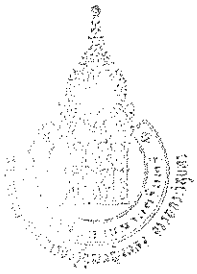


# การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

# Extraction of Agarwood Oil

สามารถ เส็มหมาด

**Samart Semmad**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**
**Master of Engineering in Chemical Engineering**
**Prince of Songkla University**
**2551**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขหมู่ TP959.A5 ส64 2551 ฉ. 2
Bib Key 309717
6 ก.ค. 2552

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

**ผู้เขียน** นายสามารถ เส็มหมาด

**สาขาวิชา** วิศวกรรมเคมี

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

**คณะกรรมการสอบ**

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฎิระวณิชย์กุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

| | |
|---|---|
| **ชื่อวิทยานิพนธ์** | การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา |
| **ผู้เขียน** | นายสามารถ เส็มหมาด |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมเคมี |
| **ปีการศึกษา** | 2551 |

## บทคัดย่อ


กระบวนกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาในปัจจุบันยังมีประสิทธิภาพไม่สูง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูง ค้นคว้าสภาวะดำเนินการที่เหมาะสม และศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ชุดกลั่นประกอบด้วยหม้อกลั่นที่ทำจากเหล็กกล้าปลอดสนิมขนาด 30 ลิตร หอหล่อเย็นขนาด 90 ลิตร ที่บรรจุท่อไอน้ำยาว 120 เซนติเมตร และหน่วยแยกที่ทำจากท่อออคริลิกขนาด 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 น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มมีความหนาแน่นประมาณ 920 กรัม/ลิตร การกลั่นด้วยน้ำ 8 ชั่วโมง ได้น้ำมัน 0.43 กรัม ผลได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกลั่นเพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 48 ชั่วโมง โดยผลได้สูงสุดคือ 0.71 กรัมที่เวลา 48 ชั่วโมง แต่หลังจากนั้นผลได้จะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีหลักที่สำคัญ คือ 10 epi-gamma-eudesmol และ agarospirol การกลั่นด้วยน้ำจะให้ผลได้ทั้งหมดประมาณ 0.23% ภายในเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าผลได้ของการกลั่นที่นิยมทำในปัจจุบันที่มีเพียง 0.12% ภายในเวลา 168 ชั่วโมง ดังนั้นด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบนี้ผลได้ของการกลั่นจะสูงขึ้นและพลังงานที่ใช้ก็จะลดลง

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Extraction of Agarwood Oil |
| **Author** | Mr. Samart Semmad |
| **Major Program** | Chemical Engineering |
| **Academic Year** | 2008 |

## ABSTRACT

The conventional extraction process for agarwood oil has low efficiency. This work is 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 distillator 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 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 main components of extracted oil were 10 epi-gamma-eudesmol and agarospirol. With water distillation the overall yield of agarwood oil for extraction time of 96 hours was about 0.23%. This yield is higher than the conventional equipment, which yields only 0.12% for operating time of 168 hours. Therefore, with our distillation system the oil yield was improved with lower energy consumption.

# กิตติกรรมประกาศ

มวลการสรรเสริญเป็นสิทธิแห่งพระองค์อัลลอฮ (ซ.บ.) ขอความสันติสุขประสบแด่ท่านศาสดามูฮัมหมัด (ซ.ล.)

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งให้กำลังใจและวิธีการแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม แย้มแสงสังข์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฎิระวณิชย์กุล กรรมการผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัยและโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย ขอขอบพระคุณสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูลและชมรมไม้กฤษณา (ไม้หอม) แห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนไม้กฤษณาและข้อมูลสำคัญ รวมทั้งศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ คุณก้อเดช เส็มหมาด (บิดา) คุณหร้อหมะห์ เส็มหมาด (มารดา) คุณต่วนนูรอักมัร ดาโอ๊ะมารียอ เส็มหมาด (ภรรยา) และคุณสุชาติ ตังละแม (กรรมการผู้จัดการบริษัท การจัดการสิ่งแวดล้อมหาดใหญ่ จำกัด) ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สามารถ เส็มหมาด

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | (6) |
| รายการตาราง | (8) |
| รายการภาพประกอบ | (10) |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | |
| 1.1 บทนำต้นเรื่อง | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย | 2 |
| 2. ตรวจเอกสาร | |
| 2.1 ไม้กฤษณา | 3 |
| 2.2 ความสำคัญทางเศรษฐกิจของไม้กฤษณา | 12 |
| 2.3 กฎหมายเกี่ยวกับไม้กฤษณา | 14 |
| 2.4 น้ำมันหอมระเหย | 16 |
| 2.5 มาตรฐานไทยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันหอมระเหย | 17 |
| 2.6 ทฤษฎีการกลั่น | 18 |
| 2.7 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย | 20 |
| 2.8 เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิทรี | 31 |
| 2.9 องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา | 33 |
| 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 36 |
| 3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ | |
| 3.1 วัสดุและสารเคมี | 39 |
| 3.2 อุปกรณ์ | 39 |
| 3.3 วิธีการทดลอง | 39 |
| 4. ผลการทดลองและบทวิจารณ์ | |
| 4.1 สภาวะการสกัดน้ำมันกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 45 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 4.2 สภาวะการสกัดน้ำมันกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 48 |
| 4.3 สภาวะการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ | 55 |
| 4.4 คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ | 59 |
| 5. สรุปผลการทดลอง | 64 |
| ข้อเสนอแนะ | 65 |
| บรรณานุกรม | 66 |
| ภาคผนวก | |
| ก. ตารางแสดงผลการทดลอง | 70 |
| ข. การคำนวณออกแบบเครื่องกลั่นต้นแบบ | 79 |
| ประวัติผู้เขียน | 90 |

# รายการตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 1. รายชื่อหน่วยงานที่ดำเนินกิจการเกี่ยวกับไม้กฤษณาและการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา | 10 |
| 2. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ตรวจพบ | 35 |
| 3. ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 45 |
| 4. ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำ ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 47 |
| 5. ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงชุดกลั่น | 48 |
| 6. ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 49 |
| 7. ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 51 |
| 8. ปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 52 |
| 9. แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น | 54 |
| 10. ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ | 55 |
| 11. ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ | 57 |
| 12. เปรียบเทียบปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาระหว่างวิธีการกลั่นที่ทำการทดลองกับที่ใช้ในปัจจุบัน | 58 |
| 13. ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่น ของการกลั่นด้วยไอน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น | 59 |
| 14. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ตรวจพบ | 61 |
| 15. การประเมินต้นทุนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาจากชุดกลั่นต้นแบบโดยการกลั่นด้วยน้ำ | 62 |
| 16. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 5 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 1 | 71 |
| 17. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 5 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน | |

## รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| โดยการกลั่นด้วยน้ำ ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 2 | 72 |
| 18. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 5 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 3 | 73 |
| 19. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 1 | 74 |
| 20. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 2 | 75 |
| 21. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่น ด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ครั้งที่ 3 | 76 |
| 22. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 1 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ ครั้งที่ 1 | 77 |
| 23. ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยไม้บดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ ครั้งที่ 2 | 78 |

# รายการภาพประกอบ


| ภาพประกอบที่ | หน้า |
|---|---|
| 1. ใบไม้กฤษณาพันธุ์สับอินทิกร้า | 5 |
| 2. ดอกไม้กฤษณาพันธุ์สับอินทิกร้า | 5 |
| 3. ดอกไม้กฤษณาพันธุ์คลาสน่า | 6 |
| 4. ผลกฤษณาพันธุ์สับอินทิกร้า | 7 |
| 5. ผลกฤษณาพันธุ์คลาสน่า | 7 |
| 6. เส้นทางการตลาดของไม้กฤษณา | 14 |
| 7. ลักษณะของถังควบแน่นแต่ละชนิด | 27 |
| 8. เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยตามหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ | 29 |
| 9. เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยสำหรับแยกน้ำมัน | 30 |
| 10. อุปกรณ์กลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ชุมชนใช้โดยทั่วไป | 31 |
| 11. เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา | 40 |
| 12. ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาก่อนการปรับปรุง | 42 |
| 13. ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาหลังการปรับปรุง | 42 |
| 14. เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาหลังการปรับปรุง | 43 |
| 15. ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 46 |
| 16. น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ | 46 |
| 17. ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 50 |
| 18. ปริมาณผลได้และผลได้สะสมน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 51 |
| 19. ปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 53 |
| 20. เปรียบเทียบอัตราการควบแน่นของการกลั่นด้วยน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น | 54 |
| 21. ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ | 56 |
| 22. การวิเคราะห์ด้วย GC-MS ของน้ำมันหอมระเหยของสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด | 60 |

# รายการภาพประกอบ (ต่อ)


| ภาพประกอบที่ | หน้า |
|---|---|
| 23. การวิเคราะห์ด้วย GC-MS ของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ | 60 |
| 24. โครงสร้างของสารที่ตรวจพบ | 61 |
| 25. ไดอะแกรมรวมของเครื่องกลั่นต้นแบบ | 83 |
| 26. โครงสร้างของเครื่องกลั่นต้นแบบ | 84 |
| 27. แบบสำหรับสร้างโครงชุดกลั่น | 84 |
| 28. แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของถังกลั่น | 85 |
| 29. แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของชุดควบแน่น | 85 |
| 30. แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของชุดหล่อเย็น | 86 |
| 31. แบบชุดอุปกรณ์ควบคุม | 86 |
| 32. เครื่องกลั่นน้ำมันกฤษณาต้นแบบ | 87 |
| 33. ตัวถังกลั่น | 87 |
| 34. ชุดควบแน่นและหอผึ่งเย็น | 88 |
| 35. ปั๊มน้ำหล่อเย็น | 88 |
| 36. ชุดควบคุม | 89 |
| 37. ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณา | 89 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 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 และจะได้เสนอแนะให้กลุ่มชุมชนและกลุ่มสหกรณ์การเกษตรและอุตสาหกรรมไม้กฤษณาได้ใช้อุปกรณ์กลั่นที่มีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยต้นแบบที่มีการดำเนินการง่าย เหมาะสมที่จะดำเนินการได้โดยชุมชน ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูงในระดับที่เหมาะสม เพื่อเผยแพร่ให้ชุมชนและกลุ่มสหกรณ์การเกษตรและอุตสาหกรรมไม้กฤษณาได้ใช้งานต่อไป

**1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย**

1. เพื่อออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาขนาดบรรจุวัตถุดิบได้ 3 กิโลกรัม
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเบื้องต้นของการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยใช้เครื่องกลั่นต้นแบบ
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

**1.3 ขอบเขตการวิจัย**

โครงการวิจัยนี้ จะศึกษา ออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาขนาดบรรจุวัตถุดิบได้ 3 กิโลกรัม ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเบื้องต้นของการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยใช้เครื่องกลั่นต้นแบบและศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย**

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

# บทที่ 2

# ตรวจเอกสาร

## 2.1 ไม้กฤษณา

### 2.1.1 สายพันธุ์และการกระจายพันธุ์

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

ในประเทศไทยมีการกระจายพันธุ์ของไม้กฤษณาที่เรียกชื่อวิทยาศาสตร์อยู่ 3 ชนิด คือ เอควิลาเรีย คราสน่า (Aquilaria Crassna Pierre ex H.Lec.) เอควิลาเรีย มาลัคเคนซิส (Aquilaria Malaccensis Roxb.) มีชื่อพฤกษาศาสตร์พ้องคือ เอควิลาเรีย อะกัล โลชา (Aquilaria Agallocha Roxb.) และชนิดใหม่ที่ค้นพบโดย ดร.ดิง ฮัว (Dr. Ding Hau) คือ เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (Aquilaria Subintegra Ding Hau)

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)

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 แหล่งที่พบคือประเทศไทย

(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 ไชยันท้า 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

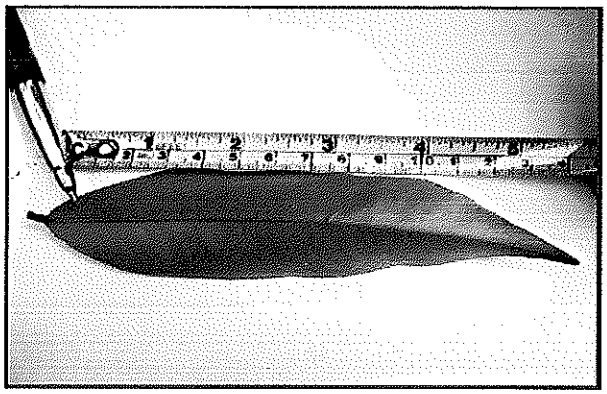
(15) เอควิลาเรีย โรสตราต้า Aquilaria - Rostrata แหล่งที่พบคือ มาเลเซีย

(16) เอควิลาเรีย ไซเนนซิส Aquilaria - Sinensis แหล่งที่พบคือ จีน

**2.1.2 ชีววิทยาของไม้กฤษณา**

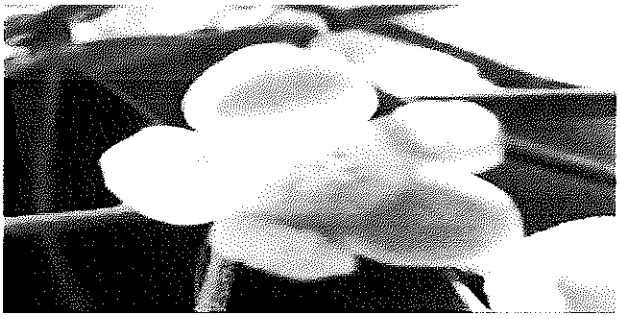
(1) ใบ เป็นแบบใบเดียว เรียงตัวแบบสลับ ใบรูปไข่ หรือรูปร่างยาวขอบขนานปลายใบเรียวแหลม ฐานใบแหลม (ภาพประกอบที่ 1) ใบกว้าง 2.5 – 3.5 ซม. ยาว 7 – 8 ซม. ที่ใบแก่เกลี้ยงเป็นมัน ใบอ่อนมีขนสั้นแววคล้ายไหม ตามขอบใบ เส้นใบ ก้านใบ ตาอ่อนและกิ่งอ่อนปกคลุมไปด้วยลักษณะเดียวกัน ก้านใบยาว 3 – 5 ซม. เส้นใบที่ออกมาจากเส้นกลางใบมี 2 ขนาด ขนาดใหญ่ทำมุม 45 – 60 องศากับเส้นกลางใบ เส้นใบขนาดเล็กมีขนาดเล็กฝอยเกิดขนานกันเกือบตั้งฉาก

กับเส้นกลางใบ และตัดทำมุมกับเส้นใบขนาดใหญ่ เปลือกนอกสีเทาขาว หรือสีน้ำตาลอ่อน ๆ เปลือกแตกเป็นร่องเล็กตื้น และแตกถี่ขนานกันไปตามแนวยาวของลำต้น เปลือกในสีขาวถึงเหลืองอ่อน หนาประมาณ 1 – 5 มม. เปลือกเหนียวสามารถถลอกออกได้เป็นแผ่นโดยไม่ขาดออกจากกัน



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

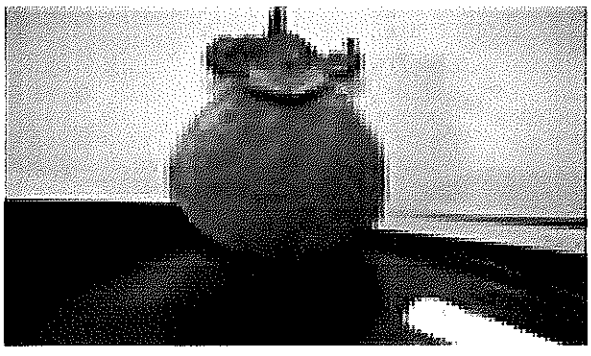
(2) ดอก เป็นแบบสมบูรณ์เพศ คือมีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน เกิดตามง่ามใบหรือปลายยอด ก้านดอกสั้น ดอกสีขาวไม่มีกลีบดอก กลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ ติดกันที่โคน ที่ปลายแยกออกเป็น 5 แฉก ปกคลุมด้วยขนสั้นแบบใยไหม ที่โคนแฉกของกลีบเลี้ยงมีเกล็ดอยู่ 10 เกล็ด คือ 2 เกล็ดจะอยู่บนกลีบเลี้ยงแต่ละอัน แต่ละเกล็ดหรือกลีบดอกยังมีเก็ดอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเกลี้ยง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



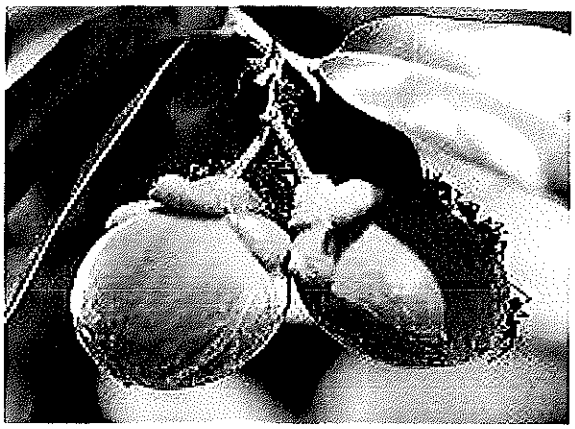
ภาพประกอบที่ 2 ดอกไม้กฤษณาพันธุ์สับอินทิกร้า (http://www.thaikrisana.com)

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

(3) ผล เป็นแบบหลอดหรือแคปซูล รูปร่างคล้ายไข่กลับหัว หรือหอกกลับหัว ตั้งอยู่บนฐานของกลีบรองกลีบดอกที่ไม่หลุดร่วง ผลยาวประมาณ 2.5 ซม. กว้าง ประมาณ 1.5 – 2 ซม. เมล็ดมี 1 หรือ 2 เมล็ด ลักษณะรูปไข่ ขนาดของเมล็ดยาว 5 – 8 มม. มีส่วนฐานที่สดและนุ่ม บางครั้งขยายออกไปเป็นส่วนหาง เมล็ดมีส่วนของเส้นขนาดเล็กยาวเชื่อมต่อกับผล เมล็ดสีแดง ส้ม หรือดำ ปกคลุมไปด้วยขนสั้นและนิ่ม หรือสีน้ำตาลแดง ผลแก่แตกออกเป็น 2 ซีก มีชีวิตอยู่ช่วงสั้น เพียง 1 – 2 สัปดาห์ที่เพาะแล้วงอกดี สัปดาห์ที่ 4 การงอกก็เริ่มหมดไป



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



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

**2.1.3 การเกิดสารกฤษณาหรือเรซิน**

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

การทำให้เกิดบาดแผลเพื่อสร้างสารกฤษณานั้น ควรคำนึงถึงขนาดของกิ่ง ก้าน หรือลำต้นมากกว่าอายุ เพราะอายุจะเท่าใดก็ตามแต่ถ้าทั้งก้านหรือลำต้นมีขนาดเล็กมากก็จะไม่สะดวกที่จะทำให้เกิดบาดแผล เพราะการทำให้เกิดบาดแผลต้องทำโดยประณีต ใช้เวลาและสิ้นเปลืองแรงงานมากกว่าที่จะทำให้เกิดบาดแผลกับต้นกฤษณาที่มีขนาดใหญ่

อย่างไรก็ดีเคยมีการทดลองทำให้เกิดบาดแผลที่ต้นกฤษณาอายุสองปีพบว่าเมื่อเจาะลำต้นให้เกิดบาดแผล ก็สามารถสร้างสารกฤษณาในเนื้อไม้รอบๆ แผลได้ แต่ควรทำเมื่อต้นกฤษณามีอายุ 4-5 ปีขึ้นไปน่าจะทำให้เกิดสารกฤษณาได้สะดวกและได้ผลดีกว่า

ในอนาคตคาดว่าจะมีการปลูกต้นกฤษณาเป็นระบบมากขึ้น จะมีสวนกฤษณาเกิดขึ้นทั่วทุกภาคของประเทศไทย การทำให้เกิดบาดแผลที่ต้นกฤษณา จะทำที่กิ่ง ซึ่งสามารถทำให้เกิดบาดแผลได้หลายแผลแต่ไม่ควรทำมากเกินไปจนกิ่งตาย ทำพอให้เกิดกระบวนการรักษาบาดแผลสักสามเดือนถึงหกเดือนก็ตัดกิ่งนั้นขายเข้าโรงงานผลิตน้ำมันหอมระเหย จากนั้นก็ทำแผลกิ่งใหม่หมุนเวียนไป กิ่งที่ถูกตัดแล้วก็จะแตกกิ่งใหม่ออกมาอีก พอกิ่งโตขึ้นประมาณ 3 ซม. ก็เริ่มทำ

ให้เกิดบาดแผลอีกหรือจะรอให้โตกว่านี้อีกสักระยะหนึ่งก็ได้ นอกจากจะทำให้เกิดบาดแผลที่กิ่งหรือก้านแล้ว การทำให้เกิดบาดแผลที่ลำต้นก็ใช้วิธีการเดียวกัน แต่จะทำได้สะดวกกว่า เพราะลำต้นมีขนาดใหญ่กว่ากิ่งหรือก้าน

ต้นกฤษณาที่พร้อมจะทำให้เกิดบาดแผลและเจาะกระตุ้นสร้างสารกฤษณาควรมีอายุตั้งแต่ 4 ปีขึ้นไป ทั้งลำต้นและกิ่งควรมีความสมบูรณ์ ก่อนจะทำให้เกิดบาดแผล ควรเริ่มวัดจากโคนต้นขึ้นมาสูงประมาณ 12 นิ้ว กว้าง 7 นิ้ว ขีดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ใช้สิ่วฉากเปลือกไม้ออกจะเห็นเนื้อไม้สีขาวนวลและมียางไม้ออกนิดหน่อยตามขนาดรูปสี่เหลี่ยมที่กำหนดขึ้นจากนั้นนำสว่านเจาะรูประมาณเหกรูในจุดที่ห่างกันพอดีๆ 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)

**2.1.4 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)

ในปัจจุบันมียาที่เข้ากฤษณาอยู่หลายชนิด เช่น ยากฤษณากลั่นตรากิเลน ใช้บำบัดอาการปวดท้อง ท้องเสีย จุกเสียด แน่น หรือยาหอมที่เข้ากฤษณาก็มีอยู่หลายขนาน มีสรรพคุณ คือ 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)

**2.1.5 การแบ่งเกรดไม้กฤษณาและน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

คุณภาพของกฤษณาในประเทศไทย สมคิด (2534) แบ่งได้เป็น 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 % ในปัจจุบันมีการยอมรับเพียงแห่งเดียวที่แคว้นอัสสัม 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

**2.1.6 หน่วยงานที่ทำกิจกรรมเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

ปัจจุบันมีองค์กร หน่วยงานที่ดำเนินกิจการเกี่ยวกับไม้กฤษณาและการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาเป็นจำนวนมาก รายชื่อและที่ตั้งของหน่วยงานต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายชื่อและที่ตั้งของหน่วยงานที่ดำเนินกิจการเกี่ยวกับไม้กฤษณาและการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

| ลำดับที่ | รายชื่อหน่วยงาน | ที่ตั้งหน่วยงาน | ประเภทกิจการ |
|---|---|---|---|
| 1 | บริษัท กฤษณา หนาสิน จำกัด | 25/11 – 12 หมู่ 11 ต.พลับพลา อ.เมือง จ. จันทบุรี 22000 โทร 66 039 – 418242 –3 แฟกซ์ 66 039 – 418244<br>http://www.krissanapanasin.com | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 2 | บริษัท กฤษณะ เอ็สเซ็นท์ออยล์ จำกัด | 126/2050 ซอย 19/1 ถนนติวานนท์ ตำบลปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี<br>โทรศัพท์: 02-964-3488 แฟ็กซ์: 02-964-2684<br>http://www.thaiessentialoil.com | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 3 | บริษัท พัชวู๊ด ฟอร์เรสตรี้ จำกัด | 29 อาคารวานิสสา ชั้น 6 ซ.ชิดลม ถ.เพลินจิต แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330<br>http://www.thaitrip.org/contacts.html | บริหารจัดการสวนกฤษณา |

| ลำดับที่ | รายชื่อหน่วยงาน | ที่ตั้งหน่วยงาน | ประเภทกิจการ |
|---|---|---|---|
| 4 | บริษัท อะการ์วู้ด สยาม จำกัด | 100 ตลาดคำเที่ยง โซน E ล็อค185-186-187 ตำบลป่าตัน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50000 โทรศัพท์ 0-5387-2686-7 โทรสาร. 0-5387-2686 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 5 | บริษัท อะการ์วู้ดฟาฎอนี แอนด์ แปซิฟิค จำกัด | 3 ซ.จะปะกิยา ต.สะเดง อ.เมือง จ.ยะลา 95000 | ผลิตและจำหน่ายน้ำมันหอมระเหยกฤษณา |
| 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 |
| 13 | ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา Y P N S | 30/1 ม.3 ต.อุโปะยิไร อ. มายอ จ.ปัตตานี 94140 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 14 | ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา สุราษฎร์ธานี | 80/4 หมู่ 4 ต.เพิ่มทุนทรัพย์ อ.บ้านนาสาร จ.สุราษฎร์ธานี โทร. 077-404148, 086-9407029 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 15 | ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา พิษณุโลก | 180 /3 หมู่ 8 ต.มะต้อง อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก 65180 โทร. 081-6258269 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |

| ลำดับที่ | รายชื่อหน่วยงาน | ที่ตั้งหน่วยงาน | ประเภทกิจการ |
|---|---|---|---|
| 16 | ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา ระยอง | 83 / 2 หมู่ 1 ต.บ้านแลง อ.เมือง จ.ระยอง 21000 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 17 | ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา ตรัง | 2 ถนน ควนวิเศษ ต.ทับเที่ยง อ.เมือง จ.ตรัง 92000 Fax. 075-224150 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 18 | ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา ลำปาง | 199 หมู่ 12 ต.บ้านโป่ง อ.งาว จ.ลำปาง 52110 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 19 | ชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม)แห่งประเทศไทย สาขา นครศรีธรรมราช | 25 หมู่ 6 ต. ถ้ำพรรณรา อ.ถ้ำพรรณรา จ.นครศรีธรรมราช 80260 โทร.01-9799402 | การปลูกไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจ |
| 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 จำหน่ายเครื่องแก้ว เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องกลั่นกฤษณาขนาดทดลอง |

## 2.2 ความสำคัญทางเศรษฐกิจของไม้กฤษณา

### 2.2.1 ตลาดในประเทศ

การซื้อขายไม้กฤษณาที่ผ่านมาในอดีตค่อนข้างมีข้อมูลน้อย เนื่องจากปัญหาในเรื่องของกฎหมายจากการลักลอบนำไม้กฤษณาจากป่าธรรมชาติมาขายและต้มกลั่น ทำให้ข้อมูลด้านนี้ไม่ได้รับการเปิดเผยมากนัก การซื้อขายไม้กฤษณาและผลิตภัณฑ์จากไม้กฤษณาเพื่อใช้ประโยชน์ในประเทศมีน้อย ไม้กฤษณาที่ได้ส่วนใหญ่นำเข้ามาจากประเทศลาวและกัมพูชาและนอกจากนี้ยังเป็นการลักลอบนำไม้จากป่าอนุรักษ์ภายในประเทศ

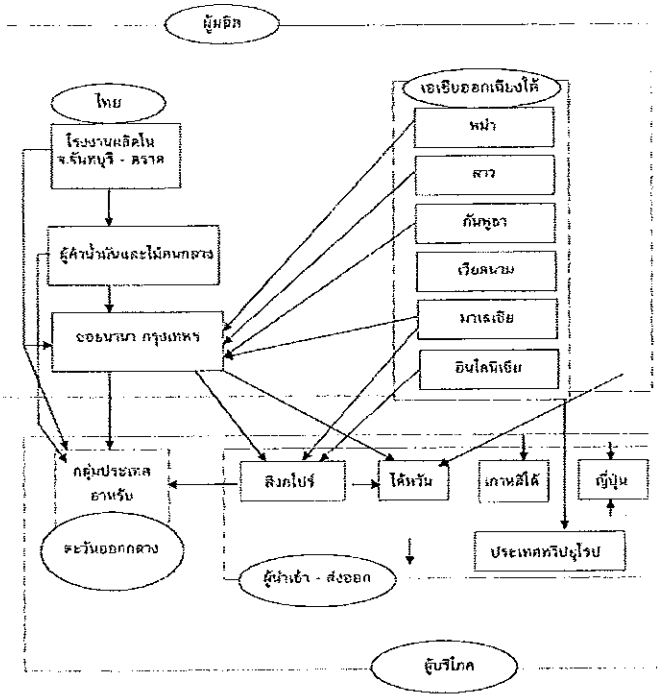
สำหรับไม้กฤษณาจากสวนป่าเนื่องจากประเทศไทยมีสวนป่าอายุมากที่สุดประมาณ 12 ปี (ภาณุเมศวร์, 2549) การตลาดของไม้กฤษณาจากไม้ปลูกเริ่มต้นอย่างจริงจังเมื่อประมาณปี 2545 แต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก มีความพยายามที่จะศึกษาวิธีการกระตุ้นสารกฤษณาด้วยภูมิปัญญาชาวบ้าน เริ่มมีเกษตรกรผู้ปลูกส่วนป่าได้ตั้งโรงงานกลั่น เพื่อกลั่นไม้กฤษณา ในจังหวัดตราดและจันทบุรีเริ่มมีการซื้อไม้จากการทำสารกระตุ้นกฤษณาและไม้ปากขวาน กิโลกรัมละ 50 - 250 บาท ซึ่งเป็นเกรดของไม้กฤษณาที่ต่ำที่สุด ปัจจุบันการกระตุ้นสารกฤษณาจากไม้กฤษณาปลูกไม่ว่าวิธีการใดเป็นที่ยอมรับของชาวต่างชาติถึงคุณภาพของน้ำมันกฤษณาและชิ้นไม้จุดดม ซึ่งมีการเซ็นสัญญาซื้อขายล่วงหน้าไม้กฤษณาจากไม้ปลูกแล้ว

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

**2.2.2 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 โดยประเทศที่ส่งออกไม้กฤษณามากที่สุดคือประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย (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)

## 2.3 กฎหมายเกี่ยวกับไม้กฤษณา

### 2.3.1 พืชอนุรักษ์

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

พิจารณาและประเมินผลในหลายๆ ด้านแล้วว่าเป็นชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามอันเนื่องมาจากการค้าระหว่างประเทศและอยู่ในภาวะใกล้จะสูญพันธุ์ ประชากรในธรรมชาติลดลง รายชื่อชนิดพืชอนุรักษ์และข้อยกเว้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสมัยวาระการประชุม ฯ

พืชอนุรักษ์แบ่งออกเป็น 3 บัญชี ดังนี้คือ

บัญชีแนบท้ายที่ 1 หมายถึง ชนิดพันธุ์ที่ใกล้จะสูญพันธุ์ ห้ามทำการค้าโดยเด็ดขาด โดยเฉพาะที่เก็บมาจากป่า ยกเว้นเพื่อการศึกษาวิจัย หรือได้มาจากการเพาะพันธุ์ หรือขยายพันธุ์เทียมเท่านั้น 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.) เป็นต้น พืชในบัญชีนี้ 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

**2.3.2 กฤษณากับอนุสัญญาไซเตส**

ในปี พ.ศ. 2538 กฤษณาได้ถูกขึ้นบัญชีแนบท้ายอนุสัญญาไซเตสบัญชีที่ 2 ไว้ ที่ผ่านมาการค้าระหว่างประเทศในต้นกฤษณาและผลิตภัณฑ์กฤษณาจึงถูกควบคุมกำกับดูแลโดยประเทศสมาชิกอนุสัญญาไซเตส การนำเข้าและส่งออกจะต้องมีหนังสืออนุญาตไซเตส

ที่ผ่านมาในประเทศไทย มีการขออนุญาตส่งออกดังนี้ ในปี พ.ศ. 2539 ขออนุญาตส่งออกชิ้นไม้กฤษณาไปประเทศสิงคโปร์จำนวน 243.8 กิโลกรัมและในเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ที่

ผ่านมาส่งออกผงขี้เลื่อยผสมกฤษณาเพื่อใช้ทำธูปไปประเทศไต้หวันจำนวน 24,300 กิโลกรัม สำหรับการนำเข้าในปี 2546 มีการนำเข้าชิ้นไม้กฤษณาและผงขี้เลื่อยกฤษณาจากประเทศมาเลเซีย จำนวน 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

**2.4 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

**2.5 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

**2.6 ทฤษฎีการกลั่น**

**2.6.1 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 ไม่เป็นไอร้อนยวดยิ่งและพืชจะสัมผัสเฉพาะไอเท่านั้น ไม่ได้สัมผัสน้ำเดือด 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)

**2.6.2 ผลกระทบหลักของการกลั่นด้วยไอน้ำ**

การแพร่ของน้ำมันหอมระเหยและน้ำร้อนผ่านเนื้อเยื่อของพืช (Hydrodiffusion) น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ทันทีโดยการระเหยด้วยไอน้ำจะเป็นน้ำมันหอมระเหยที่อยู่บนผิวของพืช น้ำมันหอมระเหยในส่วนที่เหลือยังคงอยู่ใต้ผิวของพืชจนกว่าจะเกิดแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแพร่ผ่านเยื่อบางๆ ของพืช ซึ่งคือการออสโมซิสนั่นเอง สำหรับการกลั่นด้วยไอน้ำ ไอน้ำจะไม่สามารถแทรกผ่านผนังเซลล์ที่แห้งของพืชได้ 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

สำนักหอสมุดกลาง การเรียนรู้ตลอดชีวิตและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



เนื่องจากองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำของน้ำมันหอมระเหยจะกลายเป็นไอออกมาก่อน และจะสูงขึ้นเมื่อองค์ประกอบที่มีจุดเดือดสูงระเหยออกมา ซึ่งองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่นั้นจะไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง ควรหาวิธีกลั่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสเช่นการกลั่นสุญญากาศ (Guenther, 1972)

**2.7 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย**

**2.7.1 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

**2.7.1.1 หม้อต้มกลั่น**

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

สามารถรองรับน้ำที่เกิดการควบแน่นในถังบรรจุมาสะสมอยู่โดยไม่สัมผัสกับไอน้ำ ในการใช้หม้อต้มอย่างง่ายดังที่กล่าวมาแล้วอาจจะไม่สะดวกเพราะเป็นการยากที่จะนำพืชวัตถุดิบที่ใช้แล้วออกจากถัง

สำหรับคอห่านที่อยู่บริเวณศูนย์กลางของฝาปิดด้านบนของถังบรรจุต่อไปถึงส่วนควบแน่น คอห่านนี้ไม่ควรจะสูงมาก เพื่อให้ไอน้ำผ่านไปยังถังควบแน่น และข้อต่อของคอห่านต้องมีฉนวนหุ้มอย่างดี ท่อที่นำมาใช้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 4 นิ้ว และถ้าอัตราการกลั่นเพิ่มขึ้นอาจจะใช้ท่อขนาดใหญ่กว่า 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 ควรเลือกใช้หม้อต้มกลั่นที่มีความสูงมากสำหรับพืชวัตถุดิบที่สามารถ

ขยายตัวออกมาในขณะทำการกลั่น และเลือกใช้หม้อต้มกลั่นที่เตี้ยกว่าสำหรับวัตถุดิบที่มีการขยายตัวน้อยกว่า (Ernest, 1972)

อุปกรณ์และหลักการในการออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถทำการกลั่นด้วยน้ำ กลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ หรือกลั่นด้วยไอน้ำได้ โดยได้ใช้การคำนวณและออกแบบดังนี้

**2.7.1.2 ตัวถัง** (สุธรรม, 2542)

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

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

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

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

โดย

$t$ = ความหนาของถังกลั่น, mm

$P_{des}$ = ความดันในการออกแบบ, MPa

$D_i$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถัง, mm

$S_{des}$ = ความเค้นการออกแบบ, MPa

พื้นที่ผิวของถังกลั่นหาได้จากสมการที่ 5

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

โดย

$A$ = พื้นที่ผิวของถัง, $m^2$

$D_i$ = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของตัวถัง, mm

$L$ = ความสูงของถังกลั่น, mm

$A_{head}$ = พื้นที่ผิวของฝาถัง, mm

**2.7.1.3 ฝาถัง**

ฝาปิดตัวถังด้านบนเป็นฝาถังแบบฝาถังรูปไข่ (Ellipsoldal Head) ปริมาตรของฝาถังบน ($V_{head}$บน) หาได้จากสมการที่ 6

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

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

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

โดย

$V_{head}$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

**2.7.1.4 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 = ความหนาชดเชยสำหรับการกัดร่อน, 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

$\rho$ = 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/ $m^3$

**2.7.1.5 ถังควบแน่น**

เป็นส่วนประกอบหลักส่วนที่ 2 ในการกลั่น ถังควบแน่นมีขนาดและการออกแบบได้หลากหลาย เป็นส่วนที่เปลี่ยนไอน้ำและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เป็นไอให้กลายเป็น

ของเหลวโดยระบายความร้อนจากไอน้ำและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เป็นไอและควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด อัตราการระบายความร้อนสามารถหาได้จาก

$$q = U x A x \Delta \quad (13)$$

โดย $q$ = อัตราการระบายความร้อนต่อหน่วยเวลา

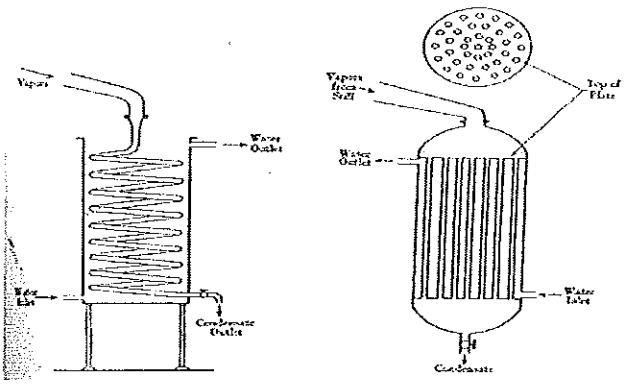
$U$ = ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับสภาวะของการทำงาน

$A$ = พื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของถังควบแน่น

$\Delta t$ = 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 7 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

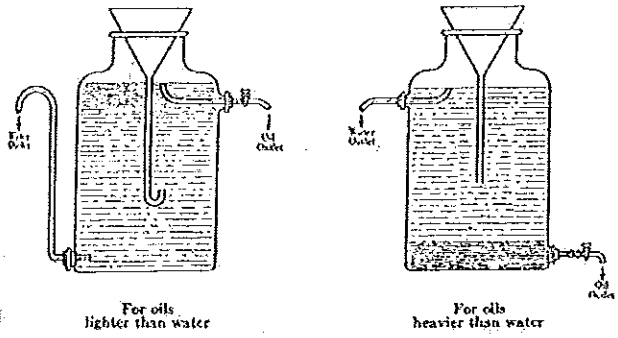
ถ้าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวถังควบแน่นกับพื้นที่ผิวของการให้ความร้อนในหม้อต้มกลั่นเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม จะเป็นการบำรุงรักษาถังควบแน่น และช่วยให้อัตราการกลั่นเร็วมากขึ้น ถ้าไอร้อนผ่านยังถังควบแน่นด้วยความเร็วสูงในขณะที่ท่อของถังควบแน่นสั้นเกินไป สำหรับการควบแน่นที่สมบูรณ์หรือการทำเย็นของเหลวที่ได้จากากรควบแน่น จะทำให้เกิดการ

สูญเสียน้ำมันหอมระเหยจากการระเหยได้ ท่อของถังควบแน่นมักทำจากทองแดงเคลือบดีบุกหรือดีบุกบริสุทธิ์และมักใช้อลูมิเนียมหรือสแตนเลสในกรณีที่ต้องป้องกันการเปลี่ยนสีของน้ำมันหอมระเหยจากปฏิกิริยาของเหล็กหรือทองแดง อย่างไรก็ตามอลูมิเนียมไม่สามารถใช้กับน้ำมันหอมระเหยที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบ

ในการกลั่นที่ใช้ระบบลดความดัน ท่อของถังควบแน่นต้องมีความแข็งแรงเพียงพอเพื่อรองรับความดันที่แตกต่าง โดยไม่ทำให้น้ำหล่อเย็นจากตัวถังควบแน่นรั่วเข้ามาในท่อ และถังควบแน่นต้องมีความกว้างเพียงพอที่จะไม่เป็นอุปสรรคในการไหลของไอร้อน ถ้าท่อคอห่านมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยจนเกินไปจะเป็นการเพิ่มความดันภายในหม้อต้มกลั่น ทำให้เกิดความดันย้อนกลับ พึงระลึกไว้เสมอว่าโครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการต้มกลั่นควรจะมีตะแกรงระหว่างท่อคอห่านกับตัวถังควบแน่นเพื่อกันเศษของพืชวัตถุดิบผ่านเข้าไปในท่อของถังควบแน่น ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตัน และเป็นสาเหตุของการระเบิดของหม้อต้มกลั่น และที่หม้อต้มกลั่นควรติดตั้งวาล์วนิรภัยไว้ด้วย

**2.7.1.6 เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหย**

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



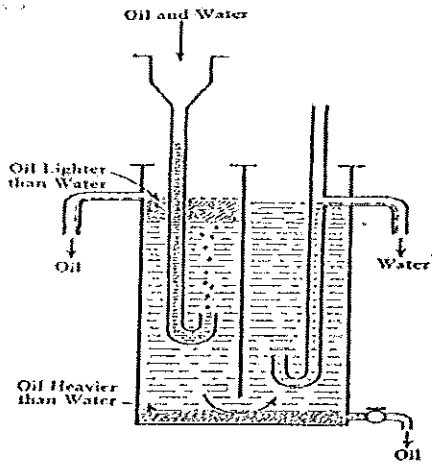

a b

ภาพประกอบที่ 8 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 ท่อหรือจุกขวดที่ทำด้วยยางก็ไม่สมควรนำมาใช้เพราะยางจะละลายในน้ำมันหอมระเหย ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

ส่วนรองรับชนิดอื่นๆ ได้แก่ภาชนะรูปทรงกระบอกหรือรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งแบ่งภายในออกเป็น 2 ช่อง โดยส่วนล่างของแผ่นกั้นเว้นช่องว่างเล็กน้อยเหนือส่วนล่างสุดของภาชนะเพื่อให้ทั้ง 2 ช่องสามารถเชื่อมถึงกันได้ ของเหลวที่ได้จากการกลั่นและควบแน่นจะไหลออกทางช่องแรก ในขณะที่น้ำที่ได้จากการกลั่นและควบแน่นจะไหลออกทางท่อด้านบนของช่องที่ 2 ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่เบากว่าน้ำจะสะสมอยู่ส่วนบนของช่องแรก และไหลออกทางท่อที่ติดตั้งไว้ ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยที่หนักกว่าน้ำจะจมอยู่ที่ส่วนล่างสุดของทั้งสองช่องที่เชื่อมถึงกันและไหลออกทางท่อที่ติดตั้งไว้

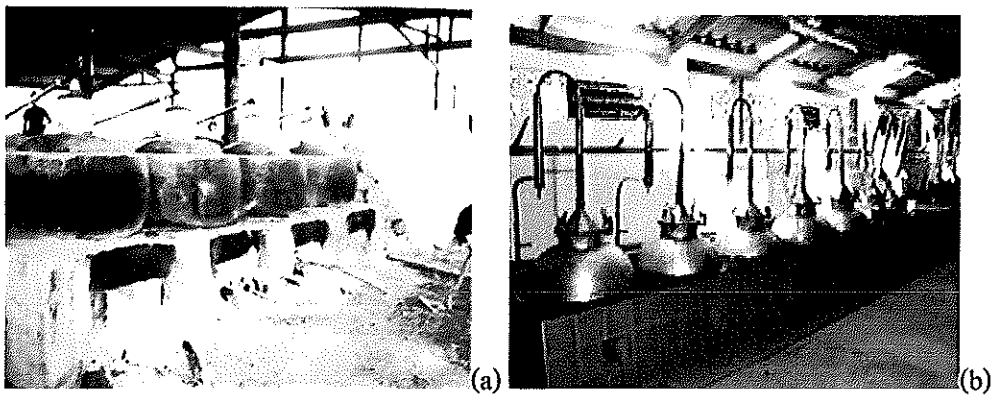



ภาพประกอบที่ 9 เครื่องแยกน้ำมันหอมระเหยสำหรับแยกน้ำมัน
ที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าและ หรือ มากกว่าน้ำ (Ernest, 1972)

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

**2.7.2 อุปกรณ์การกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

อุปกรณ์การกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ชุมชนใช้โดยทั่วไปจะเป็นการกลั่นด้วยน้ำซึ่งโดยส่วนใหญ่ยังเป็นการกลั่นแบบโบราณลักษณะดังรูปที่ 12 (a) และมีบ้างที่ได้ปรับปรุงให้เป็นการกลั่นที่พัฒนาขึ้นลักษณะดังรูปที่ 12 (b)



ภาพประกอบที่ 10 อุปกรณ์กลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ชุมชนใช้โดยทั่วไป
(a) การกลั่นแบบโบราณ และ (b) การกลั่นแบบทันสมัย (http://www.krissanapanasin.com)

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

ถ้าเป็นอุปกรณ์กลั่นด้วยน้ำหรือกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำจะไม่สามารถเป็นอุปกรณ์กลั่นด้วยไอน้ำได้ และถ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับกลั่นด้วยไอน้ำก็ไม่สามารถเป็นอุปกรณ์กลั่นด้วยน้ำหรือกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ดังกล่าวยังไม่สามารถกลั่นที่ความดันสูงกว่าหรือต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

**2.8 เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิทรี**

การทดสอบด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิทรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) เป็นเทคนิคที่สามารถบ่งบอกชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้แม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass Number) ของสารตัวอย่างนั้นๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) ได้อย่างถูกต้อง

GC-MS ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างให้ออกมาทีละองค์ประกอบ และอีกส่วนคือ เครื่อง MS (Mass Spectrometry) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (Detector) ตรวจสอบดูว่า

องค์ประกอบต่างๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง GC นั้นมีเลขมวล (Mass Number) เป็นเท่าไร เพื่อที่จะได้สามารถทำนายได้ว่า สารที่เราสนใจอยู่นั้นประกอบด้วยองค์ประกอบชนิดใดบ้างและมีปริมาณเท่าไร

**2.8.1 คุณสมบัติของเครื่อง GC**

GC เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ของสาร ซึ่งเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้กับสารที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Gas) ได้เมื่อถูกความร้อน และกลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่างจะอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อ Phase 2 Phase คือ Stationary phase และ Mobile phase

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 คือ สามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (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

**2.8.2 คุณสมบัติของเครื่อง MS**

MS เป็น เครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (Detector) ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไกคือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC นั้นจะถูก Ionize ในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ แล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass Number) เทียบกับข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้น ๆ

**2.8.3 การทำงานของเครื่อง GC-MS**

เมื่อเตรียมตัวอย่างสารเสร็จเรียบร้อยก็นำมาฉีดเข้าทาง Injector ของเครื่อง GC จากนั้นสารก็จะถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ เมื่อผ่านเข้าสู่คอลัมน์ (Column) ที่อยู่ใน Oven โดยที่ตัวอย่างที่นำมาฉีดนั้นจะต้องเป็นสารละลายใสไม่มีตะกอน องค์ประกอบใดที่ถูกแยกออกมาจาก คอลัมน์ (Column) ก่อนก็จะผ่านเข้าไปในส่วนของเครื่อง MS ซึ่งมีสภาวะเป็นสุญญากาศไปเจอกับ Ion Source ซึ่งจะทำหน้าที่ Ionize โมเลกุลที่ผ่านเข้ามาให้กลายเป็นประจุจากนั้นประจุเหล่านี้ก็จะเดินทางผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกแยะขนาดของประจุ (Mass Analyzer) ดูว่าประจุเหล่านั้นประกอบไปด้วยขนาดมวลเท่าใดบ้าง ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่เครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (Detector) เพื่อตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปลผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีอยู่ในสารตัวอย่างนั้น ๆ

**2.8.4 ข้อดีของเครื่อง GC-MS**

(1) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบทั่วไปและแบบเฉพาะเจาะจง

(2) ให้ Sensitivity ที่สูง

(3) สามารถบ่งชี้ถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้

(4) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

**2.8.5 ข้อเสียของเครื่อง GC-MS**

(1) ราคาแพง

(2) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง

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

**2.9 องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ (2537) ได้รายงานว่ามีผู้ทำการศึกษาโดยแยกองค์ประกอบด้านเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาอยู่หลายราย ส่วนใหญ่จะพบว่าในสารกฤษณานั้นประกอบ

ไปด้วยสารที่เป็นยางหรือเรซินอยู่มาก 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 ไดไฮโดร อะกาโรฟูรอล (Dihydroagarofural) เบต้าอะกาโรฟูราน (*B*-Agarofuran) แอลฟาอะกาโรสไปรอล (*a*-Agarospirol) และอะการอล (Agarol) และยังมีองค์ประกอบอื่นที่ตรวจพบในสายพันธุ์ *Aquilaria Malaccensis* Lamk Agarwood Oil 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-dien-ol | 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 | b-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 | a-bulnesene | 0.1 |
| 28 | karanone | 0.1 |
| 29 | a-guaiene | 0.1 |
| 30 | bulnesene oxide | 0.1 |
| 31 | guaia-1(10),11-dien-9-one | 0.1 |
| 32 | 1,5-epoxy-norketoguaiene | 0.1 |
| | **total Source** | **65.9** |

**2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

องอาจ คล้ามไพบูลย์ (2546) ได้จำแนกการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณาไว้ 2 แบบ คือ การกลั่นแบบโบราณและการกลั่นแบบทันสมัย การกลั่นแบบโบราณนิยมเรียกว่าการต้มกลั่น การต้มกลั่นแบบโบราณจะไม่คำนึงถึงสายพันธุ์ มักจะอาศัยความชำนาญเลือกเนื้อไม้กฤษณาที่หาได้จากในป่ามารวมกันแล้วนำไปใส่ครกตำจนละเอียด หลังจากนั้นจะนำไม้กฤษณาที่ป่นแล้วไปหมักไว้ 15-30 วัน จากนั้นก็นำเข้าหม้อต้มกลั่น การต้มกลั่นนี้จะใช้เวลาประมาณ 15 วันต่อ 1 หม้อ น้ำมันจะออกมาลอยบนผิวน้ำ สามารถใช้ช้อนตักใส่ขวดได้ การต้มกลั่นแบบนี้มักได้น้ำมันหอมคุณภาพต่ำ กลิ่นน้ำมันไม่ดีมากนักเพราะยังมีน้ำผสมอยู่ในเนื้อน้ำมัน ส่วนกรรมวิธีการต้มกลั่นแบบทันสมัยต้องเริ่มต้นจากการคัดสายพันธุ์ไม้กฤษณา เมื่อได้ไม้กฤษณาสายพันธุ์ดีแล้ว ก็นำมาคัดแยกเกรด เกรดเดียวกันไว้ต้มกลั่นด้วยกัน นำไม้กฤษณาไปตากแดดให้แห้งสัก 2-3 แดด หรืออาจจะนำไปอบก็ได้ ถ้าใช้วิธีอบความชื้นจะหายไป 20-30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไม้ไปบด ตามด้วยการหมักในน้ำสะอาดประมาณ 2 วัน แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องต้มกลั่นแบบทันสมัยซึ่งจะใช้เวลา

ต้มกลั่นเพียงห้าชั่วโมง 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 เครื่องต้นแบบดำเนินการที่ความดันบรรยากาศปกติ 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 จากผลการทดสอบสามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดของ 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 และนำน้ำที่กลั่นออกมาพร้อมน้ำมันกลับไปยังถังต้มอีกครั้ง ผลการทดสอบที่ได้สามารถกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมได้น้ำมันหอมระเหยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดตั้งแต่ 0.344 % - 0.66 % กลั่นโหระพาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดได้ตั้งแต่ 0.28 % - 0.427 % กลั่นใบมะกรูดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดได้ตั้งแต่ 0.82 % - 0.91 % โดยสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกลั่นเฉลี่ยต่อน้ำหนักพืชในปีแรกที่เปิดดำเนินการ 30 วันต่อปีเป็น 3.30 บาทต่อกิโลกรัม

Rukachaisirikul *et al.* (1995) สกัดไม้กฤษณาไทยซึ่งน่าจะเป็นพันธุ์ Aquilaria agallocha โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโร-มีเทน 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 beta agarofuran ในน้ำมันหอมระเหยจาก Aquilaria sinesis

# บทที่ 3

# วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

## 3.1 วัสดุและสารเคมี

1. ไม้กฤษณาสายพันธุ์เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (*Aquilaria Subintegra*) ได้มาจากชมรมไม้กฤษณา(ไม้หอม) แห่งประเทศไทย จังหวัดตราด สหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด และกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล
2. ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณาจากสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัดและกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน จังหวัดสตูล

## 3.2 อุปกรณ์

1. เครื่องมือวิเคราะห์ GC-MS รุ่น HP 5890 Gas Chromatograph – HP 5972 Mass Selective Detector ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. เครื่องชั่ง (ขนาด 60 กิโลกรัม)
3. ถังแก๊ส LPG ขนาด 15 กิโลกรัมและอุปกรณ์ประกอบ
4. อุปกรณ์การกลั่น

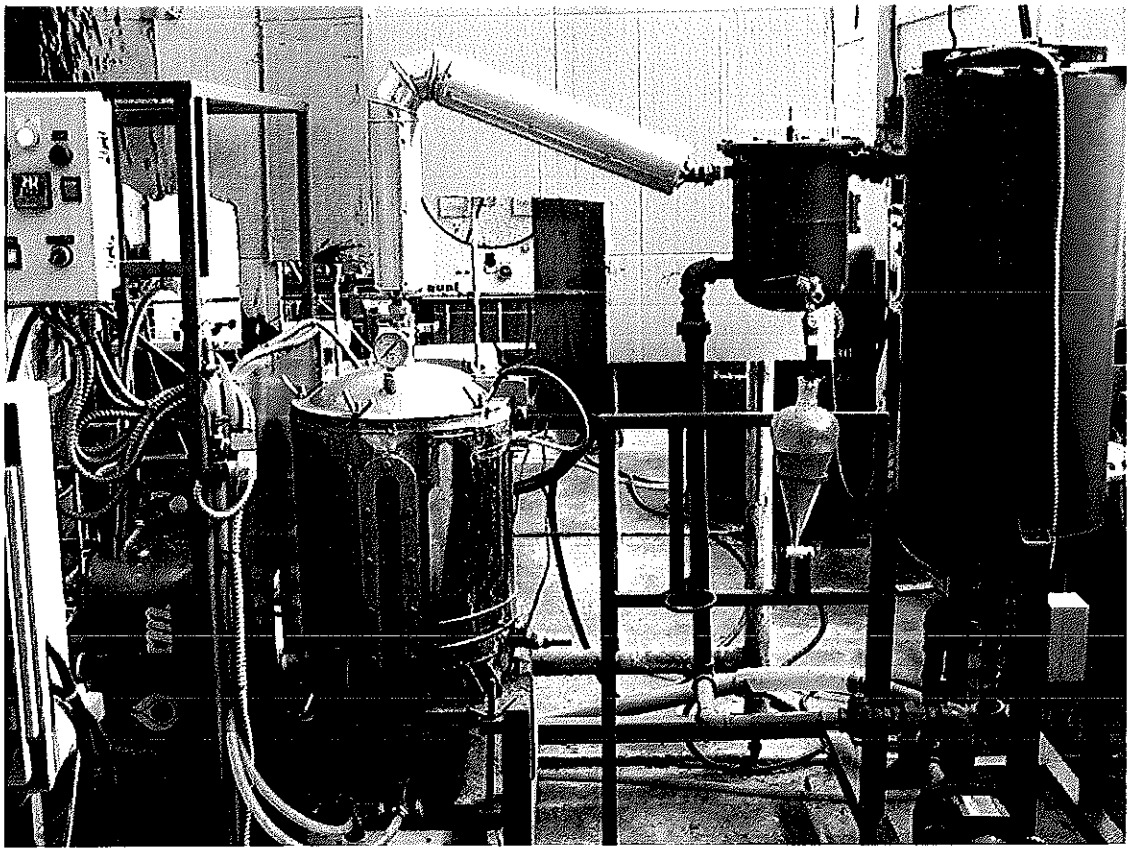
## 3.3 วิธีการทดลอง

### 3.3.1 การออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

ทำการออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงขนาดบรรจุวัตถุดิบได้ 3 กิโลกรัม (ภาพประกอบที่ 11) รายละเอียดการออกแบบเป็นดังนี้

#### 3.3.1.1 ถังกลั่น

เป็นถังประเภทถังบรรยากาศ และถังสุญญากาศ สามารถรับอุณหภูมิ (T) ประมาณ 70 – 140°C รับความดัน (P) ที่ความดันบรรยากาศ และต่ำกว่าบรรยากาศ วัสดุของถังกลั่นใช้เหล็กกล้าปลอดสนิม (Stainless Steel) เชื่อมต่อตัวถังโดยการเชื่อม มีประสิทธิภาพการเชื่อม, f เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร รูปทรงของตัวถังแบบถังทรงกระบอกมีความจุของตัวถัง 3 กิโลกรัม อิงการคำนวณออกแบบที่ความหนาแน่นของไม้กฤษณาเท่ากับ 0.25 $\frac{kg}{dm^3}$



ภาพประกอบที่ 11 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

**3.3.1.2 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

**3.3.1.3 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหย**

ใช้กรวยแยกที่ทำจากแก้วขนาด 1 ลิตร

**3.3.2 การปรับปรุงเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

ได้ปรับปรุงดัดแปลงอุปกรณ์การกลั่นดังนี้ เดิมชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาเป็นกรวยแยกขนาด 1 ลิตร (ภาพประกอบที่ 12) ซึ่งมีปริมาตรน้อยเกินไปที่จะรองรับน้ำและน้ำมันที่กลั่นออกมา การแยกชั้นระหว่างน้ำมันกับน้ำเกิดได้ไม่ดี จึงได้ทำการออกแบบชุดแยกขนาดปริมาตร 14 ลิตร ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 14 ดังภาพประกอบที่ 13

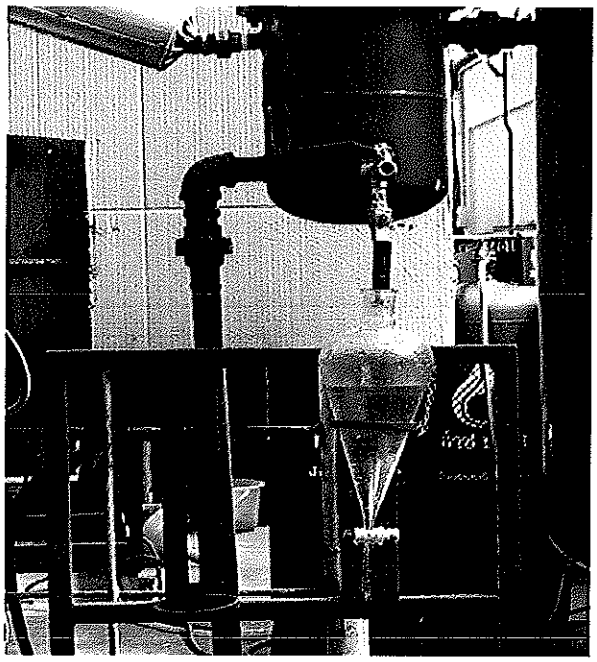
$$V = 0.785\ Di^2h \times 2 \qquad (14)$$

$V$ = ปริมาตรของชุดแยก, $dm^3$

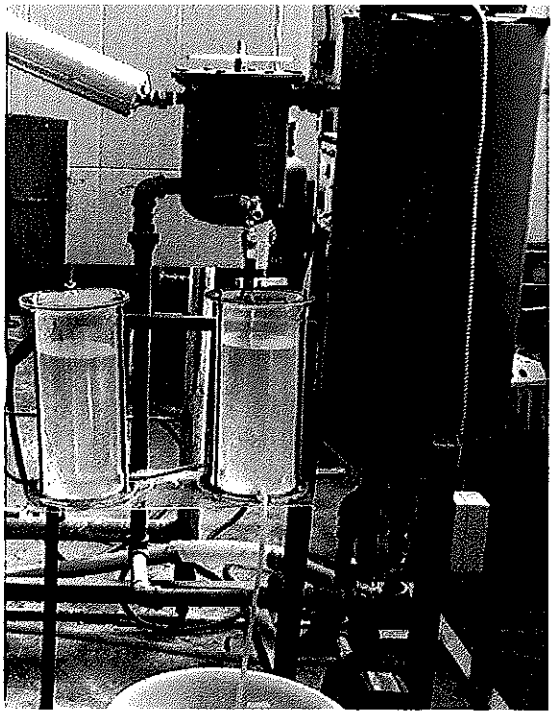
$D_i$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลวงใส, mm

$h$ = ความสูงของท่อกลวงใส, mm

2 = จำนวน 2 ชุด

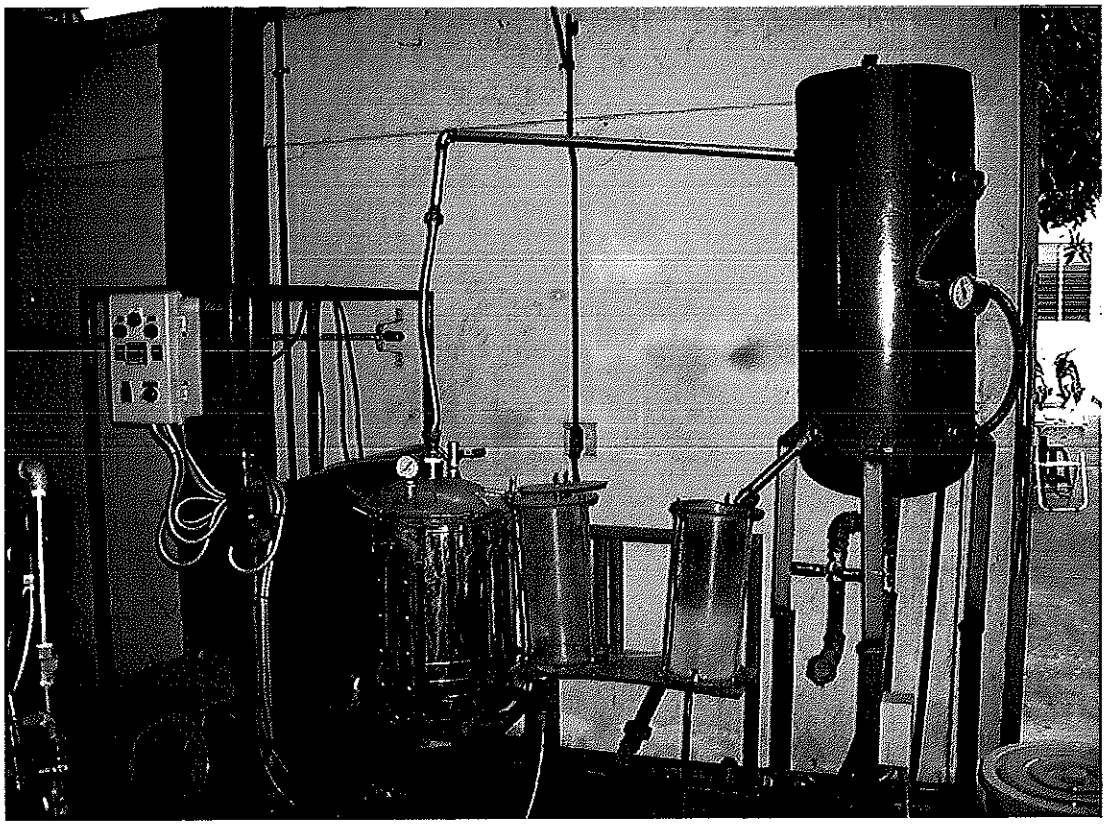


ภาพประกอบที่ 12 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาก่อนการปรับปรุง



ภาพประกอบที่ 13 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณาหลังการปรับปรุง

จากการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาพบว่ามีปัญหาน้ำมันติดค้างในท่อไอน้ำของเครื่องควบแน่น จึงดัดแปลงโดยต่อท่อไอน้ำขนาด 0.5 นิ้วจากถังกลั่นแล้วเข้าสู่หอผึ่งเย็น (Cooling Tower) เพื่อให้มีการขดตัวที่น้อยลงเพื่อป้องกันปัญหาน้ำมันค้างในท่อ ดังภาพประกอบที่ 14



ภาพประกอบที่ 14 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาหลังการปรับปรุง

**3.3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

**3.3.3.1 การกลั่นด้วยน้ำ**

ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบโดยการกลั่นด้วยน้ำมีวิธีการทดลองดังนี้

(1) นำไม้กฤษณาสายพันธุ์เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (*Aquilaria Subintegra*) ที่จะทำการกลั่นมาสับเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 x 1 นิ้ว

(2) นำไปไล่ความชื้นโดยการตากแดด

(3) ทำการบดละเอียดขนาดประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร

(4) นำผงที่บดละเอียดแช่น้ำ 7 วันในสัดส่วน ไม้กฤษณา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 9 ลิตร

(5) นำผงไม้ที่แช่แล้วทำการกลั่นกับเครื่องกลั่นต้นแบบด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ โดยให้ความร้อนโดยตรงจากก๊าซหุงต้มเป็นเวลา 96 ชั่วโมง

(6) เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ทุก 8 ชั่วโมง

**3.3.3.2 การกลั่นด้วยไอน้ำ**

ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบโดยการกลั่นด้วยไอน้ำมีวิธีการทดลองดังนี้

(1) นำไม้กฤษณาสายพันธุ์เอควิลาเรีย สับอินทิกร้า (*Aquilaria Subintegra*) ที่จะทำการกลั่นมาสับเป็นชิ้นขนาด 1 x 1 นิ้ว

(2) นำไปไล่ความชื้นโดยการตากแดด

(3) ทำการบดละเอียดขนาดประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร

(4) นำผงที่บดละเอียดแช่น้ำ 7 วันในสัดส่วนไม้กฤษณา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 9 ลิตร

(5) นำผงไม้ที่แช่แล้วทำการกลั่นกับเครื่องกลั่นต้นแบบด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยนำไอน้ำจากหม้อต้มน้ำ (Boiler) ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี เป็นเวลา 56 ชั่วโมง

(6) เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ทุก 8 ชั่วโมง

**3.3.4 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

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

# บทที่ 4

# ผลและวิจารณ์

## 4.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น

ในการทดลองส่วนนี้ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำ โดยเริ่มต้นด้วยการใช้ไม้กฤษณาปริมาณ 3 กิโลกรัมตามที่ได้ออกแบบเครื่องกลั่นไว้

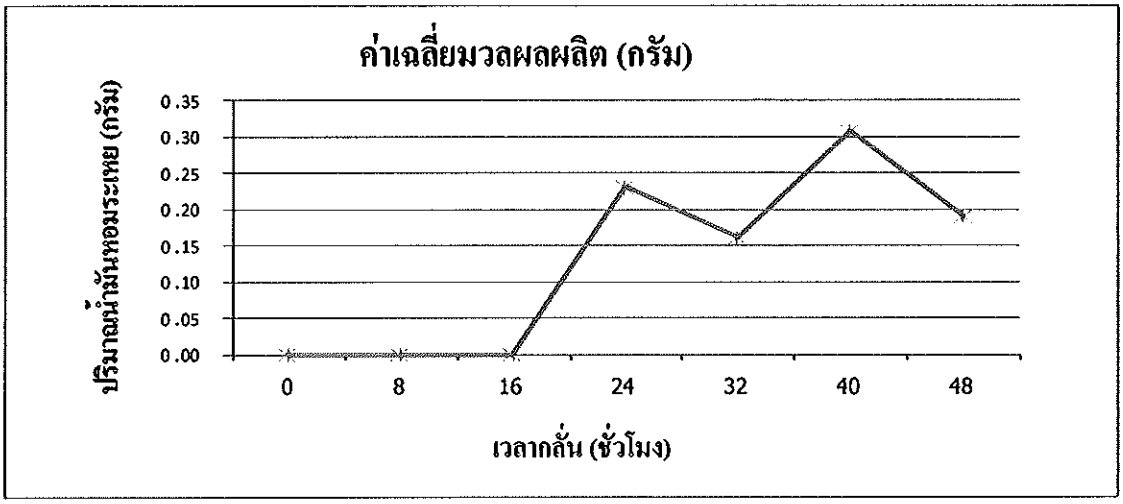
### 4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันหอมระเหยและเวลากลั่น

ผลของการกลั่นแสดงดังตารางที่ 3 และภาพประกอบที่ 15 พบว่าน้ำมันหอมระเหยจะเริ่มออกมาเมื่อเวลาในการกลั่นผ่านไป 24 ชั่วโมง และหลังจากกลั่นไป 48 ชั่วโมง จะไม่มีน้ำมันออกมาอีก และจากการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งได้ผลในลักษณะเดียวกัน รวมค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ 0.89 กรัม โดยน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม ความหนืดสูง ความหนาแน่นประมาณ 920 กรัม/ลิตร เมื่อกลั่นต่อไปน้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีความหนืดลดลง ลักษณะน้ำมันที่กลั่นได้แสดงในภาพประกอบที่ 16

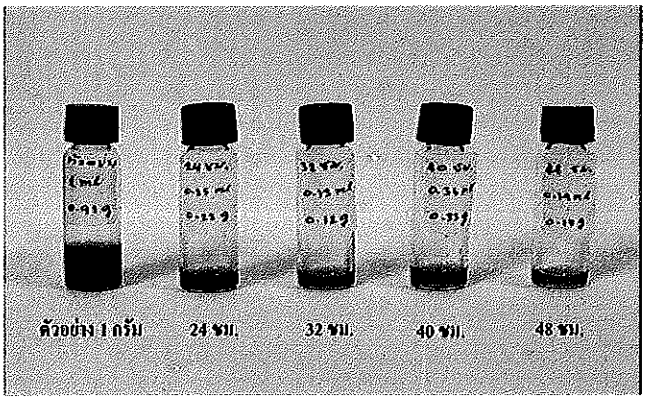
ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น

| เวลากลั่น (ชั่วโมง) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 1 (กรัม) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 2 (กรัม) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา การกลั่นครั้งที่ 3 (กรัม) | ค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา ($\bar{X}$) (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 |

| เวลากลั่น (ชั่วโมง) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 1 (กรัม) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 2 (กรัม) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 3 (กรัม) | ค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา ($\overline{X}$) (กรัม) | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 15 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น




ภาพประกอบที่ 16 น้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้

**4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และเวลากลั่น**

ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนัก น้ำหนักสะสม ร้อยละผลได้ (Yield) และร้อยละผลได้สะสมของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าปริมาณผลได้สะสมมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.018 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยมาก

ตารางที่ 4 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่น

| เวลากลั่น (hr-min) | 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 |

**4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่นและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง**

ตารางผลการทดลองที่ 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าต้องใช้เวลา 8 ชั่วโมงในการต้มน้ำจากอุณหภูมิห้องจนเป็น 99.8 องศาเซลเซียส ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดใน 8 ชั่วโมงแรกนี้ จากนั้นจึงลดลงโดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงใกล้เคียงกัน แต่อัตราการควบแน่นกลับไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิง แสดงถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของเครื่องกลั่น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเครื่อง ซึ่งรายละเอียดการปรับปรุงเครื่องตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.2 ของบทที่ 3

ตารางที่ 5 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำก่อนการปรับปรุงชุดกลั่น

| เวลากลั่น (hr-min) | อุณหภูมิน้ำในถังกลั่น (°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 |

## 4.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

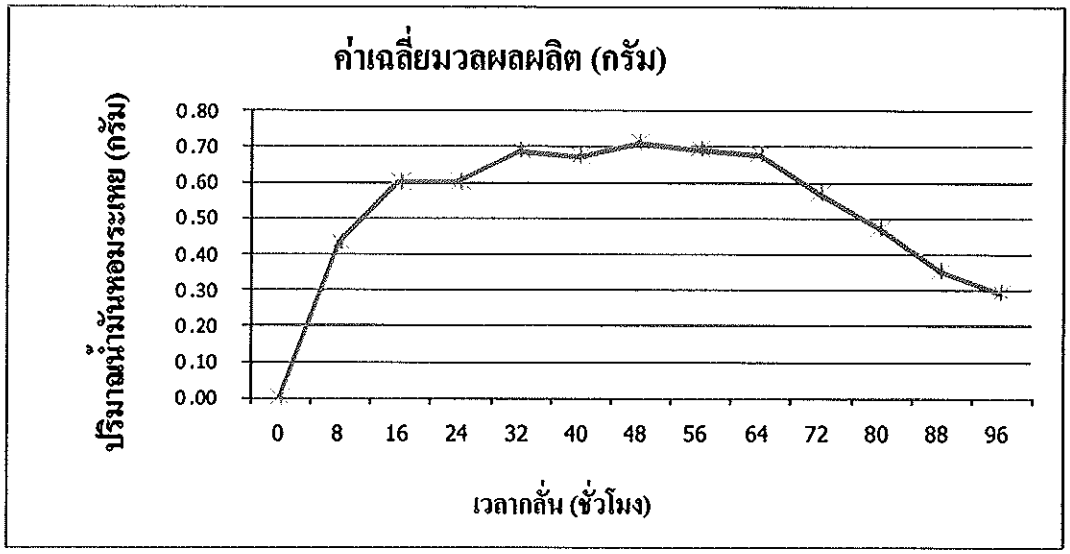
ในการทดลองส่วนนี้ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น โดยใช้ไม้กฤษณาปริมาณ 3 กิโลกรัม ตามที่ได้ออกแบบเครื่องกลั่นไว้

### 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันหอมระเหยและเวลากลั่น

ผลของการกลั่นแสดงดังตารางที่ 6 และภาพประกอบที่ 17 พบว่าน้ำมันหอมระเหยจะเริ่มออกมาที่เวลาในการกลั่นก่อนชั่วโมงที่ 8 เท่ากับ 0.43 กรัมและจะออกมากที่สุดในชั่วโมงที่ 48 เท่ากับ 0.71 กรัม และค่อยๆ ลดต่ำลง หลังจากกลั่นไป 96 ชั่วโมง จะมีน้ำมันออกมาน้อยมาก เท่ากับ 0.29 กรัม รวมค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ 6.79 กรัม โดยน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม ความหนืดสูง ความหนาแน่นประมาณ 920 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

| เวลากลั่น (ชั่วโมง) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 1 (กรัม) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 2 (กรัม) | มวลผลผลิตน้ำมันกฤษณาการกลั่นครั้งที่ 3 (กรัม) | ค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันกฤษณา ($\bar{X}$) (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 |



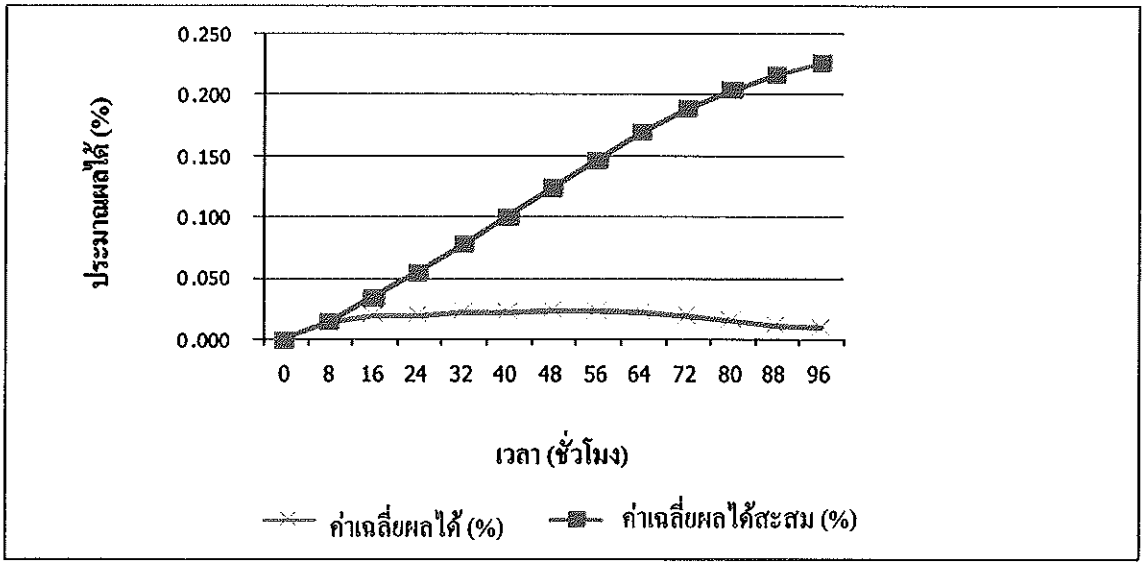

ภาพประกอบที่ 17 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

**4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และเวลากลั่น**

ตารางที่ 7 และภาพประกอบที่ 18 แสดงน้ำหนัก น้ำหนักสะสม ร้อยละผลได้ (Yield) และร้อยละผลได้สะสมของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น พบว่าปริมาณผลได้สะสมที่ชั่วโมงการกลั่นที่ 48 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.124 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลได้สะสมที่ชั่วโมงการกลั่นเดียวกันของการกลั่น ก่อนการปรับปรุงเครื่องกลั่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.018 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังการปรับปรุง เครื่องกลั่นจะมีประสิทธิภาพการกลั่นที่เพิ่มขึ้นมาก และเมื่อทำการกลั่นต่อไปจนถึงชั่วโมงการกลั่นที่ 96 ปริมาณผลได้สะสมค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.226 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

| เวลากลั่น (hr-min) | 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 |



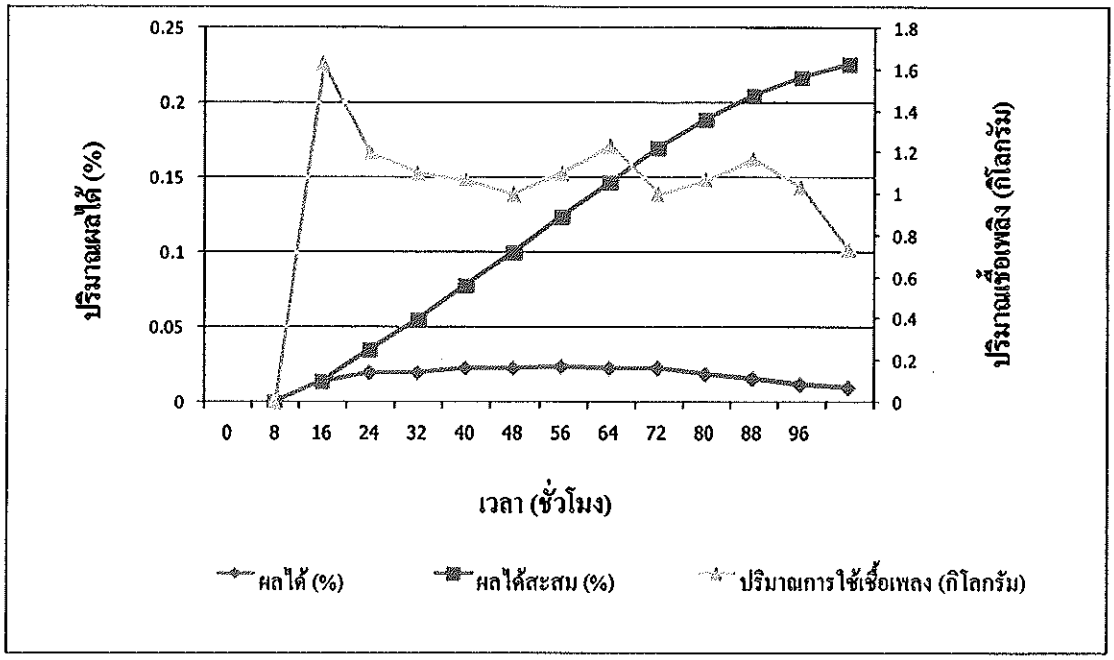

ภาพประกอบที่ 18 ปริมาณผลได้และผลได้สะสมน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

**4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง**

ตารางที่ 8 และภาพประกอบที่ 19 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณา และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดเป็น 1.63 กิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมง ซึ่งเกิดในช่วงแรกของการต้มน้ำ จากนั้นมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่ ปริมาณผลได้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 56 จึงเริ่มลดลง

ตารางที่ 8 ปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

| เวลากลั่น (hr-min) | 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 |



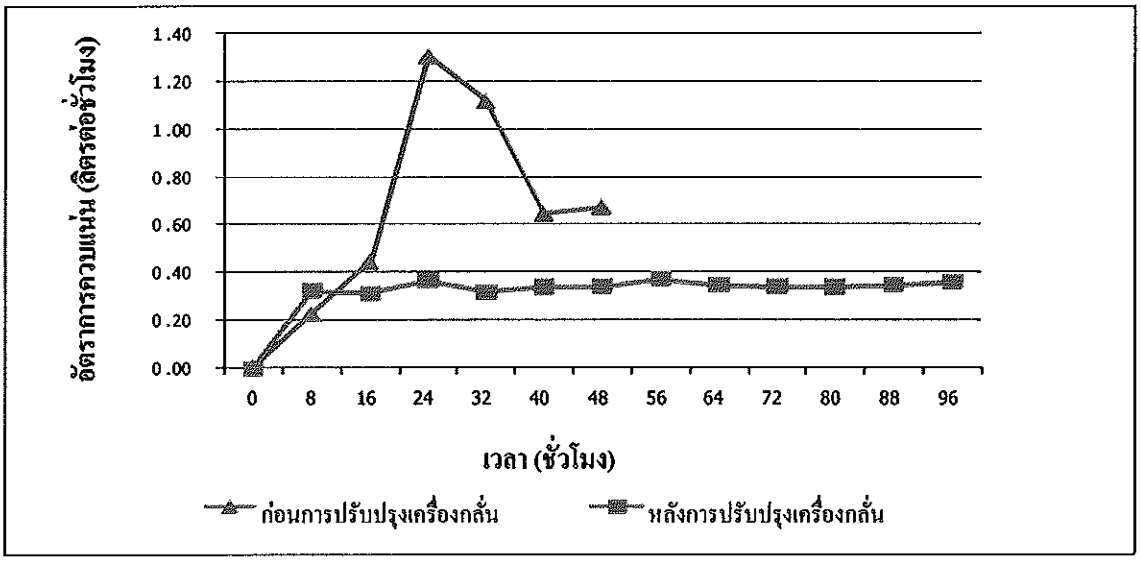

ภาพประกอบที่ 19 ปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

**4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่นและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง**

ตารางผลการทดลองที่ 9 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น พบว่าเครื่องกลั่นต้องใช้เวลา 8 ชั่วโมงในการต้มน้ำจาก 27 องศาเซลเซียส เป็น 100 องศาเซลเซียส อัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดเป็น 1.63 กิโลกรัมต่อเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งเกิดในช่วงแรกของการต้มน้ำ จากนั้นมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่ โดยอัตราการควบแน่นคงที่สอดคล้องกับอัตราการใช้เชื้อเพลิง อัตราการควบแน่นของการกลั่นด้วยน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงชุดกลั่นสามารถเปรียบเทียบได้ดังภาพประกอบที่ 20 ซึ่งจะเห็นว่าหลังการปรับปรุงเครื่อง อัตราการควบแน่นมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

ตารางที่ 9 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่น อัตราการควบแน่นและปริมาณเชื้อเพลิง (LPG) ที่ใช้ของการกลั่นด้วยน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น

| เวลากลั่น (hr-min) | อุณหภูมิน้ำในถังกลั่น (°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 20 เปรียบเทียบอัตราการควบแน่นของการกลั่นด้วยน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น

**4.3 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ**

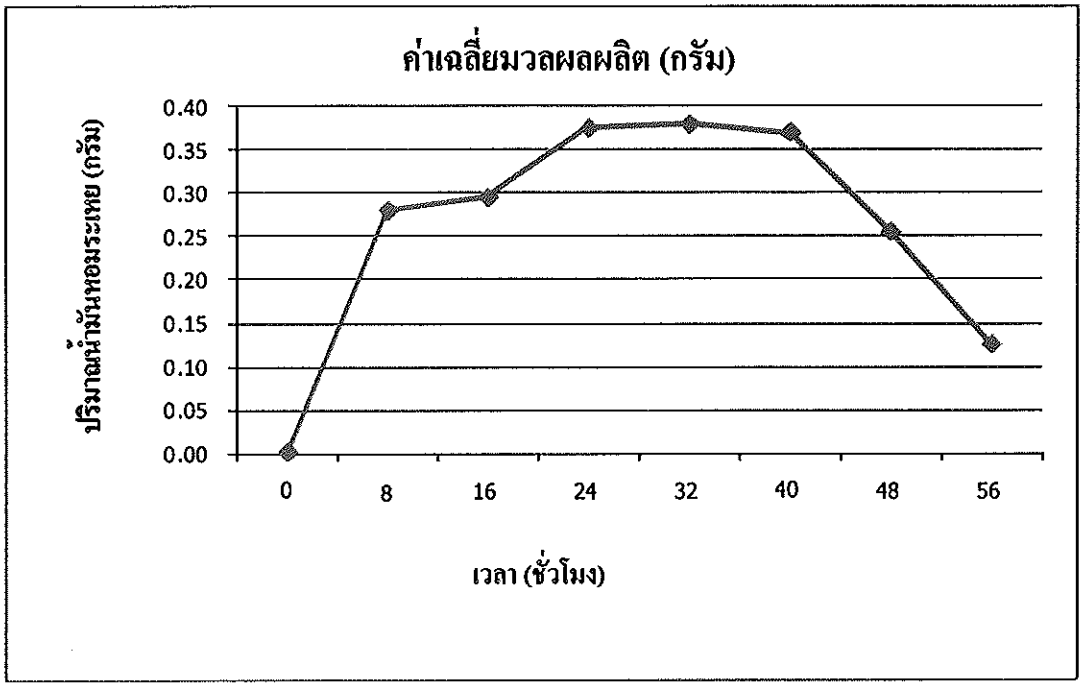
ในการทดลองส่วนนี้ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยไอน้ำหลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น โดยใช้ไม้กฤษณาปริมาณ 1 กิโลกรัม ตามที่ได้ออกแบบตะแกรงสำหรับใส่ไม้กฤษณาไว้ ในเครื่องกลั่น นำไอน้ำจากหม้อต้มน้ำ (Boiler) ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขนาด 0.5 ตันความดันสูงสุด 5 บาร์

**4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันหอมระเหยและเวลากลั่น**

ผลของการกลั่นแสดงดังตารางที่ 10 และภาพประกอบที่ 21 พบว่าน้ำมันหอมระเหยจะเริ่มออกมาที่เวลาในการกลั่นชั่วโมงที่ 8 เท่ากับ 0.28 กรัมและจะออกมากในช่วงการกลั่นระหว่างชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 40 เท่ากับ 0.38 กรัมถึง 0.37 กรัม และค่อยๆ ลดต่ำลง หลังจากกลั่นไป 56 ชั่วโมง จะมีน้ำมันออกมาน้อยมากเท่ากับ 0.13 กรัม รวมค่าเฉลี่ยมวลผลผลิตน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ 2.08 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปัญหาน้ำควบแน่นลงมาในถังกลั่น ทำให้ไม่สามารถกลั่นด้วยไอน้ำต่อได้

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 21 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลากลั่น โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

**4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้และเวลากลั่น**

ตารางที่ 11 แสดงน้ำหนัก น้ำหนักสะสม ร้อยละผลได้ (Yield) และร้อยละผลได้สะสมของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ด้วยไอน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น พบว่าปริมาณผลได้สะสมที่ชั่วโมงการกลั่นที่ 48 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.196 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลได้สะสมที่ชั่วโมงการกลั่นเดียวกันของการกลั่นด้วยน้ำ หลังการปรับปรุงเครื่องกลั่น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.124 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการกลั่นด้วยไอน้ำจะมีประสิทธิภาพการกลั่นที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 11 ปริมาณและผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาต่อเวลา โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

| เวลากลั่น (hr-min) | 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 |

**4.3.2 การเปรียบเทียบผลได้จากการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบกับการกลั่นของชาวบ้าน**

การกลั่นด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการกลั่นที่ใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนปัจจุบัน โดยมีผลได้สะสมประมาณ 0.23% ภายในเวลา 96 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณผลได้น้ำมันหอมระเหยกฤษณาระหว่างวิธีการกลั่นที่ทำการทดลองกับที่ใช้ในปัจจุบัน

| วิธีการกลั่น | 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 |

**4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่น**

ตารางผลการทดลองที่ 13 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่นของการกลั่นด้วยไอน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น โดยความดันต้นทางเท่ากับ 5 บาร์ ท่อนำส่งไอน้ำ (Steam) ขนาด 1.25 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 12 เมตร จากผลการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 112.5 องศาเซลเซียสถึง 125.5 องศาเซลเซียสซึ่งอุณหภูมิมีความเปลี่ยนแปลงไม่มาก เช่นเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการควบแน่นที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.20 ลิตรต่อชั่วโมงถึง 0.33 ลิตรต่อชั่วโมงซึ่งค่อนข้างคงที่

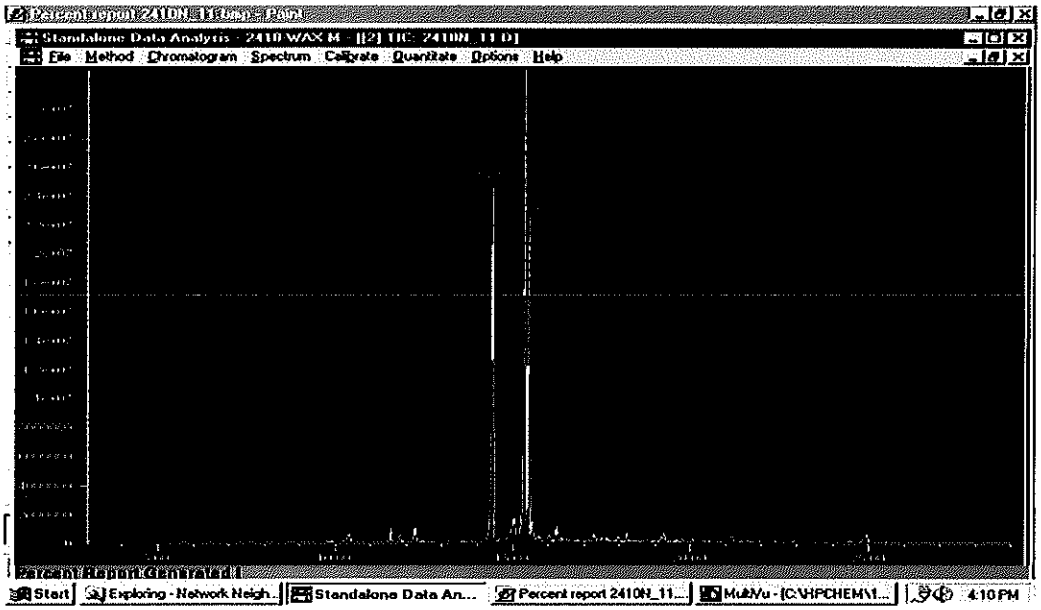
ตารางที่ 13 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิการกลั่นต่ออัตราการควบแน่น ของการกลั่นด้วยไอน้ำหลังการปรับปรุงชุดกลั่น

| เวลากลั่น (hr-min) | อุณหภูมิไอน้ำในถังกลั่น (°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 |

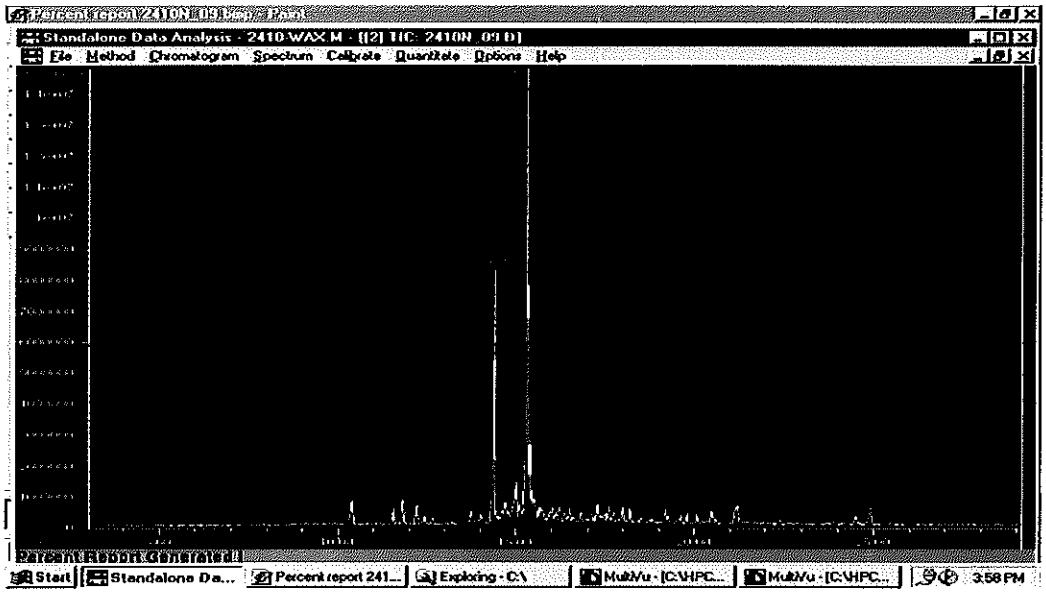
**4.4 คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์**

**4.4.1 ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา**

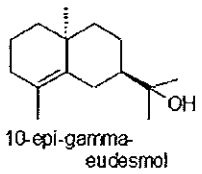
ทำการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาด้วยเครื่อง GC-MS จากตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกฤษณาของสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัดและกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนจังหวัดสตูล (ภาพประกอบที่ 22) ตรวจพบสารที่เป็นองค์ประกอบ เช่น 10 epi-gamma-eudesmol, Agarospirol, Aristolen เป็นต้น ส่วนองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ได้จากการทดลองกลั่นด้วยน้ำ พบว่าสารที่เป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างที่กลั่นได้คือ 10 epi-gamma-eudesmol และ Agarospirol (ภาพประกอบที่ 23) ภาพประกอบที่ 24 แสดงโครงสร้างของ 10 epi-gamma-eudesmol และ Agarospirol ซึ่งสารนี้มีการรายงานถึงสรรพคุณผลทางเภสัชกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ การมีผลต่อ Anxiolytic เพิ่มการผลิต Steroid ต้านเชื้อราและแบคทีเรีย และองค์ประกอบทั้งหมดที่ตรวจพบแสดงดังตารางที่ 14



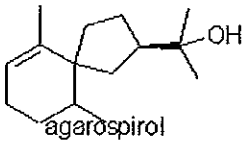

ภาพประกอบที่ 22 การวิเคราะห์ด้วย GC-MS ของน้ำมันหอมระเหยของสหกรณ์ไม้กฤษณาพัทลุง จำกัด




ภาพประกอบที่ 23 การวิเคราะห์ด้วย GC-MS ของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้




(a)




(b)

ภาพประกอบที่ 24 โครงสร้างของสารที่ตรวจพบ

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

ตารางที่ 14 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่ตรวจพบ

| ลำดับที่ | ชื่อเคมี | Mol Wt | Quality | Formula |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .beta . - patchoulene | 204 | 87 | $C_{15}H_{24}$ |
| 2 | Juniper camphor $$ 1 - Naphthalenol , decah | 222 | 78 | $C_{15}H_{26}O$ |
| 3 | .gamma . - Selinene $$ Naphthalene , decahyd | 204 | 74 | $C_{15}H_{24}$ |
| 4 | .gamma . - Eudesmol $$ 2 - Naphthalenemethano | 222 | 64 | $C_{15}H_{26}O$ |
| 5 | 10 - epi - . Gamma . - eudesmol | 222 | 64 | $C_{15}H_{26}O$ |
| 6 | .beta . - Selinene $$ Naphthalene , decahydr | 204 | 60 | $C_{15}H_{24}$ |
| 7 | Agaruspirol $$ Agarospirol | 222 | 55 | $C_{15}H_{26}O$ |
| 8 | .alpha . - selinene | 204 | 51 | $C_{15}H_{24}$ |
| 9 | (+) - . BETA . - GUAIENE | 204 | 50 | $C_{15}H_{24}$ |
| 10 | Valencene $$ Naphthalene , 1 , 2 , 3 , 5 , 6 , 7 , 8 , | 204 | 49 | $C_{15}H_{24}$ |
| 11 | Alloaromadendrene $$ 1H - Cycloprop [e] azul | 204 | 47 | $C_{15}H_{24}$ |
| 12 | ALLOAROMADENDRENE | 204 | 47 | $C_{15}H_{24}$ |
| 13 | .beta . - Chamigrene $$ Spiro [5.5] undec - 2 - e | 204 | 46 | $C_{15}H_{24}$ |
| 14 | Naphthalene , 1 , 2 , 4a , 5 , 8 , 8a - hexahydro - 4 , 7 | 204 | 46 | $C_{15}H_{24}$ |

| ลำดับที่ | ชื่อเคมี | Mol Wt | Quality | Formula |
|---|---|---|---|---|
| 15 | .alpha . - eudesmol | 222 | 46 | $C_{15}H_{26}O$ |
| 16 | CADINENE | 204 | 46 | $C_{15}H_{24}$ |
| 17 | CYCLOISOLONGIFOLENE (neme?) $$ 2 , 3b - Meth | 204 | 46 | $C_{15}H_{24}$ |
| 18 | Eudesmol $$ 2 - Naphthalenemethanol , decah | 222 | 42 | $C_{15}H_{26}O$ |

**4.4.2 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

จากการประเมินผลผลิตที่ได้จากการทดลองนี้คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้จากการทดลองนี้มีเกรด เอ (A) (งามผ่อง, 2551) 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 5

## สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณาสามารถสรุปผลการทดลองได้คือ การกลั่นด้วยน้ำ สภาวะที่เหมาะสมคือปริมาณไม้กฤษณาบดละเอียด 3 กิโลกรัม แช่น้ำ 7 วัน น้ำมันหอมระเหยกฤษณาจะเริ่มออกชั่วโมงที่ 8 และสูงที่สุดที่เวลาการกลั่นระหว่างชั่วโมงที่ 32 ถึงชั่วโมงที่ 56 ปริมาณน้ำมันที่กลั่นได้เฉลี่ย 6.80 กรัม คิดเป็นผลได้ 0.23 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 30 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

การกลั่นด้วยไอน้ำ โดยไม้กฤษณาปริมาณ 1 กิโลกรัมตามที่ได้ออกแบบตะแกรงใส่ไม้กฤษณาไว้ในเครื่องกลั่น น้ำมันหอมระเหยกฤษณาจะเริ่มออกที่เวลาการกลั่นก่อนชั่วโมงที่ 8 และสูงที่สุดที่เวลาการกลั่นระหว่างชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 40 และหลังจากกลั่นไป 56 ชั่วโมง น้ำมันเริ่มออกน้อย ปริมาณน้ำมันที่กลั่นได้เฉลี่ย 2.08 กรัม คิดเป็นผลได้ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบนี้ผลได้ของการกลั่นจะสูงขึ้นและพลังงานที่ใช้ต่ำกว่าเมื่ออิงกับการกลั่นในแบบปัจจุบัน

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

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาโดยการกลั่นด้วยน้ำ พบว่าได้ผลผลิตรวมสูงสุดเท่ากับ 8.24 กรัมหรือผลได้ (Yield) 0.27 % 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) ซึ่งต้นทุนไม้กฤษณาราคา 250 บาทต่อกิโลกรัม ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็น 235.20 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 ชุดการทดลอง (96 ชั่วโมง) รวมต้นทุนวัตถุดิบ (ไม้กฤษณา) และเชื้อเพลิงเท่ากับ 1,135.20 บาทต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา 1 ชุดการทดลอง (96 ชั่วโมง) ซึ่งสามารถกลั่นได้ผลผลิต 8.24 กรัม เปรียบเทียบกับราคาขาย 600 บาทต่อกรัมน้ำมันหอมระเหยกฤษณาและ

ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) ของชุดกลั่นนี้อยู่ที่ 0.57 ปี ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการทำเชิงพาณิชย์

การลงทุนสำหรับกิจการอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา จะต้องปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยกฤษณาที่กลั่นได้ให้อยู่ในระดับเกรด เอ บวก ($A^+$) และลดต้นทุนการผลิตอีก การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันอาจทำได้โดยการคัดเลือกปรับปรุงพันธุ์ไม้กฤษณาและปรับปรุงกรรมวิธีการกลั่น เช่น การหาความดันที่เหมาะสมในการกลั่น

ผลการคำนวณต้นทุนในการกลั่นแสดงให้เห็นว่ามีโอกาสเป็นไปได้สูงที่จะลงทุนกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาในเชิงการพาณิชย์

**ข้อเสนอแนะ**

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความดันที่เหมาะสมในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณา
2. เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยกฤษณามีสารสำคัญหลายชนิดที่ยังไม่ได้ทำการศึกษาถึงการทำบริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านการได้สารบริสุทธิ์จากองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

# บรรณานุกรม

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2537. "กฤษณา". อักษรสยามการพิมพ์ กรุงเทพฯ .

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

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

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

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

คณะอนุกรรมาธิการพิจารณาการตราพระราชกฤษฎีกา จัดตั้งสำนักงานปลูกไม้เศรษฐกิจตามพระราชบัญญัติองค์การมหาชน พ.ศ. 2542 ในคณะกรรมาธิการการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน วุฒิสภา. 2548. "ประวัติ การเพิ่มมูลค่า ปัญหาอุปสรรค และปริมาณการปลูกในประเทศไทย ของไม้กฤษณา (ไม้หอม)"

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

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

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

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.

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

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.

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

## 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) | | | | อัตราการกวบแน่น | ปริมาตรน้ำกวบแน่น | 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 (Ellipsoidal 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

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

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

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

โดย

$V_{head}$ล่าง= ปริมาตรของฝาถังกลั่นล่าง, $mm^3$

$D_i$ = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในฝาถัง, mm

h = ความสูงของฝาถัง, mm

จะได้ปริมาตรของฝาถังกลั่นล่าง ($V_{head}$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 ($A_{hcad}$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

$\rho$ = 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

$$V = 0.785\ Di^2h\ x\ 2 \qquad (13)$$

โดย

V = ปริมาตรของชุดแยก, $dm^3$

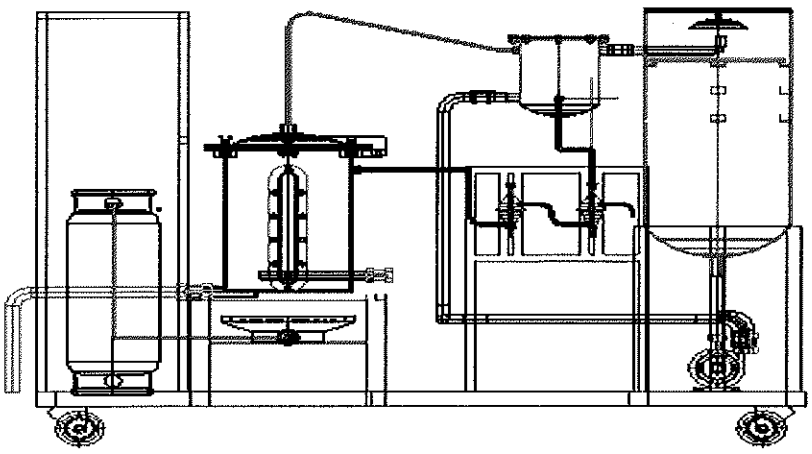
$D_i$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลวงใส, mm

h = ความสูงของท่อกลวงใส, mm

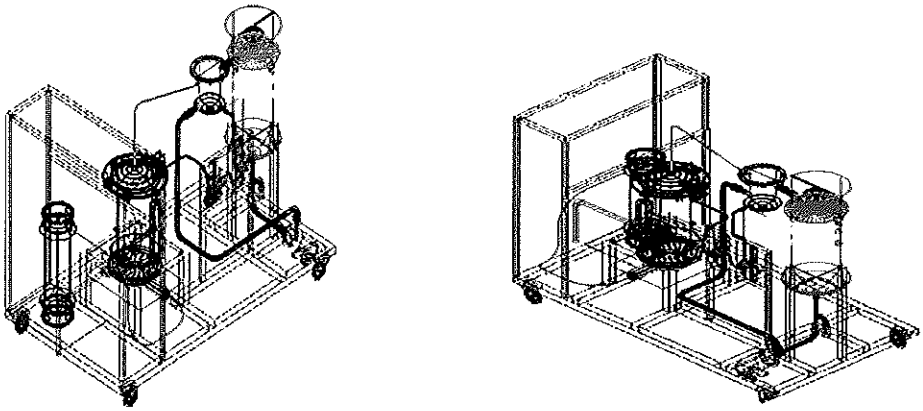
2 = จำนวน 2 ชุด

จะได้ปริมาตรของชุดแยก (V) = 14 $dm^3$

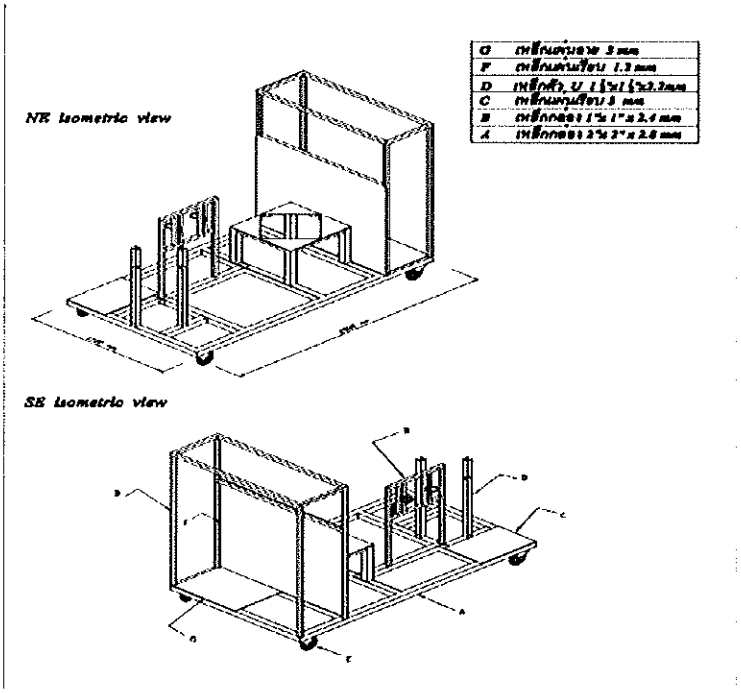
**2. แบบการสร้างอุปกรณ์การกลั่น**



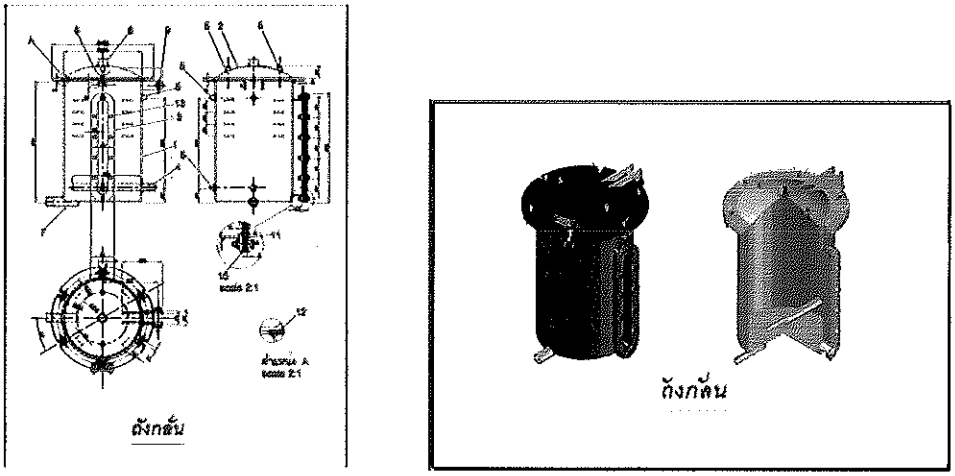
ภาพประกอบที่ 25 ไดอะแกรมรวมของเครื่องกลั่นต้นแบบ



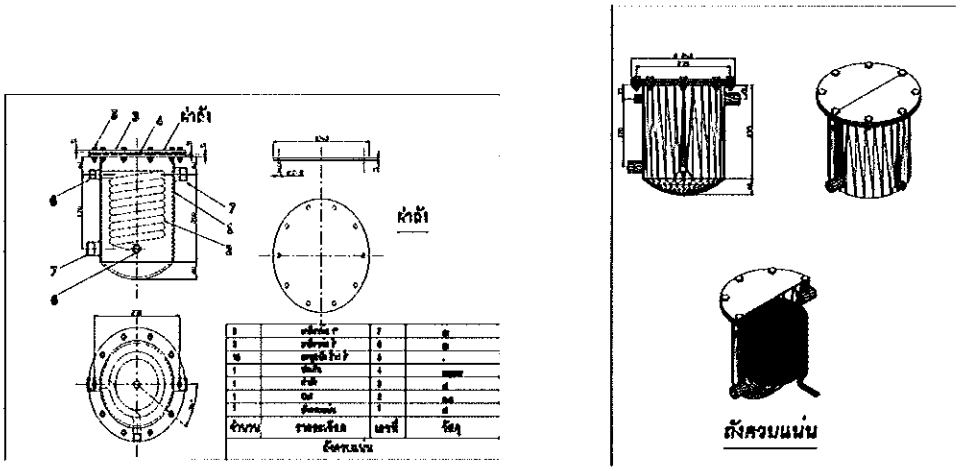
ภาพประกอบที่ 26 โครงสร้างของเครื่องกลั่นต้นแบบ



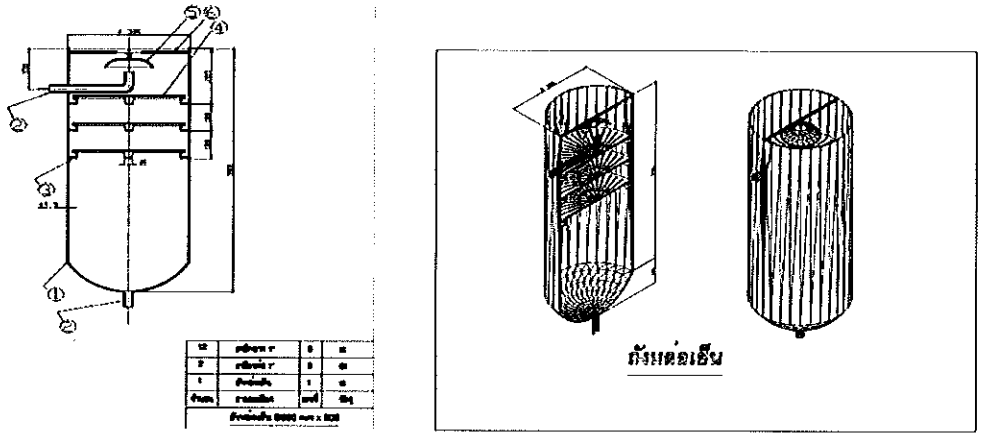

ภาพประกอบที่ 27 แบบสำหรับสร้างโครงชุดกลั่น



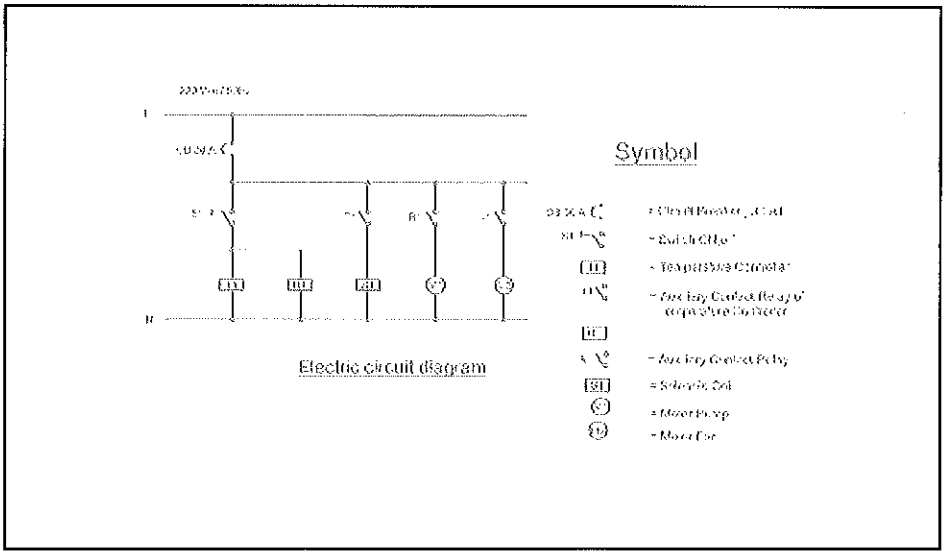

ภาพประกอบที่ 28 แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของถังกลั่น




ภาพประกอบที่ 29 แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของชุดควบแน่น



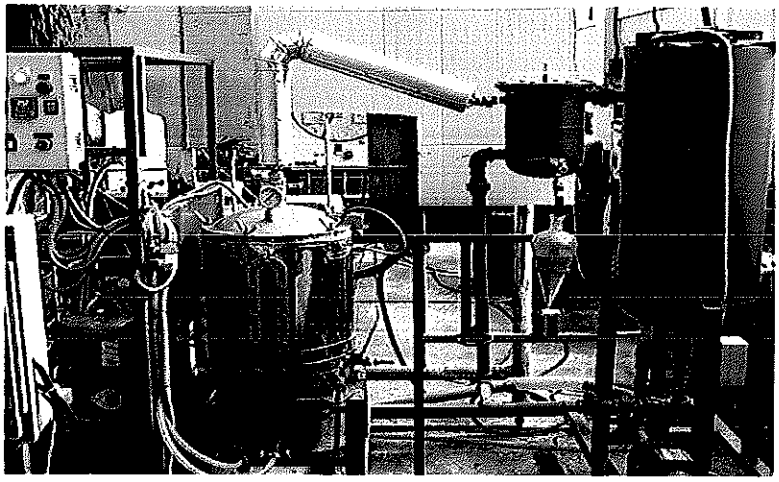

ภาพประกอบที่ 30 แบบสำหรับสร้างและแบบรวมของชุดหล่อเย็น



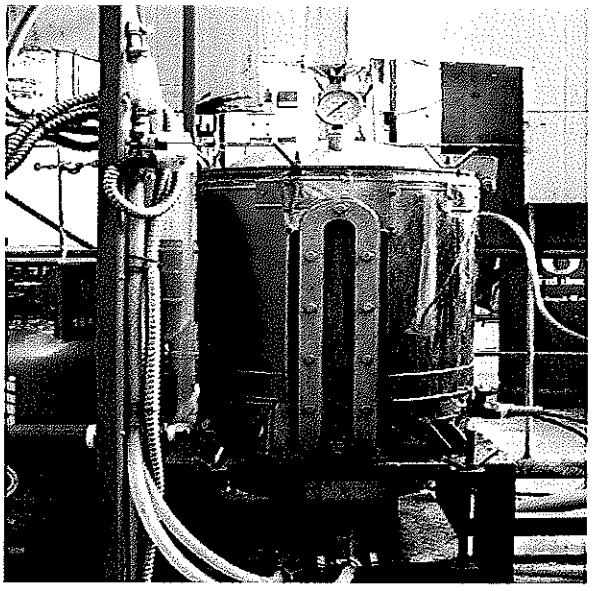

ภาพประกอบที่ 31 แบบชุดอุปกรณ์ควบคุม

**3. การสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยกฤษณาต้นแบบที่จัดสร้าง**

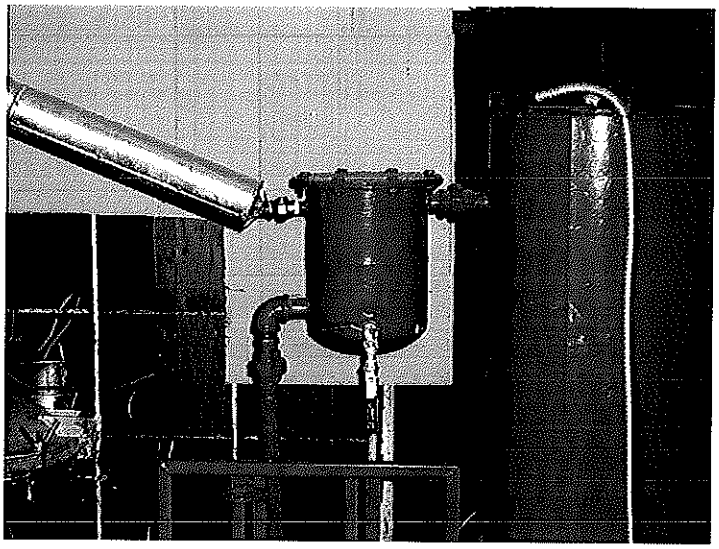
สามารถทำการออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ได้ดังแสดงภาพประกอบที่ 31 ถึง ภาพประกอบที่ 36 โดยที่ก้นถังจะติดตั้งระบบส่งไอน้ำไว้ใช้ในกรณีกลั่นด้วยไอน้ำ ตรงส่วนปลายของคอนเดนเซอร์จะประกอบด้วยสามทางโดยทางหนึ่งต่อกับหน่วยแยกน้ำกับน้ำมันหอมระเหย และอีกทางเป็นช่องระบายอากาศ โดยเมื่อทำการกลั่นที่ความดันบรรยากาศก็จะเปิดช่องระบายอากาศทั้งหมด ส่วนเมื่อกลั่นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ



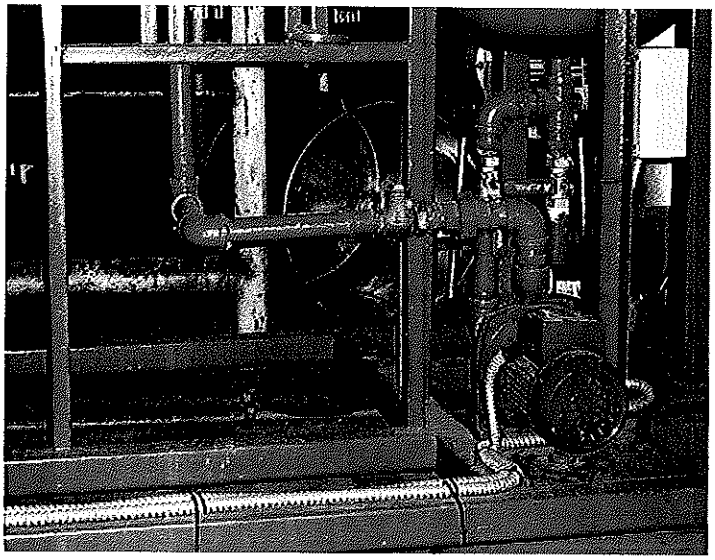
ภาพประกอบที่ 32 เครื่องกลั่นน้ำมันกฤษณาต้นแบบ



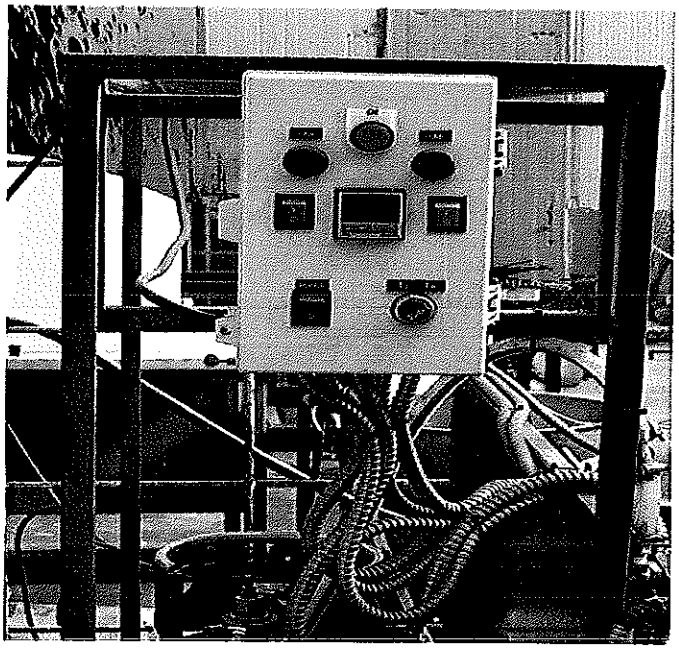
ภาพประกอบที่ 33 ตัวถังกลั่น



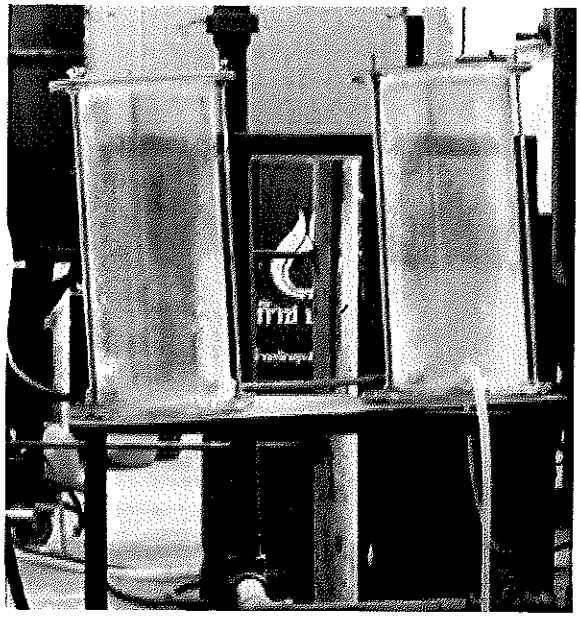
ภาพประกอบที่ 34 ชุดควบแน่นและหอผึ่งเย็น



ภาพประกอบที่ 35 ปั๊มน้ำหล่อเย็น



ภาพประกอบที่ 36 ชุดควบคุม



ภาพประกอบที่ 37 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยกฤษณา

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ สกุล** นายสามารถ เส็มหมาด

**รหัสประจำตัวนักศึกษา** 4712038

**วุฒิการศึกษา**

| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|---|---|---|
| วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมีสิ่งทอ) | ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล | 2545 |
| ศิลปศาสตรบัณฑิต (รัฐศาสตร์) | มหาวิทยาลัยรามคำแหง | 2549 |

**ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)**

ทุนเรียนดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2547

ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี พ.ศ. 2549 โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

**การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน**

การเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ

สามารถ เส็มหมาด, ผศ.ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ และรศ.ดร.ชาคริต ทองอุไร, 2551 "การสกัดน้ำมันหอมระเหยกฤษณา", **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 18 การวิจัยกับการแก้ปัญหาวิกฤติชาติ.** ณ โรงแรมกรีนเวิลด์ พาเลซ จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 25-26 กันยายน 2551.