การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา
(Extraction of Agarwood Oil)

รายงานฉบับสมบูรณ์

โดย

ผศ.ดร. ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์
รศ.ดร. ชาคริต ทองอุไร

เสนอต่อ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

กระบวนสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาในปัจจุบันยังมีประสิทธิภาพไม่สูง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูง ค้นคว้าสภาวะดำเนินการที่เหมาะสม และศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ชุดสกัดประกอบด้วยหม้อกลั่นที่ทำจากเหล็กกล้าปลอดสนิมขนาด 30 ลิตร หอหล่อเย็นขนาด 90 ลิตร ที่บรรจุท่อไอน้ำยาว 120 เซนติเมตร และหน่วยแยกที่ทำจากท่ออคริลิกขนาด 20 ลิตร 2 หน่วย ไม้กฤษณาถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และบดย่อยก่อนนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน ป้อนไม้ 3 กิโลกรัม และน้ำ 27 ลิตร เข้าสู่ชุดสกัด ทำการสกัดนาน 88-96 ชั่วโมง ตรวจสอบปริมาณน้ำมันทุกๆ 8 ชั่วโมง องค์ประกอบของน้ำมันวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ด้วยการกลั่นด้วยน้ำ ภายในเวลา 96 ชั่วโมง ได้ผลได้ทั้งหมดประมาณ 0.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าผลได้ของการกลั่นที่นิยมทำในปัจจุบันที่มีเพียง 0.12% กลั่นภายในเวลา 168 ชั่วโมง ดังนั้นด้วยเครื่องสกัดต้นแบบ ผลได้ของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาจะสูงขึ้นและพลังงานที่ใช้ก็จะลดลง

การกลั่นด้วยไอน้ำให้ผลได้สูงกว่าการกลั่นด้วยน้ำเมื่อใช้เวลาในการกลั่นที่เท่ากัน องค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้คือ 10 epi-γ-eudesmol และ agarospirol จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะเวลาคืนทุนของชุดสกัดนี้อยู่ที่ 0.57 ปี ซึ่งเหมาะสมต่อการลงทุนในเชิงพาณิชย์ต่อไป

Abstract

The conventional extraction process for agarwood oil has low efficiency. This work aimed to develop an agarwood oil extractor with high efficiency. The optimum extraction conditions were investigated. The components of extracted oil were studied. The extractor consists of 30-L stainless steel still with 120-cm steam pipe in 90-L cooling tower and two 20-L acrylic separators. Agarwood was cut into pieces and powdered before soaked in water for 7 days. The distillator was fed with 3 kilograms of agarwood and 27 liters of water. The extraction was carried out for 88 – 96 hours. The oil components were investigated by gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS) every 8 hours. The extracted agarwood oil was dark brown color with density lower than water. With water distillation for 96 hours the total yield was about 0.23%. This yield is higher than the yield by conventional equipment, which is only 0.12% for operating time of 168 hours. Therefore, with our extraction system the oil yield was improved with lower energy consumption.

The yield by steam distillation was higher than the yield by water distillation at the same extraction time. The main components of extracted oil were 10 epi-γ-eudesmol and agarospirol. From economic analysis the payback period of the extractor unit will be 0.57 year, which proper for investment.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	37
ประโยชน์ที่ได้รับ	37
บทที่ 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย	38
1. วัสดุ	38
2. อุปกรณ์	38
3. วิธีการวิจัย	38
บทที่ 3 ผลและวิจารณ์	45
1. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น	45
2. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น	48
3. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ	55
4. การเปรียบเทียบผลได้จากการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบกับการกลั่นของชุมชน	58
5. คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	59
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย	64
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลอง	71
ภาคผนวก ข การคำนวณ ออกแบบเครื่องกลั่นต้นแบบ	79
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่มีการเผยแพร่	92

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ไม้กฤษณา (ไม้หอม) เป็นไม้พื้นเมืองของไทยชนิดหนึ่งซึ่งสามารถนำมาสกัดได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณประโยชน์ทั้งทางเวชภัณฑ์และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และเป็นน้ำมันหอมระเหยที่มีราคาสูงที่สุด ในอดีตกฎหมายกำหนดให้ไม้กฤษณา (ไม้หอม) เป็นของป่าหวงห้ามตามกฎหมายว่าด้วยป่าไม้ซึ่งเป็นไม้ที่อยู่ในป่าสงวนแห่งชาติ อุทยานหรือเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า ปัจจุบันไม้กฤษณาได้กลายเป็นไม้เศรษฐกิจเชิงอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากเพื่อเพิ่มดุลทางการค้าให้กับประเทศไทย

จากวรรณกรรมทางวิชาการทั้งในแบบแผนโบราณและแบบแผนปัจจุบันพบว่าในแบบแผนโบราณน้ำมันหอมระเหยของไม้กฤษณาบำรุงโลหิตในหัวใจ (อาการหน้าเขียว) บำรุงหัวใจ บำรุงตับปอดให้เป็นปกติ แก้ลมวิงเวียนศีรษะ หน้ามืด แก้ลมซาง แก้ไข้ อาเจียน ท้องร่วง บำบัดโรคปวดตามข้อ และยาล้อมตับดับพิษ และในแบบแผนปัจจุบันกฤษณามีฤทธิ์ต่อต้านมะเร็งในลำไส้ มะเร็งในกระเพาะอาหาร มะเร็งในตับและเชื่อว่ามีฤทธิ์อื่นๆ ทางชีวภาพอีกมาก ในด้านการตลาดปัจจุบันมีประเทศต่างๆ ที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์จากไม้กฤษณาหลายกลุ่มประเทศ เช่น กลุ่มประเทศตะวันออกกลาง หรือกลุ่มผู้ผลิตน้ำมันเพื่อนำไปป้องกันไรทะเลทรายที่ทำให้เกิดโรคมัยโคพลาสมา กลุ่มประเทศยุโรปนำน้ำมันหอมระเหยจากกฤษณาเป็นหัวเชื้อน้ำหอม และกลุ่มประเทศจีน ญี่ปุ่น และไต้หวันที่ใช้น้ำมันหอมระเหยจากกฤษณาทางด้านอุตสาหกรรมยา

ในปัจจุบันการกลั่นน้ำมันหอมระเหยของชุมชนใช้อุปกรณ์การต้มกลั่นอย่างง่ายซึ่งจะมีประสิทธิภาพไม่สูงและมีการสูญเสีย อีกทั้งพบว่ามีการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต้มกลั่นอีกด้วย อุปกรณ์การกลั่นที่ได้มาตรฐานส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การผลิตเครื่องกลั่นที่ได้มาตรฐานภายในประเทศยังมีอยู่น้อย ดังนั้น เพื่อให้การกลั่นน้ำมันหอมระเหยของไม้กฤษณาออกมาได้ครบถ้วน เพื่อการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพต่อไป จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยต้นแบบที่มีการดำเนินการง่าย เหมาะสมที่จะดำเนินการได้โดยชุมชน ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูงในระดับที่เหมาะสม เพื่อเผยแพร่ให้ชุมชนและกลุ่มสหกรณ์การเกษตรและอุตสาหกรรมไม้กฤษณาได้ใช้งานต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ไม้กฤษณา

1.1 สายพันธุ์และการกระจายพันธุ์

ไม้กฤษณามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Agarwood เป็นพืชที่อยู่ในตระกูลไธเมลลาอีซีอี (Thymelaeaceae) และสกุลเอควิลาเรีย (*Aquilaria*) มีอยู่ประมาณ 16 ชนิด กระจายอยู่ในแถบเอเชียเขตร้อน ในประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จนถึงฟิลิปปินส์และเอเชียใต้แถบประเทศอินเดีย ปากีสถาน ศรีลังกา ภูฐาน เบงกอล รัฐอัสสัม รวมทั้งกระจายไปทางเอเชียเหนือจนถึงประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (http://www.thaikrisana.com)

ในประเทศไทยมีการกระจายพันธุ์ของไม้กฤษณาที่เรียกชื่อวิทยาศาสตร์อยู่ 4 ชนิด คือ เอควิลาเรีย คราสน่า (*Aquilaria crassna* Pierre ex H.Lec.) เอควิลาเรีย มาลัคเคนซิส (*Aquilaria malaccensis* Roxb.) มีชื่อพฤกษาศาสตร์พ้องคือ เอควิลาเรีย อะกัลโลชา (*Aquilaria agallocha* Roxb.) เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (*Aquilaria subintegra* Ding Hau) ที่ค้นพบโดย ดร.ดิง ฮัว (Dr. Ding Hau) และเอควิลาเรีย ไบโลนิล

การกระจายพันธุ์ของไม้กฤษณาในประเทศไทย พบมากตามสถานที่ต่างๆ ดังนี้

(1) เอควิลาเรีย คราสน่า พบในป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้งทางภาคเหนือ (เช่น เชียงราย แพร่ น่าน) ภาคกลาง (กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ โดยเฉพาะพบมากที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ บริเวณดงพญาไฟ)

(2) เอควิลาเรีย มาลัคเคนซิส พบเฉพาะภาคใต้ที่มีความชุ่มชื้น (เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ระนอง กระบี่ ตรัง พัทลุง ยะลา) โดยเฉพาะที่เขาช่อง จังหวัดตรัง มักพบกฤษณาต้นใหญ่ที่สุดถูกโค่นเหลือแต่ตอทิ้งไว้เป็นจำนวนมาก

(3) เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า พบเฉพาะทางภาคตะวันออก (ระยอง จันทบุรี ตราด โดยเฉพาะที่เขาสอยดาว)

(4) เอควิลาเรีย ไบโลนิล พบในประเทศไทย

กฤษณาชอบขึ้นในที่ชุ่มชื้น จึงมักพบตามป่าดงดิบทั้งชื้นและแล้ง หรือที่ราบใกล้กับแม่น้ำ ลำธาร สามารถขึ้นได้สูงถึง 1,100 เมตร หรือมากกว่าจากระดับน้ำทะเลปานกลาง เช่น พบที่ยอดเขาเขียวบริเวณอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ โดยทั่วไปมักพบกฤษณาขึ้นปนกับไม้อื่น เช่น ยาง ยมหอม ยมหิน หว้า ก่อเดือย และก่อชนิดอื่นๆ สีเสียดเทศ กระโดงแดงและอื่นๆ (องอาจ, 2546) ไม้กฤษณามีอยู่ทั้งหมด 16 สายพันธุ์ ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (ตราด) *Aquilaria subintegra* แหล่งที่พบคือ ประเทศไทย

(2) เอควิลาเรีย คลาสน่า *Aquilaria crassna* แหล่งที่พบคือ ไทย กัมพูชา ลาว เวียดนาม

(3) เอควิลาเรีย มาลัคแคนซิส *Aquilaria malaccensis* แหล่งที่พบคือ ไทย อินเดีย อินโดนีเซีย

(4) เอควิลาเรีย อาปิคูลาตาร์ *Aquilaria apiculata* แหล่งที่พบคือ ฟิลิปปินส์

(5) เอควิลาเรีย ไบโลนิล *Aquilaria baillonil* แหล่งที่พบคือ ไทย กัมพูชา ลาว เวียดนาม

(6) เอควิลาเรีย บานโนซิส *Aquilaria banneonsis* แหล่งที่พบคือ เวียดนาม

(7) เอควิลาเรีย เบคคาเรียน *Aquilaria beccarian* แหล่งที่พบคือ อินโดนีเซีย

(8) เอควิลาเรีย เบรช ไซยันท้า *Aquilaria brachyantha* แหล่งที่พบคือ มาเลเซีย

(9) เอควิลาเรีย คัมมิ่งเจียนน่าร์ *Aquilaria cumingiana* แหล่งที่พบคือ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปินส์

(10) เอควิลาเรีย ฟิลาเรีย *Aquilaria filaria* แหล่งที่พบคือ นิวกินี จีน

(11) เอควิลาเรีย แกรนดิฟลอร์ร่า *Aquilaria grandiflora* แหล่งที่พบคือ จีน

(12) เอควิลาเรีย ฮิลาต้า *Aquilaria hilata* แหล่งที่พบคือ อินโดนีเซีย มาเลเซีย

(13) เอควิลาเรีย คะฮาร์เซียน่า *Aquilaria khasiana* แหล่งที่พบคือ อินเดีย

(14) เอควิลาเรีย ไมโครคาร์ป้า *Aquilaria microcarpa* แหล่งที่พบคือ อินโดนีเซีย มาเลเซีย

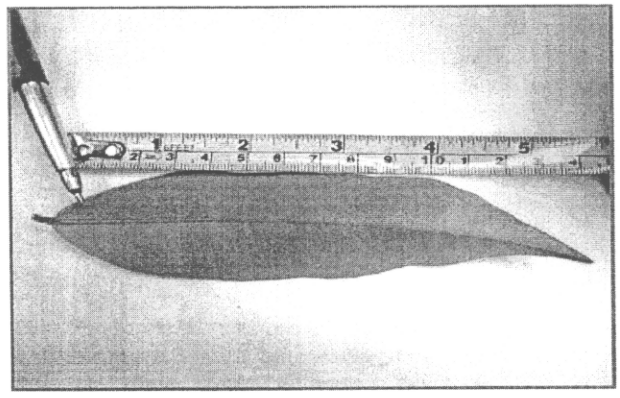
(15) เอควิลาเรีย โรสตราต้า *Aquilaria rostrata* แหล่งที่พบคือ มาเลเซีย

(16) เอควิลาเรีย ไซเนนซิส *Aquilaria sinensis* แหล่งที่พบคือ จีน

1.2 **ชีววิทยาของไม้กฤษณา**

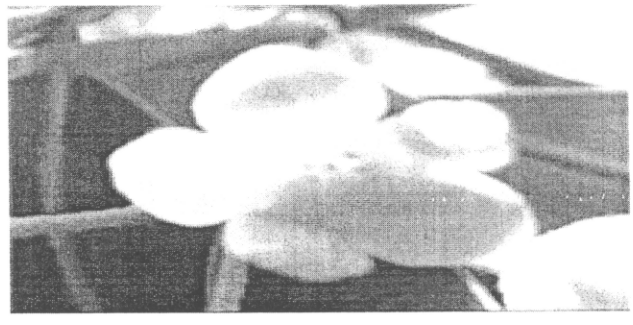
(1) ใบ เป็นแบบใบเดียว เรียงตัวแบบสลับ ใบรูปไข่ หรือรูปร่างยาวขอบขนาน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบแหลม (ภาพประกอบที่ 1) ใบกว้าง 2.5 – 3.5 ซม. ยาว 7 – 8 ซม. ที่ใบแก่เกลี้ยงเป็นมัน ใบอ่อนมีขนสั้นแวววคล้ายไหม ตามขอบใบ เส้นใบ ก้านใบ ตาอ่อนและกิ่งอ่อน ปกคลุมไปด้วยลักษณะเดียวกัน ก้านใบยาว 3 – 5 ซม. เส้นใบที่ออกมาจากเส้นกลางใบมี 2 ขนาด ขนาดใหญ่ทำมุม 45 – 60 องศากับเส้นกลางใบ เส้นใบขนาดเล็กมีขนาดเล็กฝอยเกิดขนานกัน เกือบตั้งฉากกับเส้นซกลางใบ และตักทำมุมกับเส้นใบขนาดใหญ่ เปลือกนอกสีเทาขาว หรือสีน้ำตาลอ่อนๆ เปลือกแตกเป็นร่องเล็กตื้น และแตกถี่ขนานกันไปตามแนวยาวของลำต้น เปลือกใน

สีขาวถึงเหลืองอ่อน หนาประมาณ 1 – 5 มม. เปลือกเหนียวสามารถถลอกออกได้เป็นแผ่นโดยไม่ขาดออกจากกัน

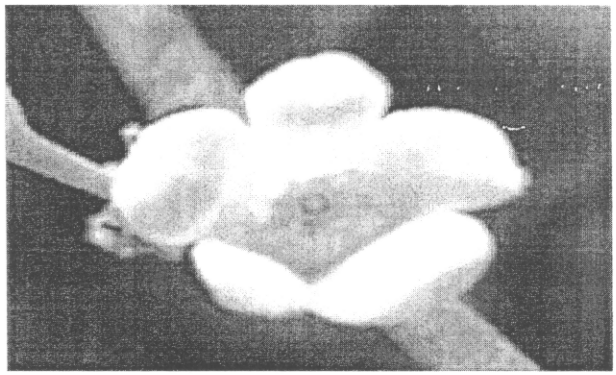


ภาพประกอบที่ 1 ใบไม้กฤษณาพันธุ์สับอินทิกร้า (http://www.thaikrisana.com)

(2) ดอก (ภาพประกอบที่ 2 และ 3) เป็นแบบสมบูรณ์เพศ คือมีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน เกิดตามง่ามใบหรือปลายยอด ก้านดอกสั้น ดอกสีขาวไม่มีกลีบดอก กลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ ติดกันที่โคน ที่ปลายแยกออกเป็น 5 แฉก ปกคลุมด้วยขนสั้นแบบใยไหม ที่โคนแฉกของกลีบเลี้ยงมีเกล็ดอยู่ 10 เกล็ด คือ 2 เกล็ดจะอยู่บนกลีบเลี้ยงแต่ละอัน แต่ละเกล็ดหรือกลีบดอกยังมีเก็ดอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเกสี้ยง ปลายแหลม สีดำ เกิดระหว่างกลีบดอก เกสรตัวผู้มี 10 อัน ก้านเกสรตัวผู้สั้น รังไข่อยู่เหนือส่วนอื่น ๆ ของดอก ไม่มีก้าน และปกคลุมด้วยขนคล้ายไหม รังไข่มี 2 ช่อง ก้านเกสรตัวเมียสั้น และใหญ่

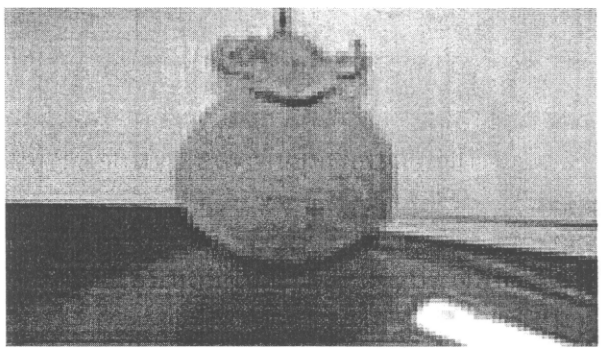


ภาพประกอบที่ 2 ดอกไม้กฤษณาพันธุ์สับอินทิกร้า (http://www.thaikrisana.com)

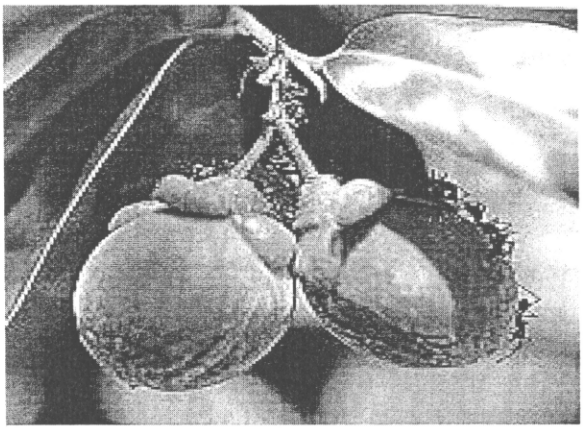


ภาพประกอบที่ 3 ดอกไม้กฤษณาพันธุ์คลาสน่า (http://www.thaikrisana.com)

(3) ผล เป็นแบบหลอดหรือแคปซูล รูปร่างคล้ายไข่กลับหัว หรือหอกกลับหัว ตั้งอยู่บนฐานของกลีบรองกลีบดอกที่ไม่หลุดร่วง (ภาพประกอบที่ 4 และ 5) ผลยาวประมาณ 2.5 ซม. กว้าง ประมาณ 1.5 – 2 ซม. เมล็ดมี 1 หรือ 2 เมล็ด ลักษณะรูปไข่ ขนาดของเมล็ดยาว 5 – 8 มม. มีส่วนฐานที่สดและนุ่ม บางครั้งขยายออกไปเป็นส่วนหาง เมล็ดมีส่วนของเส้นขนาดเล็กยาว เชื่อมต่อกับผล เมล็ดสีแดง ส้ม หรือดำ ปกคลุมไปด้วยขนสั้นและนิ่ม หรือสีน้ำตาลแดง ผลแก่แตกออกเป็น 2 ซีก มีชีวิตอยู่ช่วงสั้นเพียง 1 – 2 สัปดาห์ที่เพาะแล้วงอกดี



ภาพประกอบที่ 4 ผลกฤษณาพันธุ์สับอินทิกร้า (http://www.thaikrisana.com)



ภาพประกอบที่ 5 ผลกฤษณาพันธุ์คลาสน่า (http://www.thaikrisana.com)

1.3 การเกิดสารกฤษณาหรือเรซิน

นักวิชาการได้พยายามศึกษาค้นคว้าทดลองการทำให้เกิดบาดแผลกับต้นกฤษณาตั้งแต่ต้นใหญ่ๆ จนถึงต้นเล็กๆ เพื่อต้องการทราบว่าขนาดของ ต้น กิ่ง หรือก้านที่เล็กที่สุดขนาดใดจึงจะกระตุ้นให้เกิดสารกฤษณาได้ พบว่าขนาดของกิ่งก้านหรือลำต้นเพียงเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม. ก็สามารถกระตุ้นให้เกิดสารกฤษณาได้ และต้นกฤษณาที่อายุน้อยที่สุดที่ทดลองมาพบว่าอายุเพียงแค่ปีครึ่งก็สามารถทำให้เกิดบาดแผลจนเกิดสารกฤษณาได้

การทำให้เกิดบาดแผลเพื่อสร้างสารกฤษณานั้น ควรคำนึงถึงขนาดของกิ่ง ก้านหรือลำต้นมากกว่าอายุ เพราะอายุจะเท่าใดก็ตามแต่ถ้าทั้งก้านหรือลำต้นมีขนาดเล็กมากก็จะไม่สะดวกที่จะทำให้เกิดบาดแผล เพราะการทำให้เกิดบาดแผลต้องทำโดยประณีต ใช้เวลาและสิ้นเปลืองแรงงานมากกว่าที่จะทำให้เกิดบาดแผลกับต้นกฤษณาที่มีขนาดใหญ่

อย่างไรก็ดีเคยมีการทดลองทำให้เกิดบาดแผลที่ต้นกฤษณาอายุสองปีพบว่าเมื่อเจาะลำต้นให้เกิดบาดแผล ก็สามารถสร้างสารกฤษณาในเนื้อไม้รอบๆ แผลได้ แต่ควรทำเมื่อต้นกฤษณามีอายุ 4-5 ปีขึ้นไปจึงจะได้ผลดีกว่า

ในอนาคตคาดว่าจะมีการปลูกต้นกฤษณาเป็นระบบมากขึ้น จะมีสวนกฤษณาเกิดขึ้นทั่วทุกภาคของประเทศไทย การทำให้เกิดบาดแผลที่ต้นกฤษณา จะทำที่กิ่ง ซึ่งสามารถทำให้เกิดบาดแผลได้หลายแผลแต่ไม่ควรทำมากเกินไปจนกิ่งตาย ทำพอให้เกิดกระบวนการรักษาบาดแผลสักสามเดือนถึงหกเดือน ก็ตัดกิ่งนั้นขายเข้าโรงงานผลิตน้ำมันหอมระเหย จากนั้นก็ทำแผลกิ่งใหม่หมุนเวียนไป กิ่งที่ถูกตัดแล้วก็จะแตกกิ่งใหม่ออกมาอีก พอกิ่งโตขึ้นประมาณ 3 ซม. ก็เริ่มทำให้เกิดบาดแผลอีกหรือจะรอให้โตกว่านี้อีกสักระยะหนึ่งก็ได้ นอกจากจะทำให้เกิดบาดแผลที่

กิ่งหรือก้านแล้ว การทำให้เกิดบาดแผลที่ลำต้นก็ใช้วิธีการเดียวกัน แต่จะทำได้สะดวกกว่า เพราะลำต้นมีขนาดใหญ่กว่ากิ่งหรือก้าน

ต้นกฤษณาที่พร้อมจะทำให้เกิดบาดแผลและเจาะกระตุ้นสร้างสารกฤษณาควรมีอายุตั้งแต่ 4 ปีขึ้นไป ทั้งลำต้นและกิ่งควรมีความสมบูรณ์ ก่อนจะทำให้เกิดบาดแผล ควรเริ่มวัดจากโคนต้นขึ้นมาสูงประมาณ 12 นิ้ว กว้าง 7 นิ้ว ขีดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ใช้สิ่วถากเปลือกไม้ออกจะเห็นเนื้อไม้สีขาวนวลและมียางไม้ออกนิดหน่อยตามขนาดรูปสี่เหลี่ยมที่กำหนดขึ้นจากนั้นนำสว่านเจาะรูประมาณหกรูในจุดที่ห่างกันพอดีๆ โดยเจาะลึกประมาณ 3 นิ้ว ไม่ควรเจาะจนทะลุลำต้น แล้วนำสิ่วปากกว้างสกัดแต่งแผลให้ได้ขนาดร่องสิ่วลึกประมาณ 1 นิ้ว ขนาดเท่ากันทุกร่อง ทิ้งไว้ประมาณ 15-20 นาที จะมีมดดำหรือตัวแมลงเข้ามาในรูอยู่เป็นระยะๆ

เมื่อทำให้เกิดบาดแผลและเจาะกระตุ้นสารได้แผลหนึ่งแล้ว สามารถทำให้เกิดบาดแผลเพิ่มขึ้นได้อีกสัก 3-4 แผล รอบๆ ลำต้น แต่ละแผลควรเว้นช่องห่างกันประมาณ 5 นิ้ว เมื่อทำให้เกิดบาดแผล เกิดความช้ำหรือเกิดความเครียดขึ้นที่เนื้อไม้ด้วยการเจาะนี้ก็จะเกิดการหลั่งสารจำพวก ชัน หรือเรซิน เข้ามาสะสมที่เนื้อไม้รอบๆ บาดแผลที่เจาะนั้น สีของเนื้อไม้ก็จะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีขาวมาเป็นสีเหลือง สีน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม สีดำ และสีดำพร้อมมีน้ำมันในที่สุด สารจะมากขึ้นตามลำดับตามเวลาที่ผ่านไปแต่ อันเป็นกระบวนการรักษาบาดแผลตามธรรมชาติของต้นกฤษณา เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 – 12 เดือน เนื้อไม้กฤษณาที่ถูกทำให้เกิดบาดแผลและสร้างสารกฤษณาขึ้นมาได้ก็จะอยู่ในระดับที่ชาวบ้านเรียกว่า ไม้ปากขวาน

หลังการทำให้เกิดบาดแผลจนเกิดสารกฤษณาแล้ว การบำรุงรักษาต้นกฤษณาก็มีความจำเป็นที่ควรทำอย่างต่อเนื่อง โดยธรรมชาติของต้นไม้ทั่วๆ ไปต้องการน้ำในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับต้นกฤษณาเป็นไม้เนื้ออ่อนโตไว เมื่อถูกกระทำให้เกิดบาดแผลโดยการเจาะ การบากหรือกรรมวิธีอื่น ๆ ก็จะเกิดอาการเครียดแล้วหลั่งสารกฤษณาออกมา อาจทำให้ใบร่วงนิด จึงควรรดน้ำติดต่อกันวันเว้นวันประมาณสองสัปดาห์เพื่อให้ต้นกฤษณาฟื้นสภาพพร้อมที่จะเจริญเติบโตต่อไปได้อีก

การทำให้เกิดบาดแผลจนเกิดสารกฤษณานั้นดูเหมือนเป็นการทำง่ายๆ ใครก็ทำได้ แต่การทำให้เกิดการหลั่งสารกฤษณาในเนื้อไม้มากๆ จะต้องเป็นผู้มีประสบการณ์และมีเทคนิคในการทำพอสมควร จึงจะเกิดสารกฤษณาได้มาตามความต้องการ (องอาจ, 2546)

1.4 ประโยชน์ของไม้กฤษณา

ในตำรายาไทยระบุว่า กฤษณารสขมหอม สุขุม คุมธาตุ บำรุงโลหิตในหัวใจ (อาการหน้าเขียว) บำรุงหัวใจ บำรุงตับปอดให้เป็นปกติ แก้ลมวิงเวียนศีรษะ หน้ามืด แก้ลมซาง แก้ไข้ อาเจียน ท้องร่วง บำบัดโรคปวดตามข้อ ตำรับยาที่เข้ากฤษณามีหลายชนิด เช่น ตำรายาเด็กในคัมภีร์ปฐมจินดา แก้ไข้ แก้พิษ เช่น ยาแดง ยาคายพิษ ยาทาลิ้น ทาแก้เสมหะ ยาแก้ไข และยาล้อมตับดับพิษ เป็นต้น ส่วนในพระคัมภีร์มหาโชติรัตน์ว่าด้วยโรคระดูสตรี กฤษณาจะเข้ายาบำรุงโลหิต แก้โลหิตเป็นพิษ เช่น ยาอุดมโอสถน้อย-ใหญ่ ยาเทพรังสิต ยาเทพนิมิต กฤษณาจะเข้ายาบำรุงโลหิต บำรุงธาตุ บำรุงกาม เพื่อให้ตั้งครรภ์ ยากฤษณากลั่น แก้ปวดท้อง จุกเสียด แน่น รวมทั้งยาหอมแทบทุกชนิด เช่น ยาหอมตราห้าเจดีย์ ยาหอมตราฤาษีทรงม้า ล้วนแต่มีส่วนผสมของกฤษณาทั้งสิ้น (สุภาภรณ์, 2537)

ในปัจจุบันมียาที่มีส่วนผสมของกฤษณาอยู่หลายชนิด เช่น ยากฤษณากลั่นตรากิเลน ใช้บำบัดอาการปวดท้อง ท้องเสีย จุกเสียด แน่น หรือยาหอมก็มีอยู่หลายขนาน มีสรรพคุณคือ ใช้แก้ลม วิงเวียนจุกเสียด หน้ามืดตาลาย คลื่นเหียน อ่อนเพลีย บำรุงหัวใจ ขับลมในกระเพาะลำไส้ บำบัดโรคปวดท้อง ท้องขึ้น ท้องเฟ้อ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ยาหอมสุคนธโอสถตราม้า มีตัวยาที่สำคัญ คือ กฤษณา โกฐหัวบัว โกฐพุงปลา ชะเอม สมุลแว้ง ชะมด พิมเสน อบเชย กานพลู ฯลฯ ยาหอมตรา 5 เจดีย์ มีตัวยาสำคัญหลายชนิด คือ กฤษณา ชวนพก (Magnolia officinalis Rehd. Et wils) โกฐสอ กานพลู เกล็ดสะระแหน่ อบเชย โกฐกระดูก พิมเสน โสยเซ็ง (Asarum sieboldii Miq.) ฯลฯ และได้นำกฤษณาไปผลิตยารักษาโรคกระเพาะที่ดีที่สุดชนิดหนึ่ง คือ จับเชียอี่ (สุภาภรณ์, 2537)

1.5 การแบ่งเกรดไม้กฤษณาและน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

สมคิด (2534) แบ่งคุณภาพของไม้กฤษณาในประเทศไทยเป็น 4 เกรด ดังนี้

เกรด 1 ชาวบ้านเรียกว่า ไม้ลูกแก่น มีน้ำมันกฤษณาสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก กระจายอยู่ทั่วเนื้อไม้ ทำให้มีสีดำ มีราคาแพงมากประมาณ 15,000-20,000 บาทต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักเป็น 1.01 เท่าของน้ำ (1010 kg /m^3) หนักกว่าน้ำ จึงจมน้ำ

เกรด 2 มีกลิ่นหอมและน้ำมันสะสมรองจากเกรด 1 สีจะจางออกทางน้ำตาล มีราคาประมาณ 8,000-10,000 บาทต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักเบากว่าน้ำ

เกรด 3 มีกลิ่นหอมและน้ำมันสะสมรองจากเกรด 2 มีราคาประมาณ 1,000-1,500 บาทต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักเป็น 0.62 เท่าของน้ำ (620 kg /m^3) เบากว่าน้ำ จึงลอยน้ำ

เกรด 4 มีกลิ่นหอมและน้ำมันสะสมอยู่น้อย ใช้กลั่นน้ำมันหอมระเหย มีราคา

ประมาณ 400-600 บาทต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักประมาณ 0.39 เท่าของน้ำ (390 kg /m^3) จึงลอยน้ำ ชนิดนี้ ชาวบ้านจะเรียกว่าไม้ปาก ส่วนเนื้อไม้ปกติที่ไม่มีกฤษณาสะสมอยู่ จะมีน้ำหนักเพียง 0.3 เท่าของน้ำ (300 kg /m^3) (http://www.geocities.com/saletree/info_sub_3.htm)

น้ำมันหอมระเหยกฤษณามีการแบ่งเกรดไว้ 3 เกรด ดังนี้

เกรด เอ บวก (A^+) มีความบริสุทธิ์ 100 % ในปัจจุบันมีการยอมรับเพียงแห่งเดียว ที่แคว้นอัสสัม ประเทศอินเดียเท่านั้น ราคาการซื้อขายระหว่าง 8,000 – 10,000 บาทต่อหน่วยโตล่า (12.5 มิลลิลิตร)

เกรด เอ (A) จะมีความบริสุทธิ์ 95 – 99 % เป็นระดับคุณภาพที่ผลิตได้ในประเทศไทย ราคาการซื้อขายโตล่าละ 6,000 – 8,000 บาท

เกรด บี (B) จะมีความบริสุทธิ์ที่ต่ำกว่าเกรด เอ ราคาการซื้อขายโตล่าละ 3,500 – 6,000 บาท

1.6 หน่วยงานที่ทำกิจกรรมเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ปัจจุบันมีองค์กร หน่วยงานที่ทำกิจกรรมเกี่ยวกับไม้กฤษณาและการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาเป็นจำนวนมาก รายชื่อและที่ตั้งของหน่วยงานต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายชื่อและที่ตั้งของหน่วยงานที่ทำกิจกรรมเกี่ยวกับไม้กฤษณาและการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ลำดับที่	รายชื่อหน่วยงาน	ที่ตั้งหน่วยงาน	ประเภทกิจกรรม
1	บริษัท กฤษณา พนาสิน จำกัด	25/11 – 12 หมู่ 11 ต.พลับพลา อ.เมือง จ.จันทบุรี 22000 โทร 66 039 – 418242 –3 แฟกซ์66 039 – 418244 http://www.krissanapanasin.com	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ
2	บริษัท กฤษณะ เอ็สเซ็นท์ ออยล์ จำกัด	126/2050 ซอย 19/1 ถนนติวานนท์ ตำบลปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี โทรศัพท์: 02-964-3488 แฟ็กซ์: 02-964-2684 http://www.thaiessentialoil.com	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ
3	บริษัท ทัชวู้ด ฟอร์เรสตรี้ จำกัด	29 อาคารวานิสสา ชั้น 6 ซ.ชิดลม ถ.เพลินจิต แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 http://www.thaitrip.org/contacts.html	บริหารจัดการสวนกฤษณา
4	บริษัท อะการ์วู้ด สยาม จำกัด	100 ตลาดคำเที่ยง โซน E ล๊อค185-186-187 ตำบลป่าตัน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50000 โทรศัพท์ 0-5387-2686-7 โทรสาร. 0-5387-2686	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ
5	บริษัท อะการ์วู้ดฟาฎอนี แอนด์ แปซิฟิค จำกัด	3 ซ.จะปะกิยา ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000	ผลิตและจำหน่ายน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ลำดับที่	รายชื่อหน่วยงาน	ที่ตั้งหน่วยงาน	ประเภทกิจกรรม
6	สหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด	41ม. 8 ต. ชะรัด อ.กงหรา จ.พัทลุง 93000	บริหารจัดการสวนกฤษณา
7	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรผลิตไม้กฤษณา	8 บ้านจันดี หมู่ 4 ต.กะเฉด อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	แปรรูปผลิตภัณฑ์กฤษณา
8	กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนจังหวัดสตูล	190/1 ม.1 ต.ควนโดน อ.ควนโดน จ.สตูล 91160	แปรรูปผลิตภัณฑ์กฤษณา
9	ชมรมผู้ปลูกกฤษณาแห่งประเทศไทย	3/1 ม.10 ต.พลับพลา อ.เมือง จ.จันทบุรี 22000	ผลิตและจำหน่ายน้ำมันหอมระเหยกฤษณา
10	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา ตราด	196/17 หมู่ 3 ต.บ่อพลอย อ.บ่อไร่ จ.ตราด 23140 ฝ่ายสำนักงาน 039 -591684 Fax. 039-591685	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ
11	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขาอุดรธานี	522 หมู่ 13 พัชราเฮาส์ ซ.ยูคอน ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000 โทร. 081-8733063	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ
12	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา ตาก	1/19 ถ.เอเชีย ต.แม่สอด อ.แม่สอด จ.ตาก 63110 โทร. 086-2097337 07-2044359, 09-5646631	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ

ลำดับที่	รายชื่อหน่วยงาน	ที่ตั้งหน่วยงาน	ประเภทกิจกรรม
13	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา Y P N S	30/1 ม.3 ต.ลุโปะยิไร อ. มายอ จ.ปัตตานี 94140	การปลูกไม้ กฤษณาเชิง เศรษฐกิจ
14	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา สุราษฎร์ธานี	80/4 หมู่ 4 ต.เพิ่มพูนทรัพย์ อ.บ้านนาสาร จ.สุราษฎร์ธานี โทร. 077-404148, 086-9407029	การปลูกไม้ กฤษณาเชิง เศรษฐกิจ
15	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา พิษณุโลก	180 /3 หมู่ 8 ต.มะต้อง อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก 65180 โทร. 081-6258269	การปลูกไม้ กฤษณาเชิง เศรษฐกิจ
16	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา ระยอง	83 / 2 หมู่ 1 ต.บ้านแลง อ.เมือง จ.ระยอง 21000	การปลูกไม้ กฤษณาเชิง เศรษฐกิจ
17	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา ตรัง	2 ถนน ควนวิเศษ ต.ทับเที่ยง อ.เมือง จ.ตรัง 92000 Fax. 075-224150	การปลูกไม้ กฤษณาเชิง เศรษฐกิจ
18	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา ลำปาง	199 หมู่ 12 ต.บ้านโป่ง อ.งาว จ.ลำปาง 52110	การปลูกไม้ กฤษณาเชิง เศรษฐกิจ
19	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา นครศรีธรรมราช	25 หมู่ 6 ต. ถ้ำพรรณรา อ.ถ้ำพรรณรา จ.นครศรีธรรมราช 80260 โทร.01-9799402	การปลูกไม้ กฤษณาเชิง เศรษฐกิจ

ลำดับที่	รายชื่อหน่วยงาน	ที่ตั้งหน่วยงาน	ประเภทกิจกรรม
20	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา กระบี่	9 หมู่ - ถนนคงคา ต. ปากน้ำ อ. เมือง จ. กระบี่ 81000 โทร. 075-611693, 01-3265215 01-9789731	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ
21	ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย สาขา ชุมพร	18/2 ถ.ประชาราษฎร์ อ.หลังสวน จ.ชุมพร	การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ
22	โครงการ การผลิตกฤษณา 60 ล้านต้น	2 หมู่ 4 ต. ชะรัด จ. พัทลุง 93000	บริหารจัดการสวนกฤษณา
23	สมนึกเวชภัณฑ์ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์	3 ซอย 8 หมู่บ้านเสรี 1 ถนนเสรี 2 แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กทม. 10250 โทร. และ แฟ็กส์ 02 3143144, 02 3198171, 02 3194429, 086 344 0483	ผู้ผลิต จำหน่าย เครื่องแก้ว เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องกลั่นกฤษณาขนาดทดลอง

2. ความสำคัญทางเศรษฐกิจของไม้กฤษณา

2.1 ตลาดในประเทศ

การซื้อขายไม้กฤษณาที่ผ่านมาในอดีตค่อนข้างมีข้อมูลน้อย เนื่องจากปัญหาในเรื่องของกฎหมายจากการลักลอบนำไม้กฤษณาจากป่าธรรมชาติมาขายและต้มกลั่น ทำให้ข้อมูลด้านนี้ไม่ได้รับการเปิดเผยมากนัก การซื้อขายไม้กฤษณาและผลิตภัณฑ์จากไม้กฤษณาเพื่อใช้ประโยชน์ในประเทศมีน้อย ไม้กฤษณาที่ได้ส่วนใหญ่นำเข้ามาจากประเทศลาวและกัมพูชาและนอกจากนี้ยังเป็นการลักลอบนำไม้จากป่าอนุรักษ์ภายในประเทศ

สำหรับไม้กฤษณาจากสวนป่าเนื่องจากประเทศไทยมีสวนป่าอายุมากที่สุดประมาณ 12 ปี (ภาณุเมศวร์, 2549) การตลาดของไม้กฤษณาจากไม้ปลูกเริ่มต้นอย่างจริงจังเมื่อประมาณปี 2545 แต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก มีความพยายามที่จะศึกษาวิธีการกระตุ้นสาร

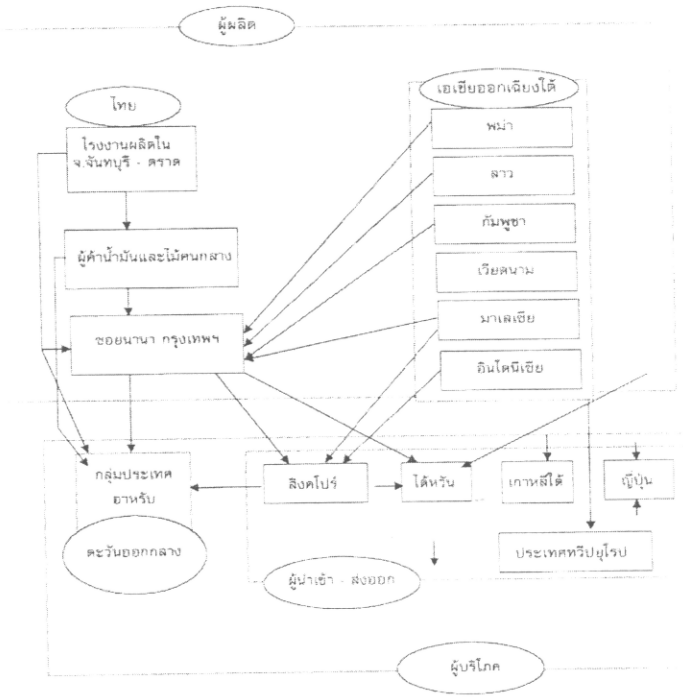
กฤษณาด้วยภูมิปัญญาชาวบ้าน เริ่มมีเกษตรกรผู้ปลูกสวนป่าได้ตั้งโรงงานกลั่น เพื่อกลั่นไม้กฤษณา ในจังหวัดตราดและจันทบุรีเริ่มมีการซื้อไม้จากการทำสารกระตุ้นกฤษณาและไม้ปากขวาน กิโลกรัมละ 50 - 250 บาท ซึ่งเป็นเกรดของไม้กฤษณาที่ต่ำที่สุด ปัจจุบันการกระตุ้นสารกฤษณาจากไม้กฤษณาปลูกไม่ว่าวิธีการใดเป็นที่ยอมรับของชาวต่างชาติถึงคุณภาพของน้ำมันกฤษณาและชิ้นไม้จุดดม ซึ่งมีการเซ็นสัญญาซื้อขายล่วงหน้าไม้กฤษณาจากไม้ปลูกแล้ว

ในอนาคตอันใกล้นี้ตลาดซื้อขายไม้กฤษณาจะย้ายฐานมาอยู่ในประเทศไทยเนื่องด้วยอนุสัญญาไซเตส (CITES) กำหนดให้ประเทศสมาชิกที่มีการนำเข้าหรือส่งออกจะต้องแสดงหลักฐานแหล่งที่มาของต้นกฤษณา หรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งบางประเทศไม่สามารถแสดงได้ และภายในปี 2549 จะมีศูนย์อาหรับซิตี้ใหญ่เกิดขึ้นใจกลางกรุงเทพ ฯ ซึ่งจะเป็นตลาดใหญ่ของการซื้อขายไม้กฤษณา และแน่นอนในอนาคตจะเป็นการซื้อขายผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากไม้กฤษณาปลูกเท่านั้น เนื่องจากไม้ธรรมชาติมีจำนวนน้อยลง

2.2 ตลาดต่างประเทศ

ข้อมูลจากไซเตสปี 2540 รายงานจากประเทศผู้นำเข้าไม้กฤษณา พบว่ามีการส่งออกไม้กฤษณาทั้งส่วนที่เป็นผง ไม้ท่อนและชิ้นไม้สับรวมประมาณ 600,000 กิโลกรัม โดยประเทศสิงคโปร์ ไต้หวัน ฮ่องกง ซาอุดีอาระเบีย สหรัฐอาหรับอิมิเรตส์ อินเดีย ญี่ปุ่น โอมาน จีน และกาตาร์ เป็นประเทศที่นำเข้าไม้กฤษณามากที่สุด เรียงตามลำดับ สำหรับน้ำมันกฤษณาประเทศซาอุดีอาระเบีย นำเข้าน้ำมันกฤษณา 379 กิโลกรัม โดยประเทศที่ส่งออกไม้กฤษณามากที่สุดคือ ประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย (Angela et al., 1998)

ศุลกากรประเทศไต้หวันได้รายงานว่า ประเทศไต้หวันเป็นประเทศที่เป็นตลาดปลายทางสุดท้ายของไม้กฤษณามากที่สุดรองจากทุกประเทศที่ส่งออกไม้กฤษณาไปไต้หวัน 807 ตัน โดยประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกไปสู่ตลาดไต้หวันมากเป็นลำดับที่ 3 ประมาณ 65 ตันในปี พ.ศ. 2541 มีการส่งออกชิ้นไม้สับกฤษณา 8 ตัน ผ่านประเทศสิงคโปร์ไปยังประเทศต่าง ๆ ตามเส้นทางการตลาดดังแสดงภาพประกอบที่ 6



ภาพประกอบที่ 6 เส้นทางการตลาดของไม้กฤษณา (ภาณุเมศวร์, 2549)

ไม้กฤษณาเป็นไม้ที่ได้รับความสนใจอย่างมากจากหลาย ๆ ประเทศทั่วโลกในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา จึงควรมีการเร่งการส่งเสริมศึกษาวิจัยในทุกกระบวนการทั้งการปรับปรุงพันธุ์ การขยายพันธุ์ การปลูกและการดูแลรักษา ตลอดจนการชักนำให้เกิดสารกฤษณาจำนวนมาก รวมทั้งการกลั่นน้ำมันกฤษณา (ภาณุเมศวร์, 2549)

3. กฎหมายเกี่ยวกับไม้กฤษณา

3.1 พืชอนุรักษ์

พืชอนุรักษ์ หมายถึง พืชชนิดที่กำหนดไว้ในบัญชีแนบท้ายอนุสัญญาไซเตส ซึ่งรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการเกษตรและสหกรณ์ประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษาโดยอาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติพันธุ์พืช (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 โดยการออกประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ว่าด้วยเรื่องพืชอนุรักษ์โดยเฉพาะพืชอนุรักษ์ เป็นพืชชนิดที่ประเทศสมาชิกอนุสัญญาไซเตสทั่วโลกได้เสนอให้ขึ้นบัญชีไว้โดยมีการพิจารณาร่วมกันในที่ประชุมสมัยสามัญภาคีอนุสัญญาไซเตส ซึ่งจัดขึ้นทุกๆ 3 ปี ชนิดพืชเหล่านี้พิจารณาและประเมินผลในหลายๆ ด้านแล้วว่าเป็นชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามอันเนื่องมาจากการค้า

ระหว่างประเทศและอยู่ในภาวะใกล้จะสูญพันธุ์ ประชากรในธรรมชาติลดลง รายชื่อชนิดพืชอนุรักษ์และข้อยกเว้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสมัยวาระการประชุม ฯ

พืชอนุรักษ์แบ่งออกเป็น 3 บัญชี ดังนี้คือ

บัญชีแนบท้ายที่ 1 หมายถึง ชนิดพันธุ์ที่ใกล้จะสูญพันธุ์ ห้ามทำการค้าโดยเด็ดขาดโดยเฉพาะที่เก็บมาจากป่า ยกเว้นเพื่อการศึกษาวิจัย หรือได้มาจากการเพาะพันธุ์ หรือขยายพันธุ์เทียม เท่านั้น การค้าระหว่างประเทศจะต้องได้รับความยินยอมจากประเทศที่จะนำเข้าเสียก่อน ประเทศส่งออกจึงจะออกใบอนุญาตส่งออกได้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความอยู่รอดของชนิดพันธุ์นั้นๆ ด้วย ตัวอย่างเช่น กล้วยไม้สกุลรองเท้านารีทุกชนิด (Plphiopedilum spp.) เอื้องปากนกแก้ว (Dendrobium cruentum) เป็นต้น พืชในบัญชีนี้ มีประมาณ 298 ชนิด

บัญชีแนบท้ายที่ 2 หมายถึง ชนิดพันธุ์ที่ยังไม่ถึงกับใกล้จะสูญพันธุ์แต่มีแนวโน้มใกล้จะสูญพันธุ์ จึงยังอนุญาตให้ค้าขายได้ แต่จะต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหายหรือไม่ทำให้จำนวนประชากรในธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็วจนใกล้จะสูญพันธุ์ ทั้งนี้ ประเทศที่จะส่งออกจะต้องควบคุมไม่ให้กระทบกระเทือนต่อการดำรงอยู่ของชนิดพันธุ์นั้น ๆ ในธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น พืชในวงศ์กล้วยไม้ทุกชนิด (Orchidacca) วงศ์แคคตัสทุกชนิด (Cactaceae) ปรงทุกชนิด (Cycas spp.) หม้อข้าวหม้อแกงลิงทุกชนิด (Nepenthes spp.) เฟิร์นต้นทุกชนิด (Cyathea spp.) ละอองไฟฟ้า (Cibotium Barometz) ระย่อม (Rauvolfia Serpentine) และกฤษณาทุกชนิด (Aquilaria spp.) เป็นต้นพืชในบัญชีนี้ มีประมาณ 28,074 ชนิด

บัญชีแนบท้ายที่ 3 หมายถึง ชนิดพันธุ์ที่ประเทศสมาชิกใดประเทศหนึ่งต้องการคุ้มครองชนิดพันธุ์ของตนเองไม่ให้สูญพันธุ์ และขอความร่วมมือจากประเทศสมาชิกอื่นให้ช่วยตรวจสอบดูแลการนำเข้าให้ด้วย กล่าวคือ จะต้องมีหนังสือรับรองการส่งออกจากประเทศถิ่นกำเนิดของพืชอนุรักษ์ในบัญชีแนบท้ายที่ 3 ที่ขึ้นบัญชีไว้ ตัวอย่างเช่น เมื่อย (Genetum Montanum) มณฑาเนปาล (Magnolia Liifera) จากประเทศเนปาล เป็นต้น พืชในบัญชีนี้ มีประมาณ 45 ชนิด

3.2 กฤษณากับอนุสัญญาไซเตส

ในปี พ.ศ. 2538 กฤษณาได้ถูกขึ้นบัญชีแนบท้ายอนุสัญญาไซเตสบัญชีที่ 2 ไว้ การค้าต้นกฤษณาและผลิตภัณฑ์กฤษณาระหว่างประเทศจึงถูกควบคุมกำกับดูแลโดยประเทศสมาชิกอนุสัญญาไซเตส การนำเข้าและส่งออกจะต้องมีหนังสืออนุญาตไซเตส

ที่ผ่านมาในประเทศไทย มีการขออนุญาตส่งออกดังนี้ ในปี พ.ศ. 2539 ขออนุญาตส่งออกชิ้นไม้กฤษณาไปประเทศสิงคโปร์จำนวน 243.8 กิโลกรัมและในเดือนมกราคม พ.ศ.

2548 ที่ผ่านมาส่งออกผงขี้เลื่อยผสมกฤษณาเพื่อใช้ทำธูปไปประเทศไต้หวันจำนวน 24,300 กิโลกรัม สำหรับการนำเข้าในปี 2546 มีการนำเข้าชิ้นไม้กฤษณาและผงขี้เลื่อยกฤษณาจากประเทศมาเลเซียจำนวน 7,550 กิโลกรัม เงื่อนไขของการนำเข้า ส่งออกหรือนำผ่านพืชอนุรักษ์และซากของพืชอนุรักษ์ตามพระราชบัญญัติ พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติพันธุ์พืช (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2535 ฉบับ พ.ศ. 2547 สรุปได้ คือ

การนำเข้า ผู้นำเข้าจะต้องแนบหนังสืออนุญาตไซเตสจากประเทศต้นทาง (ฉบับจริง) มาแสดงเป็นหลักฐานจึงจะออกหนังสืออนุญาตนำเข้าให้ได้และการขออนุญาตนำเข้าอนุญาตให้นำเข้าได้เฉพาะด่านตรวจพืชสังกัดกรมวิชาการเกษตรเท่านั้น

การส่งออก ผู้ส่งออกจะต้องแสดงหลักฐานแหล่งที่มาของต้นกฤษณาหรือผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สำเนาใบอนุญาตค้าของป่าหวงห้ามหรือหลักฐานแสดงแหล่งที่มาในกรณีมิใช่ของป่าของป่าหวงห้ามตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พ.ศ. 2484 ในกรณีที่ไม่ได้มาจากการขยายพันธุ์เทียม (ของป่า) สำหรับกรณีที่มาจากการขยายพันธุ์เทียมหรือปลูกขึ้นเอง ต้องแสดงหลักฐานแสดงแหล่งที่มาหรือหมายเลขใบสำคัญการขึ้นทะเบียนสถานที่เพาะเลี้ยงพืชอนุรักษ์เพื่อการค้า จึงจะออกหนังสืออนุญาตส่งออกให้ได้

4. น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย เป็นสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบสลับซับซ้อน ได้จากการสกัดน้ำมันที่พืชสมุนไพรสร้างขึ้น โดยเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ของพืชสมุนไพร เช่น เมล็ด ดอก ใบ ผล เปลือก ลำต้น หรือที่รากและเหง้า เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยโดยทั่วไปเป็นของเหลวใสไม่มีสีหรือมีสีอ่อนๆ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ เมื่อได้รับความร้อนน้ำมันจะระเหยได้ดียิ่งขึ้น กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชสมุนไพรแต่ละชนิด เช่น น้ำมันตะไคร้หอม ประกอบด้วย Genaniol, Citronella และ Borneol ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติในการไล่แมลง หรือน้ำมันตะไคร้ประกอบด้วย Citral, Linalool และ Geraniol ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติช่วยในการขับลม แก้จุกเสียด เป็นต้น

การใช้น้ำมันหอมระเหยในการบำบัดรักษาโรคหรือที่เรียกว่า สุวคนธบำบัด (Aromatherapy) เป็นธุรกิจการให้บริการรูปแบบใหม่ในประเทศไทย ที่ได้รับความนิยมในกลุ่มคนที่ต้องการผ่อนคลายความเครียด ด้วยคุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหยจะมีผลต่อระบบของร่างกายเกือบทุกส่วน กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยจะกระตุ้นสมองส่วนที่มีผลต่ออารมณ์ การสูดดมน้ำมันหอมระเหยจะช่วยให้เข้าถึงการสมดุลของอารมณ์ที่เป็นสุข ซึ่งมีผลในการบำบัดโรคที่เป็นปัญหา

ทางร่างกาย โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวข้องกับความเครียด คุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหยแต่ละกลิ่นจะมีประโยชน์แตกต่างกัน เช่น คาร์โมไมล์ กุหลาบ ไม้จันทร์ ช่วยให้กลายกังวล ส่วนสาระแหน่ มะกรูด ตะไคร้ ส้ม กระดังงา จะช่วยลดอาการประสาทตึงเครียด กระตุ้นร่างกายและจิตใจทำให้รู้สึกสดชื่น

5. มาตรฐานไทยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันหอมระเหย

ในปัจจุบันได้มีการนำพืชสมุนไพรไทยบางชนิดมากลั่นน้ำมันหอมระเหยและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และด้านเภสัชกรรม ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยให้มีคุณภาพดีและเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรม จึงมีการกำหนดมาตรฐานของน้ำมันหอมระเหยขึ้น โดยคณะกรรมการวิชาการคณะที่ 861 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันหอมระเหย ได้กำหนดมาตรฐานแล้ว ดังนี้

(1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันไพล (Phlai Oil) มาตรฐานเลขที่ มอก.1679-2541

(2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันดอกกานพลู (Clove Bud Oil) มาตรฐานเลขที่ มอก.1680-2541

(3) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันตะไคร้ (Lemongrass Oil) มาตรฐานเลขที่ มอก.1681-2541

(4) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันตะไคร้หอม (Citronella Oil) มาตรฐานเลขที่ มอก.1682-2541

(5) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันผิวมะกรูด (Makrut Peel Oil) มาตรฐานเลขที่ มอก.2078-2544

(6) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันใบมะกรูด (Makrut Leaf Oil) มาตรฐานเลขที่ มอก.2079-2544

(7) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันโหระพา (Basil Oil Thai type) มาตรฐานเลขที่ มอก.2080-2544

6. ทฤษฎีการกลั่น

6.1 ประเภทของการกลั่น

การกลั่นแบบใช้น้ำ (Hydrodistillation) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทด้วยกันคือ

(1) การกลั่นด้วยน้ำ (Water distillation) คือการกลั่นโดยใส่พืชลงในน้ำแล้วต้ม พืชจะลอยหรือจมอยู่ในน้ำ เช่นในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากกุหลาบ เราไม่สามารถกลั่นโดยใช้ไอน้ำได้ เพราะเมื่อกลีบกุหลาบสัมผัสกับไอน้ำจะหดและเหนียวจึงไม่สามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ แต่ถ้าใส่กลีบกุหลาบลงไปในน้ำ กลีบกุหลาบจะสามารถลอยวนในน้ำได้อย่างอิสระ หรือในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเปลือก ซินนามอน การที่นำเปลือกซินนามอนไปไว้ในน้ำเดือดทำให้น้ำมันหอมระเหยสามารถแพร่ออกมาจากเนื้อเยื่อของพืชได้ง่ายขึ้น

(2) การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) พืชจะวางบนตะแกรงซึ่งอยู่เหนือก้นหม้อต้มกลั่นพอสมควร ส่วนล่างของหม้อต้มกลั่นจะมีน้ำบรรจุอยู่ ระดับน้ำต่ำกว่าตะแกรงเล็กน้อย เมื่อน้ำร้อนจนเดือด ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated steam) จะสัมผัสกับพืช ลักษณะเด่นของวิธีนี้คือไอน้ำทั้งหมดจะเป็นไอเปียก ไม่เป็นไอร้อนยวดยิ่งและพืชจะสัมผัสเฉพาะไอเท่านั้นไม่ได้สัมผัสน้ำเดือด การกลั่นแบบนี้เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุดสำหรับสำรวจความเป็นไปได้ของการผลิตน้ำมันหอมระเหย จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยในทางการค้า (Guenther, 1972)

(3) การกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) คล้ายกับวิธีที่สอง แต่น้ำจะไม่ได้อยู่ใต้หอกลั่น ไอน้ำอิ่มตัวหรือไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam) ซึ่งมักจะมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ (เช่น 1-2 เท่าของความดันบรรยากาศ) จะมาจากหม้อต้มความดัน (Boiler) ข้อดีของการกลั่นแบบใช้ไอน้ำ คือสามารถกลั่นได้อย่างรวดเร็ว หม้อต้มกลั่นสามารถบรรจุพืชได้มากทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยปริมาณมาก

(4) การกลั่นด้วยไอร้อนแห้ง (Dry steam distillation) ใช้ไอร้อนยวดยิ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก และบางครั้งอาจเพิ่มความร้อนให้แก่หม้อต้มกลั่นซึ่งบรรจุพืชที่นำมากลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วย ทำให้ไม่มีไอน้ำส่วนใดในหม้อต้มกลั่นควบแน่นเป็นน้ำเลยขณะทำการกลั่น แต่ต้องระมัดระวังไม่ให้พืชถูกอบจนไหม้เกรียมด้วยการออกแบบตะแกรงกระจายความร้อนที่เหมาะสม (จุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ฯ, 2522)

6.2 ผลกระทบหลักของการกลั่นด้วยไอน้ำ

การแพร่ของน้ำมันหอมระเหยและน้ำร้อนผ่านเนื้อเยื่อของพืช (Hydrodiffusion) น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ทันทีโดยการระเหยด้วยไอน้ำจะเป็นน้ำมันหอมระเหยที่อยู่บนผิวของพืช น้ำมันหอมระเหยในส่วนที่เหลือยังคงอยู่ใต้ผิวของพืชจนกว่าจะเกิดแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแพร่ผ่านเยื่อบางๆ ของพืช ซึ่งคือการออสโมซิสนั่นเอง สำหรับการกลั่นด้วยไอน้ำ ไอน้ำจะไม่สามารถ

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

แทรกผ่านผนังเซลล์ที่แห้งของพืชได้ พืชที่แห้งสามารถสกัดได้ด้วยไอร้อนแห้งเท่านั้น เมื่อนำพืชไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าการออสโมซิสของน้ำมันหอมระเหยผ่านผนังเซลล์ของพืชเกิดได้น้อยมาก แต่ถ้าบดพืชให้ละเอียดเพื่อทำลายผนังเซลล์ก็จะได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากขึ้น

การเกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ขององค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย ในน้ำมันหอมระเหยจะมีเอสเทอร์อยู่ เมื่อเอสเทอร์เจอกับน้ำที่อุณหภูมิสูงก็จะเกิดการสลายตัวเป็นกรดอินทรีย์และอัลกอฮอล์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดจะไม่สมบูรณ์ไปทางใดทางหนึ่ง เมื่อเข้าสู่สมดุลย์ ในระบบก็จะประกอบด้วย เอสเทอร์ น้ำ กรดอินทรีย์ และอัลกอฮอล์ ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นขององค์ประกอบทั้งสี่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$K = \frac{(\text{alcohol}) \times (\text{acid})}{(\text{ester}) \times (\text{water})} \qquad (1)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่ที่อุณหภูมิกำหนด

(alcohol) = ความเข้มข้นโมแลลของอัลกอฮอล์ที่สภาวะสมดุลย์

(acid) = ความเข้มข้นโมแลลของกรดอินทรีย์ที่สภาวะสมดุลย์

(ester) = ความเข้มข้นโมแลลของเอสเทอร์ที่สภาวะสมดุลย์

(water) = ความเข้มข้นโมแลลของน้ำที่สภาวะสมดุลย์

ดังนั้นถ้าใช้น้ำในการกลั่นมากก็จะเกิดอัลกอฮอล์และเอสเทอร์มาก ซึ่งทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยน้อยลง นี่เป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของการกลั่นด้วยน้ำ สำหรับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ โอกาสที่น้ำมันหอมระเหยสัมผัสกับน้ำจะลดลง และจะลดลงเหลือน้อยที่สุดถ้ากลั่นด้วยไอน้ำโดยเฉพาะเมื่อใช้ไอร้อนยวดยิ่ง

การสลายตัวเนื่องจากความร้อน เราสามารถคุมความดันของเครื่องกลั่นได้ แต่อุณหภูมิของไอน้ำและไอน้ำมันหอมระเหยจะไม่คงที่ โดยจะต่ำสุดในตอนเริ่มกระบวนการ เนื่องจากองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำของน้ำมันหอมระเหยจะกลายเป็นไอออกมาก่อน และจะสูงขึ้นเมื่อองค์ประกอบที่มีจุดเดือดสูงระเหยออกมา ซึ่งองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่นั้นจะไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง ควรหาวิธีกลั่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสเช่นการกลั่นสุญญากาศ (Guenther, 1972)

7. เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย

7.1 หลักการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการกลั่นพืชวัตถุดิบขึ้นอยู่กับขนาดของการดำเนินการและชนิดของการกลั่น อย่างไรก็ดีมีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วนซึ่งเป็นพื้นฐานของการกลั่นที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องทั้ง 3 ชนิด ได้แก่

(1) ส่วนหม้อต้มกลั่น (Still)

(2) ส่วนถังควบแน่น (Condenser)

(3) ส่วนรองรับของเหลวที่ได้จากการควบแน่น (Separator)

สำหรับการกลั่นที่มีการให้ความร้อนด้วยวิธีอื่นนอกเหนือไปจากการได้รับความร้อนโดยตรงของหม้อต้มกลั่นจะมีส่วนประกอบเพิ่มขึ้นจาก 3 ส่วนดังที่กล่าวมาแล้วคือ หม้อต้มน้ำ (Boiler) ใช้ในการผลิตไอน้ำ ส่วนนี้จำเป็นสำหรับการกลั่นแบบใช้ไอน้ำ ซึ่งต้องใช้ไอร้อนยวดยิ่งที่ผลิตได้จากหม้อน้ำที่แยกไอน้ำเท่านั้น

7.1.1 หม้อต้มกลั่น

ประกอบด้วยหม้อต้มกลั่นที่เรียกว่า ถังบรรจุ ใช้สำหรับบรรจุพืชวัตถุดิบและท่อต่อน้ำหรือไอน้ำให้สัมผัสกับพืชวัตถุดิบ เพื่อทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหย รูปแบบที่ง่ายที่สุดสำหรับถังบรรจุ คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือน้อยกว่าความสูงของตัวถังเพียงเล็กน้อย และมีฝาซึ่งสามารถเปิดปิดได้อยู่ด้านบน ส่วนบนสุดหรือบริเวณใกล้เคียงจะติดตั้งท่อลักษณะคล้ายคอห่าน (Gooseneck) เพื่อนำไอที่ได้จากการสกัดไปควบแน่น สำหรับการกลั่นแบบใช้ไอน้ำ อุปกรณ์อย่างง่ายนี้ก็เพียงพอ เริ่มด้วยการนำน้ำและพืชวัตถุดิบใส่รวมกันในถังบรรจุ ปิดฝา และให้ความร้อนที่ด้านล่างของถังบรรจุ สำหรับการกลั่นแบบใช้น้ำและไอน้ำ จะมีตระแกรงรองรับพืชวัตถุดิบอยู่เหนือบริเวณส่วนล่างสุดของการต้มหม้อกลั่น ดังนั้นน้ำจะไม่สัมผัสกับพืชวัตถุดิบ ในกรณีที่ใช้การกลั่นแบบใช้ไอน้ำ ตะแกรงจะต้องอยู่ใกล้กับส่วนล่างสุดของถัง ในที่นี้ไอน้ำจะถูกนำเข้ามาในถังโดยท่อน้ำซึ่งมักใช้เป็นท่อขดเจาะรู หรือท่อขวางตัดกัน แล้วเจาะรูให้ไอน้ำผ่าน วางท่อที่บริเวณส่วนล่างสุดของถัง ระยะห่างระหว่างส่วนล่างสุดของถังบรรจุกับท่อไอน้ำควรห่างเพียงพอเพื่อให้สามารถรองรับน้ำที่เกิดการควบแน่นในถังบรรจุมาสะสมอยู่โดยไม่สัมผัสกับไอน้ำ ในการใช้หม้อต้มอย่างง่ายดังที่กล่าวมาแล้วอาจจะไม่สะดวกเพราะเป็นการยากที่จะนำพืชวัตถุดิบที่ใช้แล้วออกจากถัง

สำหรับคอห่านที่อยู่บริเวณศูนย์กลางของฝาปิดด้านบนของถังบรรจุต่อไปถึงส่วนควบแน่น คอห่านนี้ไม่ควรจะสูงมาก เพื่อให้ไอน้ำผ่านไปยังถังควบแน่น และข้อต่อของคอห่านต้องมีฉนวนหุ้มอย่างดี ท่อที่นำมาใช้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 4 นิ้ว และถ้าอัตราการกลั่น

เพิ่มขึ้นอาจจะใช้ท่อขนาดใหญ่กว่า คอห่านควรจะทำเอียงต่ำลงจากหม้อต้มกลั่นสู่ถังควบแน่น ไม่ควรเอียงขึ้น เพราะจะทำให้ไอที่ควบแน่นแล้วไหลย้อนกลับสู่หม้อต้มกลั่น

ตะแกรงรองรับพืชวัตถุดิบอาจใช้เป็นตะแกรงซึ่งมีช่องตะแกรงขนาดใหญ่หรือใช้เป็นถาดเจาะรู หรือเป็นไม้ระแนงขัดเป็นตาราง ในการกลั่นวัตถุดิบที่เป็นเมล็ดพืชโดยเฉพาะเมล็ดพืชที่บดแล้ว จำเป็นต้องบุตะแกรงด้วยผ้ากระสอบ หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและอนุภาคที่ละเอียดตกลงไปยังส่วนล่างของหม้อต้มกลั่นและไปอุดตันท่อไอน้ำ ถ้าเป็นการกลั่นแบบใช้น้ำและไอน้ำ ตะแกรงควรจะติดตั้งเหนือบริเวณสวนล่างของถังบรรจุประมาณ 2 ฟุต ในกรณีที่ใช้การกลั่นแบบใช้ไอน้ำ มีความจำเป็นต้องติดตั้งตะแกรงห่างจากก้นถังเพียงพอ เพื่อช่วยให้ไอน้ำเข้าได้สะดวกยิ่งขึ้น ควรติดโซ่หรือลวดรอบๆ เส้นรอบวงของตะแกรง เพื่อช่วยในการนำพืชวัตถุดิบหลังจากการกลั่นแล้วออกโดยการยกตะแกรงออก ถ้าหากพืชวัตถุดิบที่ใช้ในการกลั่นแต่ละครั้งมีมากกว่า 200 หรือ 300 ปอนด์ เพื่อความสะดวกควรใช้ตะแกรงรองรับวางซ้อนอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการบรรจุมากเกินไป และทำให้การกระจายไอน้ำดียิ่งขึ้น สะดวกในการนำวัตถุดิบที่ใช้แล้วออกจากถังบรรจุ วัตถุดิบที่มีลักษณะหยาบและเบาสามารถบรรจุได้สูง ส่วนวัตถุที่ละเอียดกว่าและหนักกว่าไม่ควรบรรจุสูง หม้อต้มกลั่นที่ใช้น้ำในการกลั่นควรจะมีความกว้างมากกว่าความสูง เพื่อให้พืชที่บรรจุเป็นชั้นตื้น ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงแรงกดทับอันเกิดจากน้ำหนักของวัตถุดิบที่บรรจุในปริมาณมาก และช่วยให้วัตถุดิบสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในน้ำเดือด ทำให้การกลั่นใช้เวลาน้อยลง และได้ผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยมากขึ้น ในการกลั่นแบบใช้น้ำและไอน้ำ สามารถออกแบบให้ถังบรรจุมีความสูงมากกว่าความกว้าง เพื่อให้ไอน้ำผ่านชั้นของพืชวัตถุดิบมากขึ้นเท่าที่จะเป็นไปได้

ในการคำนวณหาขนาดของหม้อต้มกลั่น สิ่งที่ควรคำนึงถึงอีกประการหนึ่งก็คือการขยายตัวของวัตถุดิบในระหว่างการกลั่น ซึ่งอาจจะขยายตัวออก 1 ใน 3 ส่วน ของปริมาตรเดิม ความสูงของหม้อต้มกลั่นนอกจากจะขึ้นอยู่กับความกว้างของหม้อต้มกลั่นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความพรุนของพืชวัตถุดิบอีกด้วย ควรเลือกใช้หม้อต้มกลั่นที่มีความสูงมากสำหรับพืชวัตถุดิบที่สามารถขยายตัวออกมาในขณะทำการกลั่น และเลือกใช้หม้อต้มกลั่นที่เตี้ยกว่าสำหรับวัตถุดิบที่มีการขยายตัวน้อยกว่า (Ernest, 1972)

อุปกรณ์และหลักการในการออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถทำการกลั่นด้วยน้ำ กลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ หรือกลั่นด้วยไอน้ำได้ โดยได้ใช้การคำนวณและออกแบบดังนี้

ตัวถัง (สุธรรม, 2542)

เป็นถังประเภทถังบรรยากาศ และถังสุญญากาศ สามารถรับอุณหภูมิ (T) ประมาณ 70 – 140°C รับความดัน (P) ที่ความดันบรรยากาศ และต่ำกว่าบรรยากาศ วัสดุของถังกลั่นใช้เหล็กปลอดสนิม (Stainless steel) ปริมาตรของตัวถัง (V) สามารถหาได้จากการคำนวณโดยอิงจากความหนาแน่นของของวัตถุดิบและสามารถคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังจากสมการที่ 2

$$V = 0.785\ D_i^2 h + V_{head} \qquad (2)$$

โดย

V = ปริมาตรของตัวถังบางส่วนแบบวางตั้ง, dm^3

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถัง, mm

h = ระดับของเหลวที่บรรจุในตัวถัง, mm

V_{he} = ปริมาตรของฝาถัง, dm^3

การหาความหนาของถังกลั่น (Pressure vessel) กำหนดค่าอุณหภูมิของการออกแบบ, T_{des} เท่ากับ 170°C กำหนดค่าความดันของการออกแบบ, P_{des} เท่ากับ 2 บาร์ หรือ 0.02 MPa. ค่าความเค้นของการออกแบบ, S_{des} เท่ากับ 86.25 ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3

$$S_{des} = S_{plate}\, f \qquad (3)$$

โดย

S_{des} = ค่าความเค้นของการออกแบบ, (MPa)

S_{plate} = ค่าความเค้นของโลหะแผ่นตามชนิดของอุณหภูมิ (115 MPa)

f = ค่าประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อ, (0.75)

ดังนั้นความหนาของตัวถังสามารถหาได้จากสมการที่ 4

$$t = \frac{P_{des} D_i}{2S_{des} - 1.2P_{des}} \qquad (4)$$

โดย

t = ความหนาของถังกลั่น, mm

P_{des} = ความดันในการออกแบบ, MPa

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถัง, mm

S_{des} = ความเค้นการออกแบบ, MPa

พื้นที่ผิวของถังกลั่นหาได้จากสมการที่ 5

$$A=3.1416D_iL+2A_{head} \quad (5)$$

โดย

A = พื้นที่ผิวของถัง, m^2

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของตัวถัง, mm

L = ความสูงของถังกลั่น, mm

A_{head} = พื้นที่ผิวของฝาถัง, mm

ฝาถัง

ฝาปิดตัวถังด้านบนเป็นฝาถังแบบฝาถังรูปไข่ (Ellipsoidal head) ปริมาตรของฝาถังบน (V_{head}บน) หาได้จากสมการที่ 6

$$V_{head}=0.524D_i^2h \quad (6)$$

โดย

V_{head}บน = ปริมาตรของฝาถังบน, mm^3

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถัง, mm

h = ความสูงของฝาถัง, mm

พื้นที่ผิวของฝาถังบน (A_{head}บน) หาได้จากสมการที่ 7

$$A_{head}=0.785D_i^2\left[1+\frac{8h^2}{D_i^2}\left(1-\frac{h}{D_i}\right)\right] \quad (7)$$

โดย

A_{head}บน = พื้นที่ผิวของฝาถังบน, mm^2

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถัง, mm

h = ความสูงฝาถัง, mm

ฝาปิดตัวถังด้านล่างเป็นฝาถังแบบฝาถังแบบจาน (Dished) ปริมาตรของฝาถังล่าง (V_{head}ล่าง) สามารถหาปริมาตรได้จากสมการที่ 8

$$V_{head} = 0.524 D_i^2 h \quad (8)$$

โดย

V_{heed}ล่าง = ปริมาตรของฝาถังกลั่นล่าง, mm^3

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถัง, mm

h = ความสูงของฝาถัง, mm

พื้นที่ผิวของฝาถังล่าง (A_{head} ล่าง) หาได้จากสมการที่ 9

$$A_{head} = 0.524 \left[D_i^2 + 8h^2 \left(1 - \frac{h}{D_i} \right) \right] \quad (9)$$

โดย

A_{head}ล่าง = พื้นที่ผิวของฝาถังล่าง, mm^2

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถังล่าง, mm

h = ความสูงฝาถังล่าง, mm

ท่อไอน้ำร้อน

ความหนาของท่อ (t_m) ท่อนำไอสามารถหาความหนาได้จากสมการที่ 10

$$t_m = \frac{D_o}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{S_s - P_s}{S_s + P_s}} \right] + C \quad (10)$$

โดย

t_m = ความหนาต่ำสุดของท่อนำไอ, mm

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ, mm

S_s = ความเค้นในแนวเส้นท่อที่ปลอดภัย, kPa

P_s = ความดันใช้งานที่ปลอดภัย, kPa

C = ความหนาขอบเขยสำหรับการกัดร่อน, 1.3 mm

ขนาดของท่อนำไอ (D_i) สามารถหาได้จากสมการที่ 11

$$D_i = 18.8\sqrt{\frac{W}{\rho V_n}} \qquad (11)$$

โดย

D_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, mm

W = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/hr

ρ = ความหนาแน่นของไอ, kg/ m^3

V_n = ความเร็วปกติของไอในท่อ, 35 m/s

หรือสามารถหาได้จากสมการที่ 12

$$D_i = \frac{7.65W^{0.408}}{\rho^{0.343}} \qquad (12)$$

โดย

D_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, mm

W = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/hr

P = ความหนาแน่นของไอ, kg/ m^3

7.1.2 ถังควบแน่น

ถังควบแน่น เป็นส่วนประกอบหลักส่วนที่ 2 ในการกลั่น ถังควบแน่นมีขนาดและการออกแบบได้หลากหลาย (ภาพประกอบที่ 9) เป็นส่วนที่เปลี่ยนไอน้ำและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เป็นไอให้กลายเป็นของเหลวโดยระบายความร้อนจากไอน้ำและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เป็นไอและควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด อัตราการระบายความร้อนสามารถหาได้จาก

$$q = U \times A \times \Delta t \qquad (13)$$

โดย q = อัตราการระบายความร้อนต่อหน่วยเวลา

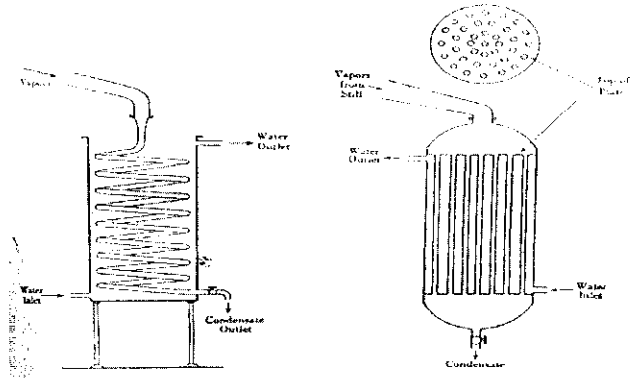
U = ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับสภาวะของการทำงาน

A = พื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของถังควบแน่น

Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างไอร้อนและน้ำหล่อเย็น

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรคำนึงถึงในการสร้างถังควบแน่นคืออัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน และอัตราการไหลของไอน้ำและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เป็นไอ และค่าคงที่ U จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหล ความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเนื่องจากอุณหภูมิของไอร้อนจะคงที่ (Ernest, 1972)

ส่วนท่อที่ใช้ในการควบแน่นควรติดตั้งในแนวที่ลาดเอียงลงเล็กน้อยเพื่อความสะดวกในการระบายไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยที่ควบแน่นแล้ว ขนาดของท่อจะค่อยๆ เล็กลงจากต้นจนถึงปลายทางออก เพื่อหลีกเลี่ยงความดันย้อนกลับในหม้อต้มกลั่น เมื่อปริมาณและความเร็วของไอร้อนซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วในการควบแน่น ขนาดของท่อที่ใช้ก็สามารถลดขนาดลงตามความเหมาะสม โดยทั่วไปในส่วนควบแน่นจะใช้ท่อขดเป็นวงเป็นทางเดินของไอร้อนที่จะควบแน่นติดตั้งอยู่ภายในถังควบแน่น ซึ่งในถังควบแน่นจะผ่านน้ำเข้าทางด้านล่างให้ทิศทางการไหลสวนทางกับการไหลของไอร้อน ถังควบแน่นที่มีอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นสูงจะเพิ่มประสิทธิภาพในการควบแน่น ถังควบแน่นชนิดนี้จะใช้ท่อตรงจำนวนมากวางขนานกันในแนวตั้งเพื่อเป็นทางผ่านของไอร้อนโดยมีน้ำหล่อเย็นไหลอยู่ด้านนอก จำนวนและความยาวของท่อขึ้นอยู่กับปริมาณของการควบแน่น ถังควบแน่นที่มีลักษณะเป็นท่อตรงนี้นอกจากจะมีประสิทธิภาพมากกว่าถังควบแน่นแบบท่อขดแล้ว ยังใช้พื้นที่น้อยกว่าและทำความสะอาดง่ายกว่าอีกด้วย



a b

ภาพประกอบที่ 9 ลักษณะของถังควบแน่นแต่ละชนิด

a) แบบท่อขด b) แบบท่อตรง (Ernest, 1972)

น้ำหล่อเย็นที่ใช้ควรเป็นน้ำอ่อนเพื่อป้องกันการเกิดคราบห่อหุ้มพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน อันจะทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง และต้องทำความสะอาดบ่อยครั้งขึ้น ในการสร้างถังควบแน่น ควรออกแบบให้มีขนาดใหญ่เล็กน้อย การใช้ท่อตรงหรือท่อขดที่มีความยาวมากจะช่วยเพิ่มพื้นที่ที่สัมผัสกับไอน้ำและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เป็นไอมากขึ้น และดูดกลืนความร้อนได้มากกว่า จะช่วยลดปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ ดังนั้น อุณหภูมิของของเหลวที่ได้จากการควบแน่น จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น พื้นที่ผิวของถังควบแน่นควรมากเพียงพอเพื่อรองรับการกลั่นที่มีอัตราการกลั่นเร็ว การกลั่นช้าเกินไปจะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ มีน้ำที่กลั่นออกมากเกินไป และเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของพืชวัตถุดิบ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยที่ได้ต่ำ

ในการควบแน่นไอร้อนที่รวดเร็วเกินไปจะทำให้ถังควบแน่นทำงานไม่สม่ำเสมอหรือเกิดการติดขัด จากเหตุผลดังกล่าวจึงควรป้อนน้ำหล่อเย็นให้เพียงพอเท่าที่จำเป็นในการควบแน่นและการทำเย็นเท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ของน้ำมันหอมระเหยด้วย ประสิทธิภาพสูงสุดของการควบแน่นคือ ได้ของเหลวจากการควบแน่นมีอุณหภูมิต่ำและน้ำหล่อเย็นที่ออกจากถังควบแน่นมีอุณหภูมิของไอร้อนที่เข้าสู่ถังควบแน่น

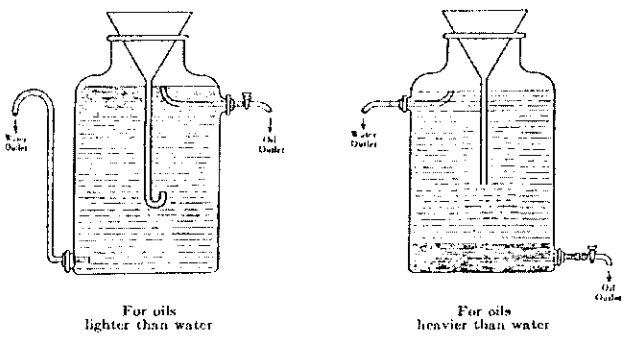
ถ้าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวถังควบแน่นกับพื้นที่ผิวของการให้ความร้อนในหม้อต้มกลั่นเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม จะเป็นการบำรุงรักษาถังควบแน่น และช่วยให้อัตราการกลั่นเร็วมากขึ้น ถ้าไอร้อนผ่านยังถังควบแน่นด้วยความเร็วสูงในขณะที่ท่อของถังควบแน่นสั้นเกินไป สำหรับการควบแน่นที่สมบูรณ์หรือการทำเย็นของเหลวที่ได้จากการควบแน่น จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยจากการระเหยได้ ท่อของถังควบแน่นมักทำจากทองแดงเคลือบดีบุกหรือดีบุกบริสุทธิ์และมักใช้อลูมิเนียมหรือสแตนเลสในกรณีที่ต้องป้องกันการเปลี่ยนสีของน้ำมันหอมระเหยจากปฏิกิริยาของเหล็กหรือทองแดง อย่างไรก็ตามอลูมิเนียมไม่สามารถใช้กับน้ำมันหอมระเหยที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบ

ในการกลั่นที่ใช้ระบบลดความดัน ท่อของถังควบแน่นต้องมีความแข็งแรงเพียงพอเพื่อรองรับความดันที่แตกต่าง โดยไม่ทำให้น้ำหล่อเย็นจากตัวถังควบแน่นรั่วเข้ามาในท่อ และถังควบแน่นต้องมีความกว้างเพียงพอที่จะไม่เป็นอุปสรรคในการไหลของไอร้อน ถ้าท่อคอห่านมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยจนเกินไปจะเป็นการเพิ่มความดันภายในหม้อต้มกลั่น ทำให้เกิดความดันย้อนกลับ พึงระลึกไว้เสมอว่าโครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการต้มกลั่นควรจะมีตะแกรงระหว่างท่อคอห่านกับตัวถังควบแน่นเพื่อกันเศษของพืชวัตถุดิบผ่านเข้าไปในท่อของถังควบแน่น ซึ่งจะทำให้

เกิดการอุดตัน และเป็นสาเหตุของการระเบิดของหม้อต้มกลั่น และที่หม้อต้มกลั่นควรติดตั้งวาล์วนิรภัยไว้ด้วย

7.1.3 เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหย

เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนประกอบหลักส่วนที่ 3 ในการกลั่น เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับของเหลวจากการควบแน่น อาจใช้เป็นขวดแก้วใสหรือเป็นเครื่องแยกน้ำมันหอมระเหย ทำงานโดยแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากของเหลวที่ได้จากการควบแน่น เนื่องจากปริมาตรของน้ำที่ได้จากการควบแน่นมีมากกว่าปริมาตรของน้ำมันหอมระเหยเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดน้ำออกอย่างต่อเนื่อง ของเหลวที่ได้จากการควบแน่นจะไหลจากถังควบแน่นเข้าสู่เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหย ซึ่งจะแยกน้ำที่ใช้ในการกลั่นและน้ำมันหอมระเหยออกจากกันโดยอัตโนมัติ เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยสร้างตามหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ จึงทำให้น้ำและน้ำมันหอมระเหยไม่สามารถละลายเข้าด้วยกันได้ ของเหลวทั้งสองจึงแยกออกเป็น 2 ชั้น ซึ่งโดยปกติแล้วน้ำมันหอมระเหยจะลอยอยู่ชั้นบนเหนือชั้นของน้ำ แต่ในกรณีที่ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหอมระเหยมากกว่า 1.0 น้ำมันหอมระเหยจะจมอยู่ด้านล่างของเครื่องแยกน้ำมันหอมระเหย (ภาพประกอบที่ 10) การออกแบบส่วนรองรับน้ำมันจึงต้องออกแบบให้สามารถกำจัดน้ำออกได้ทั้งกรณีที่ทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่หนักกว่า หรือเบากว่าน้ำ



a b

ภาพประกอบที่ 10 เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยตามหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ

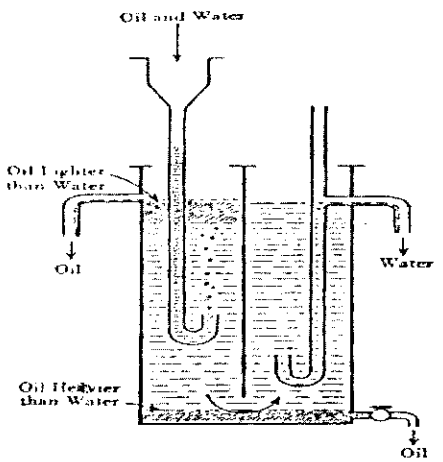
a) น้ำมันหอมระเหยมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ

b) น้ำมันหอมระเหยมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ (Ernest, 1972)

ในการแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากของเหลวที่ได้จากการควบแน่นควรจะทำโดยใช้ขวดแยก 2 อัน โดยจัดให้น้ำที่ไหลออกจากขวดแรกไหลลงสู่ขวดที่ 2 เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันหอมระเหยจะไม่สูญเสียเป็นหยดเล็กๆ อยู่ในน้ำเลย ปัจจัยที่สำคัญในการแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากของเหลวก็คืออุณหภูมิ

เครื่องแยกน้ำมันหมอระเหยขนาดเล็กมักทำจากแก้ว ส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่ามักทำจากโลหะ เช่น ดีบุก, ทองแดงเคลือบดีบุก, อลูมิเนียม หรือ เหล็กชุบสังกะสี โดยส่วนมากนิยมใช้ภาชนะที่ทำด้วยทองแดงเคลือบดีบุกจะเหมาะสมที่สุด ไม่ควรใช้ภาชนะที่ทำด้วยตะกั่วกับน้ำมันหอมระเหยที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระ เพราะจะทำให้เกิดเกลือของตะกั่ว ซึ่งอาจเป็นพิษ ถ้าใช้น้ำมันหอมระเหยภายในร่างกาย ท่อหรือจุกขวดที่ทำด้วยยางก็ไม่สมควรนำมาใช้ เพราะยางจะละลายในน้ำมันหอมระเหย ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

ส่วนรองรับชนิดอื่นๆ ได้แก่ภาชนะรูปทรงกระบอกหรือรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งแบ่งภายในออกเป็น 2 ช่อง โดยส่วนล่างของแผ่นกั้นเว้นช่องว่างเล็กน้อยเหนือส่วนล่างสุดของภาชนะเพื่อให้ทั้ง 2 ช่องสามารถเชื่อมถึงกันได้ ของเหลวที่ได้จากการกลั่นและควบแน่นจะไหลออกทางช่องแรก ในขณะที่น้ำที่ได้จากการกลั่นและควบแน่นจะไหลออกทางท่อด้านบนของช่องที่ 2 ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่เบากว่าน้ำจะสะสมอยู่ส่วนบนของช่องแรก และไหลออกทางท่อที่ติดตั้งไว้ ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยที่หนักกว่าน้ำจะจมอยู่ที่ส่วนล่างสุดของทั้งสองช่องที่เชื่อมถึงกันและไหลออกทางท่อที่ติดตั้งไว้ (ภาพประกอบที่ 11)

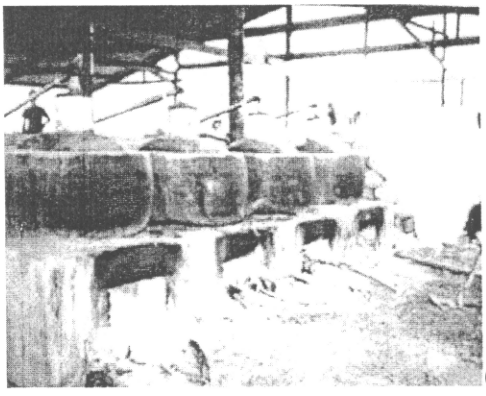
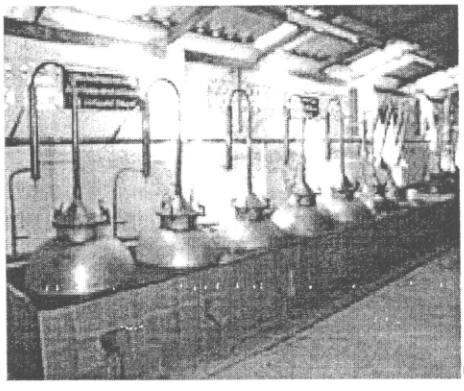


ภาพประกอบที่ 11 เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยสำหรับแยกน้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าและ หรือ มากกว่าน้ำ (Ernest, 1972)

เมื่อเข้าสู่เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหย น้ำมันหอมระเหยและน้ำไม่ได้แยกออกจากกันในทันทีทันใด โดยเฉพาะถ้าความแตกต่างระหว่างความถ่วงจำเพาะของน้ำและน้ำมันหอมระเหยต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการกลั่นจะต้องไม่ทำให้เกิดอัตราการไหลเร็วเกินไป และควรหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนในของเหลว ในทางตรงกันข้ามควรออกแบบให้เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะทำให้น้ำและน้ำมันหอมระเหยแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์เท่าที่จะเป็นไปได้ (จุฬาภรณ์วลัยลักษณ์, 2522 และ Ernest, 1972)

7.2 อุปกรณ์การกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

อุปกรณ์การกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ชุมชนใช้โดยทั่วไปจะเป็นการกลั่นด้วยน้ำซึ่งโดยส่วนใหญ่ยังเป็นการกลั่นแบบโบราณลักษณะดังรูปที่ 12 (a) และมีบ้างที่ได้ปรับปรุงให้เป็นการกลั่นที่พัฒนาขึ้นลักษณะดังรูปที่ 12 (b)


(a)

(b)

ภาพประกอบที่ 12 อุปกรณ์กลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ชุมชนใช้โดยทั่วไป (a) การกลั่นแบบโบราณ และ (b) การกลั่นแบบทันสมัย (http://www.krissanapanasin.com)

อุปกรณ์กลั่นที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมนั้น ยังมีจุดด้อย เช่น การควบคุมความสม่ำเสมอของการให้ความร้อนจะยังไม่ดี เวลาที่ใช้ในการกลั่นยังนานกว่าปกติ ประสิทธิภาพในการสกัดและการพาน้ำมันกฤษณาออกมายังน้อย (http://www.hommesuk.com)

ถ้าเป็นอุปกรณ์กลั่นด้วยน้ำหรือกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำจะไม่สามารถเป็นอุปกรณ์กลั่นด้วยไอน้ำได้ และถ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับกลั่นด้วยไอน้ำก็ไม่สามารถเป็นอุปกรณ์กลั่นด้วยน้ำหรือกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ดังกล่าวยังไม่สามารถกลั่นที่ความดันสูงกว่าหรือต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Babu *et al.*, 2005)

8. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

8.1 Thin Layer Chromatography (TLC)

เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการโครมาโตกราฟีแบบดูดซับ Solid-liquid chromatography ของผสมที่ถูกแยกจะถูกดูดซับโดยเฟสคงที่ที่เป็นของแข็ง เฟสคงที่ที่ที่นิยมใช้คือ Silica gel ($SiO_2.XH_2O$) และ Alumina (Al_2O_3) ในขณะเดียวกันเฟสเคลื่อนที่ซึ่งเป็นของเหลวก็จะพาสารให้เคลื่อนที่ไป เนื่องจากสารที่มีโครงสร้างต่างกันจะได้รับแรงดึงและแรงผลักดันต่างกันด้วย ดังนั้นสารแต่ละชนิดจึงเคลื่อนที่ในอัตราที่แตกต่างกัน สารที่ถูกดูดซับได้ดีกว่าจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าสารที่ถูกดูดซับน้อย จึงทำให้เกิดการแยกของสารขึ้นเป็นแถบๆ เรียกว่า Chromatogram เฟสคงที่จะทำหน้าที่ 2 ลักษณะ คือ รับโมเลกุลของสารเข้ามาสัมผัสกับตัวมัน เรียกว่าเกิด Adsorption และปล่อยให้โมเลกุลของสารเคลื่อนที่ต่อไป เรียกว่าเกิด Desorption (http://www.ist.cmu.ac.th)

8.2 Gas Chromatography (GC)

เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ของสาร ซึ่งเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้กับสารที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Gas) ได้เมื่อถูกความร้อนและกลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่างจะอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อ Phase 2 Phase คือ Stationary phase และ Mobile phase

8.3 Gas chromatography-Mass spectrometry (GC-MS)

เป็นเทคนิคที่สามารถบ่งบอกชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้แม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass number) ของสารตัวอย่างนั้นๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) ได้อย่างถูกต้อง โดย GC-MS ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างให้ออกมาทีละองค์ประกอบ และอีกส่วนคือ เครื่อง MS (Mass spectrometry) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (Detector) ตรวจสอบดูว่า องค์ประกอบต่างๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง GC นั้นมีเลขมวลเป็นเท่าไร เพื่อที่จะได้สามารถทำนายได้ว่า สารที่เราสนใจอยู่นั้นประกอบด้วยองค์ประกอบชนิดใดบ้างและมีปริมาณเท่าไร

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

(1) Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่องและระเหยเป็นไอ (Gas) พร้อมกับถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะเข้าสู่คอลัมน์ (Column) อุณหภูมิที่เหมาะสมของ Injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ถูกทำให้สลายตัว (Decompose)

(2) Oven คือ ส่วน ที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์ (Column) เอาไว้และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ (Column) ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ถูกฉีด ซึ่งอุณหภูมิของ Oven นั้นจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 แบบคือ Isocratic temperature และ Gradient temperature แล้วแต่ความต้องการของผู้วิเคราะห์ข้อดีของการทำ Gradient temperature คือสามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (Wide boiling range) และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ลงได้อีกด้วย (Analysis time)

(3) เครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (Detector) คือ ส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ดูว่าสารนั้นมีปริมาณอยู่เท่าไร ซึ่งความสามารถของการตรวจวัดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (Detector) ที่เลือกใช้ โดยชนิดของเครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (Detector) ที่ใช้กับเครื่อง GC นั้นมีอยู่หลายอย่าง เช่น

Thermal conductivity detector

Flame ionization detector

Electron capture detector

Mass spectrometry

9. องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ดีพร้อม (2537) รายงานว่ามีผู้ศึกษาแยกองค์ประกอบด้านเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาอยู่หลายราย ส่วนใหญ่จะพบว่าในสารกฤษณานั้นประกอบไปด้วยสารที่เป็นยางหรือเรซินอยู่มาก และมีสารที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์อยู่ 48 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่แยกแอลกอฮอล์ออกไปแล้วสารที่ได้คือ เบนซิล อะซีโตน (Benzyl acetone) คีโตน (Ketone) ที่ยังจำแนกชนิดไม่ออก มีสารเซสควิเทอร์พีน แอลกอฮอล์ (Sesquiterpene alcohol) มีกรดบางตัวรวมทั้งไฮโดรซินนามิค แอซิด (Hydrocinnamic acid) ในสารต่างๆ เหล่านี้พบว่า สารที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมคือ เซสควิเทอร์พีน แอลกอฮอล์ (Sesquiterpene alcohol) ซึ่งมีหลายชนิด เช่น ไดไฮโดรอะกาโรฟูรอล (Dihydroagarofural) เบต้าอะกาโรฟูราน (β-Agarofuran) แอลฟาอะกาโรสไปรอล (α-Agarospirol) และอะการอล (Agarol) และยังมีองค์ประกอบอื่นที่ตรวจพบในสายพันธุ์ *Aquilaria malaccensis* Lamk ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ตรวจพบ (http://www.agarwoodthailand.com)

ลำดับที่	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละที่พบ (%)
1	2-(2-(4'-methoxyphenyl)ethyl)chromone	27.0
2	2-(2-phenylethyl)chromone	15.0
3	Oxoagarospirol	5.0
4	9,11-eremophiladien-8-one	3.0
5	6-methoxy-2(2-(4-methoxyphenyl)ethyl)chormone	2.5
6	Guaia-1(10),11-dien-15-al	1.5
7	Selina-3,11-dienol	1.5
8	Kusunol	1.4
9	Selina-2,11-dien-14-ol	1.0
10	Guaia-1(10),11-dien-15-oic acid	1.0
11	Selina-3,11-dien-9-one	0.8
12	Jinko-eremol	0.7
13	Selina-4,11-dien-14-al	0.7
14	Dihydrokaranone	0.7
15	Selina-3,11-dien-14-al	0.6
16	2-hydroxyguaia-1(10),11-dien-15-oic acid	0.4
17	β-agarfuran	0.4
18	Guaia-1(10),11-dien-15-ol	0.3
19	Guaia-1(10),11-dien-15,2-olide	0.3
20	Selina-3,11-dien-14-oic acid	0.3
21	Norketoagarfuran	0.2
22	Agarspirol	0.2

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ตรวจพบ (ต่อ)

(http://www.agarwoodthailand.com)

ลำดับที่	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละที่พบ (%)
23	Sinenofuranol	0.2
24	Selina-4,11-dien-14-oic acid	0.2
25	9-hydroxyselina-4,11-dien-14-oic acid	0.2
26	Dehydrojinkoh-eremol 00.1 rotundone	0.2
27	α-bulnesene	0.1
28	Karanone	0.1
29	α-guaiene	0.1
30	Bulnesene oxide	0.1
31	Guaia-1(10),11-dien-9-one	0.1
32	1,5-epoxynorketoguaiene	0.1
	รวม	65.9

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรัชญา (2537) กลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา โดยนำชิ้นไม้กฤษณาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ตากแดดจนแห้งแล้วนำไปโม่ให้ละเอียด แช่น้ำหมักในถังประมาณ 1 อาทิตย์ นำชิ้นไม้ที่หมักแล้วเข้าเครื่องกลั่น กลั่นประมาณ 10 วัน ก็จะได้น้ำมันหอมระเหยจากกฤษณา โดยเฉลี่ยเนื้อไม้ 15 กิโลกรัม เมื่อผ่านกระบวนการกลั่นแล้วจะได้น้ำมันหอมระเหยประมาณ 2 โตรา ขายได้ประมาณ 5000-20000 บาท และกากไม้กฤษณาที่เหลือจากกระบวนการกลั่นสามารถนำไปเป็นส่วนผสมของธูปหอม

องอาจ (2546) จำแนกการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณาไว้ 2 แบบ คือ การกลั่นแบบโบราณและการกลั่นแบบทันสมัย การกลั่นแบบโบราณนิยมเรียกว่า การต้มกลั่น การต้มกลั่นแบบโบราณจะไม่คำนึงถึงสายพันธุ์ มักจะอาศัยความชำนาญเลือกเนื้อไม้กฤษณาที่หาได้จากในป่ามารวมกันแล้วนำไปใส่ครกตำจนละเอียด หลังจากนั้นจะนำไม้กฤษณาที่ป่นแล้วไปหมักไว้ 15-30 วัน จากนั้นก็นำเข้าหม้อต้มกลั่น การต้มกลั่นนี้จะใช้เวลาประมาณ 15 วันต่อ 1 หม้อ น้ำมันจะออกมาลอยบนผิวน้ำ สามารถใช้ช้อนตักใส่ขวดได้ การต้มกลั่นแบบนี้มักได้น้ำมันหอม

คุณภาพต่ำ กลิ่นน้ำมันไม่ดีมากนักเพราะยังมีน้ำผสมอยู่ในเนื้อน้ำมัน ส่วนกรรมวิธีการต้มกลั่นแบบทันสมัยต้องเริ่มต้นจากการคัดสายพันธุ์ไม้กฤษณา เมื่อได้ไม้กฤษณาสายพันธุ์ดีแล้ว ก็นำมาคัดแยกเกรด เกรดเดียวกันไว้ต้มกลั่นด้วยกัน นำไม้กฤษณาไปตากแดดให้แห้งสัก 2-3 แดด หรืออาจจะนำไปอบก็ได้ ถ้าใช้วิธีอบความชื้นจะหายไป 20-30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไม้ไปบด ตามด้วยการหมักในน้ำสะอาดประมาณ 2 วัน แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องต้มกลั่นแบบทันสมัยซึ่งจะใช้เวลาต้มกลั่นเพียงห้าชั่วโมง ไม้กฤษณา 15 กิโลกรัม เมื่อนำมาต้มกลั่นแล้วจะได้น้ำมัน 2 โตร่า หรือน้ำหนักประมาณ 12 กรัม

ธำรงและสุพจน์ (2545) ออกแบบเครื่องกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ หม้อต้มกลั่น ชุดควบแน่น และชุดแยกน้ำมันออกจากน้ำ หม้อต้มกลั่นมีขนาดความจุ 95 ลิตร ใส่น้ำได้ 20 ลิตร สามารถบรรจุวัตถุดิบได้ 10-13 กิโลกรัมต่อครั้ง ชุดควบแน่นเป็นแบบท่อตรงผ่านน้ำ 3 ท่อ ยาวทั้งหมด 6 เมตร ความจุน้ำ 320 ลิตร ไม่มีชุดทำความเย็น การทดสอบพบว่าสามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืชตัวอย่างได้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสูงที่สุดภายในชั่วโมงแรก และอุณหภูมิของน้ำในชุดควบแน่นสูงสุดที่ 44 องศาเซลเซียสภายในชั่วโมงแรกของการกลั่น อัตราการไหลของน้ำที่ควบแน่นประมาณ 10 ลิตรต่อชั่วโมง การทดสอบการกลั่นพบว่า ใบตะไคร้หอมให้น้ำมันหอมระเหยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดตั้งแต่ 0.60 % - 0.67 % ใบยูคาลิปตัส 0.31 % - 0.73 % และใบโหระพา 0.08 % - 0.12 %

ปณิตาและเชาวลิต (2543) ศึกษาเครื่องกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ ดำเนินการที่ความดันบรรยากาศปกติ เครื่องกลั่นประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนหม้อต้มกลั่น ส่วนควบแน่น และส่วนแยกน้ำมันออกจากน้ำ หม้อต้มกลั่นเป็นถังสแตนเลสรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 470 มิลลิเมตร สูง 640 มิลลิเมตร บรรจุวัตถุดิบได้ 10 – 15 กิโลกรัมต่อครั้ง ส่วนควบแน่นประกอบด้วยถังควบแน่นปริมาตรบรรจุน้ำหล่อเย็น 300 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 640 มิลลิเมตร สูง 950 มิลลิเมตร ภายในประกอบด้วยท่อขดสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตรและชุดหอหล่อเย็นขนาด 5 ตัน ส่วนแยกน้ำมันออกจากน้ำมีความจุ 95 ลิตร ทำด้วยสแตนเลส สามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดของ ไพล ตะไคร้ และกระชาย ได้ 0.179 - 0.313 %, 0.177 - 0.314 % และ 0.023 - 0.058 % ตามลำดับ

อิศราและคณะ (2542) สร้างเครื่องกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำขนาด 1150 x 1550 มิลลิเมตร ชุดหล่อเย็นมีขนาด 10 ตัน สามารถบรรจุพืชสมุนไพรได้ 150 – 200 กิโลกรัมต่อครั้ง มีระบบแยกน้ำและน้ำมัน น้ำที่กลั่นออกมาถูกป้อนกลับไปยังถังต้ม สามารถกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดตั้งแต่ 0.344 % - 0.66 % น้ำมันโหระพาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนักสดได้ตั้งแต่ 0.28 % - 0.427 % น้ำมันใบมะกรูดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดได้ตั้งแต่ 0.82 % - 0.91 % โดยสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกลั่นเฉลี่ยต่อน้ำหนักพืช ในปีแรกที่เปิดดำเนินการ 30 วันต่อปีเป็น 3.30 บาทต่อกิโลกรัม

Rukachaisirikul *et al.* (1995) สกัดไม้กฤษณาไทยพันธุ์ *Aquilaria agallocha* โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน อะซิโตน และเมทานอล พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสารที่สกัดได้คือ Agarotetrol และ Di-2(2-phenylethyl)chromone

Alkhathlan *et al.* (2005) สกัดไม้กฤษณากัมพูชาโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน พบว่ามี 6-methoxy-2(2-phenylethyl)chromone และ 6,7-dimethoxy-2(2-phenylethyl) chromone เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังพบ abietane ester และ sesquiterpene dehydrofukinone ในน้ำมัน

Yang *et al.* (1989) พบ Isobaimuxinol, Benzylacetone, p-methoxybenzylacetone, Anisic acid และ β-agarofuran ในน้ำมันหอมระเหยจาก *Aquilaria sinesis*

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาขนาดบรรจุวัตถุดิบได้ 3 กิโลกรัม
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยใช้เครื่องกลั่นต้นแบบ
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยสำหรับใช้ในการวิจัยและการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา
2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบ
3. ทราบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา
4. เป็นแนวทางวิจัยสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อไป

บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัสดุ

1. ไม้กฤษณาสายพันธุ์เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (*Aquilaria subintegra*) จากชมรมไม้กฤษณา (ไม้หอม) แห่งประเทศไทย จังหวัดตราด สหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด และกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล

2. ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณาจากสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัดและกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล

2. อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องกลั่นที่จัดสร้างขึ้น

2. เครื่องมือวิเคราะห์ GC-MS รุ่น HP 5890 Gas chromatograph – HP 5972 Mass selective detector ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3. เครื่องชั่ง (ขนาด 60 กิโลกรัม)

4. ถังแก๊ส LPG ขนาด 15 กิโลกรัมและอุปกรณ์ประกอบ

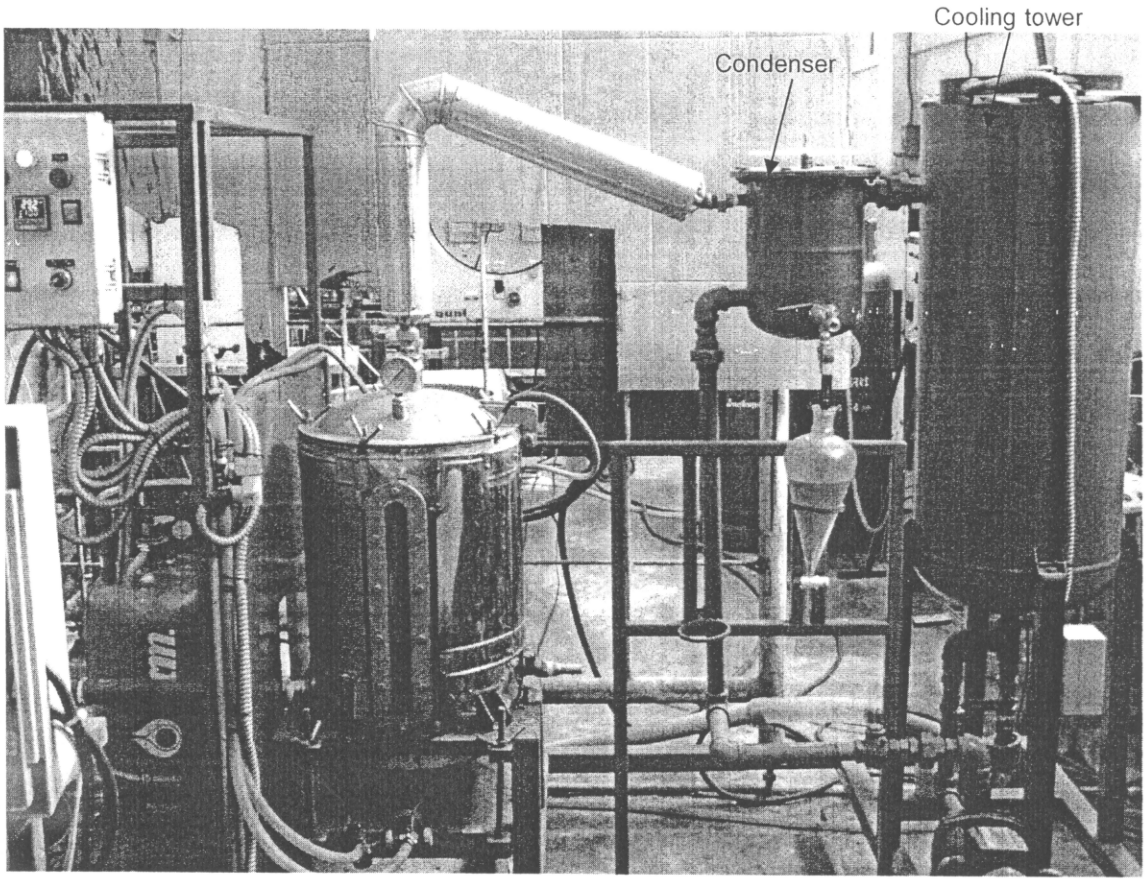
3. วิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต้นแบบที่มีขนาดบรรจุวัตถุดิบได้ 3 กิโลกรัม (ภาพประกอบที่ 13) รายละเอียดการออกแบบเป็นดังนี้

3.1.1 ถังกลั่น

เป็นถังบรรยากาศและสุญญากาศ สามารถทนอุณหภูมิ (T) ประมาณ 70 – 140°C รับความดัน (P) ที่ความดันบรรยากาศ และต่ำกว่าบรรยากาศ วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าปลอดสนิม (Stainless steel) เชื่อมต่อตัวถังโดยการเชื่อม ประสิทธิภาพการเชื่อม, f เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร รูปทรงของตัวถังแบบถังทรงกระบอก สามารถบรรจุไม้กฤษณาได้ 3 กิโลกรัม อิงการคำนวณออกแบบที่ความหนาแน่นของไม้กฤษณาเท่ากับ 0.25 $\frac{kg}{dm^3}$



ภาพประกอบที่ 13 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ปริมาตรของตัวถัง (V) ที่ได้เท่ากับ 12 ลิตรและค่าความปลอดภัย (Safety factor) 2 เท่า จะได้เท่ากับ 24 ลิตรจากนั้นคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังจากสมการที่ 2 จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถัง (D_i) เท่ากับ 200 มิลลิเมตร

ความหนาของถังกลั่น (Pressure vessel) กำหนดค่าอุณหภูมิของการออกแบบ, T_{des} เท่ากับ 170°C กำหนดค่าความดันของการออกแบบ, P_{des} เท่ากับ 2 บาร์ หรือ 0.02 MPa. ค่าความเค้นของการออกแบบ, S_{des} เท่ากับ 86.25 ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3 และจากสมการที่ 4 สามารถหาความหนาของถังกลั่น (t) ได้เท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร สำหรับพื้นที่ผิวของถังกลั่นหาได้จากสมการที่ 5 จะได้พื้นที่ผิวของถัง (A) เท่ากับ 0.502 ตารางเมตร

3.1.2 ฝาถัง

ฝาปิดตัวถังด้านบนเป็นฝาถังแบบฝาถังรูปไข่ (Ellipsoldal head) ปริมาตรของฝาถังบน (V_{head}บน) จะมีปริมาตรเท่ากับ 2.096 ลิตรซึ่งหาได้จากสมการที่ 6 และพื้นที่ผิวของฝาถังบน (A_{head}บน) หาได้จากสมการที่ 7 จะได้พื้นที่ผิวของฝาถังบน (A_{head}บน)เท่ากับ 6.28 ตารางเดซิเมตร ฝาปิดตัวถังด้านล่างเป็นฝาถังแบบจาน (Dished) ปริมาตรของฝาถังล่าง (V_{head}ล่าง) สามารถหาได้จากสมการที่ 8 ซึ่งจะมีปริมาตรของฝาถังกลั่นล่าง (V_{heed}ล่าง) เท่ากับ 1.05 ลิตรและพื้นที่ผิวของฝาถังล่าง (A_{head} ล่าง) หาได้จากสมการที่ 9 จะได้พื้นที่ผิวของฝาถังล่าง (A_{head}ล่าง) เท่ากับ 1.834 ตารางเดซิเมตร

3.1.3 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหย

ใช้กรวยแยกที่ทำจากแก้วขนาด 1 ลิตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 14

3.2 การปรับปรุงเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ได้ปรับปรุงดัดแปลงอุปกรณ์การกลั่นดังนี้ เดิมชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาเป็นกรวยแยกขนาด 1 ลิตร ซึ่งมีปริมาตรน้อยเกินไปที่จะรองรับน้ำและน้ำมันที่กลั่นออกมา การแยกชั้นระหว่างน้ำมันกับน้ำเกิดได้ไม่ดี จึงได้ทำการออกแบบชุดแยกเป็นถังทรงกระบอกทำจากอะคริลิคขนาดปริมาตร 7 ลิตร ต่อกัน 2 ถัง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 15 ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 14 การที่ต้องมีถัง 2 ใบต่อกัน เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันหอมระเหยจะไม่สูญเสียเป็นหยดเล็กๆ อยู่ในน้ำเลย น้ำมันหอมระเหยกฤษณาซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจะลอยอยู่ด้านบน ส่วนน้ำจะไหลออกทางด้านล่าง และถูกป้อนกลับเข้าสู่ถังกลั่น ทำให้สามารถทำการกลั่นได้โดยไม่ต้องมีการเติมน้ำในถังกลั่น ซึ่งเป็นการพัฒนาจากเครื่องกลั่นแบบดั้งเดิมที่ต้องมีการเติมน้ำเป็นระยะ

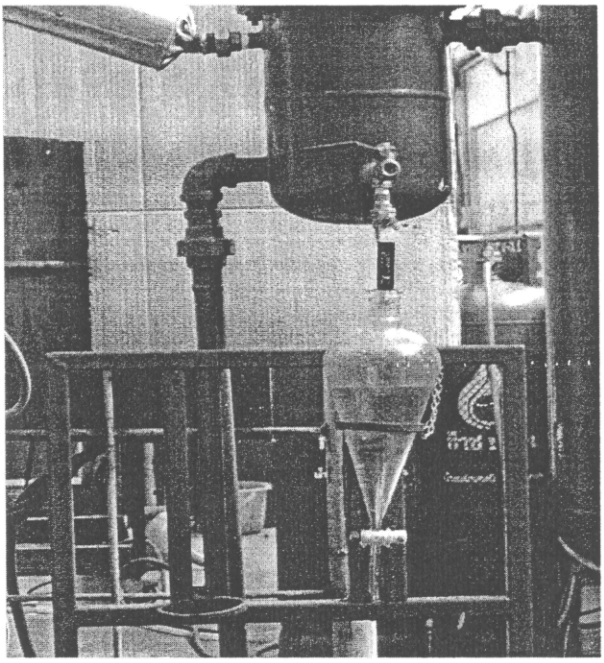
$$V = 0.785\ Di^2h \times 2 \qquad (14)$$

V = ปริมาตรของชุดแยก, dm^3

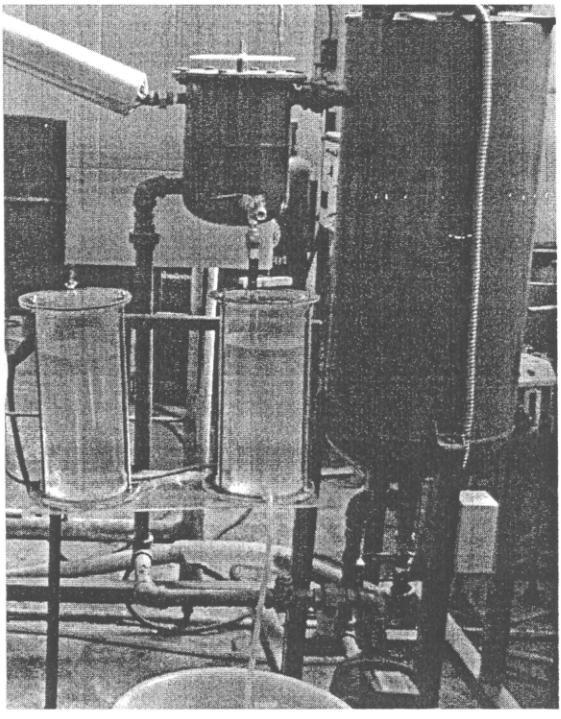
D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลวงใส, mm

h = ความสูงของท่อกลวงใส, mm

2 = จำนวน 2 ชุด

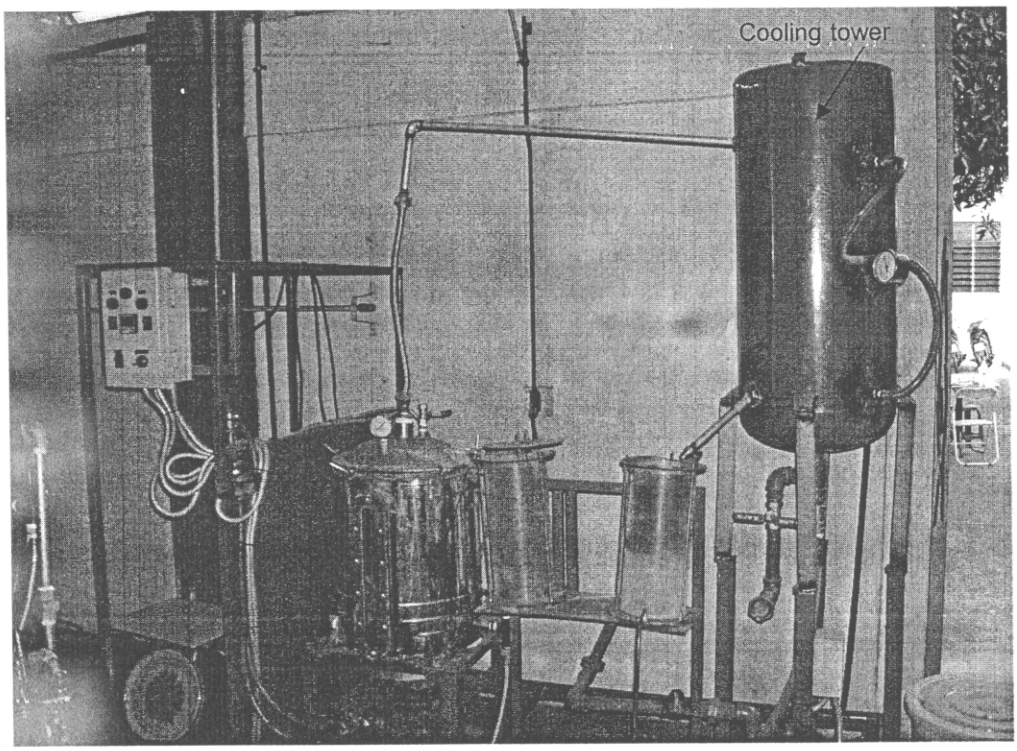


ภาพประกอบที่ 14 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาก่อนการปรับปรุง



ภาพประกอบที่ 15 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาหลังการปรับปรุง

จากการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาพบว่ามีปัญหาน้ำมันติดค้างในท่อไอน้ำของเครื่องควบแน่น จึงดัดแปลงโดยเอาเครื่องควบแน่นออก และต่อท่อไอน้ำขนาด 0.5 นิ้ว จากถังกลั่นแล้วเข้าสู่หอผึ่งเย็น (Cooling tower) โดยตรง เพื่อลดปัญหาน้ำมันค้างในท่อ เปรียบเทียบจากภาพประกอบที่ 16 และ 13



ภาพประกอบที่ 16 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาหลังการปรับปรุง

3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

3.3.1 การกลั่นด้วยน้ำ

ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบโดยการกลั่นด้วยน้ำ ซึ่งแบ่งเป็นการทดลองก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่นซึ่งใช้ไม้กฤษณาจากชมรมไม้กฤษณา (ไม้หอม) แห่งประเทศไทย จังหวัดตราด และการทดลองหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่นซึ่งใช้ไม้กฤษณาจากสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด ผสมกับไม้กฤษณาจากกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล โดยไม้กฤษณาที่ใช้เป็นไม้เกรดเดียวกันทั้งหมด และใช้ไม้ที่ซื้อมาในล็อตเดียวกันนี้ตลอดการทดลอง โดยวิธีการทดลองมีดังนี้

(1) นำไม้กฤษณาที่จะทำการกลั่นมาสับเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 x 1 นิ้ว

(2) นำไปไล่ความชื้นโดยการตากแดด

(3) ทำการบดละเอียดขนาดประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร

(4) นำผงที่บดละเอียดแช่น้ำ 7 วันในสัดส่วน ไม้กฤษณา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 9 ลิตร

(5) ในการทดลองก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่นจะบรรจุผงไม้ 5 กิโลกรัม และน้ำแช่ 45 ลิตร ส่วนการทดลองหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่นจะบรรจุผงไม้ 3 กิโลกรัม และน้ำแช่ 27 ลิตร ในเครื่องกลั่น แล้วทำการกลั่นด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำโดยให้ความร้อนโดยตรงจากก๊าซหุงต้ม เป็นเวลานานจนกระทั่งสังเกตว่าไม่มีน้ำมันออกมา

(6) เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ทุก 8 ชั่วโมง

3.3.2 การกลั่นด้วยไอน้ำ

ใช้ไม้กฤษณาจากสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด ผสมกับไม้กฤษณาจากกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล โดยไม้กฤษณาที่ใช้เป็นไม้เกรดเดียวกัน และใช้ไม้ที่ซื้อมาในล็อตเดียวกันกับการทดลองกลั่นด้วยน้ำ โดยวิธีการทดลองมีดังนี้

(1) นำไม้กฤษณาที่จะทำการกลั่นมาสับเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 x 1 นิ้ว

(2) นำไปไล่ความชื้นโดยการตากแดด

(3) ทำการบดละเอียดขนาดประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร

(4) นำผงที่บดละเอียดแช่น้ำ 7 วันในสัดส่วนไม้กฤษณา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 9 ลิตร

(5) บรรจุผงไม้ที่ผ่านการแช่น้ำ 1 กิโลกรัม แล้วทำการกลั่นด้วยไอน้ำโดยใช้ไอน้ำจากหม้อต้มน้ำของภาควิชาวิศวกรรมเคมี เป็นเวลานานจนกระทั่งสังเกตว่าไม่มีน้ำมันออกมา

(6) เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ทุก 8 ชั่วโมง

ประสิทธิภาพของการกลั่นพิจารณาจากผลได้ของน้ำมันหอมระเหยซึ่งคำนวณจาก

Yield (%) = น้ำหนักของน้ำมันหอมระเหย×100/น้ำหนักของไม้กฤษณาที่ใช้ในการกลั่น

3.4 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ทำการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ทั้งจากการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ GC-MS รุ่น HP 5890 Gas Chromatograph – HP 5972 Mass Selective Detector ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เปรียบเทียบกับองค์ประกอบของตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณาจากสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัดและกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล โดยสภาวะการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

Gas Chromatography

Inlet temp: 250°C, Split ratio 1:50

Oven temp: Initial temperature 80°C hold 2 min.

Ramp to 250°C at 10°C/min hold 10 min.

Column: Innowax 30m×0.25mm I.D×Film thickness 0.25 μm

Mass Spectrometer

Ionization mode: Electron Ionization

Acquisition mode: Scan, 35-500 amu

Transferline temp: 250°C

Solvent delay time: 3 min.

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

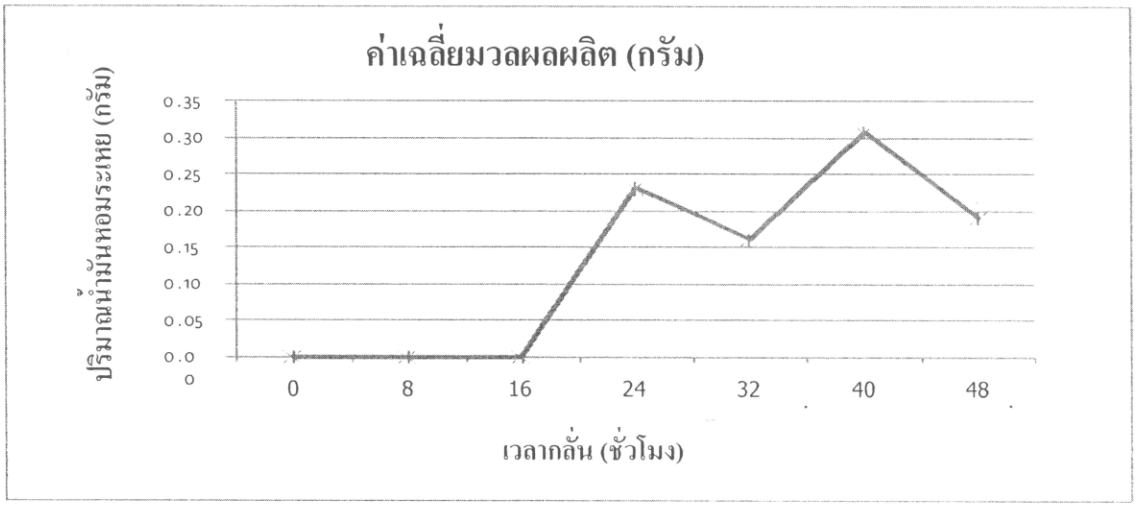
1. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันหอมระเหยและเวลากลั่น

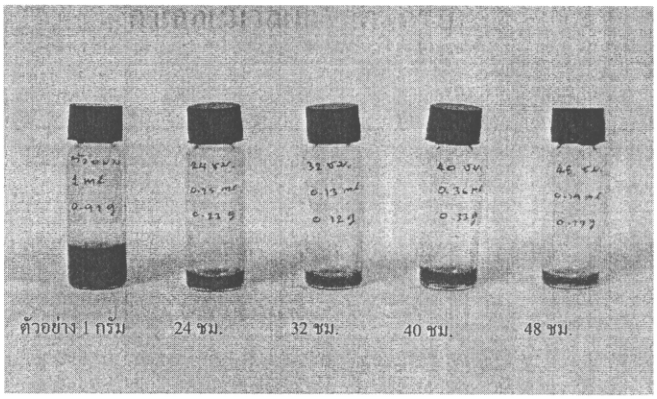
น้ำมันกฤษณาที่กลั่นได้มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม ความหนืดสูง ความหนาแน่นประมาณ 920 กรัม/ลิตร ผลของการกลั่นแสดงดังตารางที่ 3 และภาพประกอบที่ 17 พบว่าน้ำมันจะเริ่มออกมาเมื่อเวลาในการกลั่นผ่านไป 24 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทุก 8 ชั่วโมงหลังจากนั้น พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้ลดลงในชั่วโมงที่ 32 เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 40 และกลับลดลงอีกครั้งในชั่วโมงที่ 48 และหลังจากนั้นเมื่อกลั่นต่อไปก็จะไม่มีน้ำมันออกมาอีก และจากการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งได้ผลในลักษณะเดียวกัน รวมค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ 0.89 กรัม แสดงว่าเครื่องกลั่นยังมีประสิทธิภาพไม่ดีนัก อาจมีการติดค้างของน้ำมันในท่อนำไอ น้ำมันบางส่วนไม่สามารถไหลลงสู่หน่วยแยกได้ ลักษณะน้ำมันที่กลั่นได้แสดงในภาพประกอบที่ 18

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 1 (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 2 (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 3 (กรัม)	ค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา ($\overline{X}$) (กรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
0	0	0	0	0	0.000
8	0	0	0	0	0.000
16	0	0	0	0	0.000
24	0.23	0.25	0.21	0.23	0.020
32	0.12	0.11	0.25	0.16	0.078
40	0.33	0.29	0.30	0.31	0.021
48	0.16	0.21	0.20	0.19	0.026
รวม	0.84	0.86	0.96	0.89	0.064



ภาพประกอบที่ 17 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น



ภาพประกอบที่ 18 น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และเวลากลั่น

ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนัก น้ำหนักสะสม ร้อยละผลได้ (Yield) และร้อยละผลได้สะสมของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าปริมาณผลได้สะสมมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.018 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าที่ควรจะเป็น จึงควรมีการตรวจสอบปัญหาของเครื่องกลั่น และทำการปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ตารางที่ 4 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาสะสม (กรัม)	Yield (%)	Yield สะสม (%)
0	0	0	0	0
8	0	0	0	0
16	0	0	0	0
24	0.23	0.23	0.005	0.005
32	0.16	0.39	0.003	0.008
40	0.31	0.7	0.006	0.014
48	0.19	0.89	0.004	0.018

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่นและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

ตารางผลการทดลองที่ 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าต้องใช้เวลา 8 ชั่วโมงในการต้มน้ำจากอุณหภูมิห้องจนเป็น 99.8 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิในถังกลั่นสูงกว่าจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีน้ำมันที่มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำละลายออกมาและน้ำมันส่วนนี้ไม่ได้ถูกไอน้ำพาไปยังเครื่องควบแน่น ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดเกิดใน 8 ชั่วโมงแรกนี้ จากนั้นจึงลดลงโดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงใกล้เคียงกัน โดยอัตราการควบแน่นไม่คงที่และไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิง แสดงถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของเครื่องกลั่น ซึ่งอาจเกิดจากมีการอุดตันของน้ำมันกฤษณาซึ่งมีความหนืดค่อนข้างสูงภายในท่อนำไอที่ขดภายในเครื่องควบแน่น จึงได้ทำการผ่าท่อออกมาดู ซึ่งก็พบว่ามีน้ำมันติดค้างอยู่จริง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเครื่องกลั่น ซึ่งรายละเอียดการปรับปรุงได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2 ของบทที่ 2

ตารางที่ 5 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงชุดกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในถังกลั่น (°C)	อัตราการควบแน่น (ลิตรต่อชั่วโมง)	ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ (กิโลกรัม)
0	26.3	0.00	0.00
8	99.8	0.22	1.90
16	100.9	0.44	1.63
24	101.7	1.31	1.57
32	101.9	1.12	1.50
40	103.1	0.65	1.50
48	104.0	0.67	1.53

2. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

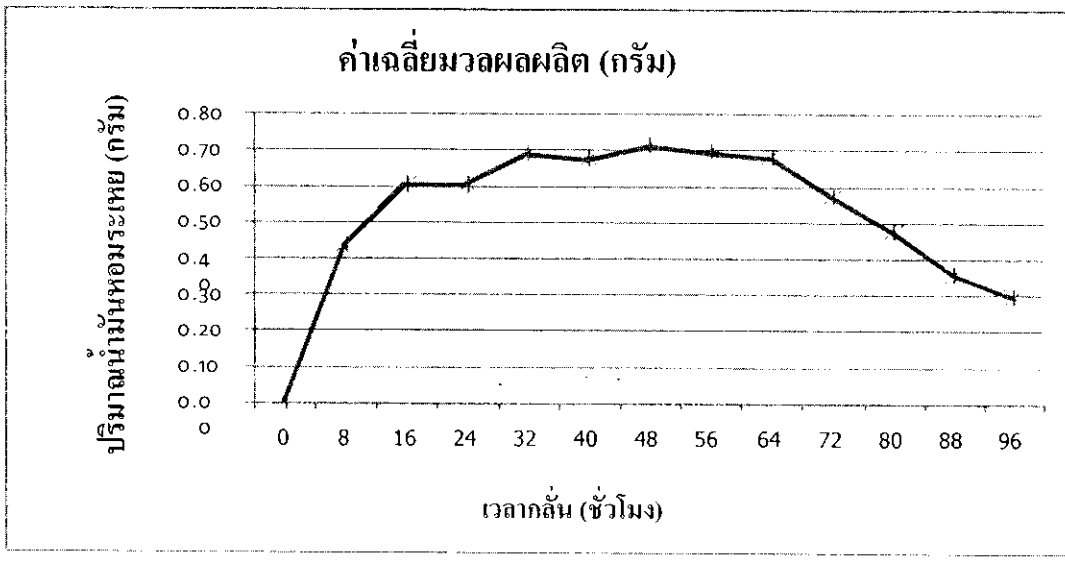
หลังปรับปรุงเครื่องกลั่น ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา โดยใช้ไม้กฤษณาปริมาณ 3 กิโลกรัม

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันหอมระเหยและเวลากลั่น

ผลของการกลั่นแสดงดังตารางที่ 6 และภาพประกอบที่ 19 พบว่าน้ำมันหอมระเหยจะเริ่มออกที่เวลาการกลั่น 8 ชั่วโมง โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.43 กรัม และจะออกมากที่สุดในชั่วโมงที่ 48 โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.71 กรัม และค่อยๆ ลดต่ำลง หลังจากกลั่นไป 96 ชั่วโมง จะมีน้ำมันออกมาน้อยมากเท่ากับ 0.29 กรัม รวมค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ 6.79 กรัม โดยน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม ความหนืดสูง ความหนาแน่นประมาณ 920 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 1 (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 2 (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 3 (กรัม)	ค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา ($\overline{X}$) (กรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
0	0	0	0	0.00	0.00
8	0.57	0.42	0.31	0.43	0.13
16	0.69	0.60	0.52	0.60	0.09
24	0.42	0.80	0.59	0.60	0.19
32	0.92	0.59	0.56	0.69	0.20
40	0.45	0.89	0.69	0.68	0.22
48	0.43	0.96	0.75	0.71	0.27
56	0.32	0.94	0.83	0.70	0.33
64	0.38	0.87	0.79	0.68	0.26
72	0.25	0.62	0.85	0.57	0.30
80	0.18	0.64	0.60	0.47	0.25
88	0.00	0.51	0.55	0.35	0.31
96	0.00	0.40	0.48	0.29	0.26
รวม	4.61	8.24	7.52	6.79	1.92



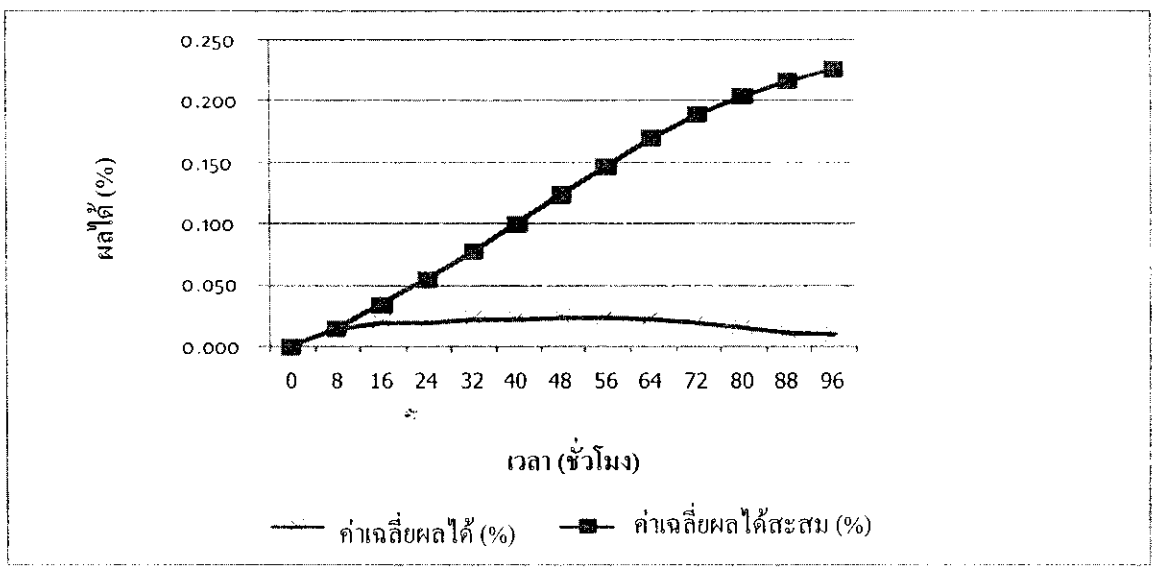
ภาพประกอบที่ 19 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

2.2 **ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และเวลากลั่น**

ตารางที่ 7 และภาพประกอบที่ 20 แสดงน้ำหนัก น้ำหนักสะสม ร้อยละผลได้ (Yield) และร้อยละผลได้สะสมของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น พบว่าปริมาณผลได้สะสมที่ชั่วโมงการกลั่นที่ 48 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.124 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลได้สะสมที่ชั่วโมงการกลั่นเดียวกันของการกลั่นก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.018 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังการปรับปรุง เครื่องกลั่นจะมีประสิทธิภาพการกลั่นที่เพิ่มขึ้นมาก และเมื่อทำการกลั่นต่อไปจนถึงชั่วโมงการกลั่นที่ 96 ปริมาณผลได้สะสมค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.226 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาสะสม (กรัม)	Yield (%)	Yield สะสม (%)
0	0.00	0.00	0.000	0.000
8	0.43	0.43	0.014	0.014
16	0.60	1.04	0.020	0.035
24	0.60	1.64	0.020	0.055
32	0.69	2.33	0.023	0.078
40	0.68	3.01	0.023	0.100
48	0.71	3.72	0.024	0.124
56	0.70	4.42	0.023	0.147
64	0.68	5.10	0.023	0.170
72	0.57	5.67	0.019	0.189
80	0.47	6.14	0.016	0.205
88	0.35	6.50	0.012	0.217
96	0.29	6.79	0.010	0.226



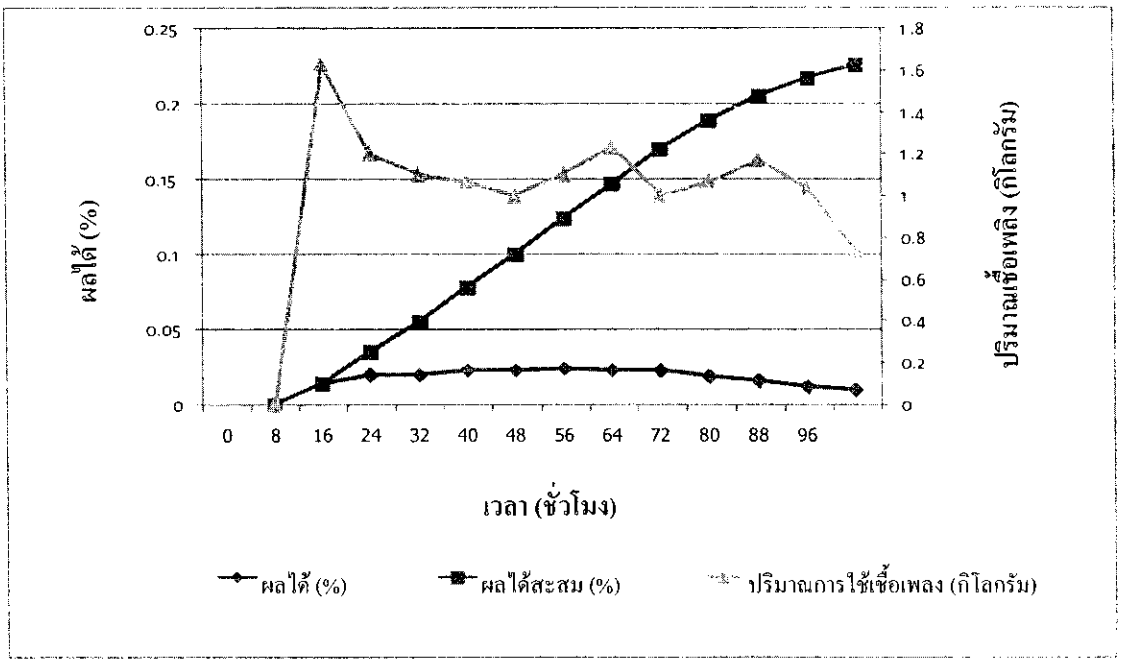
ภาพประกอบที่ 20 ปริมาณผลได้และผลได้สะสมน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

ตารางที่ 8 และภาพประกอบที่ 21 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดเป็น 1.63 กิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมง ซึ่งเกิดในช่วงแรกของการต้มน้ำ จากนั้นมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่ ปริมาณผลได้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 56 จึงเริ่มลดลง

ตารางที่ 8 ปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	Yield (%)	Yield สะสม (%)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัม)
0	0.000	0.000	0.00
8	0.014	0.014	1.63
16	0.020	0.035	1.20
24	0.020	0.055	1.10
32	0.023	0.078	1.07
40	0.023	0.100	1.00
48	0.024	0.124	1.10
56	0.023	0.147	1.23
64	0.023	0.170	1.00
72	0.019	0.189	1.07
80	0.016	0.205	1.17
88	0.012	0.217	1.03
96	0.010	0.226	0.73



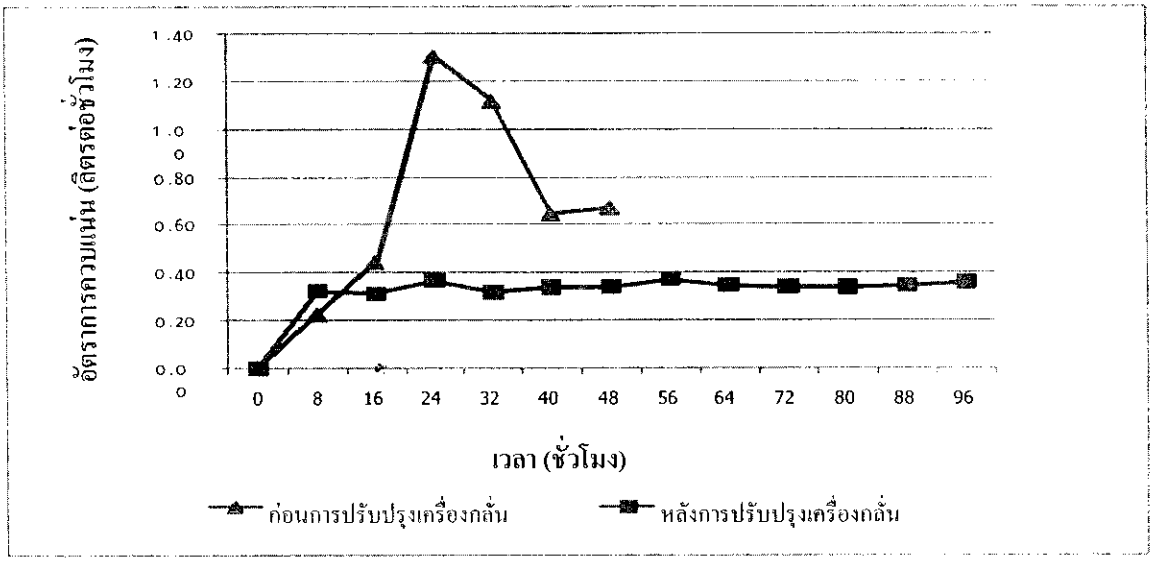
ภาพประกอบที่ 21 ปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่นและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

ตารางผลการทดลองที่ 9 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าเครื่องกลั่นต้องใช้เวลา 8 ชั่วโมงในการต้มน้ำจากอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็น 100 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิน้ำในถังกลั่นค่อนข้างคงที่ อัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดเป็น 1.63 กิโลกรัมต่อเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งเกิดในช่วงแรกของการต้มน้ำ จากนั้นมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่ โดยอัตราการควบแน่นคงที่สอดคล้องกับอัตราการใช้เชื้อเพลิง อัตราการควบแน่นของการกลั่นด้วยน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงชุดกลั่นสามารถเปรียบเทียบได้ดังภาพประกอบที่ 22 ซึ่งจะเห็นว่าหลังการปรับปรุงเครื่อง อัตราการควบแน่นมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

ตารางที่ 9 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในถังกลั่น (°C)	อัตราการควบแน่น (ลิตรต่อชั่วโมง)	ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ (กิโลกรัม)
0	27.0	0.00	0.00
8	100.0	0.32	1.63
16	99.4	0.31	1.20
24	100.7	0.37	1.10
32	99.6	0.32	1.07
40	99.0	0.34	1.00
48	100.1	0.34	1.10
56	98.9	0.37	1.23
64	99.6	0.35	1.00
72	99.7	0.34	1.07
80	99.8	0.34	1.17
88	99.3	0.35	1.03
96	99.3	0.36	0.73



ภาพประกอบที่ 22 เปรียบเทียบอัตราการควบแน่นของการกลั่นด้วยน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

3. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

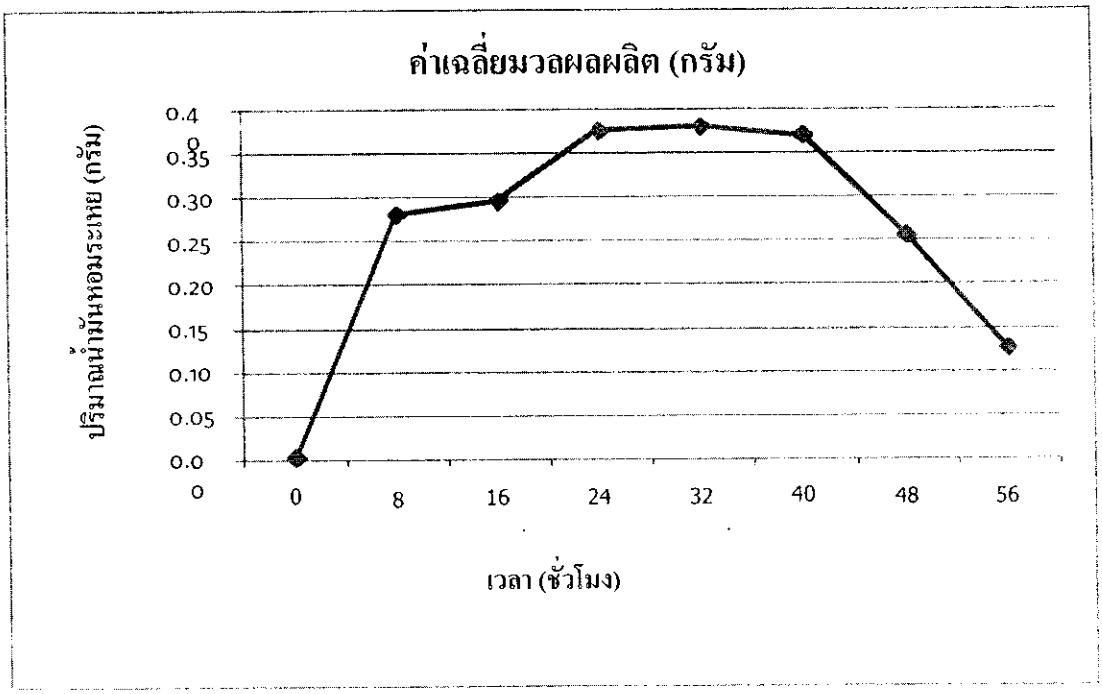
ในการทดลองส่วนนี้ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยไอน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น โดยใช้ไม้กฤษณาปริมาณ 1 กิโลกรัมตามที่ได้ออกแบบตะแกรงสำหรับใส่ไม้กฤษณาไว้ ในเครื่องกลั่น ใช้ไอน้ำจากหม้อต้มน้ำ (Boiler) ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขนาด 0.5 ตันความดันสูงสุด 5 บาร์

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันหอมระเหยและเวลากลั่น

ผลของการกลั่นแสดงดังตารางที่ 10 และภาพประกอบที่ 23 พบว่าน้ำมันหอมระเหยจะเริ่มออกมาที่เวลาในการกลั่นชั่วโมงที่ 8 เท่ากับ 0.28 กรัมและจะออกมากในช่วงการกลั่นระหว่างชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 40 และค่อยๆ ลดต่ำลง หลังจากกลั่นไป 56 ชั่วโมง จะมีน้ำมันออกมาน้อยมาก รวมค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ทั้งหมดภายในเวลา 56 ชั่วโมงเท่ากับ 2.08 กรัม และไม่สามารถทำการกลั่นด้วยไอน้ำต่อได้เนื่องจากเกิดปัญหาน้ำควบแน่นลงมาในถังกลั่น

ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 1 (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 2 (กรัม)	ค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา ($\overline{X}$) (กรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
0	0	0	0.00	0.00
8	0.31	0.25	0.28	0.04
16	0.29	0.3	0.30	0.01
24	0.37	0.38	0.38	0.01
32	0.36	0.4	0.38	0.03
40	0.43	0.31	0.37	0.08
48	0.29	0.22	0.26	0.05
56	0.15	0.1	0.13	0.04
รวม	2.20	1.96	2.08	0.17



ภาพประกอบที่ 23 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และเวลากลั่น

ตารางที่ 11 แสดงน้ำหนัก น้ำหนักสะสม ร้อยละผลได้ (Yield) และร้อยละผลได้สะสมของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ด้วยไอน้ำ พบว่าเมื่อทำการกลั่นนาน 8 ชั่วโมง ได้ผลได้ 0.028 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การกลั่นด้วยน้ำจะได้ผลได้เท่ากับ 0.014 เปอร์เซ็นต์ การกลั่นด้วยไอน้ำจึงให้ผลได้มากกว่าการกลั่นด้วยน้ำถึง 2 เท่าที่เวลาการกลั่น 8 ชั่วโมงเท่ากัน แต่ความแตกต่างของผลได้ระหว่างการกลั่นด้วยไอน้ำและการกลั่นด้วยน้ำจะน้อยลงเมื่อเวลาการกลั่นนานขึ้น โดยเมื่อทำการกลั่นด้วยไอน้ำนาน 56 ชั่วโมง ผลได้สะสมทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.208 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการกลั่นด้วยน้ำนาน 56 ชั่วโมง จะมีผลได้สะสมทั้งหมด 0.147 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นควรทำการกลั่นด้วยไอน้ำในช่วงแรกของการกลั่นเพื่อให้ได้ผลผลิตในอัตราที่สูงเมื่อเทียบกับระยะเวลา และอาจทำการกลั่นต่อด้วยน้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ต้องการต่อไป

ตารางที่ 11 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาสะสม (กรัม)	Yield (%)	Yield สะสม (%)
0	0.00	0.00	0.000	0.000
8	0.28	0.28	0.028	0.028
16	0.30	0.58	0.030	0.058
24	0.38	0.95	0.038	0.095
32	0.38	1.33	0.038	0.133
40	0.37	1.70	0.037	0.170
48	0.26	1.96	0.026	0.196
56	0.13	2.08	0.013	0.208

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่น

ตารางผลการทดลองที่ 12 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่นของการกลั่นด้วยไอน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น โดยความดันต้นทางเท่ากับ 5 บาร์ ท่อนำส่งไอน้ำ (Steam) ขนาด 1.25 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 12 เมตร จากผลการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 112.5 องศาเซลเซียส ถึง 125.5 องศาเซลเซียส ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอัตราการควบแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.20 ลิตรต่อชั่วโมงถึง 0.33 ลิตรต่อชั่วโมง โดยทั้งอุณหภูมิและอัตราการควบแน่นค่อนมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 12 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่น ของการกลั่นด้วยไอน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น

เวลากลั่น (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในถังกลั่น (°C)	อัตราการควบแน่น (ลิตรต่อชั่วโมง)
0	26.3	0.00
8	112.5	0.20
16	116.0	0.26
24	115.5	0.32
32	119.0	0.32
40	120.0	0.33
48	120.5	0.32
56	122.5	0.33

4. การเปรียบเทียบผลได้จากการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบกับการกลั่นของชุมชน

จากการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ไม้กฤษณาสายพันธุ์เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า ที่มีเกรดเดียวกัน การสกัดด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการสกัดที่ใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนปัจจุบัน ภายในเวลา 96 ชั่วโมง ได้ผลได้ทั้งหมดประมาณ 0.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าผลได้ของการกลั่นที่นิยมทำในปัจจุบันที่มีเพียง 0.12 เปอร์เซ็นต์ กลั่นภายในเวลา 168 ชั่วโมง (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2537) และมีการใช้เชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าดังแสดงในตารางที่ 13

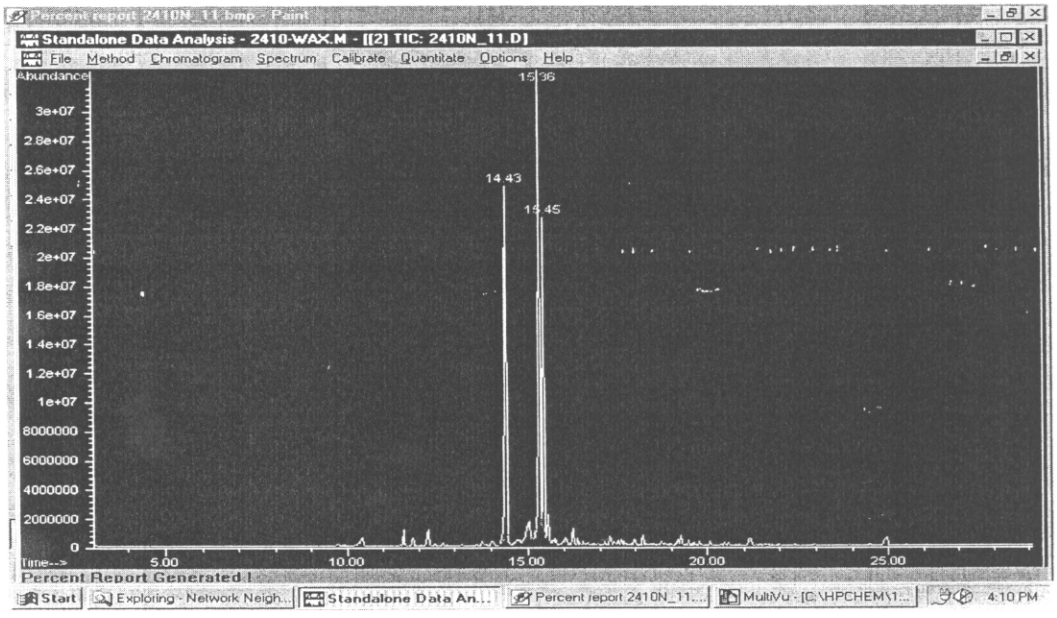
ตารางที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาระหว่างวิธีการกลั่นที่ทำการทดลองกับที่ใช้ในปัจจุบัน

การกลั่น	เวลาการกลั่น (ชั่วโมง)	ปริมาณไม้กฤษณา (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณา (กรัม)	ผลได้สะสม (%)	ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG, กิโลกรัม)
กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน (กลั่นด้วยน้ำ)	168 – 240	10	12	0.12	20 - 30
การทดลองด้วยเครื่องต้นแบบโดยการกลั่นด้วยน้ำ	96	3	6.79	0.23	15

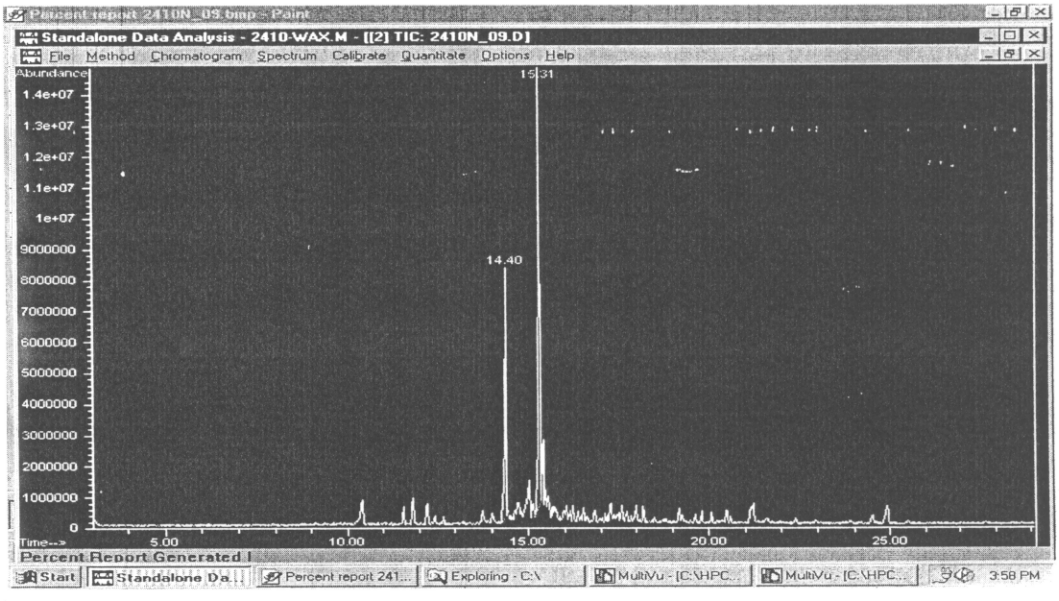
5. คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

5.1 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

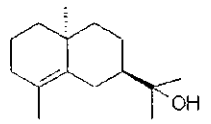
ทำการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่อง GC-MS โครมาโตแกรมของตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณาของสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด และตัวอย่างของกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีองค์ประกอบหลักๆ เหมือนกันได้แก่ 10 epi-γ-eudesmol, Agarospirol และ Aristolen โครมาโตแกรมแสดงดังภาพประกอบที่ 24 ส่วนโครมาโตแกรมของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้จากงานวิจัยนี้แสดงดังภาพประกอบที่ 25 ซึ่งพบว่าสารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ 10 epi-γ-eudesmol และ Agarospirol ภาพประกอบที่ 26 แสดงโครงสร้างของ 10 epi-γ-eudesmol และ Agarospirol ซึ่งสารนี้มีการรายงานถึงฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ (Wu *et al.*, 2004) และองค์ประกอบทั้งหมดที่ตรวจพบแสดงดังตารางที่ 14



ภาพประกอบที่ 24 การวิเคราะห์ด้วย GC-MS ของน้ำมันหอมระเหยของสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด

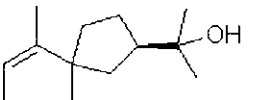


ภาพประกอบที่ 25 การวิเคราะห์ด้วย GC-MS ของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้



10-epi-gamma-eudesmol

(a)



agarospirol

(b)

ภาพประกอบที่ 26 โครงสร้างของสารที่ตรวจพบ

(a)10 epi- γ -eudesmol และ (b) agarospirol (http://www.cropwatch.org/agarchem.htm)

ตารางที่ 14 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ตรวจพบ

ลำดับที่	ชื่อเคมี	Mol Wt	Formula
1	β - patchoulene	204	$C_{15}H_{24}$
2	Juniper camphor	222	$C_{15}H_{26}O$
3	γ - selinene	204	$C_{15}H_{24}$
4	γ - eudesmol	222	$C_{15}H_{26}O$
5	10 - epi - γ - eudesmol	222	$C_{15}H_{26}O$
6	β - Selinene	204	$C_{15}H_{24}$
7	Agarospirol	222	$C_{15}H_{26}O$
8	α - selinene	204	$C_{15}H_{24}$
9	(+) - β - Guaiene	204	$C_{15}H_{24}$
10	Valencene	204	$C_{15}H_{24}$
11	Alloaromadendrene	204	$C_{15}H_{24}$
12	Alloaromadendrene	204	$C_{15}H_{24}$
13	β - Chamigrene	204	$C_{15}H_{24}$
14	Naphthalene	204	$C_{15}H_{24}$

ลำดับที่	ชื่อเคมี	Mol Wt	Formula
15	α- eudesmol	222	$C_{15}H_{26}O$
16	Cadinene	204	$C_{15}H_{24}$
17	Cycloisolonggifolene	204	$C_{15}H_{24}$
18	Eudesmol	222	$C_{15}H_{26}O$

5.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ราคาปัจจุบันของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาในตลาดโลกแบ่งเกรดไว้ 3 เกรด คือ เกรด เอ บวก (A^+) มีความบริสุทธิ์ 100 % ราคาการซื้อขายระหว่าง 8,000 – 10,000 บาทต่อหน่วยโตล่า (12.5 มิลลิลิตร) หรือ ประมาณ 750 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณา เกรด เอ (A) จะมีความบริสุทธิ์ 95 – 99 % ราคาการซื้อขายโตล่าละ 6,000 – 8,000 บาท หรือ ประมาณ 600 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณาและเกรด บี (B) จะมีความบริสุทธิ์ที่ต่ำกว่าเกรด เอ ราคาการซื้อขายโตล่าละ 3,500 – 6,000 บาท หรือ ประมาณ 400 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณา โดยการแบ่งเกรดของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจน เป็นการตีราคาจากผู้ซื้อ ซึ่งลักษณะของน้ำมันที่ผู้ซื้อต้องการได้แก่ น้ำมันที่มีความหนืดสูง สีออกน้ำตาลเข้ม เมื่อทาผิวแล้วสามารถติดทนนานมากกว่า 12 ชั่วโมง

จากการนำตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้จากงานวิจัยนี้ไปให้กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนจังหวัดสตูลประเมิน พบว่าคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้จากการทดลองนี้มีเกรด เอ (A) ในทุกชุดของการทดลอง เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้จากการกลั่นด้วยน้ำ สามารถประเมินผลตอบแทนจากการลงทุนได้โดยจะทำการคำนวณต่อแบทช์การกลั่นดังตารางที่ 15 พบว่าผลกำไรต่อแบทช์ที่ได้ยังไม่สูงมากนักเนื่องจากระบบมีขนาดเล็ก ซึ่งหากออกแบบที่ใหญ่ขึ้นต้นทุนการกลั่นต่อผลได้จะต่ำลงมาก แต่หากพิจารณาจากระยะเวลาการคืนทุน (Payback period) แล้วจะพบว่าอยู่ที่ 0.57 ปี ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการลงทุนเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 15 การประเมินต้นทุนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาจากชุดกลั่นต้นแบบโดยการกลั่นด้วยน้ำ

รายการ	การประเมิน	จำนวนเงิน (บาท / แบทช์)
1. ค่าเครื่องกลั่น	[มูลค่าของเครื่อง (60,000 บาท) / อายุการใช้งาน 10 ปี] / [(300 วัน / ปี * 3 กะ / วัน)] * [12 กะ/ แบทช์]	- 80.00
2.ไม้กฤษณา	250 บาท / กิโลกรัม * 3 กิโลกรัม	-750.00
3. ค่าจ้างแรงงาน	เหมาจ่าย 1,500 บาท / แบทช์	-1,500.00
4. ค่าแก๊ส (LPG)	16 บาท / กิโลกรัม * 15 กิโลกรัม	-240.00
5. ค่าไฟฟ้า	12 หน่วย / แบทช์ * 3 บาท / หน่วย	-36.00
6. ค่าน้ำ	6 หน่วย / แบทช์ * 3 บาท / หน่วย	-18.00
7. ค่าบำรุงรักษา	เหมาจ่าย 50 บาท / แบทช์	-50.00
รวมต้นทุนการกลั่น		-2,674.00
รายรับ	600 บาท / กรัม * 6.79 กรัม	+4,074.00
กำไร		+1,400.00
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	60,000 บาท / 105,000 บาท / ปี	0.57 ปี

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

เตรียมไม้กฤษณา โดยใช้ไม้กฤษณาบดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน การกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยน้ำในเวลา 96 ชั่วโมง ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยทั้งหมด 6.79 กรัม คิดเป็นผลได้ประมาณ 0.23 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 30 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณา เมื่อเปรียบเทียบกับการกลั่นด้วยน้ำที่ดำเนินการโดยกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน พบว่าการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าการกลั่นของกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน โดยได้ผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาทั้งหมดที่สูงกว่าประมาณ 2 เท่า โดยใช้เวลาการกลั่นที่น้อยกว่า และปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยกว่า

การกลั่นด้วยไอน้ำ โดยใช้ไม้กฤษณาปริมาณ 1 กิโลกรัม ทำการกลั่นนาน 56 ชั่วโมง ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยทั้งหมด 2.08 กรัม คิดเป็นผลได้ 0.208 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การกลั่นด้วยน้ำที่เวลาเท่ากันจะได้ผลได้เท่ากับ 0.014 เปอร์เซ็นต์ การกลั่นด้วยไอน้ำจึงให้ผลได้มากกว่าการกลั่นด้วยน้ำ โดยความแตกต่างของผลได้ระหว่างการกลั่นด้วยไอน้ำและการกลั่นด้วยน้ำจะน้อยลงเมื่อเวลาการกลั่นนานขึ้น หลังจากทำการกลั่นด้วยไอน้ำนาน 56 ชั่วโมง ไม่สามารถทำการกลั่นด้วยไอน้ำต่อได้เนื่องจากน้ำควบแน่นตกลงมาในถังกลั่น ดังนั้นจึงควรทำการกลั่นด้วยไอน้ำในช่วงแรกของการกลั่นเพื่อให้ได้ผลผลิตในอัตราที่สูงเมื่อเทียบกับระยะเวลา และอาจทำการกลั่นต่อด้วยน้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ต้องการต่อไป

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่อง GC-MS องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ได้จากการทดลองกลั่นด้วยน้ำ พบว่าสารที่เป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างที่กลั่นได้คือ 10 epi-gamma-eudesmol และ Agarospirol ซึ่งสารนี้มีการรายงานถึงสรรพคุณผลทางเภสัชกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ การมีผลต่อ Anxiolytic เพิ่มการผลิต Steroid ต้านเชื้อราและแบคทีเรีย

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำ พบว่าได้ผลผลิตรวมสูงสุดเท่ากับ 6.79 กรัมหรือผลได้ (Yield) 0.23 % จะใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม (LPG) 14.70 กิโลกรัม หรือ 235.20 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 แบทช์ (96 ชั่วโมง) หรือ 1.78 กิโลกรัม หรือ 28.54 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 กรัม คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้จากการทดลองนี้อยู่ที่เกรด เอ (A) ซึ่งต้นทุน

ไม้กฤษณาราคา 250 บาทต่อกิโลกรัม ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็น 235.20 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 ชุดการทดลอง (96 ชั่วโมง) รวมต้นทุนวัตถุดิบ (ไม้กฤษณา) และเชื้อเพลิงเท่ากับ 1,135.20 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 ชุดการทดลอง (96 ชั่วโมง) ซึ่งสามารถกลั่นได้ผลผลิต 6.79 กรัม เปรียบเทียบกับราคาขาย 600 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณา และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) ของชุดกลั่นนี้อยู่ที่ 0.57 ปี ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการทำเชิงพาณิชย์

การลงทุนสำหรับกิจการอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา ควรปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ให้อยู่ในระดับเกรด เอ บวก (A^+) และลดต้นทุนการผลิต การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันอาจทำได้โดยการคัดเลือกปรับปรุงพันธุ์ไม้กฤษณาและปรับปรุงกรรมวิธีการกลั่น เช่น การหาความดันที่เหมาะสมในการกลั่น

ผลการคำนวณต้นทุนในการกลั่นแสดงให้เห็นว่ามีโอกาสเป็นไปได้สูงที่จะลงทุนกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาในเชิงการพาณิชย์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความดันที่เหมาะสมในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา
2. เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณามีสารสำคัญหลายชนิดที่ยังไม่ได้ทำการศึกษาถึงการทำบริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการทำให้ได้สารบริสุทธิ์จากองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

บรรณานุกรม

คณะอนุกรรมาธิการพิจารณาการตราพระราชกฤษฎีกา จัดตั้งสำนักงานปลูกไม้เศรษฐกิจตามพระราชบัญญัติองค์การมหาชน พ.ศ. 2542 ในคณะกรรมาธิการการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงาน วุฒิสภา. 2548. ประวัติ การเพิ่มมูลค่า ปัญหาอุปสรรค และปริมาณการปลูกในประเทศไทย ของไม้กฤษณา (ไม้หอม).

จุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ฯ อัครราชกุมารี สมเด็จเจ้าฟ้า. 2522. การกลั่นน้ำมันหอมระเหย. วารสารเคมี. 3(3), 5-9.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2537. กฤษณา. สำนักพิมพ์ชมรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร. กรุงเทพมหานคร.

ธำรง มากคง และ สุพจน์ แย้มศิริ. 2545. เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย (ESSENTIAL OIL DISTILLER). โครงงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิยาเขตกำแพงแสน.

ปณิตา สัจจวาที และ เชาวลิต เขตต์กิ่ง. 2543. เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรและเครื่องเทศ (ESSENTIAL OILS DISTILLATOR FROM HERBS AND SPICES). ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิยาเขตกำแพงแสน.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์.2537. การปลูกและดูแลรักษาสวนป่ากฤษณาไม้หอมราคาแพง.คู่มือการเกษตร.สำนักพิมพ์เพชรกะรัต: พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร.

รุ่ง ยโสธร. 2546. เครื่องมือสกัดน้ำมันหอมระเหย. มรดกดิน. ปีที่ 2 ฉบับที่ 17 หน้า 88

สุธรรม สุขมณี. 2542. การออกแบบวิศวกรรมเคมี. เอกสารประกอบคำบรรยาย สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

องอาจ คล้ามไพบูลย์. 2546. กฤษณา ไม้หอม ไม้มหาเศรษฐี. สำนักพิมพ์สนิทใจ. กรุงเทพมหานคร.

อิศรา เชาระกำ และคณะ. 2542. เครื่องกลั่นสารสมุนไพร. ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน กรุงเทพมหานคร 62 หน้า

Alkhathlan, H.Z., Al-Hazimi, H.M., Al-Dhalaan, F.S. and Mousa, A.A. 2005. Three 2-(2-phynylethyl) chromones and two terpenes from agarwood. Nat. Prod. Res. 19 (4), 367-372.

Angela Barden,Heart of the Matter : Agarwood Use and Trade and Cites Implementation for *Aquilaria Malaccensis*

Guenther, E. 1972. "The Essential oil". Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, New York, 427pp.

Rukachaisirilul, V., Dampawan, P. and Waltor, T. 1995. Chemical constituents of Thai Aquilaria sp. 11th Seminar on Natural Products Chemistry. Malaysia.

Taku Osoguchi. 2002. "Domestication of *Aquilaria crassna* Tree in *Hevea brasiliensis* Plantation, Huai Raeng – Khlong Peed Watershed, Trat Province, Eastern Thailand". Graduate School, Kasetsart University.

Umano, K., Hagi, Y., Nahahara, K., Shoji, A. and Shibamoto, T. 2000. Volatile Chemical Identified in Extracts from Leaves of Japanese Mugwort (*Artemisia princep* Pamp.). J.Agric.Food Chem. 48, 3463 - 3469.

Wu, T.S., Damu, A.G., Su, C.R. and Kuo, P.C. 2004. Terpenoids of Aristolochia and their biological activities. Nat. Prod. Rep., 21, 594-624.

Yang, J.S., Wang, Y.L., Su, Y.L., He, C.H., Zheng, Q.T. and Yang, J. 1989. Yao Xue Xue Bao. 24 (4), 264-268. Article in Chinese.

http://www.agarwoodinfo.com (Accessed : 1/11/2550).

http://www.agarwoodthailand.com (Accessed : 2/10/2550).

http:// www.alibaba.com (Accessed : 25/3/2551).

http://www.cropwatch.org/agarchem.htm (Assessed : 1/12/2551).

http://www.hommesuk.com (Accessed : 5/2/2551).

http://www.ist.cmu.ac.th (Accessed : 10/12/2551)

http://www.kmitl.ac.th/sisc/GC-MS/main.html (Accessed : 24/12/2551)

http://www.krissanapanasin.com (Accessed : 25/3/2551).

http://kritna.com/history.html (Accessed : 12/4/2551).

http://www.myholywood.com (Accessed : 25/3/2551).

http://www.thaiessentialoil.com (Accessed : 5/8/2550).

http://www.thaikrisana.com (Accessed : 5/1/2551).

http://www.thaitrip.org/contacts.html (Accessed : 12/4/2551).

http://www.thaiwoodcentral.com/stories/post_47.html (Accessed : 12/4/2551).

http://www.touchwood.com (Accessed : 22/8/2550).

ภาคผนวก

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 16 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 5 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 1

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0	26.00	25.20	25.40	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	101.40	101.40	37.40	27.60	0.23	1.84	0	0	0	0	2.1	33.60
16	101.80	101.70	38.10	28.10	0.44	3.54	0	0	0	0	1.70	27.20
24	101.90	102.10	38.20	28.10	1.64	13.12	0.23	0.23	0.0046	0.0046	1.80	28.80
32	101.60	102.30	38.20	28.10	1.06	8.84	0.12	0.35	0.0024	0.007	1.70	27.20.
40	103.80	102.90	37.10	29.90	0.32	2.56	0.33	0.68	0.0066	0.0136	1.70	27.20
48	104.70	103.60	38.20	30.80	0.35	2.80	0.16	0.85	0.0034	0.017	1.70	27.20

ตารางที่ 17 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 5 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 2

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0	26.40	24.80	26.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	99.50	98.60	36.50	26.50	0.25	2.00	0	0	0	0	1.90	30.40
16	101.10	100.30	38.00	27.10	0.40	3.20	0	0	0	0	1.60	25.60
24	101.90	102.10	38.50	27.50	1.34	10.72	0.25	0.25	0.005	0.005	1.40	22.40
32	102.50	102.50	37.00	28.10	1.25	10.00	0.11	0.36	0.0022	0.0072	1.50	24.00.
40	102.80	102.90	37.90	30.80	0.32	2.56	0.29	0.65	0.0058	0.013	1.50	24.00
48	103.50	103.10	38.30	30.60	0.36	2.88	0.21	0.86	0.0040	0.017	1.60	25.60

ตารางที่ 18 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 5 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 3

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0	26.50	25.80	25.80	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0
8	98.60	100.30	33.20	27.50	0.19	1.52	0	0.00	0	0.0000	1.70	27.20
16	99.80	101.30	35.30	28.00	0.49	3.92	0	0.00	0	0.0000	1.60	25.60
24	101.40	101.50	38.20	28.10	0.94	7.52	0.21	0.21	0.0042	0.0042	1.50	24.00
32	101.60	102.30	36.70	28.10	1.05	8.40	0.25	0.46	0.0050	0.0092	1.30	20.80.
40	102.80	102.40	37.50	29.30	1.30	10.4	0.30	0.76	0.0060	0.0152	1.30	20.80
48	103.70	103.20	37.90	30.80	1.31	10.48	0.20	0.96	0.0040	0.0192	1.30	20.80

ตารางที่ 19 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 1

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0	26.10	25.70	24.00	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0
8	100.60	101.40	24.00	27.40	0.33	2.64	0.57	0.57	0.0190	0.0190	1.70	47.72
16	98.20	102.20	27.00	26.00	0.26	2.08	0.69	1.26	0.0230	0.0420	0.90	20.87
24	100.40	101.80	28.00	24.60	0.39	3.12	0.42	1.68	0.0140	0.0560	1.10	41.90
32	98.60	102.40	30.50	27.00	0.29	2.32	0.92	2.60	0.0307	0.0867	1.30	22.61
40	99.30	102.80	26.50	27.00	0.33	2.64	0.45	3.05	0.0150	0.1017	1.20	42.67
48	99.20	102.60	31.00	26.50	0.36	2.88	0.43	3.48	0.0143	0.1160	1.10	40.93
56	97.70	100.60	32.00	26.00	0.40	3.20	0.32	3.80	0.0107	0.1267	1.40	70.00
64	99.30	102.10	30.00	25.50	0.34	2.72	0.38	4.18	0.0127	0.1394	1.00	42.11
72	98.60	101.60	28.00	25.00	0.34	2.72	0.25	4.43	0.0083	0.1477	0.90	57.60
80	99.20	102.10	29.50	26.20	0.33	2.64	0.18	4.61	0.0060	0.1537	1.60	142.22
88	99.30	101.40	28.80	26.00	0.35	2.80	0.00	4.61	0.0000	0.1537	1.10	0
96	99.60	102.30	29.00	26.40	0.36	2.88	0.00	4.61	0.0000	0.1537	0.90	0

ตารางที่ 20 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 2

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0	26.40	25.20	25.50	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0
8	99.60	101.30	30.00	26.40	0.30	2.40	0.42	0.42	0.0140	0.0140	1.80	68.57
16	99.80	101.80	32.00	26.60	0.32	2.56	0.60	1.02	0.0200	0.0340	1.50	40.00
24	101.70	101.60	31.00	26.80	0.36	2.88	0.80	1.82	0.0267	0.0607	1.30	26.00
32	100.70	101.00	32.00	25.90	0.34	2.72	0.59	2.41	0.0197	0.0804	1.20	32.54
40	97.80	101.50	27.00	26.00	0.34	2.72	0.89	3.30	0.0297	0.1101	1.00	17.98
48	101.10	100.50	32.00	25.20	0.33	2.64	0.96	4.26	0.0320	0.1421	1.40	23.33
56	98.80	101.80	30.00	25.40	0.36	2.88	0.94	5.20	0.0313	0.1734	1.40	23.83
64	99.90	101.30	32.00	25.40	0.35	2.80	0.87	6.07	0.0290	0.2024	1.10	20.23
72	100.70	101.00	30.00	25.20	0.34	2.72	0.62	6.69	0.0207	0.2231	1.20	30.97
80	100.20	101.50	27.80	25.60	0.35	2.80	0.64	7.33	0.0213	0.2444	1.10	27.50
88	99.70	101.30	31.00	26.20	0.34	2.72	0.51	7.84	0.0170	0.2614	1.30	40.78
96	99.60	101.50	30.00	26.10	0.36	2.88	0.40	8.24	0.0133	0.2747	0.40	16.00

ตารางที่ 21 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 3

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0	28.40	28.60	28.00	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0
8	99.90	101.40	29.00	26.40	0.34	2.72	0.31	0.31	0.0103	0.0103	1.40	72.26
16	100.30	101.70	31.00	26.50	0.36	2.88	0.52	0.83	0.0173	0.0276	1.20	36.92
24	100.10	101.80	32.00	25.20	0.36	2.88	0.59	1.42	0.0197	0.0473	0.90	24.41
32	99.60	101.40	31.00	25.60	0.33	2.64	0.56	1.98	0.0187	0.0660	0.70	20.00
40	99.80	101.50	32.00	26.60	0.35	2.80	0.69	2.67	0.0230	0.0890	0.80	18.55
48	100.10	101.50	31.00	25.60	0.34	2.72	0.75	3.42	0.0250	0.1140	0.80	17.07
56	100.20	101.80	30.50	25.80	0.36	2.88	0.83	4.25	0.0277	0.1417	0.90	17.35
64	99.60	101.30	31.50	26.50	0.36	2.88	0.79	5.04	0.0263	0.1680	0.90	18.23
72	99.80	101.50	32.00	26.50	0.35	2.80	0.85	5.89	0.0283	0.1963	1.10	20.71
80	99.90	101.30	31.00	26.00	0.34	2.72	0.60	6.49	0.0200	0.2163	0.80	21.33
88	98.80	101.10	32.00	26.50	0.36	2.88	0.55	7.04	0.0183	0.2346	0.70	20.36
96	98.60	101.40	34.00	26.00	0.36	2.88	0.48	7.52	0.0160	0.2506	0.90	30.00

ตารางที่ 22 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 1 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ ครั้งที่ 1

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0		26.8	25.8	-	0	0	0	0.00	0	0.00		
8		110.00	26.50	26.00	0.19	1.52	0.31	0.31	0.0310	0.0310		
16		112.00	30.00	27.00	0.27	2.16	0.29	0.60	0.0290	0.0600		
24		111.00	31.00	26.80	0.30	2.40	0.37	0.97	0.0370	0.0970		
32		115.00	30.00	27.20	0.29	2.32	0.36	1.33	0.0360	0.1330		
40		115.00	30.00	27.20	0.29	2.32	0.43	1.76	0.0430	0.1760		
48		117.00	30.50	27.20	0.30	2.40	0.29	2.05	0.0290	0.2050		
56		119.00	32.00	27.40	0.30	2.40	0.15	2.20	0.0150	0.2200		
64												
72												
80												
88												
96												

ตารางที่ 23 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ ครั้งที่ 2

เวลากลั่น	อุณหภูมิ(°C)				อัตราการควบแน่น	ปริมาตรน้ำควบแน่น	น้ำหนักน้ำมันกฤษณา	น้ำหนักน้ำมันกฤษณาสะสม	Yield	Yield สะสม	น้ำหนักแก๊ส	ต้นทุนด้านพลังงาน
(hr-min)	น้ำในถังกลั่น	ไอในถังกลั่น	น้ำหล่อเย็น	น้ำควบแน่น	(l/hr)	(l)	(g)	(g)	(%)	(%)	(kg)	(บาท/กรัมผลผลิต)
0		25.80	26.50	-	0	0	0	0.00	0.00	0.00		
8		115.00	27.80	26.40	0.20	1.60	0.25	0.25	0.0250	0.0250		
16		120.00	30.20	26.80	0.25	2.00	0.30	0.55	0.0300	0.0550		
24		120.00	30.80	27.20	0.33	2.64	0.38	0.93	0.0380	0.0930		
32		123.00	30.00	28.00	0.35	2.80	0.40	1.33	0.0400	0.1330		
40		125.00	31.50	28.20	0.36	2.88	0.31	1.64	0.0310	0.1640		
48		124.00	32.00	27.60	0.33	2.64	0.22	1.86	0.0220	0.1860		
56		126.00	32.50	27.80	0.35	2.80	0.10	1.96	0.0100	0.1960		
64												
72												
80												
88												
96												

ภาคผนวก ข

การคำนวณ ออกแบบเครื่องกลั่นต้นแบบ

1. การคำนวณ ออกแบบ

ตัวถัง (Shell)

ปริมาตรของตัวถัง (V) คำนวณออกแบบที่ความหนาแน่นของไม้กฤษณาเท่ากับ $0.25 \frac{kg}{dm^3}$ ที่ได้เท่ากับ 12 dm^3 และคูณด้วยค่าความปลอดภัย (Safety Factor) 2 เท่า จะได้ 12 x 2 = 24 dm^3

เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังหาได้จาก

$$V = 0.785\ Di^2h + V_{head}$$

โดย

V = ปริมาตรของตัวถังบางส่วนแบบวางตั้ง, dm^3

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถัง, mm

h = ระดับของเหลวที่บรรจุในตัวถัง, mm

V_{he} = ปริมาตรของฝาถัง, dm^3

จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถัง (D_i) = 200 mm

ความหนาของถังกลั่น (Pressure Vessel) กำหนดค่าอุณหภูมิของการออกแบบ, T_{des} เท่ากับ 170°C กำหนดค่าความดันของการออกแบบ, P_{des} เท่ากับ 2 บาร์ หรือ 0.02 MPa. ค่าความเค้นของการออกแบบ, S_{des} เท่ากับ 86.25 ซึ่งหาได้จาก

$$S_{des} = S_{plate}\ f$$

โดย

S_{des} = ค่าความเค้นของการออกแบบ, (MPa)

S_{plate} = ค่าความเค้นของโลหะแผ่นตามชนิดของอุณหภูมิ (115 MPa)

f = ค่าประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อ, (0.75)

จะได้ค่าความเค้นของการออกแบบ (S_{des}) = 86.25 MPa

ดังนั้นความหนาของตัวถังสามารถหาได้จากสมการ

$$t = \frac{P_{des} D_i}{2S_{des} - 1.2P_{des}}$$

โดย

t = ความหนาของถังกลั่น, mm

P_{des} = ความดันในการออกแบบ, MPa

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถัง, mm

S_{des} = ความเค้นการออกแบบ, MPa

จะได้ความหนาของถังกลั่น (t) = 0.025 mm

พื้นที่ผิวของถังกลั่นหาได้จากสมการ

$$A = 3.1416 D_i L + 2A_{head}$$

โดย

A = พื้นที่ผิวของถัง, m^2

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของตัวถัง, mm

L = ความสูงของถังกลั่น, mm

A_{head} = พื้นที่ผิวของฝาถัง, mm

จะได้พื้นที่ผิวของถัง (A) = 0.502 m^2

ฝาถัง (Head)

ฝาปิดตัวถังด้านบนเป็นฝาถังแบบฝาถังรูปไข่ (Ellipsoldal Head) ปริมาตรของฝาถังบน (V_{head}บน) หาได้จากสมการ

$$V_{head} = 0.524 D_i^2 h$$

โดย

V_{head}บน = ปริมาตรของฝาถังบน, mm^3

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถัง, mm

h = ความสูงของฝาถัง, mm

จะได้ปริมาตรของฝาถังบน (V_{head}บน) = 2.096 dm^3

พื้นที่ผิวของฝาถังบน (A_{head}บน) หาได้จากสมการ

$$A_{head} = 0.785 D_i^2 \left[1 + \frac{8h^2}{D_i^2} \left(1 - \frac{h}{D_i} \right) \right]$$

โดย

A_{head}บน = พื้นที่ผิวของฝาถังบน, mm^2

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถัง, mm

h = ความสูงฝาถัง, mm

จะได้พื้นที่ผิวของฝาถังบน (A_{head}บน) = 6.28 dm^2

ฝาปิดตัวถังด้านล่างเป็นฝาถังแบบฝาถังแบบจาน (Dished) ปริมาตรของฝาถังล่าง (V_{head}ล่าง) สามารถหาปริมาตรได้จากสมการ

$$V_{head} = 0.524 D_i^2 h$$

โดย

V_{heed}ล่าง = ปริมาตรของฝาถังกลั่นล่าง, mm^3

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถัง, mm

h = ความสูงของฝาถัง, mm

จะได้ปริมาตรของฝาถังกลั่นล่าง (V_{heed}ล่าง) = 1.05 dm^3

พื้นที่ผิวของฝาถังล่าง (A_{head} ล่าง) หาได้จากสมการ

$$A_{head} = 0.524\left[D_i^2 + 8h^2\left(1 - \frac{h}{D_i}\right)\right]$$

โดย

A_{head}ล่าง = พื้นที่ผิวของฝาถังล่าง, mm^2

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถังล่าง, mm

h = ความสูงฝาถังล่าง, mm

จะได้พื้นที่ผิวของฝาถังล่าง (A_{head}ล่าง) = 1.834 dm^2

ท่อไอน้ำร้อน

ความหนาของท่อ (t_m) ท่อนำไอสามารถหาความหนาได้จากสมการ

$$t_m = \frac{D_o}{2}\left[1 - \sqrt{\frac{S_s - P_s}{S_s + P_s}}\right] + C$$

โดย

t_m = ความหนาต่ำสุดของท่อนำไอ, mm

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ, mm

S_s = ความเค้นในแนวเส้นท่อที่ปลอดภัย, kPa

P_s = ความดันใช้งานที่ปลอดภัย, kPa

C = ความหนาชดเชยสำหรับการกัดร่อน, 1.3 mm

ขนาดของท่อนำไอ (D_i) สามารถหาได้จากสมการ

$$D_i = 18.8\sqrt{\frac{W}{\rho V_n}}$$

โดย

D_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, mm

W = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/hr

ρ = ความหนาแน่นของไอ, kg/ m^3

V_n = ความเร็วปกติของไอในท่อ, 35 m/s

หรือสามารถหาได้จากสมการ

$$D_i = \frac{7.65W^{0.408}}{\rho^{0.343}}$$

โดย

D_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, mm

W = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/hr

P = ความหนาแน่นของไอ, kg/ m^3

ชุดแยกน้ำมันหอมระเหย

ได้ทำการออกแบบชุดแยกขนาดปริมาตร 14 ลิตร ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 13

$$V = 0.785\ Di^2h \times 2$$

(13)

โดย

V = ปริมาตรของชุดแยก, dm^3

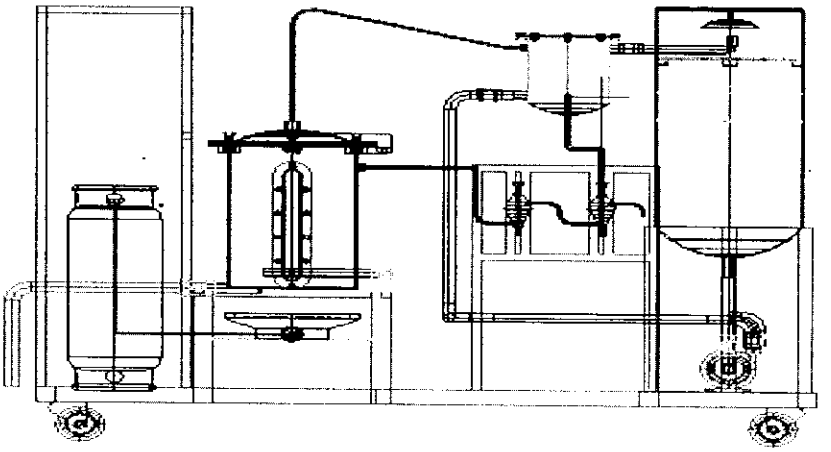
D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลวงใส, mm

h = ความสูงของท่อกลวงใส, mm

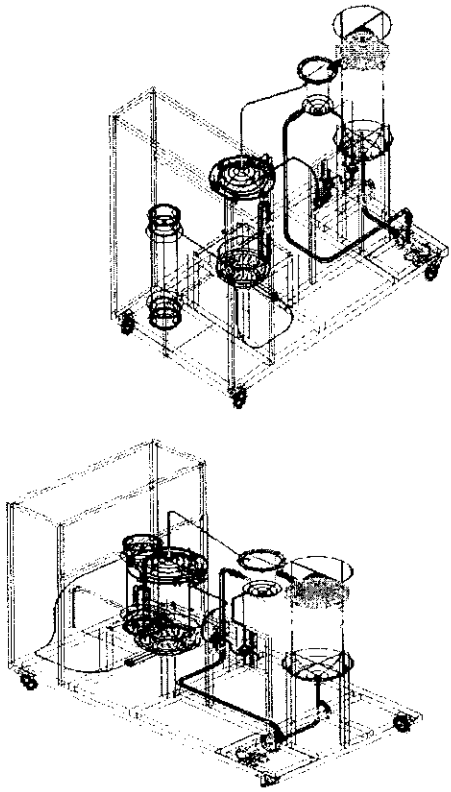
2 = จำนวน 2 ชุด

จะได้ปริมาตรของชุดแยก (V) = 14 dm^3

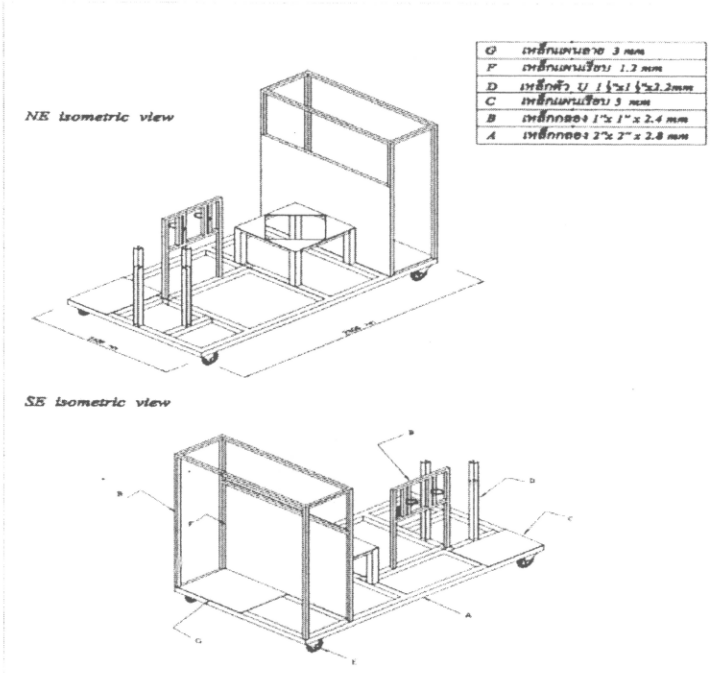
2. แบบการสร้างอุปกรณ์การกลั่น



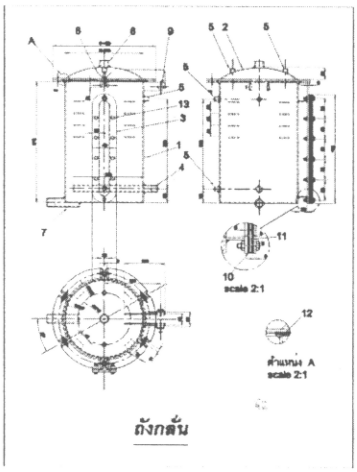
ภาพประกอบที่ 28 ไดอะแกรมรวมของเครื่องกลั่นต้นแบบ

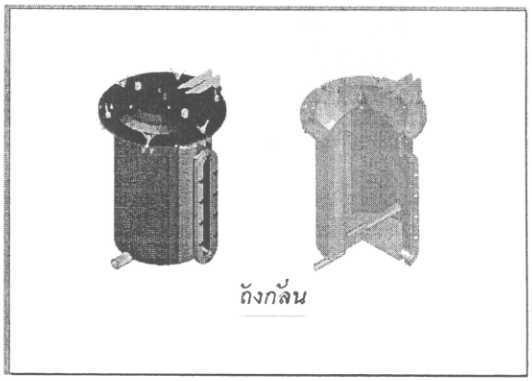


ภาพประกอบที่ 29 โครงสร้างของเครื่องกลั่นต้นแบบ

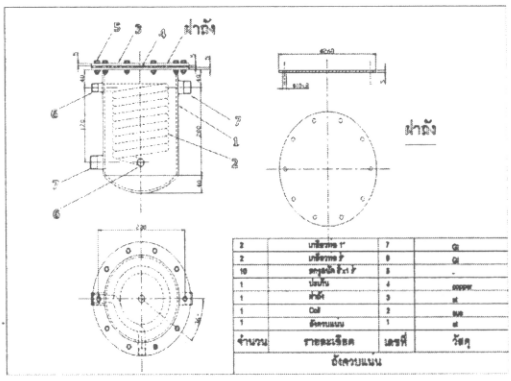


ภาพประกอบที่ 30 แบบสำหรับสร้างโครงชุดกลั่น

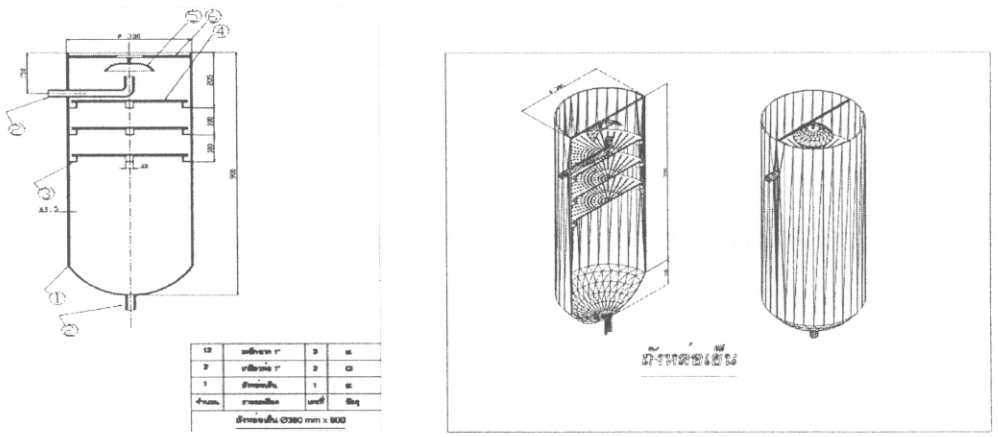




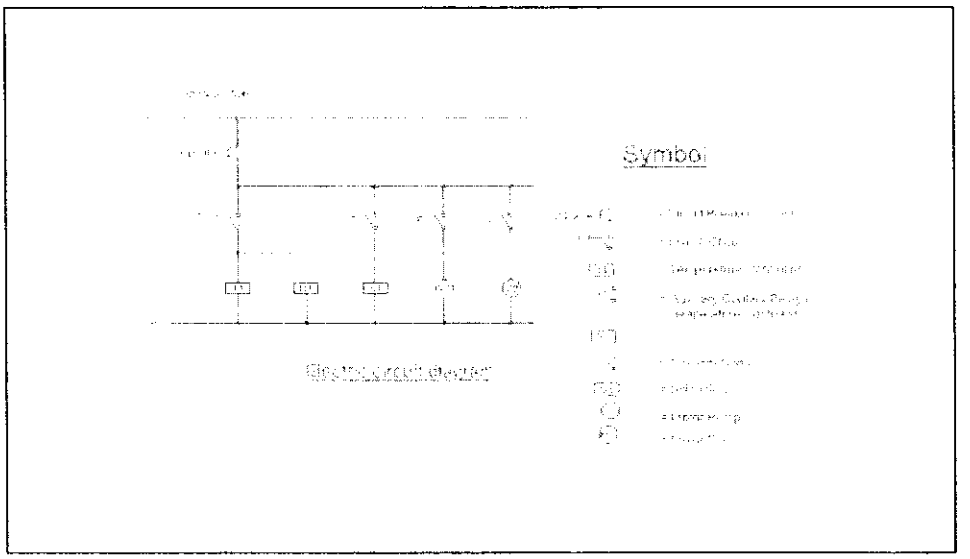
ภาพประกอบที่ 31 แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของถังกลั่น



ภาพประกอบที่ 32 แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของชุดควบแน่น



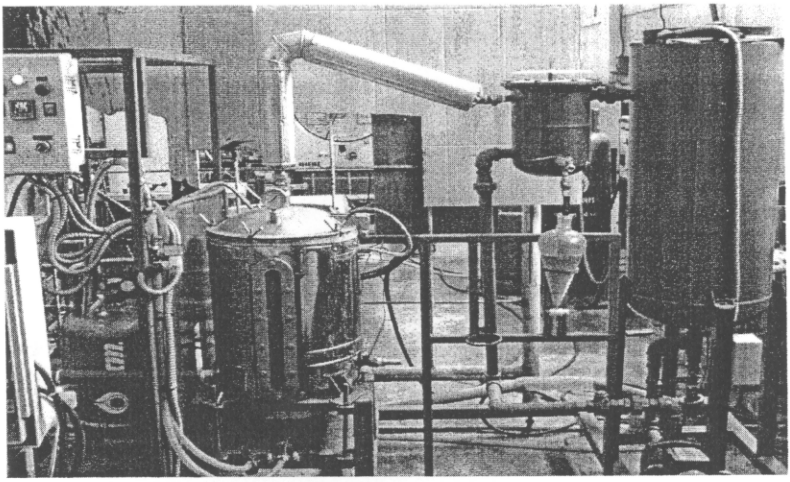
ภาพประกอบที่ 33 แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของชุดหล่อเย็น



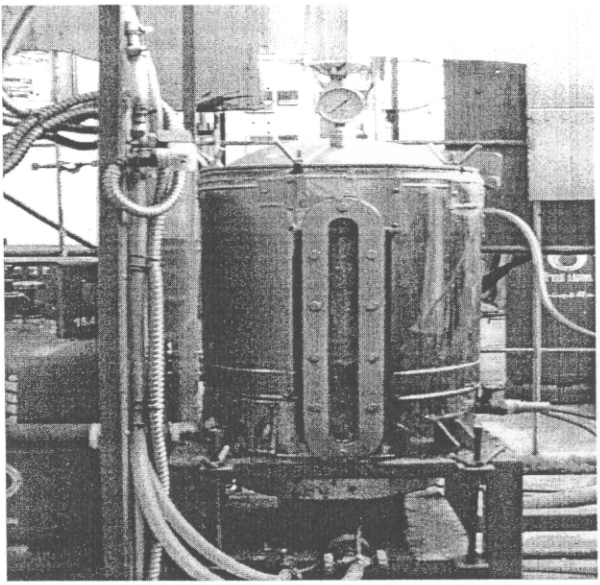
ภาพประกอบที่ 34 แบบชุดอุปกรณ์ควบคุม

3. **การสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต้นแบบที่จัดสร้าง**

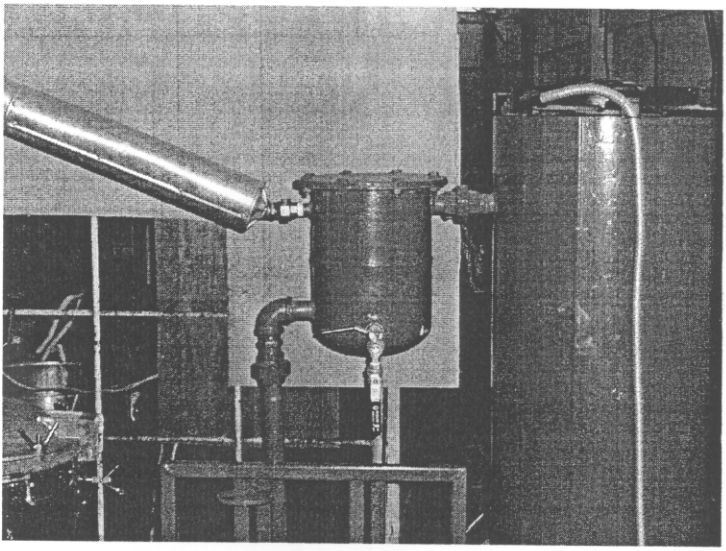
อุปกรณ์ที่จัดสร้างแสดงดังภาพประกอบที่ 35 ถึงภาพประกอบที่ 40 โดยที่ก้นถังจะติดตั้งระบบส่งไอน้ำไว้ใช้ในกรณีกลั่นด้วยไอน้ำ ตรงส่วนปลายของคอนเดนเซอร์จะประกอบด้วยสามทางโดยทางหนึ่งต่อกับหน่วยแยกน้ำกับน้ำมันหอมระเหย และอีกทางเป็นช่องระบายอากาศ โดยเมื่อทำการกลั่นที่ความดันบรรยากาศก็จะเปิดช่องระบายอากาศทั้งหมด ส่วนเมื่อกลั่นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ



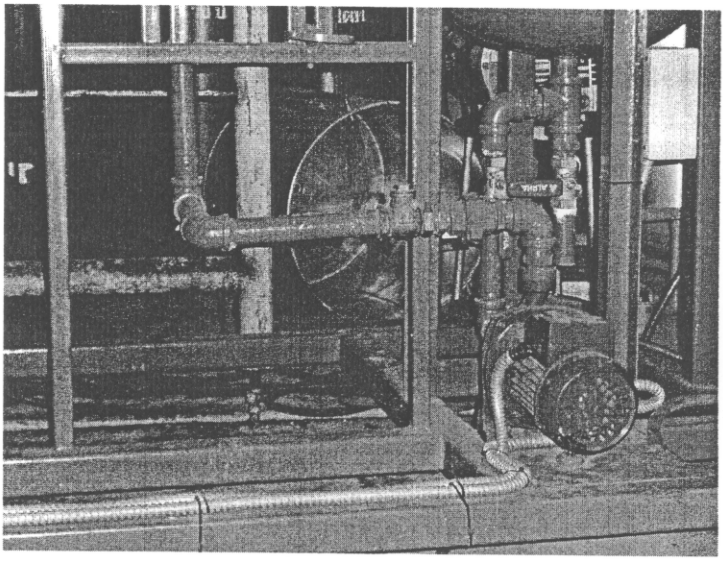
ภาพประกอบที่ 35 เครื่องกลั่นน้ำมันกฤษณาต้นแบบ



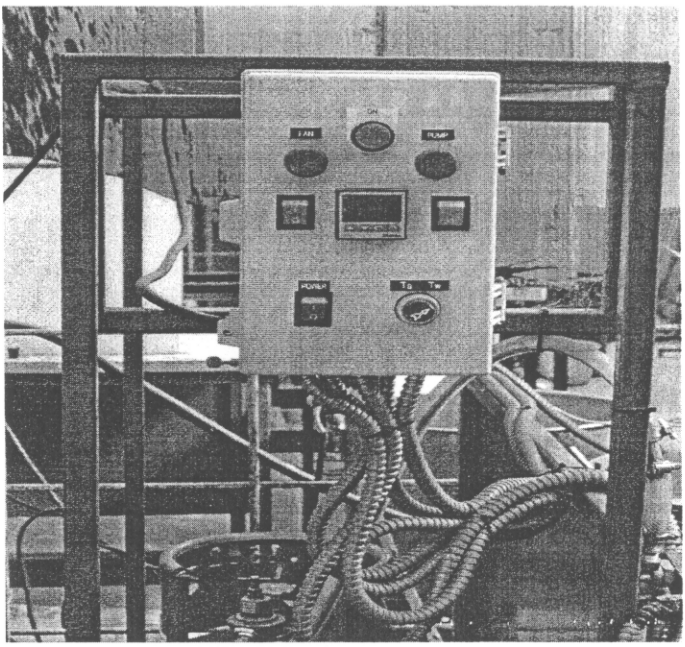
ภาพประกอบที่ 36 ตัวถังกลั่น



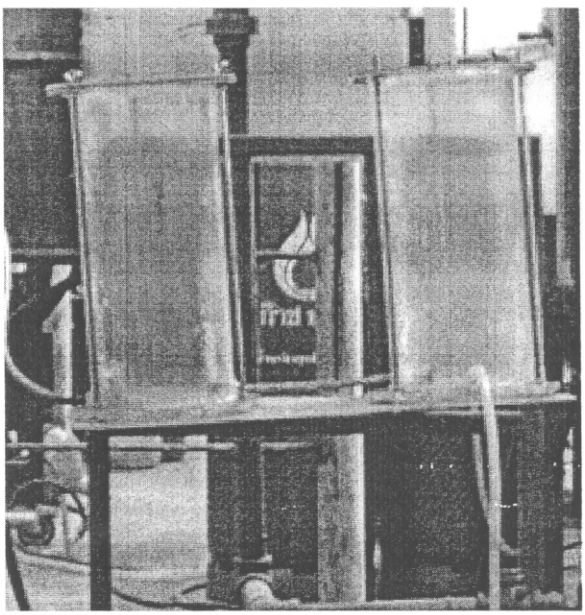
ภาพประกอบที่ 37 ชุดควบแน่นและหอผึ่งเย็น



ภาพประกอบที่ 38 ปั๊มน้ำหล่อเย็น



ภาพประกอบที่ 39 ชุดควบคุม



ภาพประกอบที่ 40 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่มีการเผยแพร่

การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย

มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 18 ประจำปี 2551

การวิจัยกับการแก้ปัญหาวิกฤตชาติ

The 18th Thaksin University Annual Conference : The Research and National Crisis Solutions

วันที่ 25-26 กันยายน 2551

ณ ห้องประชุมการะเกด A-B โรงแรมกรันด์เอสดี พาเลซ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

จัดโดย

สถาบันวิจัยและพัฒนา บัณฑิตวิทยาลัย คณะกรรมการกิจกรรมนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา

มหาวิทยาลัยทักษิณ

ISBN 974-451-153-2

การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

Extraction of Agarwood Oil

สามารถ เส็มหมาด[1*] ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์[2] และ ชาคริต ทองอุไร[3]

Samart Semmad[1*] Pakamas Chetpattananondh[2] and Chakrit Tongurai[3]

บทคัดย่อ

กระบวนกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาในปัจจุบันยังมีประสิทธิภาพไม่สูง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่มีประสิทธิภาพสูง ค้นคว้าสภาวะดำเนินการที่เหมาะสม และศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ชุดกลั่นประกอบด้วยหม้อกลั่นที่ทำจากเหล็กกล้าปลอดสนิม ขนาด 30 ลิตร หอหล่อเย็นขนาด 90 ลิตร ที่บรรจุท่อไอน้ำยาว 120 เซนติเมตร และหน่วยแยกที่ทำจากท่ออคริลิก ขนาด 20 ลิตร 2 หน่วย ไม้กฤษณาถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และบดย่อยก่อนนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน ป้อนไม้ 3 กิโลกรัม และน้ำ 27 ลิตร เข้าสู่ชุดกลั่น ทำการกลั่นนาน 88-96 ชั่วโมง ตรวจสอบปริมาณน้ำมันทุกๆ 8 ชั่วโมง องค์ประกอบของน้ำมันวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม ความหนาแน่น 920 กรัม/ลิตร การกลั่นด้วยน้ำ 8 ชั่วโมง ได้น้ำมัน 0.43 กรัม ผลได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกลั่นเพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 48 ชั่วโมง โดยผลได้สูงสุดคือ 0.71 กรัมที่เวลา 48 ชั่วโมง แต่หลังจากนั้นผลได้จะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ผลได้ทั้งหมดประมาณ 0.23% ภายในเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าผลได้ของการกลั่นด้วยน้ำที่นิยมทำในปัจจุบันที่มีเพียง 0.12% ภายในเวลา 168 ชั่วโมง การกลั่นด้วยไอน้ำจะได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาในอัตราที่สูงขึ้น องค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยที่สำคัญ คือ 10 epi-gamma-eudesmol และ agarospirol

คำสำคัญ : การสกัด; น้ำมันหอมระเหยกฤษณา; เอควิลาเรีย

Abstract

The conventional extraction process for agarwood oil has low efficiency. This work was aimed to develop extraction process of agarwood oil with high efficiency. The optimum condition was investigated. The components of extracted oil were also studied. The distillation unit consists of 30-L stainless steel distort with 120-cm long steam pipe in 90-L cooling tower and two 20-L acrylic separators. Agarwood was cut into pieces and powdered before soaked in water for 7 days. The distillation unit was fed with 3 kilograms of agarwood and 27 liters of water. The extraction was carried out for 88 – 96 hours. The oil was collected from the separator and then water evaporated by rotary vacuum evaporator. The amount of oil was determined every 8 hours. The oil components were investigated by gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS). Agarwood oil is dark brown color with density of 920 g/L. With water distillation about 0.43 g of oil was yielded in 8 hours. The oil yield increased from 8 to 48 hours with greatest yield of 0.71 g at 48 hours. With longer extraction time the amount of oil decreased. The overall yield of agarwood oil for extraction time of 96 hours was about 0.23%. This

yield is higher than the conventional water distillation process, which yields only 0.12% for operating time of 168 hours. With steam distillation, higher extraction rate of agarwood oil was gain. The main components of extracted oil were 10 epi-gamma-cudesmol and agarospirol.

Keywords: extraction, agarwood oil, *Aquilaria*

---

[1] นักศึกษาบัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

[3*] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

[*] โทรศัพท์: 0-7443-9585 e-mail: samartsemmad@yahoo.com

คำนำ

ไม้กฤษณา (ไม้หอม) เป็นไม้พื้นเมืองของไทยซึ่งสามารถนำมาสกัดได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณประโยชน์ทั้งทางเวชภัณฑ์และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และเป็นน้ำมันหอมระเหยที่มีราคาสูงที่สุด ในอดีตกฎหมายกำหนดให้ไม้กฤษณา (ไม้หอม) เป็นของป่าหวงห้ามตามกฎหมายว่าด้วยป่าไม้ซึ่งเป็นไม้ที่อยู่ในป่าสงวนแห่งชาติ อุทยานหรือเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า ปัจจุบันไม้กฤษณาได้กลายเป็นไม้เศรษฐกิจเชิงอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากเพื่อเพิ่มดุลทางการค้าให้กับประเทศไทย

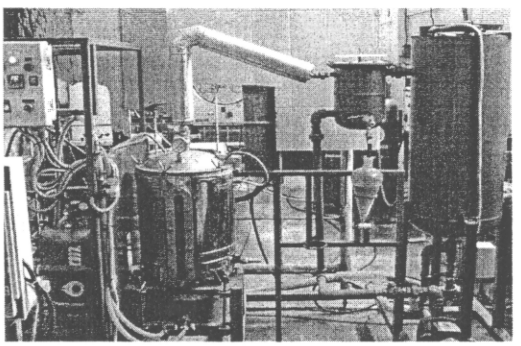
จากวรรณกรรมทางวิชาการทั้งในแบบแผนโบราณและแบบแผนปัจจุบันพบว่าในแบบแผนโบราณน้ำมันหอมระเหยของไม้กฤษณาบำรุงโลหิตในหัวใจ (อาการหน้าเขียว) บำรุงหัวใจ แก้ลมวิงเวียนศีรษะ หน้ามืด แก้ลมซาง แก้ไข้ อาเจียน ท้องร่วง บำบัดโรคปวดตามข้อและในแบบแผนปัจจุบันกฤษณามีฤทธิ์ต่อต้านมะเร็งในลำไส้ มะเร็งในกระเพาะอาหาร มะเร็งในตับและเชื่อว่ามีฤทธิ์อื่นๆ ทางชีวภาพอีกมาก ในด้านการตลาดปัจจุบันมีประเทศต่างๆ ที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์จากไม้กฤษณาในหลายกลุ่มประเทศ เช่น กลุ่มประเทศตะวันออกกลางหรือกลุ่มผู้ผลิตน้ำมัน นำไปป้องกันไรทะเลทรายที่ทำให้เกิดโรคมัยโคพลาสมา กลุ่มประเทศยุโรปนำน้ำมันหอมระเหยจากกฤษณาเป็นหัวเชื้อน้ำหอม และกลุ่มประเทศจีน ญี่ปุ่น ไต้หวันที่ใช้น้ำมันหอมระเหยจากกฤษณาทางด้านอุตสาหกรรมยา

ปัจจุบันการกลั่นน้ำมันหอมระเหยของชุมชนใช้อุปกรณ์การต้มกลั่นอย่างง่ายซึ่งจะมีประสิทธิภาพไม่สูง มีการสูญเสีย อีกทั้งพบว่ามีการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต้มกลั่นอีกด้วย อุปกรณ์การกลั่นที่ได้มาตรฐานส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การผลิตเครื่องกลั่นที่ได้มาตรฐานภายในประเทศยังมีอยู่น้อย ดังนั้น เพื่อให้การกลั่นน้ำมันหอมระเหยของไม้กฤษณาออกมาได้ครบถ้วน เพื่อการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพต่อไป และจะได้เสนอแนะให้กลุ่มชุมชนและกลุ่มสหกรณ์การเกษตรและอุตสาหกรรมไม้กฤษณาได้ใช้อุปกรณ์กลั่นที่มีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยต้นแบบที่มีการดำเนินการง่าย เหมาะสมที่จะดำเนินการได้โดยชุมชน ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูงในระดับที่เหมาะสม เพื่อเผยแพร่ให้ชุมชนและกลุ่มสหกรณ์การเกษตรและอุตสาหกรรมไม้กฤษณาได้ใช้งานต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

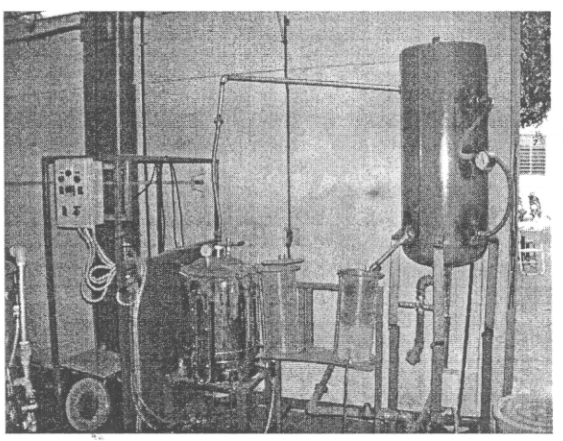
วัตถุดิบได้แก่ไม้กฤษณาสายพันธุ์เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (Aquilaria Subintegra) ซึ่งได้มาจากชมรมไม้กฤษณา (ไม้หอม) แห่งประเทศไทย จังหวัดตราด, สหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด และกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล

ชุดกลั่นประกอบด้วย หม้อกลั่นที่ทำจากเหล็กกล้าปลอดสนิมขนาด 30 ลิตร ชุดควบแน่น หอหล่อเย็นขนาด 90 ลิตร และกรวยแยกขนาด 1 ลิตรที่ทำจากแก้ว ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาก่อนการปรับปรุง

หลังจากการใช้เครื่องกลั่น พบว่ามีปัญหาน้ำมันติดค้างในท่อของเครื่องควบแน่น จึงดัดแปลงโดยต่อท่อไอน้ำขนาด 0.5 นิ้วจากถังกลั่นเข้าสู่หอหล่อเย็นโดยตรง เพื่อให้มีการขดตัวที่น้อยลง และได้เปลี่ยนหน่วยแยกน้ำมันโดยใช้ท่ออคริลิกขนาด 20 ลิตร 2 หน่วย ดังภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาหลังการปรับปรุง

ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำและการกลั่นด้วยไอน้ำโดยมีวิธีการทดลองดังนี้

(1) นำไม้กฤษณามาสับเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 x 1 นิ้ว

(2) นำไปไล่ความชื้นโดยการตากแดด

(3) ทำการบดละเอียดขนาดประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร

(4) นำผงที่บดละเอียดแช่น้ำ 7 วันในสัดส่วน ไม้กฤษณา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 9 ลิตร

(5) นำผงไม้ที่แช่แล้วทำการกลั่นกับเครื่องกลั่นต้นแบบด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำโดยให้ความร้อนโดยตรงจากก๊าซหุงต้มเป็นเวลา 96 ชั่วโมง

(6) เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ทุก 8 ชั่วโมง

ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ GC-MS รุ่น HP 5890 Gas Chromatograph – HP 5972 Mass Selective Detector

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นก่อนการปรับปรุง

เมื่อทำการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นก่อนการปรับปรุง พบว่าผลได้สะสมมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.018 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 1) ซึ่งต่ำมาก และในส่วนของอัตราการควบแน่นจะไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิง แสดงถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของเครื่องกลั่น จึงได้ปรับปรุงเครื่องกลั่นดังอธิบายในหัวข้ออุปกรณ์และวิธีการ

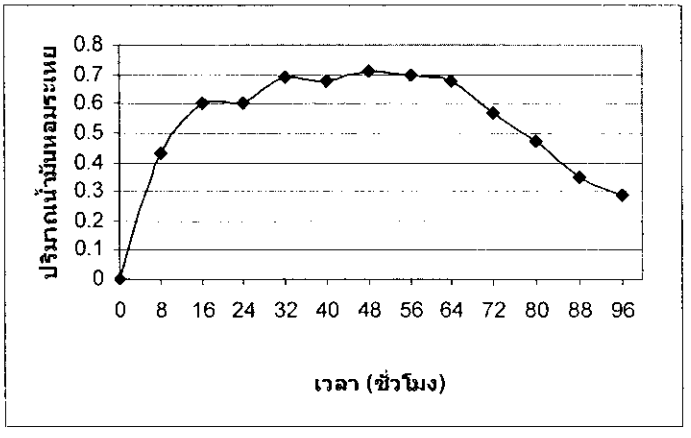
ตารางที่ 1 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น

เวลากลั่น (hr-min)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา (กรัม)	มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาสะสม (กรัม)	Yield สะสม (%)	อัตราการควบแน่น (ลิตรต่อชั่วโมง)	ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ (กิโลกรัม)
0	0	0	0	0.00	0.00
8	0	0	0	0.22	1.90
16	0	0	0	0.44	1.63
24	0.23	0.23	0.005	1.31	1.57
32	0.16	0.39	0.008	1.12	1.50
40	0.31	0.7	0.014	0.65	1.50
48	0.19	0.89	0.018	0.67	1.53

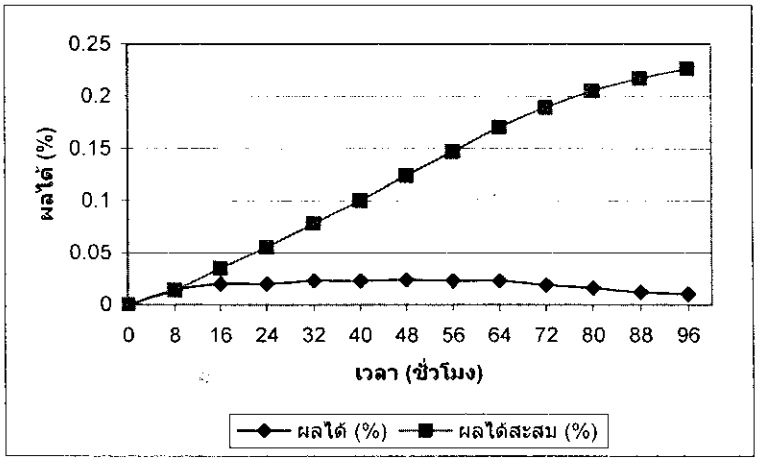
2. การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นหลังการปรับปรุง

2.1 การกลั่นด้วยน้ำ

น้ำมันหอมระเหยกฤษณาจะเริ่มออกมาที่เวลาในการกลั่นชั่วโมงที่ 8 เท่ากับ 0.43 กรัม และจะออกมากที่สุดในชั่วโมงที่ 48 เท่ากับ 0.71 กรัม และค่อยๆ ลดต่ำลง หลังจากกลั่นไป 96 ชั่วโมง จะมีน้ำมันออกมาน้อยมากเท่ากับ 0.29 กรัม (ภาพประกอบที่ 3) รวมค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ 6.79 กรัม ปริมาณผลได้สะสมที่ชั่วโมงการกลั่นที่ 48 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.124 เปอร์เซ็นต์ (ภาพประกอบที่ 4) ซึ่งสูงกว่าก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.018 เปอร์เซ็นต์ มาก แสดงให้เห็นว่าหลังการปรับปรุง เครื่องกลั่นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเมื่อทำการกลั่นต่อไปจนถึงชั่วโมงการกลั่นที่ 96 ปริมาณผลได้สะสมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.226 เปอร์เซ็นต์

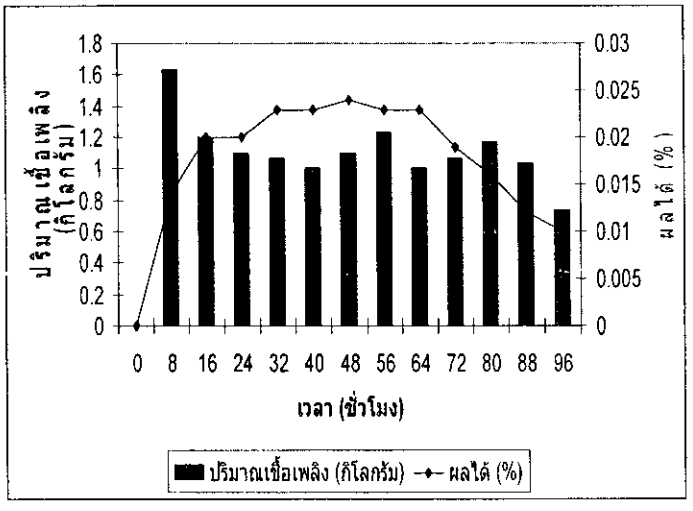


ภาพประกอบที่ 3 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น
โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น



ภาพประกอบที่ 4 ปริมาณผลได้และผลได้สะสมน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น
โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม LPG สูงสุดเป็น 1.63 กิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมง ซึ่งเกิดในช่วงแรกของการต้มน้ำ (ภาพประกอบที่ 5) จากนั้นที่เวลา 16-88 ชั่วโมง มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับผลได้ของน้ำมัน และอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเลยชั่วโมงที่ 88 โดยปริมาณผลได้น้ำมันก็จะลดลงเช่นกัน



ภาพประกอบที่ 5 ปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา
โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการสกัดที่ใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนปัจจุบัน และมีการใช้เชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาจากข้อมูลของกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนและงานวิจัยนี้

การสกัด	เวลาการกลั่น (ชั่วโมง)	ปริมาณไม้กฤษณา (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณา (กรัม)	ผลได้สะสม (%)	ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG, กิโลกรัม)
กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน โดยการกลั่นด้วยน้ำ	*168 – 240*	*10*	*12*	*0.12*	*20 - 30*
งานวิจัยนี้ โดยการกลั่นด้วยน้ำ	96	3	6.79	0.23	15

2.2 การกลั่นด้วยไอน้ำ

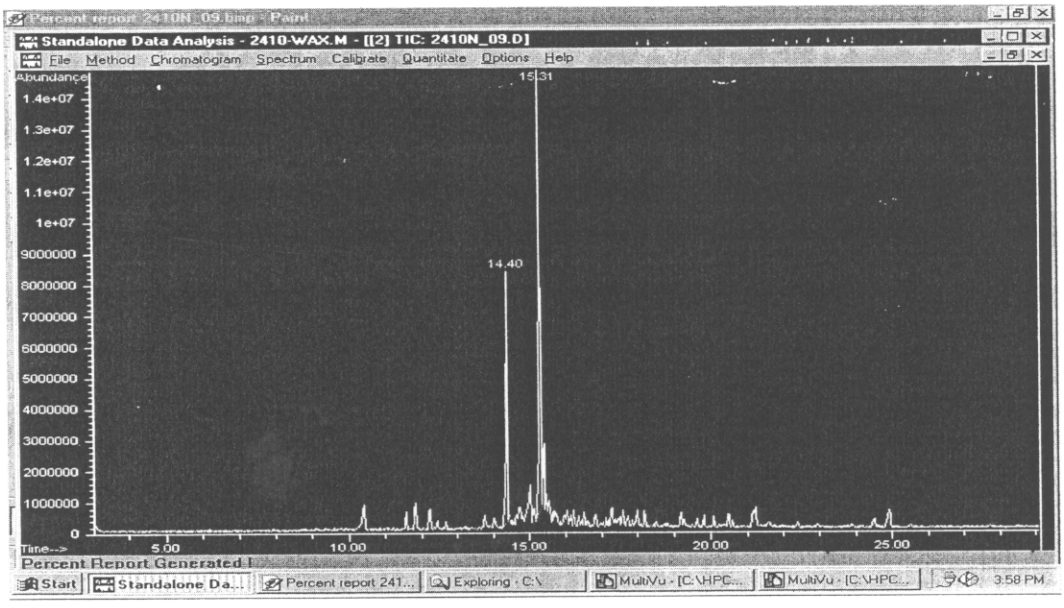
ไอน้ำที่ใช้ในการกลั่นได้จากหม้อต้มน้ำของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขนาด 0.5 ตัน ความดันสูงสุด 5 บาร์ ภายในระยะเวลา 8 ชั่วโมง การกลั่นด้วยไอน้ำจะได้น้ำมันหอมระเหย 0.028 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการกลั่นด้วยน้ำถึงสองเท่า (ตารางที่ 3) ผลได้ของการกลั่นด้วยไอน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ระยะเวลา 24-32 ชั่วโมง หลังจากนั้นผลได้จะลดลง เนื่องจากเกิดปัญหาน้ำควบแน่นลงมาในถังกลั่น ทำให้ไม่สามารถกลั่นด้วยไอน้ำให้เกิดความต่อเนื่องได้ ทำให้ผลได้สะสมรวมภายใน 56 ชั่วโมงมีค่าเพียง 0.208 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถแก้ไขปัญหาน้ำที่ควบแน่นลงมาได้ การกลั่นด้วยไอน้ำจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากขึ้นภายในระยะเวลาที่น้อยลง ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ตารางที่ 3 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

เวลากลั่น (hr-min)	การกลั่นด้วยน้ำ		การกลั่นด้วยไอน้ำ	
	Yield (%)	Yield สะสม(%)	Yield (%)	Yield สะสม(%)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.014	0.014	0.028	0.028
16	0.020	0.035	0.030	0.058
24	0.020	0.055	0.038	0.095
32	0.023	0.078	0.038	0.133
40	0.023	0.100	0.037	0.170
48	0.024	0.124	0.026	0.196
56	0.023	0.147	0.013	0.208

3. องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

จากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่อง GC-MS จากตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณาของสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด และกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล ตรวจพบสารที่เป็นองค์ประกอบ เช่น 10 epi-gamma-eudesmol, Agarospirol, Aristolen เป็นต้น ส่วนองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ได้จากการทดลองกลั่นด้วยน้ำ พบว่าสารที่เป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างที่กลั่นได้คือ 10 epi-gamma-eudesmol และ Agarospirol โดยมีโครมาโตแกรมแสดงดังภาพประกอบที่ 6 ส่วนภาพประกอบที่ 7 แสดงโครงสร้างของ 10 epi-gamma-eudesmol และ Agarospirol ซึ่งสารนี้มีการรายงานถึงสรรพคุณผลทางเภสัชกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ การมีผลต่อ Anxiolytic เพิ่มการผลิต Steroid ต้านเชื้อราและแบคทีเรีย



ภาพประกอบที่ 6 โครมาโตแกรมจากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ในตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

(a) (b)

ภาพประกอบที่ 7 โครงสร้างของสารที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

(a)10 epi-gamma-eudesmol และ (b) agarospirol

4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ปัจจุบันมีการแบ่งเกรดของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาในตลาดโลกไว้ 3 เกรด คือ เกรดเอบวก มีความบริสุทธิ์ 100 % ราคาการซื้อขายระหว่าง 8,000 – 10,000 บาทต่อหน่วยโตล่า (12.5 มิลลิลิตร) หรือ ประมาณ 750 บาทต่อกรัม น้ำมันหอมระเหยกฤษณาเกรดเอ จะมีความบริสุทธิ์ 95 – 99 % ราคาการซื้อขายโตล่าละ 6,000 – 8,000 บาท หรือ ประมาณ 600 บาทต่อกรัม น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและเกรดบี จะมีความบริสุทธิ์ที่ต่ำกว่าเกรดเอ ราคาการซื้อขายโตล่าละ 3,500 – 6,000 บาท หรือ ประมาณ 400 บาทต่อกรัม น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้จากการทดลองนี้ได้รับการประเมินอยู่ในเกรดเอ

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ น้ำมันหอมระเหยมีผลได้สะสม 0.27 เปอร์เซ็นต์ ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม 14.70 กิโลกรัม หรือ 235.20 บาท ต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 แบทช์ (96 ชั่วโมง) หรือ 1.78 กิโลกรัม หรือ 28.54 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 กรัม ต้นทุนไม้กฤษณาราคา 250 บาทต่อกิโลกรัม ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็น 235.20 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 ชุดการทดลอง รวมต้นทุนวัตถุดิบและ

เชื้อเพลิงเท่ากับ 1,135.20 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 ชุดการทดลอง ซึ่งสามารถกลั่นได้ผลผลิต 8.24 กรัม เปรียบเทียบกับราคาขาย 600 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณา จะได้มีระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 0.57 ปี (ตารางที่ 4) ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการลงทุนเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 4 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยชุดกลั่นต้น

รายการ	การประเมิน	จำนวนเงิน (บาท / แบทช์)
1. ค่าเครื่องกลั่น	[มูลค่าของเครื่อง (60,000 บาท) / อายุการใช้งาน 10 ปี] / [(300 วัน / ปี * 3 กะ / วัน)] * [12 กะ/ แบทช์]	- 80.00
2. ไม้กฤษณา	250 บาท / กิโลกรัม * 3 กิโลกรัม	-750.00
3. ค่าจ้างแรงงาน	เหมาจ่าย 1,500 บาท / แบทช์	-1,500.00
4. ค่าแก๊ส (LPG)	16 บาท / กิโลกรัม * 15 กิโลกรัม	-240.00
5. ค่าไฟฟ้า	12 หน่วย / แบทช์ * 3 บาท / หน่วย	-36.00
6. ค่าน้ำ	6 หน่วย / แบทช์ * 3 บาท / หน่วย	-18.00
7. ค่าบำรุงรักษา	เหมาจ่าย 50 บาท / แบทช์	-50.00
รวมต้นทุนการกลั่น		**-2,674.00**
รายรับ	600 บาท / กรัม * 6.79 กรัม	**+4,074.00**
กำไร		**+1,400.00**
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	60,000 บาท / 105,000 บาท / ปี	**0.57 ปี**

สรุปผลการวิจัย

ด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบที่พัฒนาขึ้น และกระบวนการสกัดโดยใช้ไม้กฤษณาบดละเอียดปริมาณ 1 กิโลกรัม แช่ในน้ำ 9 ลิตร เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำจะได้ผลได้สะสม 0.23 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 30 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณา ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันมาก และถ้าทำการกลั่นด้วยไอน้ำมีแนวโน้มว่าจะมีประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ดีกว่าการกลั่นด้วยน้ำ น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่สกัดได้มีคุณภาพอยู่ในเกรดเอ โดยมีความหนาแน่น 920 กรัม/ลิตร จากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมด้วยเครื่อง GC-MS พบว่าสารที่เป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างที่กลั่นได้คือ 10 epi-gamma-eudesmol และ Agarospirol ซึ่งสารนี้มีการรายงานถึงสรรพคุณผลทางเภสัชกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ การมีผลต่อ Anxiolytic เพิ่มการผลิต Steroid ต้านเชื้อราและแบคทีเรีย จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการกลั่นด้วยน้ำ พบว่าระยะเวลาการคืนทุน จะอยู่ที่ 0.57 ปี ซึ่งมีความคุ้มค่าในการลงทุนเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

จุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ฯ อัครราชกุมารี สมเด็จเจ้าฟ้า. 2522. **การกลั่นน้ำมันหอมระเหย**, วารสารเคมี. 3(3), 5-9

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2537. **กฤษณา**. อักษรสยามการพิมพ์ กรุงเทพฯ .

ปณิตา สัจจวาที และ เชาวลิต เขตต์กิ่ง. 2543. **เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย จากสมุนไพรและเครื่องเทศ (ESSENTIAL OILS DISTILLATOR FROM HERBS AND SPICES)**. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิยาเขตกำแพงแสน.

ธำรง มากคง และ สุพจน์ แย้มศิริ. 2545. **เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย (ESSENTIAL OIL DISTILLER)**. โครงงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิยาเขตกำแพงแสน.

สุธรรม สุขมณี. 2542. **การออกแบบวิศวกรรมเคมี**. เอกสารประกอบคำบรรยาย สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

องอาจ คล้ามไพบูลย์. 2546. **กฤษณา ไม้หอม ไม้มหานิลธี**. บริษัท เยลโล่ การพิมพ์ (1988) จำกัด กรุงเทพมหานคร.

Alkhathlan, H.Z., Al-Hazimi, H.M., Al-Dhalaan, F.S. and Mousa, A.A. 2005. **Three 2-(2-phynylethyl) chromones and two terpenes from agarwood**. Nat. Prod. Res. 19 (4), 367-372.

Rukachaisirilul, V., Dampawan, P. and Waltor, T. 1995. **Chemical constituents of Thai Aquilaria sp.** 11th Seminar on Natural Products Chemistry. Malaysia.

Yang, J.S., Wang, Y.L., Su, Y.L., He, C.H., Zheng, Q.T. and Yang, J. 1989. Yao Xue Xue Bao. 24 (4), 264-268. Article in Chinese.