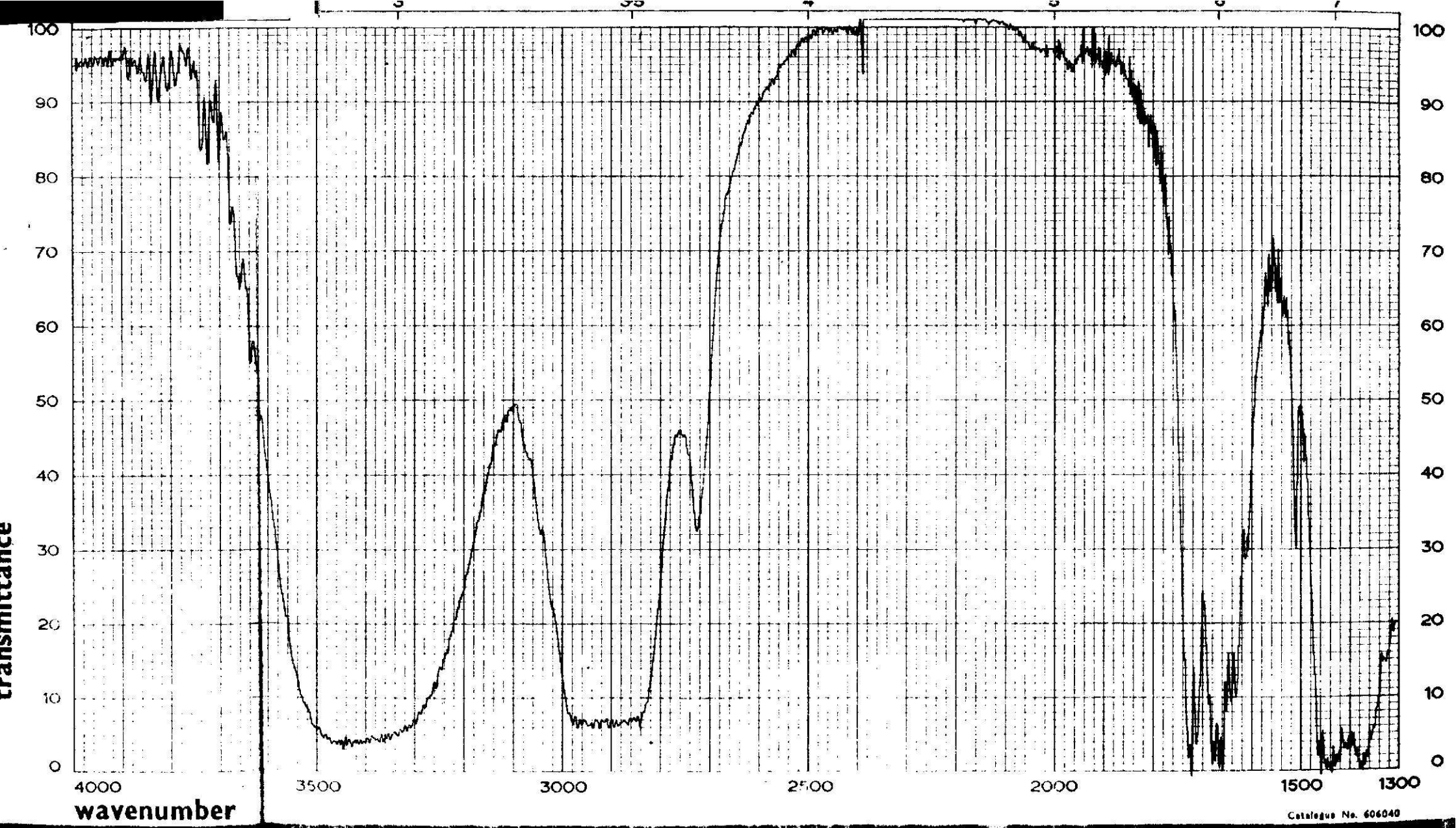
ALIGN WITH INDEX ON THE RECORDER

SAMPLE No. 18 (สารหอม: มะม่วง)

FORMULA ภาพที่ ก-4

PHASE liquid
THICKNESS 0.1 mm

SCAN SPEED medium
DATE Dec 16, 1979



Catalogue No. 606040

ALIGN WITH INDEX
ON THE RECORDER

SAMPLE No. 15 (ตำรับยาที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ)

REFERENCE Air

FORMULA ภาพที่ ค-4 (ต่อ)

PHASE liquid

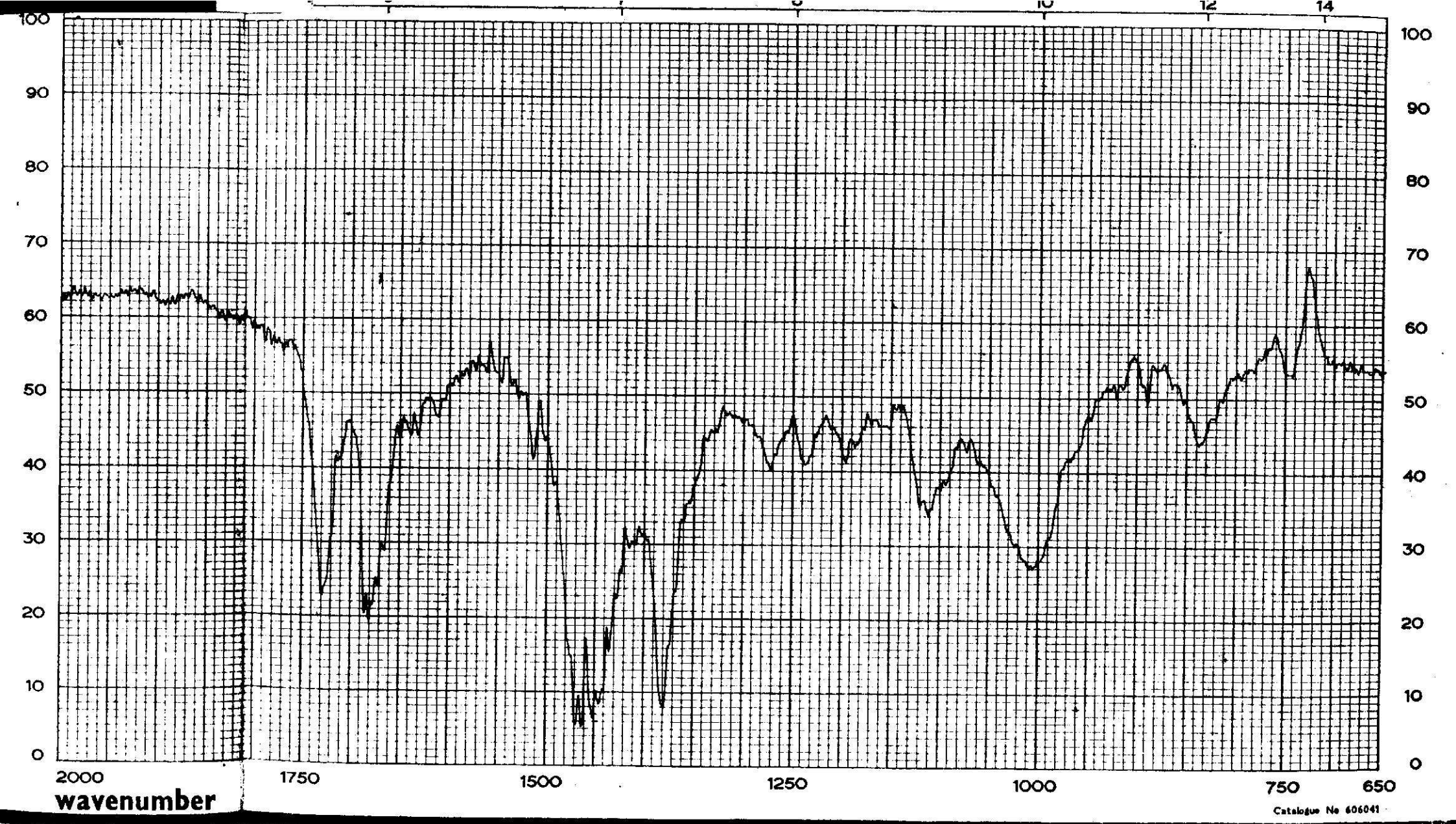
THICKNESS 0.1 mm.

REMARKS

SCAN SPEED medium.

DATE

OPERATOR ปิยะวรรณ



GN WITH INDEX
THE RECORDER

SAMPLE No. 18 + Hexane (ผ้าพันคอไหมพรม)

REFERENCE Hexane

FORMULA ภาพที่ ก-5

PHASE liquid

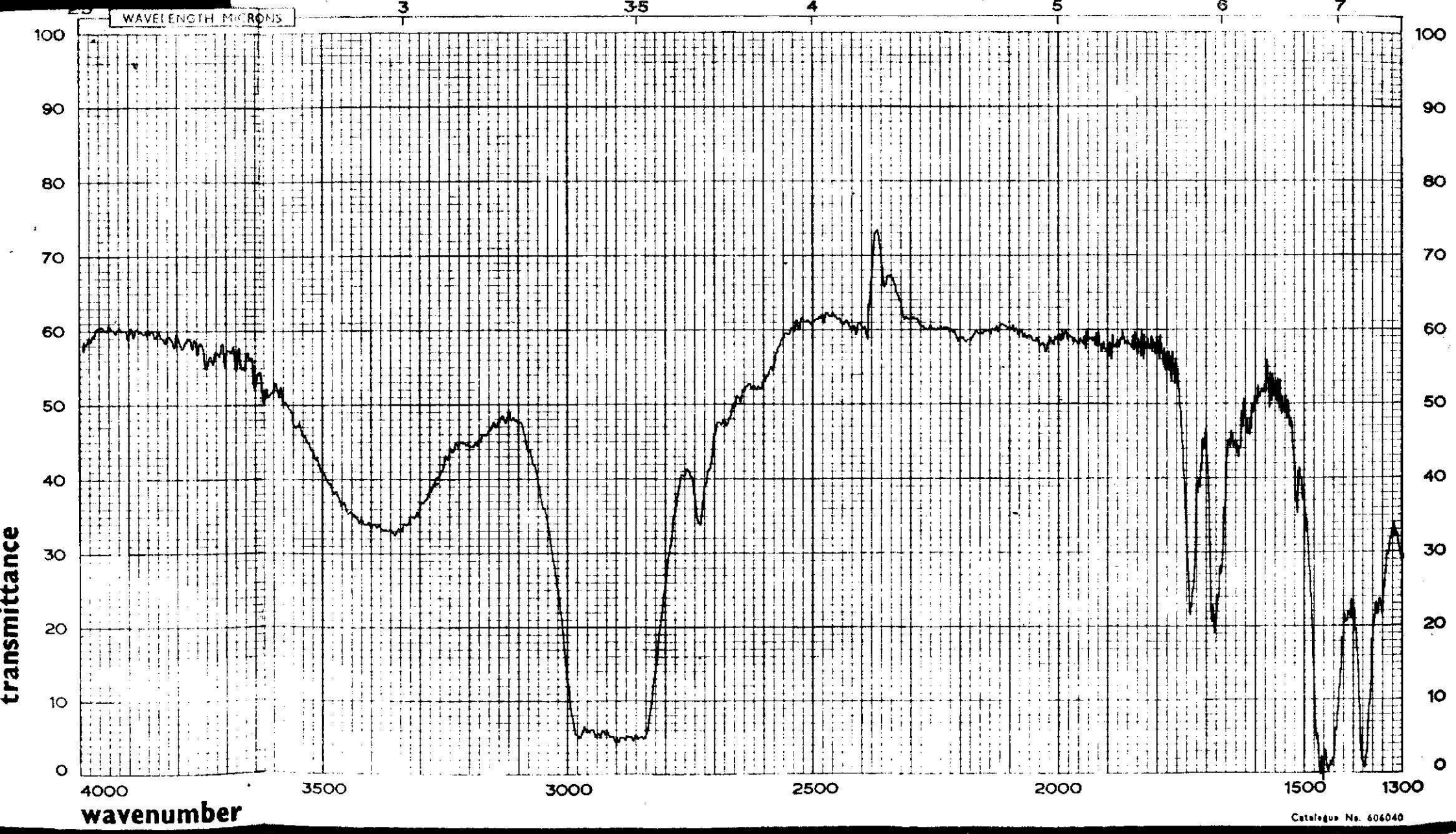
THICKNESS 0.1 mm.

REMARKS

SCAN SPEED medium

DATE

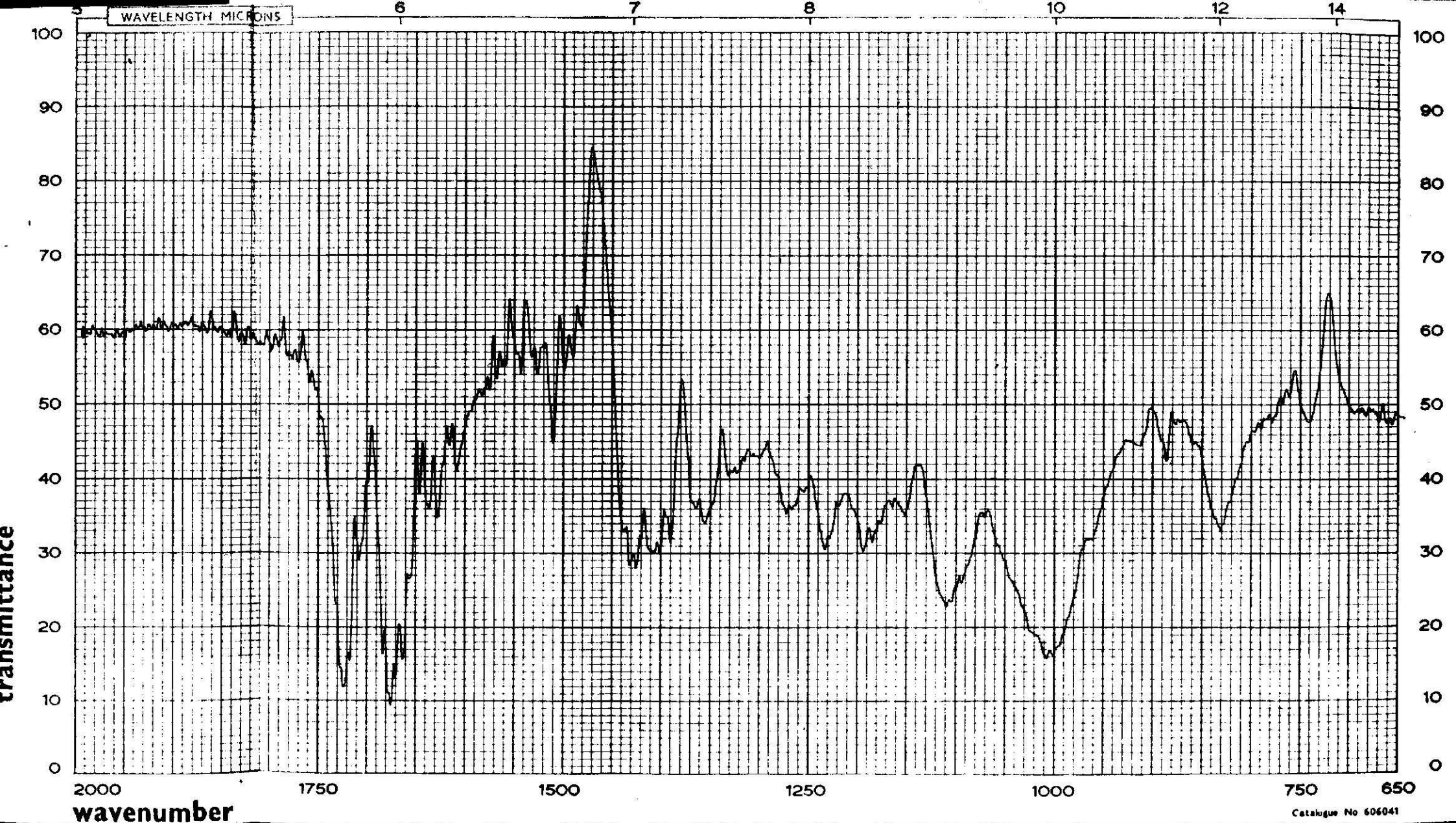
OPERATOR



Catalogue No. 606040

ALIGN WITH INDEX ON THE RECORDER	SAMPLE Mo ib + Hexane (โมลิบดีนัมไฮโดรเจน)	FORMULA	PHASE liquid THICKNESS 0.1 mm	SCAN SPEED medium DATE Dec 16, 1978

ภาพที่ ก-5 (ต่อ)



ALIGN WITH INDEX
ON THE RECORDER

SAMPLE MeN + Hexane (เมื่อผสมกับไฮโดรเจน)

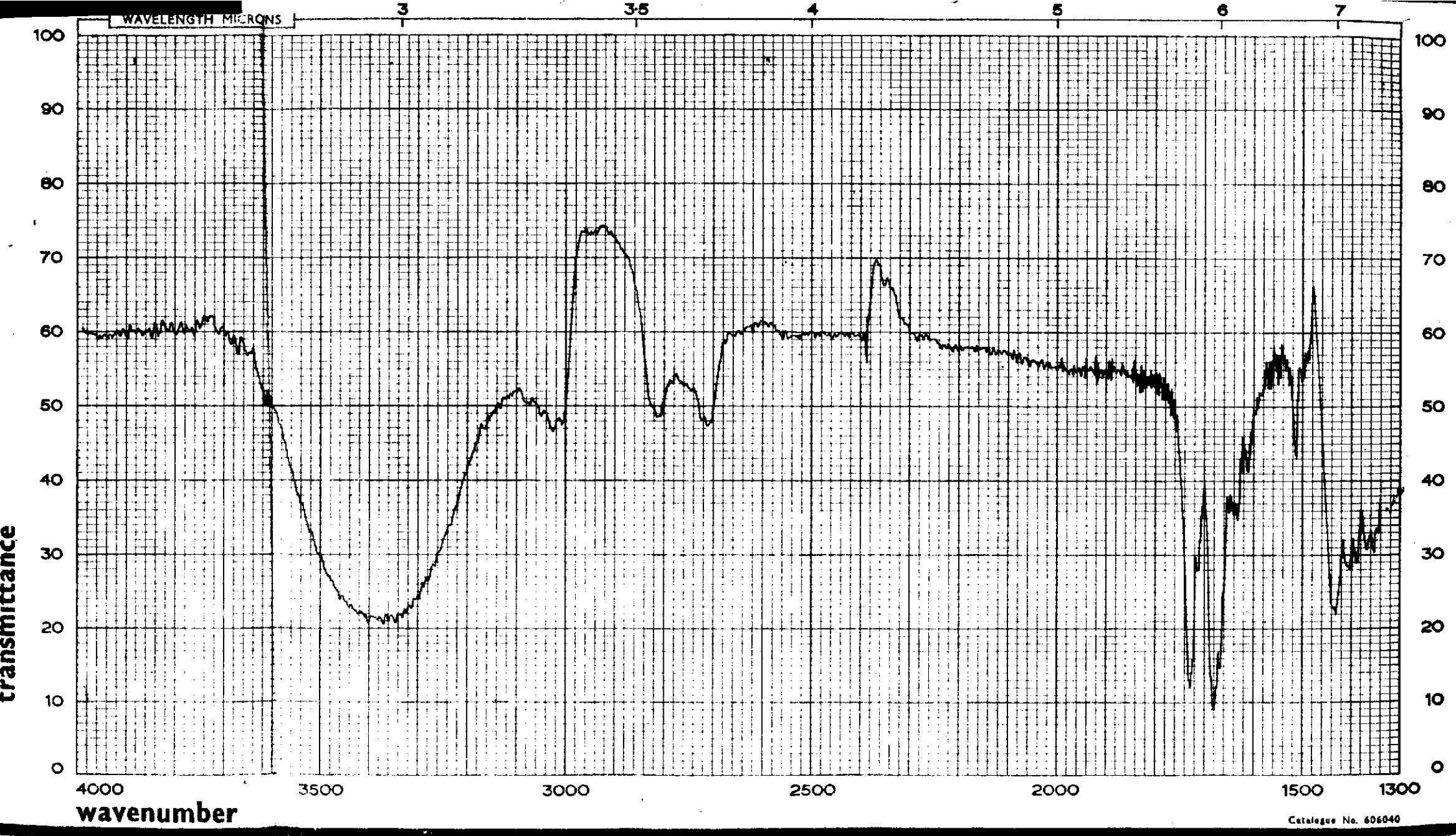
FORMULA ภาพที่ ค-6

PHASE liquid

THICKNESS 0.1 mm.

SCAN SPEED medium

DATE Dec 1978



ALIGN WITH INDEX ON THE RECORDER

SAMPLE No. 17 + Hexane (เฮกเซนไม่ระบุชนิด)

FORMULA ภาพที่ ก-6 (ต่อ)

PHASE liquid.

THICKNESS 0·1

SCAN SPEED medium.

DATE Dec , 1979

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณการประมาณราคาไอน้ำที่ใช้ในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม

ตัวอย่างการคำนวณเฉพาะการทดลองที่ 1

ง.1 คำนวณปริมาตรของน้ำมันที่สกัดได้

โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 4-1 ;

น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ = (% yield) (น้ำหนักตะไคร้หอมแห้งสนิท)/100

$$= \frac{(0.4423)\ (688.86)}{100} \text{ กรัม}$$

= 3.0468 กรัม

จากตารางที่ 4-3 ; ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันตะไคร้หอมที่กลั่นได้มีค่าเท่ากับ 0.8960 ดังนั้น

$$\text{ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้} = \frac{3.0468}{0.8960} = 3.4 \text{ มิลลิลิตร}$$

ง.2 คำนวณปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร

จากตารางที่ 4-1 ; ไอน้ำที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน 3.4 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.290 กิโลกรัม (คิดจากไอน้ำที่ควบแน่นในเครื่องควบแน่นเท่านั้น) ดังนั้นสำหรับน้ำมัน 1 ลิตร ต้องใช้ไอน้ำ

$$= \frac{0.290 \text{ ก.ก. x } 1{,}000 \text{ มิลลิลิตร}}{3.4 \text{ มิลลิลิตร}}$$

= 85.282 กิโลกรัม

ง.3 คำนวณมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำสำหรับการสกัดน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตร

โดยเงื่อนไขการสกัดสำหรับการทดลองที่ 1

ความดันไอน้ำ = 15 psig. = 29.696 psia.

อุณหภูมิขณะสกัด = 121 ^{o}C = 249.8 ^{o}F

ถ้าให้ Q เป็นปริมาณความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักของน้ำ (feed water) สำหรับ boiler เพื่อทำให้น้ำจากอุณหภูมิปกติ 27 ^{o}C หรือ 80.6 ^{o}F ร้อนขึ้นและกลายเป็นไอน้ำ ที่ 29.696 psia. จาก steam table

$$Q = (\text{enthalpy})_{\text{steam at 29.696 psia.}}$$

$$= 1163.907 \text{ Btu/lbm} \quad \text{หรือ}$$

$$Q = 2,707.2476 \text{ kJ/kg}$$

กำหนดให้ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นเชื้อเพลิงสำหรับ boiler ซึ่งจะให้ความร้อนในอัตรา 45 X 10^3 kJ/kg และให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนความร้อนจากน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำของ boiler เท่ากับ 80 % ดังนั้นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอม 1 ลิตรจะคำนวณได้เท่ากับ

$$\frac{(2707.2476 \text{ kJ/kg})(85.282) \text{ kg}}{(45 \times 1000 \text{ kJ/kg})(0.8)} = 6.4133 \text{ kg.}$$

ประวัติการศึกษา

1. นายชวัญชัย สุวรรณสัมฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 4 กันยายน 2492

พ.ศ. 2512 - จบมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนวัดสระเกศ กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2516 - สำเร็จการศึกษา วุฒิ วศ.บ(เกียรตินิยม) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2519 - สำเร็จการศึกษา วุฒิ วศ.ม.(วิศวกรรมเคมี) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย - สงขลานครินทร์ หาดใหญ่

2. นางกรรณิการ์ สถาปิตานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2482

จบมัธยมศึกษาตอนปลาย พ.ศ. 2501 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา พญาไท กรุงเทพ - มหานคร

วท.บ(เกียรตินิยม) สาขาเคมี พ.ศ. 2506 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อบรมปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีโดยใช้เครื่องมือ พ.ศ. 2510 Institut der Technische Chemie Technische Universität Karlsruhe, GERMANY

ปฏิบัติงานที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เมื่อสิงหาคม 2511 จนถึงปัจจุบัน

3. นางสาวอัจฉราพร ศันธุ์รักสังวงส์ เกิดเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม 2499

จบการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายที่ โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพ มหานคร

จบการศึกษาปริญญาตรี ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ปี 2521

ทำงานที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตั้งแต่พฤษภาคม 2521 จนถึงปัจจุบัน

4. นายไพบูลย์ ธัรมรัตนวาสิก เกิดเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2487

พ.ศ. 2511 - สำเร็จการศึกษา วุฒิ กส.บ.(วิทยาศาสตร์การอาหาร) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2514 - สำเร็จการศึกษา วุฒิ Post Grad. Dipl.Tech จาก Massey University (New Zealand)

พ.ศ. 2517 - สำเร็จการศึกษา วุฒิ Cert. in Food Packing จาก CFTRI, Mysore, INDIA.

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

5. นายพิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2492

พ.ศ. 2512 - จบมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนวัดสระเกศ กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2516 - สำเร็จการศึกษา วุฒิ วศ.บ สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์