



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)
ปริญญา

วิศวกรรมอาหาร สาขา วิศวกรรมอาหาร
ภาควิชา

เรื่อง ออกแบบและพัฒนากลับสุรภายใต้สภาวะสุญญากาศ

Design and Development of Vacuum Distillation for Whisky

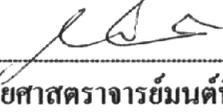
นามผู้วิจัย นายนักรบ นาคประสม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

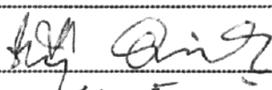
ประธานกรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์, D.Eng.)

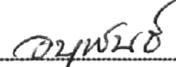
กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนต์ทิพย์ ชำของ, Ph.D.)

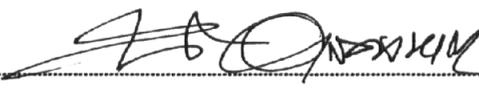
กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเทือง อุยาบริสุทธ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 24 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ออกแบบและพัฒนารกลั่นสุรภายใต้สภาวะสุญญากาศ

Design and Development of Vacuum Distillation for Whisky

โดย

นายนักรบ นาคประสม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)

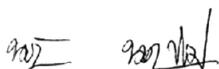
พ.ศ. 2548

ISBN 974-9846-17-6

นักรบ นาคประสม 2548: ออกแบบและพัฒนาการกลั่นสุรกายใต้สภาวะสุญญากาศ
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร) สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์, D.Eng. 133 หน้า
ISBN 974-9846-17-6

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นสุรกายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยศึกษา
สภาวะการกลั่นสุรกายที่เหมาะสมด้วยเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศขนาดห้องปฏิบัติการ
(ระดับสภาวะสุญญากาศ 210 มิลลิบาร์ อุณหภูมิคอนเดนส์เซอร์ 25 องศาเซลเซียส) จากนั้น
ออกแบบเครื่องกลั่นสุรกายใต้สภาวะสุญญากาศต้นแบบ และทดสอบด้วยการกลั่นที่แตกต่างกัน
3 วิธี และปริมาณสาโทที่แตกต่างกัน 4 ระดับ เพื่อหาสภาวะการกลั่นที่เหมาะสมจาก อัตราการ
ผลิต เปอร์เซ็นต์ผลผลิต พลังงานจำเพาะ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของสุรา นอกจากนี้ยัง
ทำการเปรียบเทียบคุณภาพสุรากลั่นจากโมลาส โดยใช้เครื่องกลั่นภายใต้สุญญากาศต้นแบบ และ
เครื่องกลั่นที่ผลิตในเชิงพาณิชย์

ผลการทดลองกลั่นด้วยเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศขนาดห้องปฏิบัติการ พบว่า
สภาวะที่เหมาะสม คือ กลั่นที่อุณหภูมิอ่างน้ำร้อน 95 องศาเซลเซียส ซึ่งได้อุณหภูมิสาโท 60.5
องศาเซลเซียส สำหรับผลการทดสอบเครื่องกลั่นสุรกายใต้สภาวะสุญญากาศต้นแบบ พบว่า
วิธีการกลั่นที่เหมาะสม คือ การกลั่น โดยเปิดแก๊ส และปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน (อุณหภูมิในการ
กลั่น 55 องศาเซลเซียส ระดับสภาวะสุญญากาศ 210 มิลลิบาร์) กลั่นจนกระทั่งอัตราการผลิต
ลดลงต่ำกว่า 20 มิลลิลิตร/นาที่ จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิการกลั่นโดยปรับที่ชุดควบคุมให้สาโทมี
อุณหภูมิมากกว่าเดิม 5 องศาเซลเซียส และปริมาณสาโทที่เหมาะสมในการกลั่น คือ 30 ลิตร ซึ่ง
จะทำให้มีพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด 1.71 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ลิตร มีอัตราการผลิตอยู่ใน
กลุ่มมากที่สุด 5.16 ลิตร/ชั่วโมง และมีคะแนนคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ซึ่งประกอบด้วย
ความมันวาว กลิ่น รสชาติ และการยอมรับอยู่ในอันตรภาคชั้นที่สูง



ลายมือชื่อนิสิต



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

๗ / พย / ๕๘

Nukrob Narkprasom 2005: Design and Development of Vacuum Distillation for Whisky. Master of Engineering (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Chouw Inprasit, D.Eng. 133 pages.
ISBN 974-9846-17-6

This research aimed to design and develop a prototype of vacuum distillator for whisky making. Optimum conditions for whisky distillation were investigated by using laboratory scale rotary evaporator at vacuum (210 mbar) and condenser temperature of 25°C. A prototype of vacuum distillatory was designed and fabricated. The performance of the machine was evaluated with three different distillation methods and four different rice wine to produced whisky. The optimum distillation conditions were identified based on production rate, % production yield, specific energy and sensory qualities of whisky. Besides sensory quality of whisky obtained from the prototype was compared with those from commercial scale distillator.

The optimum conditions for whisky distillation were 95°C of water bath temperature and 60.5°C of whisky temperature when using laboratory scale rotary evaporator. The best distillation method when using the prototype of vacuum distillator was the method which opens gas and vacuum pump simultaneously (distillation temperature of 55°C, at vacuum 210 mbar). Distillation was performed until production rate was below 20 ml/minute. Then the distillation temperature was increased around 5°C by adjusting controlling unit. With the recommended method to distill 30 liters of whisky, specific energy was relatively low at 1.71 kWh/l whereas the production rate was relatively high at 5.16 l/hr. Panelists gave relatively high scores for brightness, smell, taste and acceptability of whisky.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

7 / 21 / 48

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์มนต์ทิพย์ ชำของ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเทือง อุยาบริสุทธิ์กรรมการวิชาการ และผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาช่วยแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่สอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมกรรมการอาหาร สำหรับความรู้ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณบุคคลากร เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหารทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ และขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ สำหรับคำแนะนำและความห่วงใย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สำหรับกำลังใจ ความรักและความห่วงใย ตลอดจนการสนับสนุนให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนด้วยดีตลอดมา

นักรบ นาคประสม

ตุลาคม 2548

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (3) |
| สารบัญภาพ | (6) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์..... | 3 |
| ตรวจเอกสาร | 4 |
| การผลิตสาโท(wash)..... | 4 |
| การกลั่น..... | 13 |
| ชนิดของการกลั่น..... | 14 |
| มาตรฐานเหล้ากลั่น..... | 30 |
| ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกรกลั่นสาโท..... | 31 |
| การควบคุมของสุราโดยคอกซ์เย็น..... | 33 |
| อุปกรณ์และวิธีการ..... | 37 |
| อุปกรณ์ | 37 |
| วิธีการ | 41 |
| หมักสาโท..... | 41 |
| การทดลองการกลั่นสุราจากสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้ | |
| สุญญากาศ (Rotavapor) ขนาดห้องปฏิบัติการ..... | 41 |
| ออกแบบเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 44 |
| ทดสอบเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 47 |
| เปรียบเทียบสุรากลั่นจากเครื่องกลั่นต่างกัน โดยพิจารณาจาก | |
| การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส..... | 49 |
| การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์..... | 50 |
| ผลการวิจัย | 53 |
| ผลของการกลั่นสุราจากสาโทข้าวโดยใช้เครื่องระเหยชนิดสุญญากาศ | |
| (Rotavaper)ขนาดห้องปฏิบัติการ..... | 53 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| ออกแบบเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 57 |
| ผลของการหาวิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับ เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 64 |
| เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 69 |
| ผลของปริมาณสารโทที่ใช้ในการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับเครื่อง กลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 72 |
| ผลของปริมาณสารโทที่ใช้ในการกลั่นต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส..... | 75 |
| ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของสุรากลั่นซึ่งใช้ โมลาสเป็นวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องกลั่นต่างกัน..... | 78 |
| การวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์..... | 82 |
| สรุป..... | 85 |
| ข้อเสนอแนะ | 87 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง..... | 88 |
| ภาคผนวก | 90 |
| ภาคผนวก ก การคำนวณเพื่อการออกแบบ..... | 91 |
| ภาคผนวก ข แบบและภาพถ่ายเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 103 |
| ภาคผนวก ค คู่มือการใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 113 |
| ภาคผนวก ง ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... | 116 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | สูตรลูกแป้ง..... | 6 |
| 2 | ข้อดีและข้อเสียของการกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศ..... | 29 |
| 3 | ข้อดีและข้อเสียของการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ..... | 30 |
| 4 | คุณลักษณะทางเคมี..... | 31 |
| 5 | อุณหภูมิที่แอลกอฮอล์ชนิดต่างๆที่ความดันบรรยากาศของน้ำ สาโทเริ่มเปลี่ยนเป็นไอ..... | 32 |
| 6 | ผลของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ ในห้องปฏิบัติการที่สภาวะต่างๆ..... | 54 |
| 7 | ผลของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบแสดง วิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นที่แตกต่างกัน..... | 65 |
| 8 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 69 |
| 9 | การนำข้อเสียของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) มาปรับปรุงเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 71 |
| 10 | ผลของการกลั่นสาโทโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ที่ปริมาณการกลั่นแตกต่างกัน..... | 73 |
| 11 | การประเมินค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัส ที่ปริมาณการกลั่นต่างๆเปรียบเทียบกับปริมาณการกลั่น 10 ลิตร..... | 75 |
| 12 | การประเมินค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของสุรากลั่นที่ใช้เครื่องกลั่นต่างชนิดกัน เปรียบเทียบกับ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ..... | 78 |
| 13 | งบประมาณในการสร้างเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 82 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|--------------|--|------|
| ก1 | ค่าคงที่แอนโทนิน..... | 100 |
| ค1 | แบบใบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส..... | 113 |
| ง1 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของอัตราการผลิต ที่อุณหภูมิ water bath ต่างกัน..... | 117 |
| ง2 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ Yield ที่อุณหภูมิ water bath ต่างกัน..... | 118 |
| ง3 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของพลังงานจำเพาะ ที่อุณหภูมิ water bath ต่างกัน..... | 119 |
| ง4 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของปริมาณสุรากลั่น ที่ 35 องศาเซลเซียส(mL)ที่อุณหภูมิในการกลั่นและวิธีการกลั่นต่างกัน..... | 120 |
| ง5 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของอัตราการผลิต(L/hr) ที่อุณหภูมิในการกลั่นและวิธีการกลั่นต่างกัน..... | 121 |
| ง6 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ Yield ที่อุณหภูมิในการกลั่นและวิธีการกลั่นต่างกัน..... | 122 |
| ง7 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของพลังงานจำเพาะ(kWh/L) ที่อุณหภูมิในการกลั่นและวิธีการกลั่นต่างกัน..... | 123 |
| ง8 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของอัตราการผลิต(L/hr) ที่ปริมาณสาโทที่ใช้กลั่นแตกต่างกัน..... | 124 |
| ง9 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ Yield ที่ปริมาณสาโทที่ใช้กลั่นแตกต่างกัน..... | 125 |
| ง10 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของพลังงานจำเพาะ(kWh/L) ที่ปริมาณสาโทที่ใช้กลั่นแตกต่างกัน..... | 126 |
| ง11 | การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ปริมาณ การกลั่นสาโท 10 ลิตร เป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับ ปริมาณการกลั่นสาโท 20 30 และ 40 ลิตร | 127 |
| ง12 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะสีของสุรากลั่น..... | 128 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่ | หน้า |
|--------------|--|
| ง13 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะความใสของสุรากลั่น..... 129 |
| ง14 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะกลิ่นของสุรากลั่น..... 130 |
| ง15 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะรสชาติของสุรากลั่น..... 131 |
| ง16 | วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะการยอมรับของสุรากลั่น..... 132 |
| ง17 | การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งใช้สุรากลั่น โดยเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบเป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่น ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด..... 133 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 1 | แผนผังวิธีการทำลูกแป้ง..... | 8 |
| 2 | แผนผังวิธีการทำสาโทและเหล้าขาว..... | 12 |
| 3 | หม้อกลั่น Pot still..... | 14 |
| 4 | รูปร่างหม้อกลั่น..... | 15 |
| 5 | นมของแขน..... | 16 |
| 6 | แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Harold B..... | 16 |
| 7 | แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Geoff's..... | 17 |
| 8 | แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Walter..... | 18 |
| 9 | แสดงปฏิกิริยาการ Thumber..... | 18 |
| 10 | แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Rudenoise เมื่อเพิ่มถัง Thumper..... | 19 |
| 11 | หม้อกลั่น Reflux still..... | 20 |
| 12 | แบบหม้อกลั่น Reflux still..... | 21 |
| 13 | Fractionating column..... | 23 |
| 14 | หม้อกลั่นแบบ Bucket still..... | 24 |
| 15 | หม้อกลั่นแบบ Ice-Water still..... | 24 |
| 16 | กราฟจุดเดือดของหม้อกลั่นสุญญากาศที่ความดันต่างกัน..... | 26 |
| 17 | หม้อกลั่นสุญญากาศ..... | 27 |
| 18 | เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotaapor..... | 28 |
| 19 | คอยล์เย็นแบบ Flooded Coil..... | 34 |
| 20 | คอยล์เย็นแบบ Dry Expansion Coil..... | 35 |
| 21 | คอยล์เย็นแบบผิวเรียบ..... | 36 |
| 22 | คอยล์เย็นแบบแผ่นเรียบในรูปทรงต่างๆ..... | 36 |
| 23 | เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์..... | 37 |
| 24 | อุปกรณ์ที่ใช้วัดเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์..... | 38 |
| 25 | เครื่องวัดความหวาน..... | 38 |
| 26 | นาฬิกาจับเวลา..... | 38 |
| 27 | เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor..... | 39 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | | หน้า |
|-------------------|---|------|
| 28 | ปั๊มสุญญากาศแบบ water ring..... | 39 |
| 29 | Watt-hour Meter..... | 39 |
| 30 | เครื่องชั่งน้ำหนัก..... | 40 |
| 31 | เครื่องกลั่นสุราของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดนครราชสีมา..... | 40 |
| 32 | รูปแบบถังกลั่นที่จะออกแบบ..... | 44 |
| 33 | รูปแบบคอนเดนส์เซอร์ที่จะออกแบบ..... | 45 |
| 34 | รูปแบบท่อต่อเชื่อมที่จะออกแบบ..... | 46 |
| 35 | รูปแบบท่อรับผลิตภัณฑ์ที่จะออกแบบ..... | 46 |
| 36 | ถังกลั่น..... | 57 |
| 37 | คอนเดนส์เซอร์..... | 58 |
| 38 | ท่อต่อเชื่อม..... | 59 |
| 39 | ท่อรับผลิตภัณฑ์..... | 60 |
| 40 | ปั๊มสุญญากาศ..... | 61 |
| 41 | แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิ..... | 61 |
| 42 | เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 63 |
| 43 | อัตราการผลิตที่ปริมาณสาโทต่างกัน..... | 72 |
| 44 | สี และความใสของสุราที่กลั่น โดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ สุราที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุราที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ตามลำดับ..... | 79 |
| ภาพผนวกที่ | | |
| ก1 | ค่าของตัวประกอบ A ที่ใช้ในสูตรสำหรับถึงภายใต้แรงดันภายนอก..... | 95 |
| ก2 | ค่าของตัวประกอบ B ที่ใช้ในสูตรสำหรับถึงภายใต้แรงดันภายนอก..... | 96 |
| ข1 | แบบ 3 views standard แสดงเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ..... | 104 |
| ข2 | แบบ 3 views standard แสดงถังกลั่น..... | 105 |
| ข3 | แบบ 3 views standard แสดงฝาหม้อกลั่น..... | 106 |
| ข4 | แบบ 3 views standard แสดงคอนเดนส์เซอร์..... | 107 |
| ข5 | แบบ 3 views standard แสดงท่อต่อเชื่อม..... | 108 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่ | | หน้า |
|------------|---|------|
| ข6 | แบบ 3 views standard แสดงต่อรับผลิตภัณฑ์..... | 109 |
| ข7 | แบบ 3 views standard แสดงชุดประกอบเครื่องกลั่นสุญญากาศ..... | 110 |
| ข8 | เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบเมื่อนำมาประกอบเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ..... | 111 |

ออกแบบและพัฒนาการกลั่นสุรารายได้สภาวะสุญญากาศ

Design and Development of Vacuum Distillation for Whisky

คำนำ

การกลั่นเป็นกระบวนการแยกองค์ประกอบต่างๆในของผสมหนึ่ง โดยอาศัยความจริงที่ว่า มีบางองค์ประกอบในของผสมนั้นสามารถกลายเป็นไอได้ง่ายกว่าองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในของผสมดังกล่าว เมื่อไอเกิดขึ้นไอมือองค์ประกอบต่างๆ เหมือนของผสมเริ่มต้น แต่ในสัดส่วนที่ต่างกันซึ่งกำหนดโดยความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์ขององค์ประกอบเหล่านี้ ดังนั้นเมื่อในเฟสของไอจะมีสัดส่วนองค์ประกอบของผสมที่กลายเป็นไอได้ง่ายมากกว่าของผสมเริ่มต้น กระบวนการแยกจึงเกิดขึ้น(รุ่งนภา , 2541)

การกลั่นเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตสุรากลั่นจากปลายข้าว และกากน้ำตาลที่ผ่านการหมัก โดยใช้หลักการการระเหยตัวของสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าแล้วจึงทำการควบแน่นให้เป็นสารดังกล่าว (Ackland, 2003) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแยกเอทิลแอลกอฮอล์ออกจากสารผสมที่มีความเข้มข้นเอทิลแอลกอฮอล์ต่ำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น (รัชชัย และ เกรียงไกร, 2534)

ในการผลิตสุรากลั่น เพื่อส่งเสริมการผลิตสุรากลั่นชุมชน โดยใช้ปลายข้าวและกากน้ำตาล ซึ่งเป็นผลผลิตที่เหลือจากการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรที่สามารถแปรรูปเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยภูมิปัญญาชาวบ้านตามนโยบายในการสนับสนุนเศรษฐกิจชุมชนของรัฐบาล (ฐานเศรษฐกิจ, 2546) ระบบการผลิตสุรากลั่นในอุตสาหกรรมขนาดย่อมของชุมชนในปัจจุบันต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อกลั่นสุรา และไม่มีการควบคุมสภาวะการกลั่น ทำให้ประสบปัญหาคือกลิ่นได้คุณภาพไม่สม่ำเสมอ และวัสดุที่ใช้ทำเครื่องไม่สะอาด จึงยากแก่การขยายตัวสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรม

กระบวนการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้สามารถกลั่นสาโทได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 78 องศาเซลเซียส (Ackland, 2003) สามารถกลั่นสาโทได้เร็วกว่าการกลั่นที่สภาวะบรรยากาศ และยังประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน รูปแบบการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศนี้จะมีลักษณะ

เหมือนกับการรวมกันระหว่างการกลั่นโดยทั่วไป เพียงแต่จะทำให้เกิดการระเหยภายในห้องที่มีความดันต่ำ (ระบบสุญญากาศ) จะทำให้แอลกอฮอล์มีจุดเดือดต่ำกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่สภาวะความดันบรรยากาศ

แม้ว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์จำนวนมาก แต่เครื่องกลั่นนั้นต้องกลั่นที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้รสและกลิ่นของสาโทหายไป เครื่องกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งกลั่นแล้วได้รสและกลิ่นของสาโท สุรากลั่นมีคุณภาพ สามารถรองรับผลผลิตในอนาคตของชุมชน และยังสามารถลดการนำเข้าเครื่องต้มแอลกอฮอล์จากต่างประเทศ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าวโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ในระดับห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นสุราต้นแบบภายใต้สภาวะสุญญากาศ
3. เพื่อทดสอบทางประสิทธิภาพ และทางประสาทสัมผัสของเครื่องกลั่นสุราภายใต้สภาวะสุญญากาศต้นแบบ
4. วิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

ตรวจเอกสาร

สาโท เป็นเครื่องดื่มพื้นบ้านที่หมักจากข้าวเหนียว สาโทเป็นชื่อที่เรียกกันทางภาคอีสาน ส่วนในพื้นที่ภาคกลางเรียกว่าน้ำขาว ถ้าทำจากข้าวเหนียวขาว และถ้าทำจากข้าวเหนียวแดงจะเรียกว่า น้ำแดง บางท้องถิ่นเรียกว่า กะแซ่ แต่กระแซ่ในบางท้องถิ่นหมายถึงน้ำตาลเมา ซึ่งทำมาจากน้ำตาลสดของต้นตาล โตนดหรือมะพร้าว สาโท ตามความหมายในพระราชบัญญัติสุรา พ.ศ.2493 จัดรวมอยู่ในพวกสุราแช่ หมายถึงสุราที่ไม่ได้กลั่นและหมายความรวมถึงสุราแช่ที่ได้ผสมกับสุรากลั่นแล้ว แต่ยังมีดีกรีแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรีด้วย

ในต่างประเทศก็มีการผลิตเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์จากข้าวคล้ายๆกับสาโทของไทย เช่น Sake ของประเทศญี่ปุ่น Tapuy ของฟิลิปปินส์ Shonti, Bakhar และ Annam ของอินเดีย Makkari ของเกาหลี Chao-ching-chu ของจีน และ Prem ของบาห์ลีในอินโดนีเซีย การหมักในประเทศแถบตะวันออกไกลยังใช้ลูกแป้งเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อหมัก

สาโท เมื่อนำไปกลั่นเป็นสุราเรียก เหล้าขาว โดยทั่วไปจะมีแอลกอฮอล์ในช่วง 30-45 ดีกรี ในบางแห่งที่ทำเหล้าเถื่อนอาจมีดีกรีสูงกว่านั้น การกลั่นให้เป็นเหล้าจะเก็บได้นานขึ้น ปกติเมื่อกลั่นแล้วจะเก็บในภาชนะ ปิดด้วยฝาไม้ และปิดด้วยดินเหนียวหรือจี้ถ้าปิดทับอีกชั้น ซึ่งเป็นการบ่มที่ดี เพราะได้รับความเย็นใต้พื้นดิน ถ้าเก็บไว้หลายๆเดือนก็จะได้เหล้าที่มีคุณภาพดีมาก กลิ่นหอมของแอลกอฮอล์ผสมกลิ่นข้าวเหนียวรสชาตินุ่มนวลไม่บาดคอ

1. การผลิตสาโท (wash)

ลูกแป้ง เป็นแป้งเชื้อที่นำมาใช้ในการหมักอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ถ้าลูกแป้งนั้นเหมาะสำหรับการหมักข้าวหมาก โดยใช้เพื่อการหมักข้าวเหนียวหนึ่ง ให้ผลผลิตที่มีรสหวาน เรียกว่า ลูกแป้งข้าวหมาก ถ้าลูกแป้งเหมาะสำหรับการหมักแอลกอฮอล์ เรียกว่า ลูกแป้งเหล้า ลูกแป้งทั้งสองอย่างนี้แตกต่างกันในด้านชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ เพราะจุดประสงค์ในการหมักเพื่อให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน ลูกแป้งข้าวหมากใช้เพื่อต้องการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ส่วนลูกแป้งเหล้าใช้เพื่อต้องการจุลินทรีย์เพิ่มเติมโดยการหมักต่อไปให้เปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งลูกแป้งที่มีเชื้อจุลินทรีย์ผสมกันหลายอย่างไม่ได้ควบคุมชนิด และปริมาณที่แน่นอน อาจจะกำจัดเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆลงไปบ้าง โดยอาศัยวัตถุดิบที่เป็นแป้งอย่างเดียว และการใช้เครื่องเทศ จะทำให้

ชะงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้ ดังนั้นลูกแป้งข้าวหมากอาจจะนำมาหมักให้เป็นเหล้าหรือมีแอลกอฮอล์ก็ได้โดยการยืดเวลาการหมักให้นานออกไป

การทำลูกแป้งและการหมักแอลกอฮอล์มีการทำกันมานาน และปัจจุบันก็ยังใช้ในการผลิตอุตสาหกรรมสุรา จึงถือได้ว่าวิธีการทำลูกแป้งได้ปรับปรุงและพัฒนามานาน แต่การศึกษาและปรับปรุงด้านจุลินทรีย์ ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร เนื่องจากการทำลูกแป้งหรือมีลูกแป้งไว้ครอบครองเป็นสิ่งผิดกฎหมาย (พระราชบัญญัติสุรา, 2493) จึงต้องมีการปกปิดลักลอบทำและซื้อขายกัน ส่งผลให้ไม่สามารถทำการศึกษากันอย่างเปิดเผย

การใช้เชื้อจุลินทรีย์ผลิตแอลกอฮอล์ในรูปของลูกแป้งยังมีการทำกันอยู่ในปัจจุบัน ถึงแม้ว่าสามารถสร้างเชื้อให้อยู่ในรูปของเชื้อบริสุทธิ์ได้ แต่ในทางปฏิบัติสำหรับการนำไปใช้ทำได้ยาก ถ้าหากว่า มีความจำเป็นที่จะต้องผลิตแอลกอฮอล์ในระดับหมู่บ้านแล้ว การใช้ลูกแป้งเหล้า จะสะดวกมากกว่า เพราะง่ายต่อการนำไปใช้ และมีความคุ้นเคยรู้จักกันดี ถ้าหากว่ามีการปรับปรุงด้านจุลินทรีย์ให้มีเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการผลิตด้วย จะส่งผลดีต่อเศรษฐกิจยิ่งขึ้น

1.1 ส่วนประกอบที่สำคัญในการทำลูกแป้ง

1.1.1 แป้งข้าวเหนียว ใช้แป้งสด สำหรับการผลิต โดยเตรียมจากการโม่ ตำหรือ ปั่น ด้วยเครื่องให้เป็นผงละเอียด ทำให้แห้ง ร้อนด้วยตะแกรงร่อนแป้งทำขนม เพื่อให้ได้ความละเอียดตามต้องการ ซึ่งผงที่ได้ ถ้าผงละเอียดเกินไปจะไม่เหมาะต่อการผลิตลูกแป้งเหล้า

1.1.2 เครื่องเทศ ต้องบดเป็นผงละเอียด (ยกเว้นกระเทียม นิยมตำผสมลงไปทีหลัง) และแห้ง ชนิดและอัตราส่วนผสมของเครื่องเทศแตกต่างกัน แล้วแต่สูตรแต่ละราย

1.1.3 ลูกแป้งเชื้อเดิม ใช้เป็นแหล่งเชื้อจุลินทรีย์ที่จะขยายต่อไปในลูกแป้งรุ่นใหม่ จะต้องนำมาบดเป็นผงละเอียด แล้วเติมลงไปในส่วนผสมของลูกแป้งที่เตรียมใหม่ นอกจากนั้นยังนำไปใช้โรยตามผิวของลูกแป้งที่ปั้นใหม่ด้วย เพื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อ และเปิดโอกาสให้เชื้อเจริญตามผิวของลูกแป้งใหม่ด้วย ลูกแป้งจะต้องคัดเลือกจากลูกแป้งที่มีลักษณะดี อายุไม่นานเกินไป

1.1.4 น้ำ ต้องใช้น้ำสะอาด อาจจะเป็นน้ำฝน น้ำดื่ม ในบางรายอาจใช้น้ำดื่มที่ใส่
ชะเอมลงไปด้วย โดยมีความเชื่อว่าชะเอมอาจจะช่วยให้ลูกแป้งมีลักษณะดี แต่ยังไม่มียางงานวิจัย
อย่างละเอียดในเรื่องนี้

สูตรส่วนผสม สูตรส่วนผสมนั้นมีคำหรับหลายอย่างนอกจากนั้นยังสามารถดัดแปลง
ได้ซึ่งผลการทดลองยังไม่เป็นที่ยืนยันได้ว่าสูตรใดดีที่สุด ส่วนมากลักษณะของลูกแป้งที่ได้จากสูตร
ต่างๆมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ในที่นี้จึงขอยกตัวอย่างสูตรต่างๆไปไว้ 1 สูตร เพื่อเป็นแนวทางในการ
ทำลูกแป้งเหล่านี้

ตารางที่ 1 สูตรลูกแป้งเหล่านี้

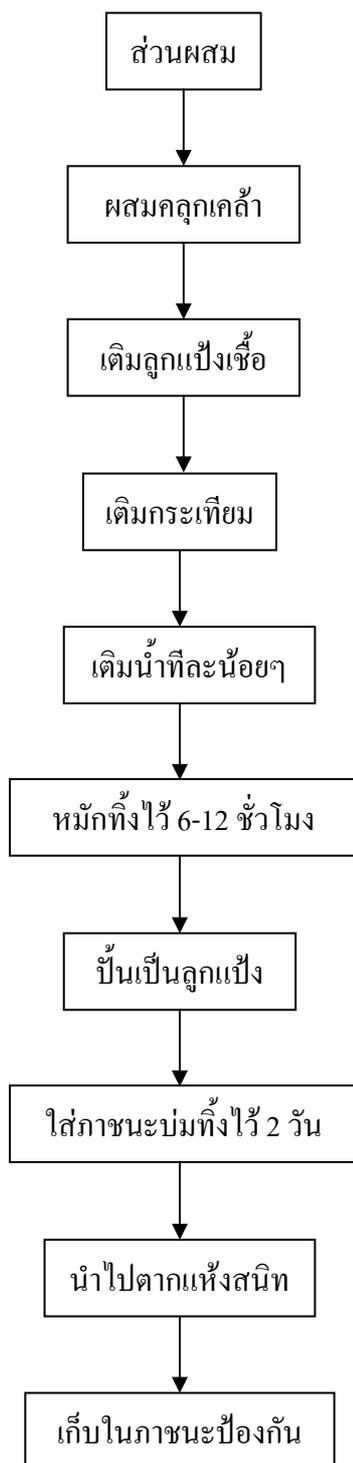
| ส่วนประกอบ | น้ำหนัก (กรัม) |
|--------------|----------------|
| แป้งข้าวเจ้า | 200.0 |
| ชะเอม | 3.0 |
| จิง | 3.0 |
| ข่า | 3.0 |
| คิปลิ | 0.5 |
| พริกไทย | 3.0 |
| กระเทียม | 3.0 |

ที่มา: สุราษฎร์ (2535)

ใช้แป้งข้าวเจ้า เครื่องเทศ ตามสูตร แล้วผสมคลุกเคล้ากัน (ยกเว้นกระเทียม) เติมลูก
แป้งเชื้อเค็มที่เตรียมไว้ลงไป 20 กรัม (10%) คลุกให้เข้ากันแล้วเติมกระเทียม โดยเติมน้ำทีละน้อย
ขณะที่คลุก จนกระทั่งแป้งส่วนผสมเหมาะที่จะปั้นเป็นลูกได้ หมักทิ้งไว้ประมาณ 6-12 ชั่วโมง ปั้น
เป็นลูกแป้งครึ่งวงกลม (ถ้าหากปริมาณน้ำไม่พอกับการปั้น ให้ปรับด้วยการเติมแป้งหรือเติมน้ำลง
ไปเล็กน้อย) ใส่ภาชนะพวกตะแกรง ถ้าจะปุตะแกรงก่อนวางลูกแป้ง จะต้องใช้ใบฟุ้งที่ไม่ดูดน้ำ
เช่นใบตองเป็นต้น นำไปบ่มให้เชื้อราเจริญ โดยปกคลุมที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นลักษณะอากาศและ
อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ระยะเวลาของการบ่มประมาณ 2 วัน เมื่อเชื้อราขึ้นฟูตาม
ผิวของลูกแป้งแล้ว นำไปตากให้แห้งสนิท เก็บลูกแป้งใส่ภาชนะที่มีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันความชื้น

การตากแดดนอกจากจะเป็นการลดความชื้นของลูกแป้งแล้ว ยังทำให้เชื้อราสร้างสปอร์มากขึ้นด้วย ซึ่งแผนผังการทำลูกแป้งแสดงในภาพที่ 1

ความชื้นในอากาศและอุณหภูมิมีส่วนเกี่ยวข้องกับลักษณะของลูกแป้ง เพราะการระเหยน้ำกับความชื้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ถ้าราเจริญได้เต็มที่พอดีกับลูกแป้งแห้งสนิทก็จะได้ลูกแป้งมีลักษณะคุณภาพดี แต่ถ้าการระเหยของน้ำช้าเกินไปเพราะความชื้นในอากาศสูง เช่นระหว่างมีฝนตกชุกก็จะทำให้ลูกแป้งบูดเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสถานที่บ่มควรจะเป็นที่ระบายอากาศได้ดี ไม่มีความชื้นมาก อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ควรมีส่วนช่วยในการป้องกันการปะปนของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆที่ไม่ต้องการ เช่น การมีม่านกันป้องกันสปอร์ของเชื้อต่างๆได้ ที่ใช้บ่มเป็นประจำจะมีส่วนได้เปรียบเกี่ยวกับเชื้อบริเวณนั้นเป็นเชื้อที่มีอยู่ในลูกแป้งเป็นส่วนใหญ่สะสมอยู่มากทำให้โอกาสการเน่าเสียของลูกแป้งน้อยลงได้



ภาพที่ 1 แผนผังวิธีการทำลูกแป้ง

ที่มา: จรูญ และ มนตรี (2535)

1.2 การปรับปรุงด้านจุลินทรีย์ของลูกแป้ง

จากการศึกษาทดลองทางด้านจุลินทรีย์ในลูกแป้งเหล้า พอจะสรุปได้ว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลได้แก่ *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus niger*, *Amylomyces rouxii*, *Endomycopsis fibuligera* ส่วนจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้แก่ เชื้อ *saccharomyces cerevisiae* การค้นหาสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการหมักยังคงทำการศึกษาอยู่ในหลายสถาบัน การที่จะใช้สายพันธุ์ที่ตรงกันเป็นเชื้อผสมในลูกแป้งย่อมทำได้ และสามารถปรับปรุงให้ได้ลูกแป้งที่มีลักษณะและคุณภาพดีขึ้น

Fahrasmene (1985) ได้ศึกษาการทดสอบยีสต์ต่างๆที่ใช้ในการหมักรัมให้มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูง พบว่า ยีสต์ที่ใช้ในการหมักรัมดีที่สุดคือ ยีสต์สกุล *Saccharomyces* เปรียบเทียบกับยีสต์สกุล *Schizosaccharomyces* พบว่ายีสต์สกุล ทั้งสองมีคุณสมบัติของกรดโครงสร้าง กรดมะนาวที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อการหมักรัม

อุณหภูมิจนิตของน้ำผลไม้ และวิธีในการเติมน้ำตาล ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ของ *Saccharomyces ellipsoideus* ในน้ำสำ ซึ่งปัญหาไม่มีเพียงแต่ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจ แต่ที่สำคัญที่สุดคือการเชื่อมต่อระหว่างผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติ กับการทำให้ไวน์มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูง (Hohl and Cruess, 1936) ซึ่งวิธีทำให้ไวน์มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูง มีวิธีทำโดยใส่เชื้อลงในน้ำองุ่นหมักจนกระทั่งเหลือ 5-10 Brix จากนั้นจึงใส่น้ำองุ่นหรือลูกองุ่นลงไปซึ่งเติมน้ำตาลและสารกระตุ้นการเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ จากการทดลองนี้ได้ไวน์ที่มีแอลกอฮอล์ 20 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาตร (Cruess, 1916) โดยทั่วไปแล้วน้ำผลไม้ที่จะนำมาหมักควรใส่น้ำตาลให้มีความหวาน 35 Brix ส่วนอุณหภูมิที่ใช้หมักควรอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส (Eoff, 1929)

ในการทดลองหมักสาโทโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์พบว่า เชื้อ *Rhizopus oryzae* กับ *Saccharomyces cerevisiae* หรือ *Amylomyces rouxii* กับ *Saccharomyces cerevisiae* ก็สามารถหมักให้สาโทที่ดีและมีแอลกอฮอล์สูงถึง 15 % ถ้าคำนึงถึงการเตรียมกล้าเชื้อแล้ว การเตรียมสปอร์ของ *Rhizopus* เพื่อเป็นกล้าเชื้อทำได้ง่าย ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะมีจุลินทรีย์อยู่หลายชนิดในลูกแป้งก็ตาม แต่เชื้อที่จำเป็นจริงๆมีเพียง 2 เชื้อคือ เชื้อที่ย่อยแป้งเป็นน้ำตาล โดยเฉพาะ *Rhizopus* และเชื้อที่หมักน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์คือ *Saccharomyces* เท่านั้น

การเก็บรักษาลูกแป้งเหล่า การเก็บลูกแป้งต้องแน่ใจว่าลูกแป้งนั้นแห้งสนิท เก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท สามารถเก็บไว้ได้นาน โดยไม่เสียคุณสมบัติของเชื้อ จากการทดลอง และรายงานจากหลายๆ แห่ง สามารถเก็บได้ถึง 18 เดือน ยังไม่เสียคุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ ศัตรูที่สำคัญที่จะทำให้ลูกแป้งคือ แมลงที่กินแป้ง วิธีป้องกันวิธีหนึ่งคือ การอบด้วยความร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งอบ 3 วันต่อครั้ง และอบติดต่อกัน 3 ครั้ง จะทำให้ลูกแป้งปราศจากการรบกวนจากแมลงได้ (สุราษฎร์, ม.ป.ป.)

Cerrutti (1990) ได้ศึกษาผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า โดยปกติเชื้อควรอยู่ในสภาวะ water activity อยู่ในช่วง 0.97-0.93 , pH 3-6 และ การใส่โพแทสเซียมซอร์เบท(KS) 0-1,000 ppm ซึ่งถ้า a_w ต่ำกว่าตั้งแต่ 0.89 ลงไปจะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ

1.3 การหมักสาโท

สาโทหรือบางพื้นที่เรียกว่า “ น้ำขาว ” เป็นภูมิปัญญาการทำเหล้าแช่ชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่จะได้จากการหมักข้าวเหนียวกับลูกแป้งที่ทำจากสมุนไพรและแป้ง มีแอลกอฮอล์ประมาณ 10 ถึง 15 % มีทำกันในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง มีลักษณะเป็นของเหลวสีขุ่น รสหวาน หอม เฝื่อนเล็กน้อย ถ้าหมักจากข้าวเหนียวดำจะมีรสชาติอร่อย ในพื้นที่ภาคกลางอาจมีการใช้ข้าวเจ้าในการผลิตสาโท แต่ไม่ค่อยนิยม รสชาติของสาโทขึ้นอยู่กับความเหนียวของข้าว ถ้าข้าวมีความเหนียวมาก จะทำให้สาโทมีรสชาติอร่อย โดยแผนผังวิธีการทำสาโทแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งวิธีการผลิตมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1.3.1 นำข้าวเหนียวหนึ่งสุกมาล้างน้ำให้หมดเมือก สะเด็ดน้ำแล้วผึ่งให้แห้ง

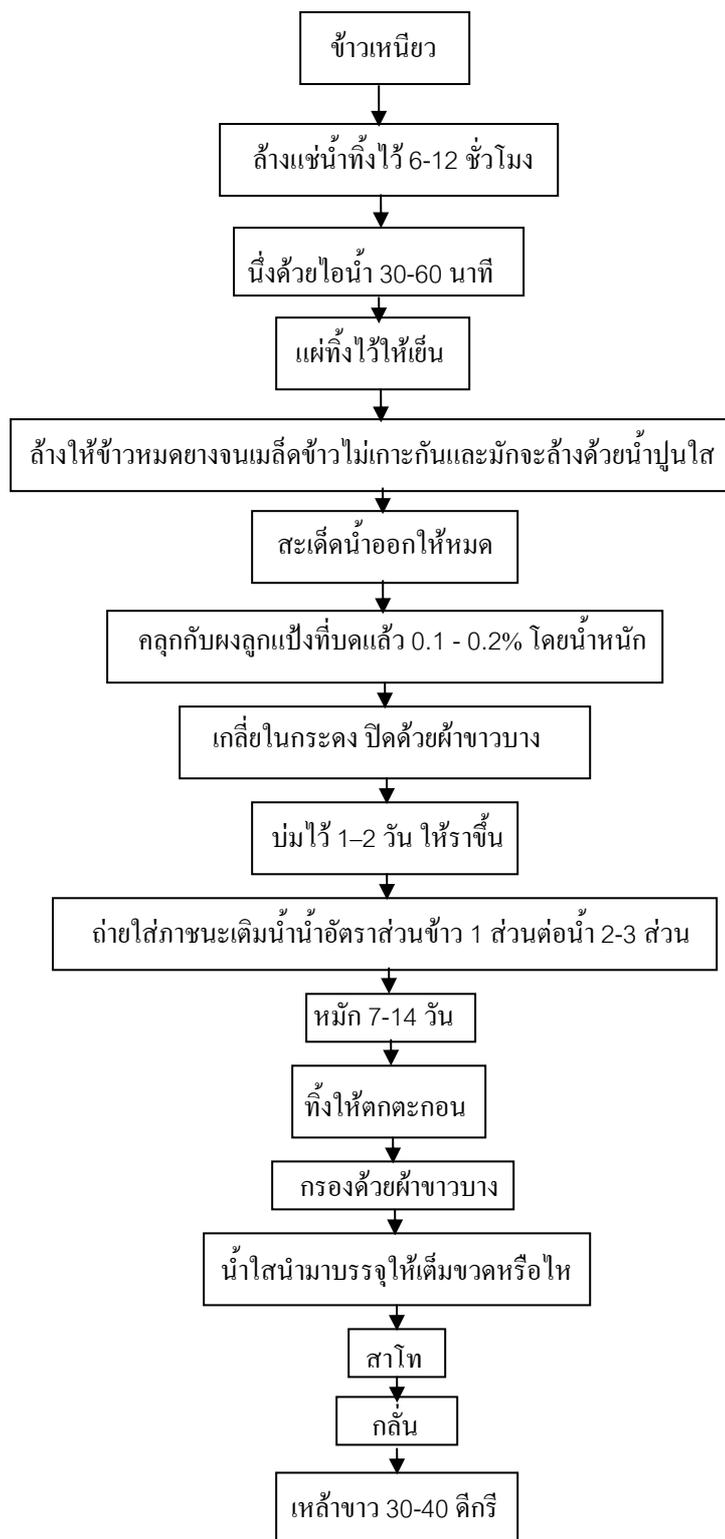
1.3.2 ผสมคลุกเคล้าหัวเชื้อ (ลูกแป้ง) 0.1 % ให้ทั่ว

1.3.3 นำไปหมักในภาชนะปากแคบ ทำรูไว้ตรงกลางถึงก้นภาชนะใช้ผ้าขาวบางคลุมปากภาชนะไว้

1.3.4 เมื่อครบ 3 วัน หรือ 72 ชั่วโมง เติมน้ำดื่มสะอาดประมาณ 2 เท่า แล้วปิดปากภาชนะให้มีช่องระบายอากาศออกได้เล็กน้อยหรืออุดด้วยสำลี

1.3.5 เมื่อครบ 7 วัน เปิดออกมารอง บรรจุขวด ใช้ดื่มเป็นสารโอสถได้ทันที

1.3.6 นำเชื้อด้วยโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์(KM_2S_5) นำไปพาสเจอร์ไรส์ที่ 75 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วบรรจุขวดจะเก็บไว้ได้นานเกิน 1 เดือน (สมโภชน์, 2546)



ภาพที่ 2 แผนผังวิธีการทำสาโทและเหล้าขาว

ที่มา: ดัดแปลงจาก จรูญ และ มนตรี (2535)

จากแผนผังวิธีการทำสาโท พบว่า การทำสาโทหรือน้ำขาว มีการเติมน้ำลงไปในช่วงการหมัก เมื่อดักข้าวจะลอยขึ้นมาบนผิวหน้า ใช้เวลาหมักราว 2 อาทิตย์ สามารถกรองเอามาดื่มได้ น้ำนั้น มีสีขาวขุ่นเรียกว่า น้ำขาว ถ้าทำจากข้าวเหนียวแดง สีแดงจะถูกสกัดออกมาในช่วงการหมักได้น้ำแดง เนื่องจากกรองด้วยผ้าขาวบางธรรมดา จึงไม่ใส การที่ไม่พาสเจอไรส์จึงเก็บไม่ได้นาน ปกติก็ต้องรีบรับประทานเพราะถ้าทิ้งไว้นานจะเปรี้ยว เนื่องจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดน้ำส้มสายชูเจริญขึ้นมา ทำให้เปรี้ยวไม่อร่อย ปกติถ้าจะเก็บไว้ดื่มวันต่อๆไปก็จะมี การเติมน้ำตาลไปเรื่อยๆให้เกิดการหมักเรียกการเติมน้ำตาลว่าเป็นการ “ถ่วง” ถ้ายีสต์ยังหมักต่อไปก็จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกเจริญไม่ได้ ทำให้เก็บได้นานขึ้น บางแห่งเติมน้ำลงไปให้พอท่วมตรงกลางทำเป็นหลุมพอให้ชั้นเล็กๆดักน้ำขาวมาดื่ม แล้วเติมน้ำฝนลงไปเท่าเดิมเพื่อดื่มในวันรุ่งขึ้น จากการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์พบว่าสาโทที่มีคุณภาพดีจะมีแอลกอฮอล์ประมาณ 15 ดีกรี โดยทั่วไป จะมีประมาณ 12 ดีกรี รสออกเปรี้ยวเล็กน้อย และบาดคอ ยังได้กลิ่นยีสต์ สีขุ่น ปกติสาโทมักจะดื่มโดยใช้กะละมะพร้าวหรือขันน้ำ (จรรยา และ มนตรี, 2535)

2. การกลั่น

การกลั่น (distillation) เป็นกระบวนการแยกสารที่นิยมมากในอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งอาศัยความแตกต่างความสามารถในการระเหย (volatility) หรือความแตกต่างของจุดเดือดของสารที่ต่างกันในการแยกองค์ประกอบของสารออกจากกัน ในขณะที่ทำการกลั่น วัฏภาคไอ ซึ่งมีความร้อนภายในสูงจะลอยขึ้นมาสัมผัสกับวัฏภาคของเหลวที่มีความร้อนภายในต่ำกว่า ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลและความร้อนพร้อมกันคือ สารองค์ประกอบมีอยู่ในไอ จะถ่ายเทความร้อนให้กับของเหลวที่สัมผัส ทำให้ไอเหล่านี้อกลายเป็นของเหลว (เกิดการควบแน่น) ส่วนของเหลวที่มีอยู่เดิมเมื่อได้รับความร้อนจากไอที่ควบแน่นจะเกิดการเปลี่ยนวัฏภาคกลายเป็นไอขึ้นไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วของเหลวจะมีองค์ประกอบของสารเหมือนกัน เพียงต่างกันที่ปริมาณสารองค์ประกอบเท่านั้น ฉะนั้นสารองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่า ก็ย่อมมีโอกาสระเหยกลายเป็นไอบากกว่า ความเข้มข้นของสารที่ระเหยง่ายจะอยู่ในวัฏภาคไอบาก และความเข้มข้นของสารที่ระเหยยากกว่าจะมากในวัฏภาคของเหลว จึงเป็นการแยกสารองค์ประกอบออกจากกันได้ ซึ่งการที่จะเกิดการกลั่นแยกสารได้ดังนี้ จะต้องคำนึงถึงปริมาณความร้อนที่ต้องให้ระบบ รวมทั้งความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารประกอบนั้นด้วย (รัชชัย และ เกรียงไกร, 2534)

3. ชนิดของการกลั่น

ชนิดของการกลั่นจะแบ่งตามสภาวะที่กลั่นได้ 2 แบบ คือการกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศกับการกลั่นที่สภาวะสุญญากาศ

3.1 การกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศ

การกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศเป็นการกลั่นที่ความดัน 1 atm จะกลั่นเอทานอลที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียสโดยชนิดของเครื่องกลั่นสุราจะมีด้วยกัน 5 แบบ คือ

3.1.1 Pot still เป็นหม้อกลั่นที่ไม่สลับซับซ้อน มีการแยกส่วนอย่างชัดเจนประกอบไปด้วยส่วนของการกลั่น ส่วนของการรวมและควบแน่น ไอแอลกอฮอล์จากการต้ม อาจมีส่วนของการ Thumper เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ วิธีนี้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 40-60% ซึ่งมีรสชาติดี ถ้าผ่านการกลั่น Pot still อีกครั้งจะเพิ่มความบริสุทธิ์ถึง 70-85% แต่สูญเสียรสชาติเล็กน้อย แบบ Pot still จึงนิยมใช้ตามโรงงานกลั่นสุราต่างๆ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 ก. หม้อกลั่นของ Pot still

ข. ชุดหม้อกลั่น Pot still ประกอบด้วย หม้อกลั่น และถังควบแน่น

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

a. ปัจจัยที่ต้องพิจารณา

1.) รูปร่างหม้อกลั่น



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ก. ลักษณะหม้อกลั่น แบบหัวหอม

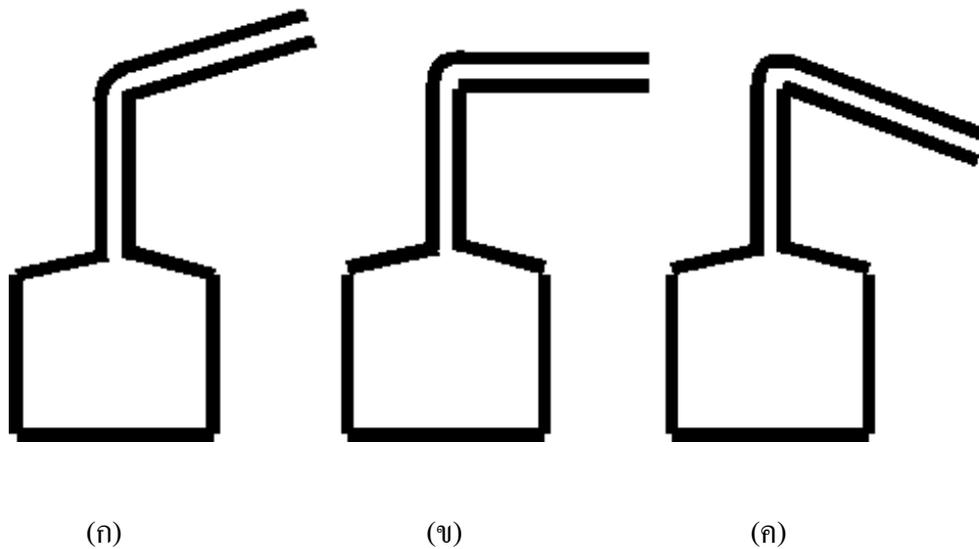
ข. ลักษณะหม้อกลั่นแบบลูกแพร์

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

รูปร่างหม้อกลั่นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อรสชาติของสุรา ถ้าหม้อมีบริเวณด้านล่างคอคอดอ้วน และคอกว้าง จะส่งผลให้ไอต่างๆสามารถระเหยขึ้นไปได้ง่าย ผลผลิตมาก แต่มีสิ่งเจือปนมาก เปรอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่ำ ในโรงงานสุราจะมีหม้อกลั่น 2 แบบ แบบแรกเรียกว่า wash still จะมีลักษณะบริเวณด้านล่างคอคอดอ้วน และคอกว้าง เพื่อกลั่นวัตถุดิบขั้นต้น อีกแบบเรียก spirit still จะมีลักษณะบริเวณด้านล่างคอคอดผอมกว่าแบบแรก และคอแคบกว่า เพื่อกลั่นให้ได้สุราที่มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูงกว่าเดิม

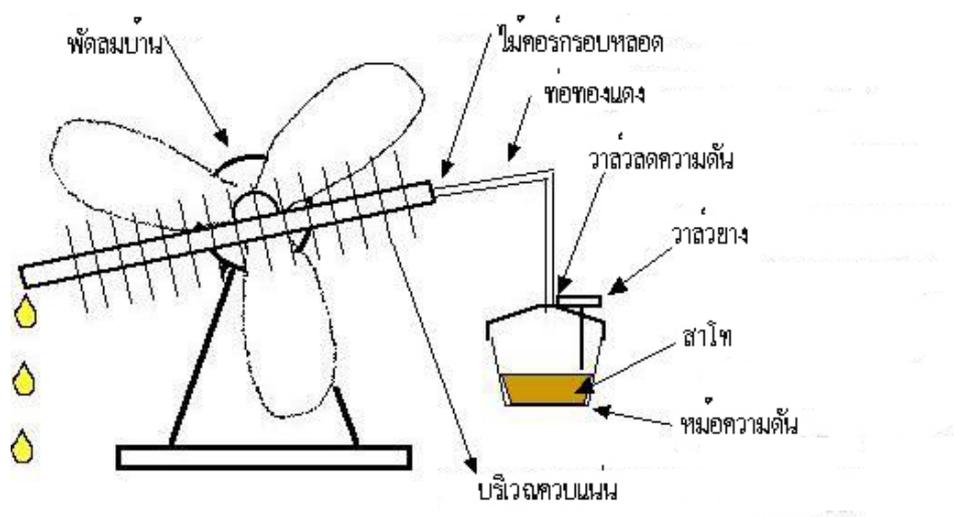
2.) มุมของแขน

มุมของแขนหม้อกลั่นเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อรสชาติสุรา หม้อกลั่นที่มีมุมของแขนงอลง จะได้สุรากลั่นที่ไม่สะอาด เนื่องจากมีไอบางส่วนควบแน่นบริเวณข้องอ และไหลลงผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้มีสิ่งเจือปนในจำนวนมากในสุรากลั่น



ภาพที่ 5 ก.ลักษณะมุมของแขน Pot Still งอขึ้น 30 องศา
 ข.ลักษณะมุมของแขน Pot Still ขนานกับพื้น
 ค.ลักษณะมุมของแขน Pot Still งอลง 30 องศา
 ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

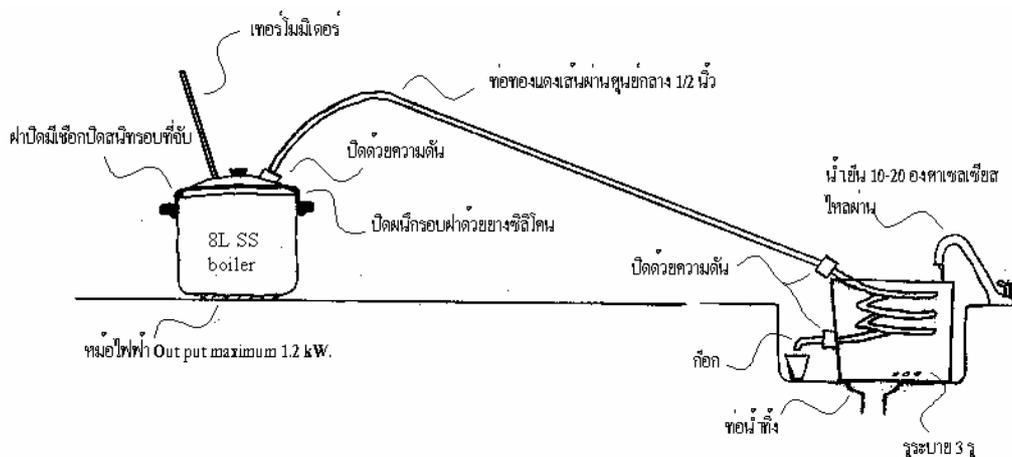
3.) แบบหม้อกลั่น Pot still



ภาพที่ 6 แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Harold B
 ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

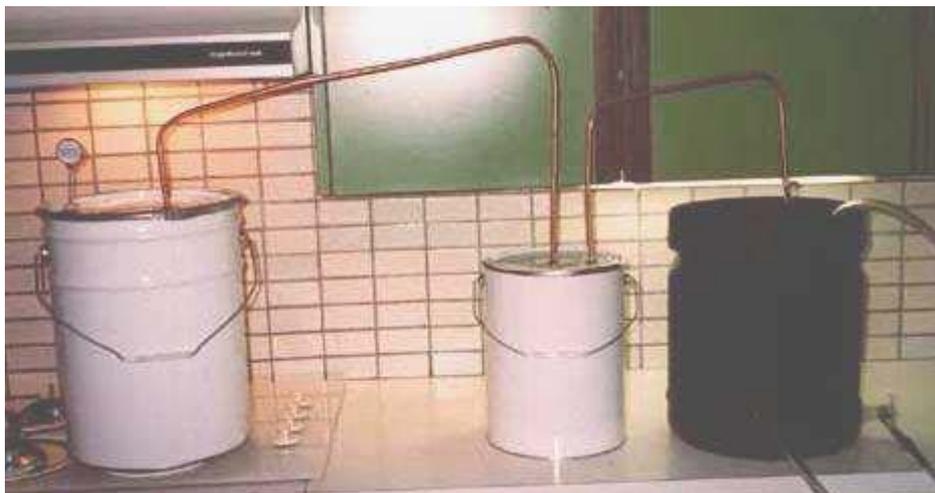
แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Harold B (2003) แสดงในภาพที่ 6 เป็นหม้อกลั่นที่ราคาถูกและง่ายต่อการทำ โดยประกอบด้วยหม้อความดัน เทอร์โมมิเตอร์ในไม้ก๊อก วาล์วยาง วาล์วความดัน ท่อต่อจากหม้อใช้ทองแดงยาว 1 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว มีไม้ก๊อกรอบท่อเข้าคอนเดนเซอร์ และ Heater ขนาด 1500 วัตต์ รอบๆ ไม้ก๊อกใช้พดลมเป่าช่วยในการควบแน่น

แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Geoff's (2003) แสดงในภาพที่ 7 ประกอบด้วยหม้อไฟฟ้าที่ Output Maximum ตั้งไว้ 1.2 kW ฝาปิดมีเชือกปิดสนิทรอบที่จับเพื่อป้องกันอากาศออกตามรอยร้าว ปิดผนึกรอบฝาด้วยยางซิลิโคน เทอร์โมมิเตอร์เจาะทะลุผ่านยาง ท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 1/2 นิ้ว ปลายท่อทั้งสองเปิด ถึงคอนเดนเซอร์เป็นถึงพลาสติกรูปทรงกระบอกมีน้ำเย็น 10 – 20 °C ไหลเต็มถึง มีรูระบายออก 3 รูด้านล่าง ขดทองแดงข้างใน และมีก๊อกเพื่อให้เหล้าที่ผ่านการควบแน่นไหลออก



ภาพที่ 7 แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Geoff's

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

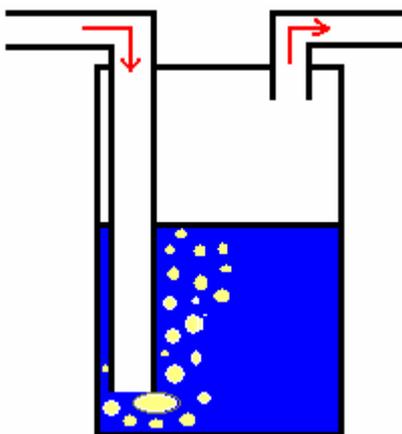


ภาพที่ 8 แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Walter

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

แบบหม้อกลั่น Pot still ของ Walter แสดงในภาพที่ 8 ประกอบด้วยถังกลั่น ถัง Thumper ถังคอนเดนส์เซอร์ และท่อทองแดงต่อจากถังกลั่นไปถึง Thumper จากถัง Thumper ไปถึงคอนเดนส์เซอร์ ถังกลั่นมีเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ ให้ความร้อนจากด้านล่างของถัง ถังคอนเดนส์เซอร์มีคดท่อทองแดงแบบสปริงอยู่ด้านใน

b. หลักการ Thumper, Doublers & Slobber Boxes



ภาพที่ 9 แสดงปฏิกิริยาการ Thumper

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

หลักการการทำงานของ Thumper เมื่อหม้อกลั่นเริ่มกลั่นสาโทที่มีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 15% ได้ไอเอทานอลที่มีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 40% ที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส ผ่านถึง Thumper ไอเอทานอลสัมผัสกับน้ำ แต่เพราะว่าน้ำเย็นกว่าไอของเอทานอลจึงทำให้ไอเอทานอลทั้งหมดควบแน่นละลายในน้ำ ช่วงเวลาต่อมา น้ำในถัง Thumper เริ่มร้อนจากส่วนประกอบของเอทานอลในถังที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนร้อนได้ที่จึงเกิดการกลั่นครั้งที่สองเกิดขึ้นหรือเรียกว่า Thumper การ Thumper จากส่วนประกอบของเอทานอลในการกลั่นครั้งแรกมีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 40 % เมื่อมีการกลั่นครั้งที่สองหรือผ่านถึง Thumper เอทานอลจะมีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์เพิ่มขึ้น 75-80 % ซึ่งเกิดอย่างอิสระ โดยไม่มีการเติมสารและการให้ความร้อนรอบข้าง

การ Thumper นั้นเป็นการทำให้เกิดการกลั่น 2 ครั้ง จากครั้งแรกสาโทที่มีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 15% ออกมามีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 40% และเข้าสู่ถึง Thumper ได้ เหล้าขาวมีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 75-80%



ภาพที่ 10 หม้อกลั่น Pot still ของ Rudenoise's เมื่อเพิ่มถึง Thumper
ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

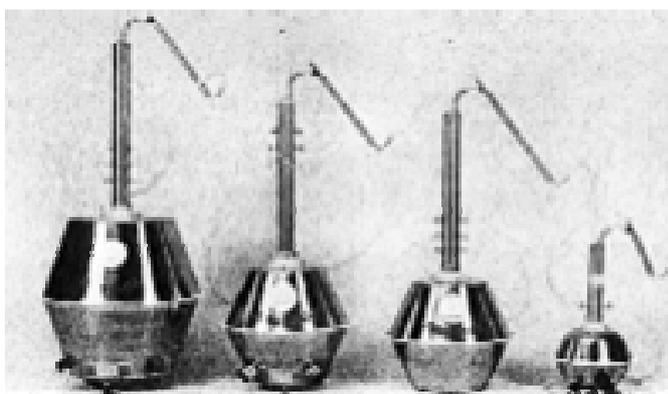
c. การทำ Thumper ให้มีประสิทธิภาพตามต้องการ

เมื่อวิเคราะห์หลักการ Thumper พบว่า ถ้าปริมาตรของถัง Thumper มีขนาดเล็ก การให้ความร้อนมากจะทำให้ของเหลวถึงจุดเดือดไว แต่มีเปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์ต่ำ เนื่องจากถัง Thumper มีขนาดเล็ก การให้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้เกิดฟองล้นออกจากถัง Thumper ส่งผลให้ฟองที่ไม่ใช่เอทานอลบริสุทธิ์ออกมาปนในถังรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการ Thumper ให้มีประสิทธิภาพ นั้นควรจะต้องเพิ่มขนาดของ Thumper ให้มีขนาดใหญ่ ซึ่งถังขนาดใหญ่จะดีกว่าถังขนาดเล็ก และที่สำคัญเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ของวัตถุดิบเริ่มต้นควรมีเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสม

3.1.2 Reflux still มีหลายขั้นตอนในการกลั่นหนึ่งครั้ง โดยหลักการทำงาน คือเมื่อให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นจนมีไอของสาโทออกมา ไอที่ออกมาจากหม้อกลั่นจะมีการรวมในชั้นตัวควบแน่น และยอมให้ไอที่ควบแน่นไหลลงไปรวมที่หม้อกลั่นอีกครั้ง ซึ่งสุราที่กลั่นที่ได้จะเหมือนกับสุราที่กลั่นโดยหม้อกลั่น Pot still ซ้ำกัน 2-3 ครั้ง แต่แบบ Reflux จะทำการกลั่นอย่างต่อเนื่อง และของเหลวที่ควบแน่นจะช่วยทำความสะอาดไอ ทำให้เพิ่มความบริสุทธิ์ ขึ้นที่อยู่บนสุด มีการไหลของของเหลวมาก ความบริสุทธิ์ของผลผลิตก็จะเกิดขึ้น ประโยชน์ของวิธีนี้คือทำให้ได้เหล้าที่สะอาด



(ก)



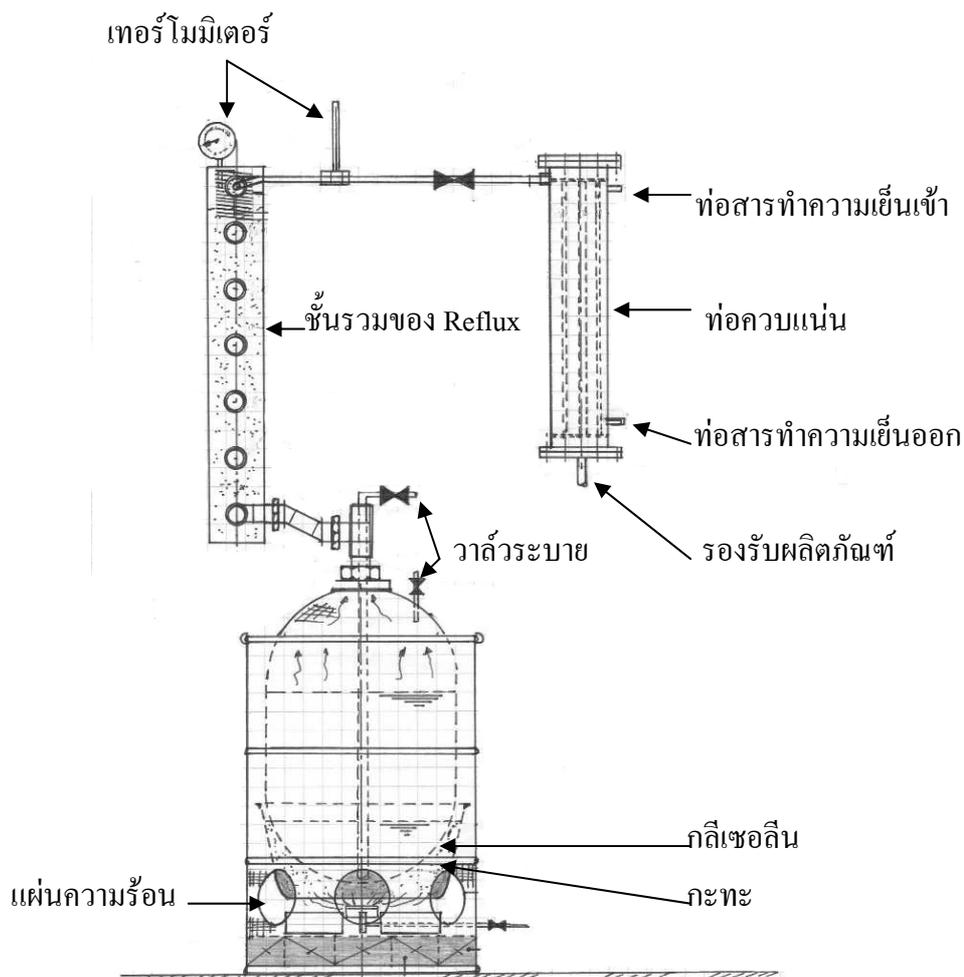
(ข)

ภาพที่ 11 ก. หม้อกลั่น Reflux Still

ข. หม้อกลั่น Reflux Still ขนาดต่างๆ

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

หม้อกลั่นแบบ Reflux still จะได้อิที่สะอาดจำนวนมาก ยังลดน้ำและส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ต่างๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดมีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูง และบริสุทธิ์ การทำแบบ reflux ควรเก็บผลิตภัณฑ์ที่ชั้นบนสุด และทำความเย็นโดยใช้น้ำหล่อล้นรอบด้านนอกของท่อ หรือใช้ผ่านท่อคู่ ทะลุผ่านชั้นบน



ภาพที่ 12 แบบหม้อกลั่น Reflux still

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

ทั้งแบบ Pot still และแบบ Reflux still เหมือนกันตรงที่ผลผลิตออกมาเป็นของเหลว แต่ต่างกันตรงที่แบบ Pot still จะเป็นไอรระเหยไปควมแน่นกับคอนเดนเซอร์โดยแบบ Pot still จะเป็นการกลั่นสาขาโทครั้งเดียว ได้เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 40%-60% แต่แบบ Reflux still จะ

เป็นการกลั่นแบบหลายครั้งจะมีการรวบรวมไอน้ำเป็นชั้นๆก่อนเข้าสู่คอนเดนเซอร์ และนำไปกลั่นตัวจะทำให้ได้เหล้ากลั่นออกมา ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสะอาด บริสุทธิ์ รสชาติดี มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูงถึง 75%-96%

วัสดุที่ใช้ทำเครื่องและอุปกรณ์สำหรับการกลั่นของโรงงานสุราในส่วนที่สัมผัสกับไอนิยมใช้ทองแดงเนื่องจากทองแดงจะทำให้สุรากลั่นมีคุณภาพดี ลดปัญหาทางด้านกลิ่นเหม็นไหม้ แต่ในการใช้ทองแดงในการทำนั้นในการม้วนเป็นขดทำได้ยาก ราคาต้นทุนสูงกว่าใช้สแตนเลส

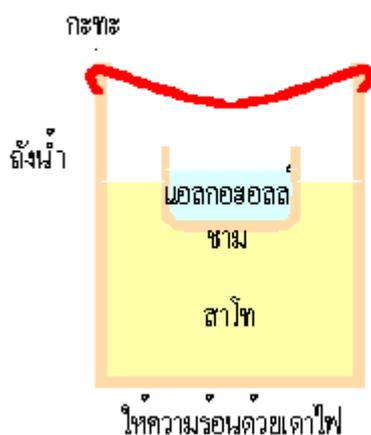
3.1.3 Fractionating column เป็นการกลั่นลำดับส่วน มีหลักการทำงานคล้ายกับ Reflux still คือมีการรวมที่ระเหยในชั้นควบแน่น และยอมให้อไอน้ำที่ควบแน่นและไหลลงไปรวมที่หม้อกลั่นอีกครั้ง ซึ่งทำอย่างต่อเนื่อง แต่ Fractionating column จะควบแน่นทั้งหมดที่ด้านบนไอน้ำที่ควบแน่นประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จะกลับลงไปที่ชั้นล่างเพื่อกลั่นอีกครั้งจะมีชั้นสูงกว่าแบบ Reflux still และชั้นควรวสูงประมาณ 600-1200 mm วิธีนี้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95% ซึ่งจะไม่มียาพิษอื่น ๆ หรือสิ่งเจือปนในสุรากลั่น



ภาพที่ 13 Fractionating column

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

3.1.4 Bucket Still เป็นหม้อกลั่นที่ไม่ยุ่งยาก โดยมีภาชนะลอยน้ำไว้รองรับแอลกอฮอล์ ปกคลุมด้วยพลาสติกและกะทะ วางกะทะอยู่ด้านบนเพื่อช่วยในการควบแน่นให้ตกตรงกลางที่ ภาชนะรองรับแอลกอฮอล์ กระบวนการนี้ใช้เวลานานในการกลั่นแอลกอฮอล์และหม้อกลั่นมีความ แข็งแรงน้อย แต่ง่ายต่อการใช้งาน

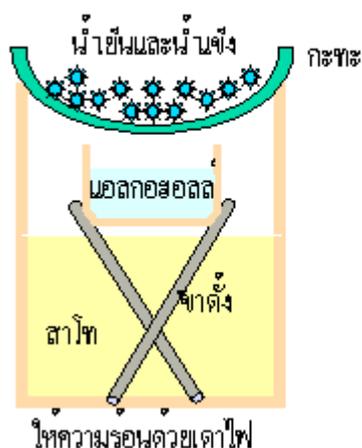


ภาพที่ 14 หม้อกลั่นแบบ Bucket Still

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

3.1.5 Ice-Water still หม้อกลั่นประกอบด้วยส่วนของการกลั่นมีถึงใส่วัตถุดิบและให้ความร้อนจากด้านล่าง ส่วนของการควบแน่นมีกะทะใส่น้ำกับน้ำแข็งอยู่ด้านบน และส่วนรองรับผลผลิต อยู่ในถัง

หลักการทำงานเมื่อให้ความร้อนจากด้านล่างของถัง สาโทจะระเหยกลายเป็นไอ เมื่อสัมผัสพื้นผิวเย็นของกะทะ เกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ ไหลตามความโค้งของกะทะ และหยดลงในภาชนะรองรับ



ภาพที่ 15 หม้อกลั่นแบบ Ice-Water Still

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

โดยการให้ความร้อนของสาโทและการทำความเย็นของไอจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้โดยใช้ชามและกะโหลกในการทำป้องกันจากการระเหยไอชื้น ชามที่วางอยู่บนขาตั้งไม่ควรร้อนเท่ากับก้นถึงด้านล่างเพราะจะทำให้เกิดการ evaporating อีกรอบและของเหลวที่หยดลงมาจากกะโหลกควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสาโท ผลสามารถได้แอลกอฮอล์มากกว่า 50% (Ackland, 2003)

ทั้งแบบ Ice-Water Still และ Bucket Still นั้นต่างกันตรงที่ แบบ Ice-Water still เพิ่มน้ำเย็นกับน้ำแข็งด้านบนเพื่อช่วยในการควบแน่นของไอเอทานอลง่ายขึ้น หม้อกลั่นทั้งสองชนิดชาวบ้านนิยมใช้ในการกลั่นสุราเนื่องจากขั้นตอนการสร้างง่ายไม่สลับซับซ้อนมาก แต่ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำ และใช้เวลาในการกลั่นนาน

3.2 การกลั่นที่สภาวะสุญญากาศ

กระบวนการกลั่นที่สภาวะสุญญากาศจะทำให้กลั่นสาโทที่อุณหภูมิต่ำกว่า 78 องศาเซลเซียส สามารถกลั่นสาโทได้เร็วกว่าการกลั่นที่สภาวะบรรยากาศ ประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน ที่สำคัญในการกลั่นที่สภาวะสุญญากาศนี้จะกลั่นได้กลิ่นและรสของสาโทออกมาด้วยรูปแบบการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศนี้จะเป็นการรวมกันระหว่างระบบการกลั่นโดยทั่วไปและระบบการทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งต้องมีอุปกรณ์ลดความดันให้เป็นสุญญากาศในขณะกลั่นคือ Vacuum pump

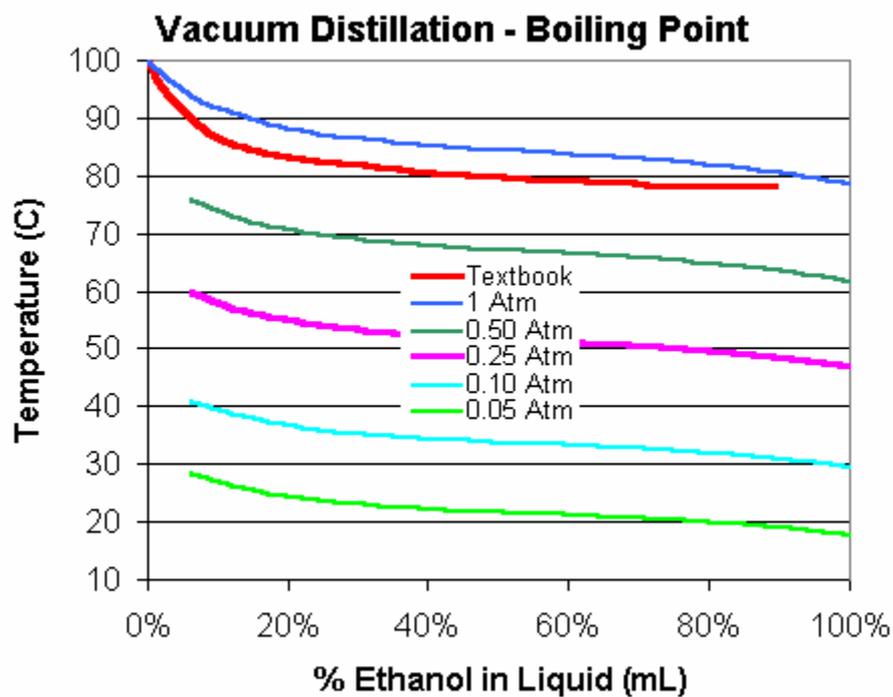
การใช้ระบบสุญญากาศเพื่อให้กลั่นที่อุณหภูมิต่ำและได้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูง เช่น ที่ความดัน 42 mm Hg ต้องการอุณหภูมิเพียง 35 องศาเซลเซียส ส่วนในระดับความดันอื่นๆ สามารถดูได้จากภาพที่ 16

สมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับคำนวณค่าความดันไอภายใต้เงื่อนไขใกล้เคียงความดันบรรยากาศ ได้แก่ สมการแอนโทอิน (Antoine)

$$\log P = A - \frac{B}{(t + C)} \quad (1)$$

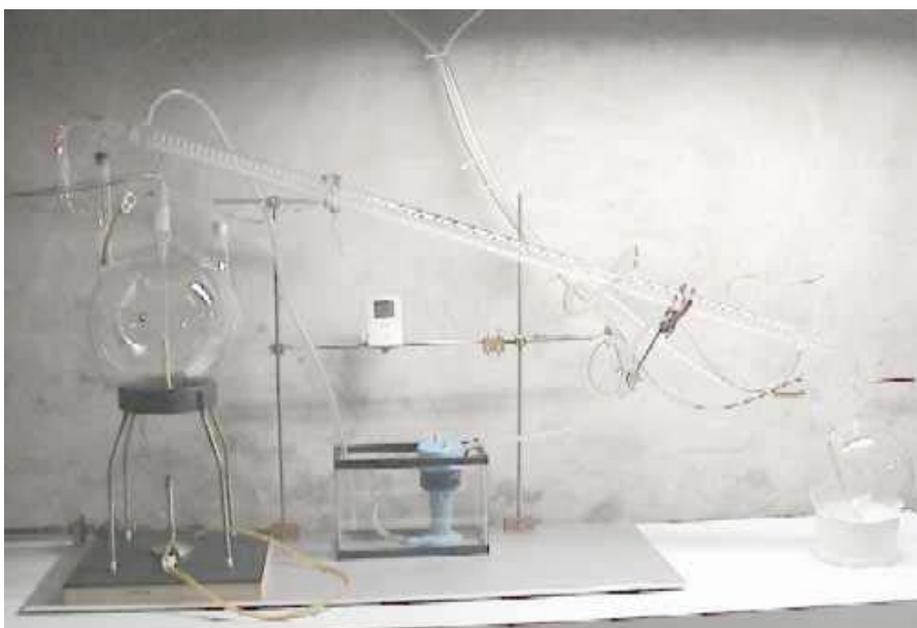
เมื่อ

t คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
 P คือ ความดัน (mmHg)
 A, B, C คือ ค่าคงที่จำเพาะของแต่ละสาร (โซโซ, 2536)



ภาพที่ 16 กราฟของจุดเดือดของหม้อกลั่นสุญญากาศที่ความดันต่างกัน

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)



ภาพที่17 หม้อกลั่นสุญญากาศ

ที่มา: www.homedistiller.org (2003)

ปัญหาทั่วไปของระบบกลั่นสุญญากาศ คือ ระบบกลั่นสุญญากาศจะสูญเสียไอแอลกอฮอล์ที่ผ่านทางปั๊มสุญญากาศ จะเกิดผลกระทบรุนแรงเมื่อมีรูรั่ว คือ ปั๊มสุญญากาศจะดูดอากาศภายนอกเข้ามาในหม้อกลั่นดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการสร้าง สุญญากาศยิ่งต่ำยิ่งยากและมีราคาแพง อุณหภูมิที่ต่ำส่งผลให้ไอจับตัวเป็นของเหลว(condense)ยากขึ้น (Ackland, 2003)

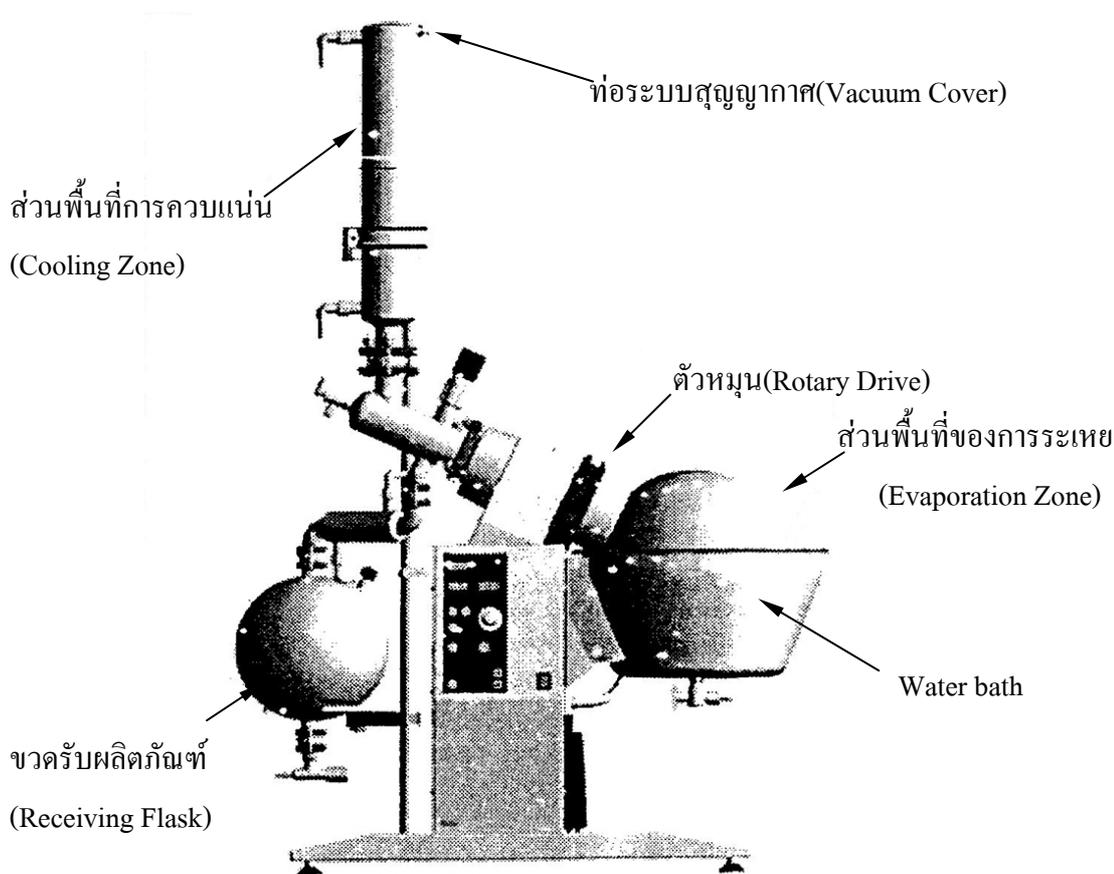
การหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ จำเป็นที่จะต้องมีการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นควรจะต้องใช้เครื่องที่สามารถทำการปรับสภาวะต่างๆให้ได้ตามต้องการ ซึ่งเครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor นั้นสามารถปรับค่าความดันสุญญากาศ อุณหภูมิการต้ม และอุณหภูมิการควบแน่น จึงเลือกใช้ทำการทดลองเบื้องต้น โดยมีรายละเอียดของเครื่องดังนี้

3.2.1 เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor

Rotavapor เป็นเครื่องระเหยแบบสุญญากาศโดยมีการหมุนในส่วนของขวดแก้วระเหย ใช้เพื่อการกลั่นแบบ single-stage กระบวนการของเครื่องอยู่บนพื้นฐานของการระเหยและ

การควบแน่นสารละลายที่อยู่ในขวดแก้วหมุนในส่วนระเหย เครื่อง Rotavapor ทำงานภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อรักษาคุณภาพผลผลิตและเพิ่มความเข้มข้นของผลผลิต

เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor นี้สามารถปรับความดันสุญญากาศ อุณหภูมิให้ความร้อนแก่สารโท และอุณหภูมิที่หลอดคอนเดน เครื่องกลั่นนี้จึงมีประโยชน์อย่างมากในการหาสถานะที่เหมาะสมก่อนที่จะนำผลมาออกแบบสร้างเครื่องกลั่นสุราแบบสุญญากาศต้นแบบต่อไป



ภาพที่ 18 เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor

a. ส่วนประกอบของเครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor

1.) ส่วนพื้นที่ของการระเหย(Evaporation Zone)

สารละลายในขวดระเหยถูกให้ความร้อนโดยอ่างด้านล่าง

2.) ตัวหมุน(Rotary Drive)

ทำหน้าที่หมุนขวดระเหย

3.) ส่วนพื้นที่การควบแน่น(Cooling Zone)

ไอของสารละลายจะถูกให้ความเย็นอย่างรวดเร็ว เป็นพื้นที่ที่ไอของสารละลายแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ สารละลายจึงถูกควบแน่น

4.) ขวดรับผลิตภัณฑ์(Receiving Flask)

เป็นขวดรวมผลิตภัณฑ์จากการกลั่น

5.) ท่อระบบสุญญากาศ(Vacuum Cover)

เป็นท่อที่ต่อจากปั๊มสุญญากาศ เพื่อให้ภาชนะ rotarvapor เป็นสถานะสุญญากาศ

จากการศึกษาค้นคว้าการกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศ และการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียได้ตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของการกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศ

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|--|--|
| 1. เป็นหม้อกลั่นที่ไม่สลับซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งาน | 1. กลั่นแล้วสูญเสียกลิ่นเนื่องจากเป็นการกลั่นที่อุณหภูมิสูง 2. ใช้เวลาในการกลั่นนาน |

ตารางที่ 3 ข้อดีและข้อเสียของการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| 1. กลิ่นและรสของวัตถุดิบจะสูญเสียน้อยกว่า การกลั่นภายใต้สภาวะบรรยากาศ เนื่องจาก กลิ่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 78 องศาเซลเซียส | 1. เครื่องกลั่นมีราคาต้นทุนสูง 2. ในการสร้างจะต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดรู รั่ว |
| 2. เวลาในการกลั่นเร็วกว่าการกลั่นภายใต้ สภาวะบรรยากาศ | 3. อุณหภูมิในการกลั่นต่ำส่งผลให้อิทธิพล เป็นของเหลวมากขึ้น |
| 3. ประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน | |

เนื่องจากในงานวิจัยต้องการพัฒนาปรับปรุงสุรากลั่นพื้นบ้านให้มีประสิทธิภาพ และคุณภาพของสุรากลั่นดีขึ้น การกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพราะ กลิ่นแล้วได้สุรากลั่นที่สะอาด กลิ่นและรสของวัตถุดิบไม่หายไป เนื่องจากวิธีนี้ใช้อุณหภูมิในการกลั่นต่ำ จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุรากลั่นใหม่ที่ยังคงรักษากลิ่นรสของวัตถุดิบไว้ อีกทั้งยังใช้เวลาในการกลั่นเร็วขึ้น และประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน

4. มาตรฐานเหล้ากลั่น

เหล้ากลั่นจะต้องประกอบด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตร และคุณลักษณะทางเคมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางเคมี

| รายการ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | วิธีทดสอบตาม |
|--------|--|---------------|---|
| 1 | ฟูเซลอยล์ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร | 5500 | AOAC(1995) ข้อ 26.1.28 หรือ ข้อ 26.1.30 (ให้คำนวณจากผลรวม ของไอโซเอมิล แอลกอฮอล์กับไอโซ บิวทิลแอลกอฮอล์) |
| 2 | เฟอร์ฟิวรัล มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร | 50 | AOAC(1995) ข้อ 26.1.32 |
| 3 | เอสเทอร์ (คิดเป็นเอทิลแอซีเตต) มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่ เกิน | 1200 | AOAC(1995) ข้อ 26.1.24 |
| 4 | แอลดีไฮด์ (คิดเป็นแอซีทัลดีไฮด์) มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่ เกิน | 160 | AOAC(1995) ข้อ 26.1.24 |
| 5 | เมทิลแอลกอฮอล์ มิลลิกรัมต่อ ลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่เกิน | 420 | AOAC(1995) ข้อ 26.1.36 |
| 6 | เอทิลคาร์บาเมต ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่เกิน | 400 | AOAC(1997) ข้อ 26.1.48 |

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม (2544)

5. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกลั่นสาโท

5.1 อุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้กลั่น จะต้องเหมาะสมที่ สามารถกลั่นแอลกอฮอล์ได้ และไม่มีการปนเปื้อนของสารอื่นๆ

5.2 พื้นที่สำหรับระเหย โดยที่การเติมสาโทลงในถังกลั่น จะต้องมียุ้งวางบนผิวของสาโท เพียงพอที่จะทำให้เกิดการกลั่นตัว ของแอลกอฮอล์ได้ในขณะที่มีการกลั่น

5.3 ความดัน โดยความดันในการกลั่นสาโท จะต้องมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีจุดเดือดภายใต้สภาวะบรรยากาศแตกต่างกัน โดยที่สภาวะบรรยากาศสารละลายในน้ำสาโทเริ่มเปลี่ยนเป็นไอจากอุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5 ส่วนที่สภาวะสูญญากาศสามารถคำนวณได้จากสมการแอนโทอิน (Antoine) (1)

ตารางที่ 5 อุณหภูมิที่แอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศของน้ำสาโทเริ่มเปลี่ยนเป็นไอ

| องค์ประกอบของผสมในสาโท | อุณหภูมิที่เปลี่ยนเป็นไอ |
|------------------------------|--|
| Acetone | 56.5 องศาเซลเซียส (134 องศาฟาเรนไฮด์) |
| Methanol(wood alcohol) | 64 องศาเซลเซียส (147 องศาฟาเรนไฮด์) |
| Ethyl acetate | 77.1 องศาเซลเซียส (171 องศาฟาเรนไฮด์) |
| Ethanol | 78 องศาเซลเซียส (172 องศาฟาเรนไฮด์) |
| 2-Propanol (rubbing alcohol) | 82 องศาเซลเซียส (180 องศาฟาเรนไฮด์) |
| 1-Propanol | 97 องศาเซลเซียส (207 องศาฟาเรนไฮด์) |
| Water | 100 องศาเซลเซียส (212 องศาฟาเรนไฮด์) |
| Butanol | 116 องศาเซลเซียส (241 องศาฟาเรนไฮด์) |
| Amyl alcohol | 137.8 องศาเซลเซียส (280 องศาฟาเรนไฮด์) |
| Furfural | 161 องศาเซลเซียส (322 องศาฟาเรนไฮด์) |

ที่มา: Ackland (2002)

องค์ประกอบของผสมในสาโทจะมีความสามารถในการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องรู้ว่าต้องการกลั่นสารอะไรออกมา และทำการกลั่นที่อุณหภูมินั้น โดยจากการศึกษาในการกลั่นเหล้านั้นต้องการเอทานอลออกมา และอุณหภูมิเฉลี่ยในการกลั่นเอทานอล คือ 78-82 องศาเซลเซียส

Graham (2003) ได้อธิบาย ในการกลั่นครั้งแรกไม่ต้องการให้มีเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลมาก ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สามารถควบคุมด้วยความร้อนจากด้านล่าง ถ้าต้องการได้สุราที่มีเปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์มาก เลือกลงอุณหภูมิที่ใช้กลั่นต่ำจะได้เปอร์เซ็นต์เอทานอลสูง แต่ระยะเวลาในการกลั่นช้ามาก เมื่อใช้ความร้อนมากจะได้แอลกอฮอล์ต่ำลง และระยะเวลาในการกลั่นเร็วขึ้นกว่าเดิม (Ackland, 2003)

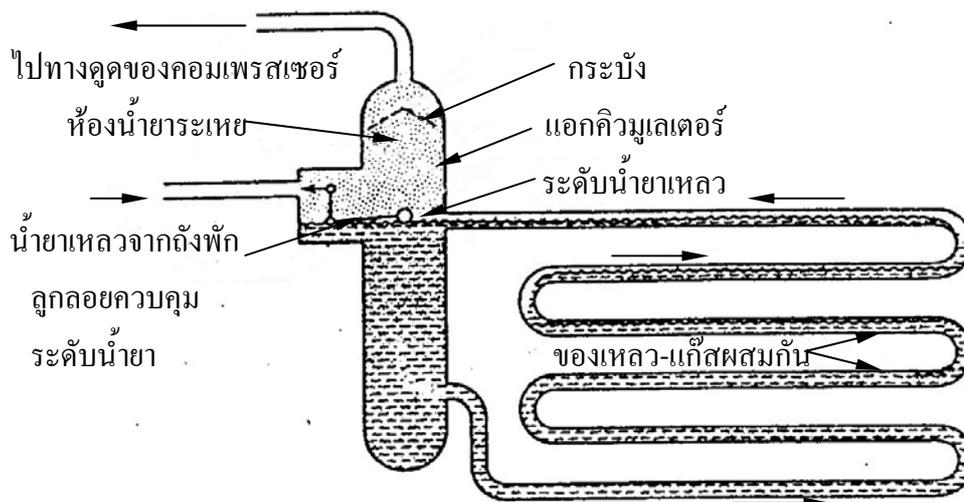
Headley (1992) ได้ศึกษาการตรวจสอบเห็ดโดยใช้หลักการวิเคราะห์ส่วนประกอบ พบว่าของเจือปนปนในเห็ดประกอบด้วยแก๊สโซลีน และ ฟีนอล จะถูกเมทิวอลีนเอาออกไป และในส่วนเห็ดบริสุทธิ์จะถูกแยกโดยใช้โดย capillary column gas chromatography เทคนิคของการวิเคราะห์ส่วนประกอบประยุกต์โดยนำจุดสูงสุดจากแก๊สโครมาโทแกรมมาวิเคราะห์ และผลนำไปวัดกับมาตรฐานที่กำหนดช่วยในการตัดสินใจว่าเห็ดต้มแล้วไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

6. การควบคุมของสุราโดยคอยล์เย็น

เนื่องจากอุณหภูมิของไอแอลกอฮอล์จากเครื่องกลั่นแบบสุญญากาศมีอุณหภูมิต่ำ จึงนำคอยล์เย็นของระบบทำความเย็นนำมาช่วยในการควบคุม ก่อนที่จะกล่าวถึงการคำนวณและออกแบบของคอยล์เย็น สิ่งที่จะต้องทราบคือชนิดและแบบต่างๆของคอยล์เย็นที่มีใช้อยู่ คอยล์เย็นทำหน้าที่ให้ความเย็นแก่ห้องเย็น โดยการดูดความร้อนจากภายในห้องเย็น แล้วความร้อนนี้จะทำให้สารความเย็นเปลี่ยนสภาพจากของเหลวกลายเป็นไอภายในคอยล์เย็นนั้น

6.1 หลักการทำงานของคอยล์เย็น

6.1.1 แบบ Flooded คือ คอยล์เย็นจะบรรจุด้วยสารทำความเย็นเหลวซึ่งระดับของสารทำความเย็นจะถูกควบคุมให้คงที่อยู่เสมอ ดังแสดงในภาพที่ 19

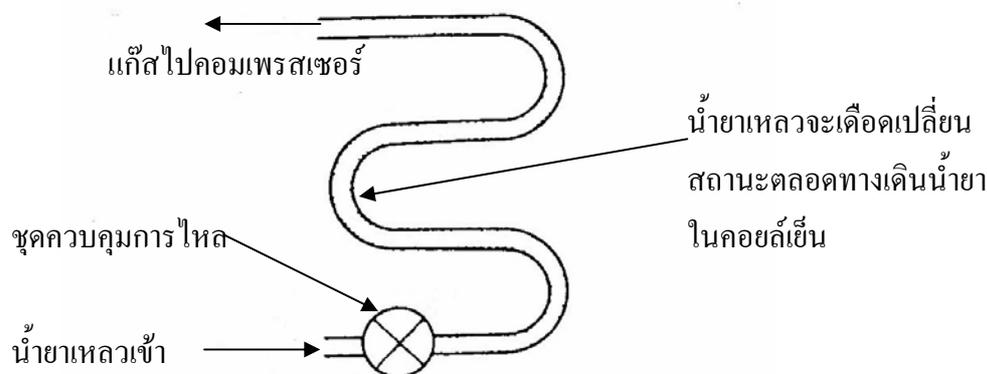


ภาพที่ 19 คอยล์เย็นแบบ Flooded Coil

ที่มา: ชัชวาล (2544)

ไอที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะจะถูกดูด โดยคอมเพรสเซอร์ออกไปทางด้านบนของถังพักสารทำความเย็น (Accumulator) ข้อดีของคอยล์เย็นแบบนี้คือ พื้นที่ผิวภายในของคอยล์จะสัมผัสกับสารทำความเย็นเหลวเสมอ ซึ่งทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง แต่ข้อเสียคือ ต้องการปริมาณสารทำความเย็นในคอยล์เย็นมาก

6.1.2 แบบ Dry Expansion คือ คอยล์เย็นจะได้รับสารทำความเย็นจากวาล์วลดความดัน ซึ่งอัตราการไหลของสารทำความเย็นเข้าสู่คอยล์เย็นจะขึ้นอยู่กับอัตราการกลายเป็นไอของสารทำความเย็นที่ไหลออกจากคอยล์เย็น ดังแสดงในภาพที่ 20



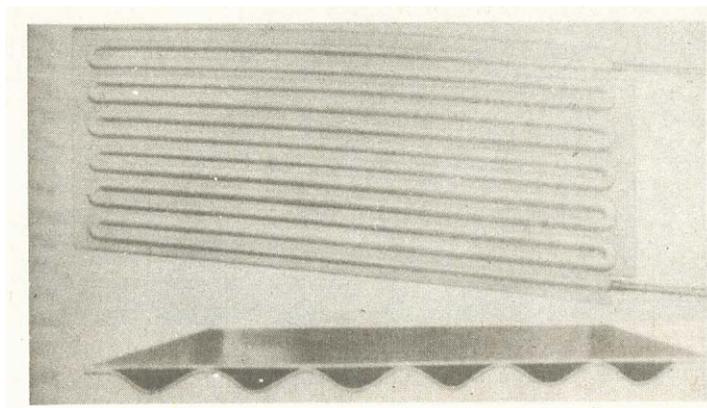
ภาพที่ 20 คอยล์เย็นแบบ Dry Expansion Coil

ที่มา: ชัชวาล (2544)

สำหรับคอยล์เย็นทั้งสองแบบนี้ อัตราของสารทำความเย็นที่ไหลออกจากคอยล์จะขึ้นอยู่กับอัตราการกลายเป็นไอของสารทำความเย็น ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ภาระความร้อนที่คอยล์มีค่ามากหรือน้อย อย่างไรก็ตามแบบ Flooded จะมีสารทำความเย็นเหลวบรรจุเต็มอยู่เสมอ แต่แบบ Dry Expansion ปริมาณของสารทำความเย็นเหลวภายในคอยล์จะขึ้นอยู่กับภาระความร้อน เมื่อภาระความร้อนมากก็จะมีสารทำความเย็นไหลเข้ามา

6.2 คอยล์เย็น โครงสร้างแบบแผ่นเรียบ

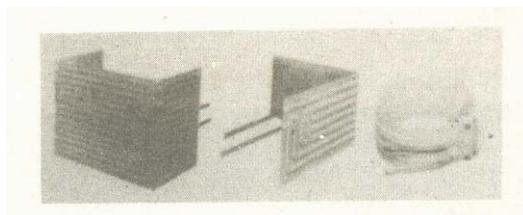
คอยล์เย็นแบบแผ่นเรียบ (Plate Surface) สามารถสร้างได้หลายรูปแบบ บางแบบจะใช้แผ่นโลหะ 2 แผ่น ซึ่งมีลักษณะคล้ายแผ่นสังกะสีนำมาประกบกันแล้วเชื่อม ส่วนโค้งของแผ่นโลหะจะเป็นทางเดินของสารทำความเย็น ดังแสดงในภาพที่ 21 คอยล์ชนิดนี้นิยมใช้ในตู้เย็นสำหรับบ้านเรือน เพราะว่าสะดวกในการทำความสะอาด และการกำจัดน้ำแข็งที่เกาะติด ซึ่งสามารถใช้แปรงขัดออกได้ง่าย



ภาพที่ 21 คอยล์เย็นแบบผิวเรียบ

ที่มา: ชัชวาล (2544)

อีกประการหนึ่ง คอยล์แบบแผ่นนี้ยังสามารถทำเป็นรูปทรงต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 22 และคอยล์เย็นแบบแผ่นเรียบนี้สามารถนำมาเรียงต่อกัน เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเย็น (ชัชวาล, 2544)



ภาพที่ 22 คอยล์เย็นแบบแผ่นเรียบในรูปทรงต่างๆ

ที่มา: ชัชวาล (2544)

ในการออกแบบการควบแน่นของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ เนื่องจากพื้นที่ของการควบแน่นของเครื่องต้นแบบมีขนาดเล็ก จึงเลือกใช้คอยล์มีลักษณะเหมือนสปริง ขดภายในท่อควบแน่น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ในการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุรกายใต้สภาวะสุญญากาศ และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นสุรกายใต้สภาวะสุญญากาศต้นแบบใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดดังนี้

1. เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ชนิด วัดจากความถ่วงจำเพาะของสุรากลั่น
2. เครื่องวัดความหวาน ATC-1 range 0-32 brix
3. นาฬิกาจับเวลา
4. เครื่องระเหยสุญญากาศในห้องปฏิบัติการ (Rotavapor) BUCHI, Model R-220, Switzerland.
5. เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ
6. ปุ่มสุญญากาศ แบบ water ring
7. Watt-hour Meter MITSUBISHI, Model MF-63E, Thailand.
8. ถังหมักขนาด 30 Gallon 8 ถัง
9. ภาชนะสำหรับใส่สุรากลั่น
10. เครื่องชั่งน้ำหนัก
11. เครื่องกลั่นสุรขาของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดนครราชสีมา



ภาพที่ 23 เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ชนิด วัดจากความถ่วงจำเพาะของสุรากลั่น



ภาพที่ 24 อุปกรณ์ที่ใช้วัดเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์



ภาพที่ 25 เครื่องวัดความหวาน ATC-1 range 0-32 brix



ภาพที่ 26 นาฬิกาจับเวลา



ภาพที่ 27 เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor BUCHI, Model R-220



ภาพที่ 28 ปั๊มสุญญากาศ แบบ water ring



ภาพที่ 29 Watt-hour Meter MITSUBISHI, Model MF-63E



ภาพที่ 30 เครื่องชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ 31 เครื่องกั่นสุราของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดนครราชสีมา

วิธีการ

ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้งานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์แบ่งเป็น 5 ส่วน คือ

1. หมักสาโท

ในการหมักสาโทต้องให้ได้สาโทเพียงครั้งเดียว ให้มีปริมาณเพียงพอต่อการทดลองทั้งหมด เพื่อให้ได้สาโทที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน โดยในการทดลองได้หมักสาโท 500 ลิตร โดยเตรียมข้าวเหนียวดิบ 100 กิโลกรัม มาล้างจนสุก แล้วผึ่งทิ้งไว้ให้เย็น นำลูกแป้งเชื้อ 700 ลูก มาบด แล้วผสมคลุกเคล้ากับข้าวเหนียว หมักทิ้งไว้ 3 วัน จากนั้นเติมน้ำเชื่อมที่มีความหวาน 20 Brix ลงไป โดยในการทดลองใช้สัดส่วนน้ำตาล 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 8 ลิตร หมักทิ้งไว้จนแป้งเชื้อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์จนเกือบหมด สังเกตได้จากการตรวจน้ำตาลในสาโทเหลือ 0-5 Brix (ใช้ระยะเวลาประมาณ 2 สัปดาห์) จากนั้นนำน้ำสาโทที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบาง แยกสาโทกับน้ำข้าวเหนียวที่ใช้หมัก ถ้าข้าวเหนียวสามารถหมักได้อีกใส่น้ำเชื่อมให้เชื้อหมักต่อไป

2. การทดลองการกลั่นสุราจากสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Rotavapor) ขนาดห้องปฏิบัติการ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าวโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) เนื่องจากเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถปรับค่าความดันที่สภาวะสุญญากาศ อุณหภูมิของ water bath และอุณหภูมิของคอนเดนส์เซอร์ จึงง่ายต่อการทดลองหาสภาวะในการกลั่นที่เหมาะสม ซึ่งสภาวะในการกลั่น และอุณหภูมิในการกลั่นสาโทจะใช้สภาวะเดียวกันกับสภาวะของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยในการออกแบบ พบว่า ปุ่มสุญญากาศที่เลือกใช้สามารถทำความดันที่สภาวะสุญญากาศได้ 210 mbar และสำหรับการควบแน่น จะเลือกใช้น้ำที่ได้จากคูลลิ่งทาวเวอร์แทนน้ำจากเครื่องทำความเย็น เพื่อจะได้เป็นการลดการลงทุน และค่าใช้จ่ายในการกลั่น ซึ่งน้ำจากคูลลิ่งทาวเวอร์สำหรับการควบแน่นของคอนเดนส์เซอร์จะมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส

ดังนั้นการทดลองของเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ในห้องปฏิบัติการ จึงทำการทดลองกลั่นสาโทโดยควบคุมสภาวะสุญญากาศที่ 210 mbar อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการ

ความแน่นของคอนเดนเซอร์ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณสาโทที่ใช้กลั่น 4 ลิตร และใช้เวลาในการกลั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อควบคุมสภาวะการกลั่น และใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ water bath ซึ่งอุณหภูมิสาโทจะวัดโดยปิดเครื่องระเหยสุญญากาศ ปรับเครื่องให้อยู่สภาวะบรรยากาศ และถอดภาชนะใส่สาโทออกมาวัดอุณหภูมิสาโท ส่วนพลังงานจะใช้ Watt-hour Meter ในการวัดพลังงานไฟฟ้า

จากการทดลองเบื้องต้นกลั่นหาอุณหภูมิ water bath โดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ ให้อุณหภูมิ water bath เบื้องต้น 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ water bath 80 และ 90 องศาเซลเซียส ให้ดีกรีแอลกอฮอล์ออกมาเฉลี่ย 42 และ 35 ดีกรี ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ water bath 70 องศาเซลเซียส ปริมาณสุรากลั่นออกมาต่ำมากเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ water bath อื่น เนื่องจากอุณหภูมิ water bath ต่ำเกินไป ของผสมในสาโทระเหยออกมาได้น้อย และที่อุณหภูมิ water bath 100 องศาเซลเซียส ดีกรีแอลกอฮอล์ออกมาต่ำกว่า 35 ดีกรี เนื่องจากอุณหภูมิ water bath สูงเกินไป ทำให้กลั่นน้ำออกมาปริมาณมาก ส่งผลให้ดีกรีแอลกอฮอล์ลดลง ดังนั้นในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าว โดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) จึงเลือกทำการทดลองที่อุณหภูมิ water bath 80 85 90 และ 95 องศาเซลเซียส

ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าว โดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) จะนำผลของปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ 35 ดีกรี อัตราการผลิตเปอร์เซ็นต์ Yield และพลังงานจำเพาะ มาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกอุณหภูมิ water bath และอุณหภูมิสาโทที่เหมาะสม โดยมีการคำนวณดังนี้

วิธีการปรับสุรากลั่นจะต้องนำสุราที่กลั่นได้มาปรับให้ได้ 35 ดีกรีเท่านั้น โดยมีการคำนวณดังนี้

$$V_2 = \frac{d_{r1} \times V_1}{d_{r2}} \quad (2)$$

| | | | |
|--------|----------|-----|-----------------------------------|
| โดยที่ | V_2 | คือ | ปริมาณแอลกอฮอล์หลังปรับดีกรี (ml) |
| | V_1 | คือ | ปริมาณแอลกอฮอล์ก่อนปรับดีกรี (ml) |
| | d_{r2} | คือ | ดีกรีแอลกอฮอล์หลังปรับ (ดีกรี) |
| | d_{r1} | คือ | ดีกรีแอลกอฮอล์ก่อนปรับ (ดีกรี) |

$$R_p = \frac{V_2}{t} \quad (3)$$

| | | | |
|--------|-------|-----|----------------------------------|
| โดยที่ | R_p | คือ | อัตราการผลิต (l/hr) |
| | V_2 | คือ | ปริมาณแอลกอฮอล์หลังปรับดีกรี (l) |
| | t | คือ | เวลา (hr) |

$$Y_p = \frac{V_2 \times 100}{V_w} \quad (4)$$

| | | | |
|--------|-------|-----|----------------------------------|
| โดยที่ | Y_p | คือ | เปอร์เซ็นต์ Yield |
| | V_2 | คือ | ปริมาณแอลกอฮอล์หลังปรับดีกรี (l) |
| | V_w | คือ | ปริมาณสาโทที่ใช้กลั่น (l) |

$$S_p = \frac{E_e}{V_2} \quad (5)$$

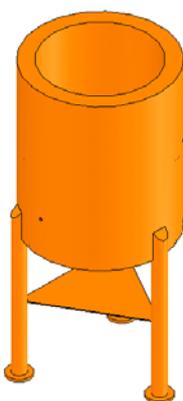
| | | | |
|--------|-------|-----|-----------------------------|
| โดยที่ | S_p | คือ | พลังงานจำเพาะ (kWh/l) |
| | E_e | คือ | พลังงานการใช้ไฟฟ้า (kWh) |
| | V_2 | คือ | ปริมาณสุราหลังปรับดีกรี (l) |

3. ออกแบบเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

นำผลที่ได้จากการทดลองมาออกแบบสร้างเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ เลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทดลองของเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ขนาดห้องปฏิบัติการ ไปเป็นช่วงอุณหภูมิให้ความร้อนแก่สารโทในทดลองเริ่มต้นของการกลั่นเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยมีโซลินอยวาล์วเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ ใช้วัสดุทำเครื่องเป็นสแตนเลส กำหนดสภาวะสุญญากาศ 210 mbar เนื่องจากเป็นค่าสภาวะสุญญากาศที่ปั๊มสุญญากาศสามารถทำได้ และอุณหภูมิที่ใช้ควบแน่น 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นน้ำที่ได้จาก cooling tower

3.1 ถังกลั่น

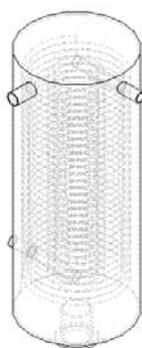
กำหนดปริมาณสารโทที่ต้องการกลั่น นำมาออกแบบขนาดถัง ซึ่งรูปแบบของถังกลั่นที่จะออกแบบแสดงในภาพที่ 32 หากความหนาของถังโดยพิจารณาจากความดันที่ใช้ ส่วนของถังกลั่นทำจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิม เนื่องจากเป็นหม้อกลั่นสภาวะสุญญากาศในการสร้างหม้อกลั่นจึงจำเป็นต้องปราศจากรูรั่ว โดยส่วนด้านบนของหม้อกลั่นมีฝาปิดสนิท ส่วนด้านล่างของถังมีท่อเพื่อนำสารโทที่กลั่นแล้วออก และมีชั้นวางเตาแก๊สให้ความร้อนแก่สารโทเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ



ภาพที่ 32 รูปแบบของถังกลั่นที่จะออกแบบ

3.2 คอนเดนส์เซอร์

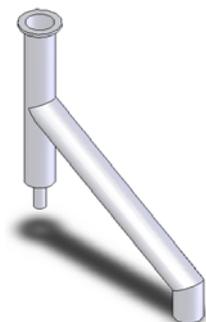
คำนวณการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนส์เซอร์ นำมาออกแบบขนาดท่อสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อน ความยาวของท่อ จำนวนชุดท่อ การจัดเรียงท่อ และขนาดของท่อคอนเดนส์เซอร์ ซึ่งรูปแบบของคอนเดนส์เซอร์ที่จะออกแบบแสดงในภาพที่ 33 โดยท่อคอนเดนส์เซอร์ด้านนอกทำด้วยสแตนเลส ภายในท่อคอนเดนส์เซอร์มีท่อชุดท่อขนาดเล็กถ่ายเทหมันเวียนน้ำเข้าออก ไอของสาโทจะเข้าทางด้านล่างของท่อคอนเดนส์เซอร์ และควบแน่นที่บริเวณขดลวดเนื่องจากบริเวณขดลวดมีการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อไอของสาโทลดอุณหภูมิลง กลายเป็นหยดน้ำ



ภาพที่ 33 รูปแบบของคอนเดนส์เซอร์ที่จะออกแบบ

3.3 ท่อต่อเชื่อม

ท่อต่อเชื่อมใช้ท่อสแตนเลส ซึ่งรูปแบบของท่อต่อเชื่อมที่จะออกแบบแสดงในภาพที่ 34 โดยจะเชื่อมต่อกับฝาถังกลั่น คอนเดนส์เซอร์ และท่อรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ เมื่อให้ความร้อนสาโทตามต้องการ สาโทจะกลายเป็นไอ ระเหยเข้าที่ช่องด้านล่าง ออกไปทางท่อด้านบนเพื่อไปควบแน่นที่คอนเดนส์เซอร์ด้านบน ไอของสาโทจะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ ไหลลงท่อที่เชื่อมกับท่อรับผลิตภัณฑ์ด้านล่าง



ภาพที่ 34 รูปแบบของท่อต่อเชื่อมที่จะออกแบบ

3.4 ท่อรับผลิตภัณฑ์

รูปแบบของท่อรับผลิตภัณฑ์ที่จะออกแบบแสดงในภาพที่ 35 ประกอบด้วยท่อรับผลิตภัณฑ์ทำจากสแตนเลส ต่อกับท่อ 3 ด้าน คือ ด้านบน ด้านล่าง และด้านข้าง และท่อทั้ง 3 ด้านจะต่อกับวาล์วควบคุมการเปิดปิดเมื่อเวลาถลันและเมื่อต้องการนำสุราถลันออก สุราถลันที่ถลันจากท่อคอนเดนส์เซอร์จะไหลผ่านท่อและวาล์วด้านบนที่เปิดอยู่ของท่อรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากภายในท่อรับผลิตภัณฑ์เป็นสถานะสุญญากาศเมื่อต้องการนำสุราถลันออกให้ปิดวาล์วด้านบน และเปิดวาล์วด้านข้างเพื่อให้ภายในท่อรับผลิตภัณฑ์เป็นสถานะบรรยากาศ จากนั้นถึงเปิดวาล์วด้านล่างนำสุราถลันออกมา



ภาพที่ 35 รูปแบบของท่อรับผลิตภัณฑ์ที่จะออกแบบ

4. ทดสอบเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

4.1 ทดสอบหาวิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการกลั่น และอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าวของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ที่สภาวะสุญญากาศ 210 mbar อุณหภูมิการควบแน่น 25 องศาเซลเซียส และกลั่นครั้งละ 10 ลิตร โดยมีวิธีการกลั่นในการทดลองมี 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ตั้งอุณหภูมิการกลั่น จากนั้นเปิดเตาแก๊สความร้อน และเปิดปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นจนกระทั่ง อัตราการผลิตน้อยกว่า 20 ml/นาที่ จึงหยุดทำการกลั่น

วิธีที่ 2 ตั้งอุณหภูมิการกลั่น จากนั้นเปิดเตาแก๊สความร้อน และเปิดปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นจนกระทั่งไม่มีสุรากลั่นออกมา จึงหยุดทำการกลั่น

วิธีที่ 3 ตั้งอุณหภูมิการกลั่น จากนั้นเปิดเตาแก๊สความร้อน และเปิดปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นจนกระทั่งอัตราการผลิตลดลงต่ำกว่า 20 ml/นาที่ จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิการกลั่น โดยปรับที่ชุดควบคุมให้มีอุณหภูมิมากกว่าเดิม 5 องศาเซลเซียส ทำจนกว่าสุรากลั่นที่ออกมามีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 35 ดีกรี จึงหยุดทำการกลั่น

ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสม เลือกจากอุณหภูมิสาโท ของผลจากการทดลองของเครื่องระเหยสุญญากาศในระดับห้องปฏิบัติการเป็นช่วงอุณหภูมิในการกลั่นสาโทเริ่มต้นของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยนำข้อมูลปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งปรับให้ได้ 35 ดีกรี อัตราการผลิตเปอร์เซ็นต์ Yield พลังงานแก๊สที่ใช้ มาพิจารณาเลือกวิธีการกลั่น และอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสม ซึ่งมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

พลังงานที่ใช้จะวัดโดยนำถังแก๊สมาชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักแก๊สที่สูญเสียไป แล้วนำมาคูณค่าพลังงานความร้อนของแก๊สLPG จะได้พลังงานแก๊สที่ใช้ออกมา

$$E_g = \frac{W_g \times S_{LPG}}{3600} \quad (6)$$

| | | | |
|--------|-----------|-----|--|
| โดยที่ | E_g | คือ | พลังงานแก๊สที่ใช้ (kWh) |
| | W_g | คือ | ปริมาณแก๊สที่ใช้ (kg) |
| | S_{LPG} | คือ | ค่าพลังงานความร้อนของแก๊สLPG (50.23 MJ/kg) |

$$S_p = \frac{E_g}{V_2} \quad (7)$$

| | | | |
|--------|-------|-----|-----------------------------|
| โดยที่ | S_p | คือ | พลังงานจำเพาะ (kWh/l) |
| | E_g | คือ | พลังงานการใช้ไฟฟ้า (kWh) |
| | V_2 | คือ | ปริมาณสุราหลังปรับดีกรี (l) |

4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

ในการวิเคราะห์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ซึ่งนำผลการทดลองการกลั่นสุราจากสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Rotavapor) ขนาดห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับผลการทดลองหาวิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดย เปรียบเทียบในด้าน อัตราการผลิต พลังงานจำเพาะ และเปอร์เซ็นต์ Yield

4.3 ทดสอบหาปริมาณการกลั่นสาโทที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของการกลั่น

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณสาโทที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าวโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ซึ่งนำผลจากการทดลองหาวิธีการกลั่น และอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ที่ความดันสุญญากาศ 210 mbar และ

อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ 25 องศาเซลเซียส มาใช้ในการกลั่น โดยนำผลของการกลั่นมาเปรียบเทียบ เมื่อใช้ปริมาณสาโทต่างกัน คือ 10 20 30 และ 40 ลิตร ตามลำดับ สาเหตุที่ทดลองช่วงการกลั่น 10 - 40 ลิตร เพราะในการทดสอบเครื่องกลั่นเบื้องต้น พบว่าถ้าปริมาณสาโทใช้กลั่นน้อยกว่า 10 ลิตร จะเกิดรอยไหม้ที่ขอบเนื่องจากปริมาณสาโทน้อยเกินไป และที่ปริมาณสาโท 50 ลิตร จะมีฟอง ออกมาล้นถึง โดยล้นออกมาถึงท่อรับผลิตภัณฑ์ทำให้สุรากลั่นที่ออกมาขุ่น

4.4 การทดสอบคุณภาพสาโทโดยใช้การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ในการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาปริมาณการกลั่นสาโทที่เหมาะสมของ เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ซึ่งพิจารณาจากประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเปรียบเทียบ สุรากลั่นซึ่งปรับให้เป็นสุรากลั่น 35 ดีกรี ที่ปริมาณการกลั่นสาโทต่างกัน คือ 10 20 30 และ 40 ลิตร ซึ่งนำตัวอย่างสุรากลั่นใส่แก้วสำหรับชิม โดยใช้ปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณ การกลั่นที่ใช้เวลาในการกลั่นน้อยที่สุด และให้ปริมาณแอลกอฮอล์มากที่สุดที่ปริมาณ การกลั่นเท่ากัน นำมาเป็นมาตรฐานเปรียบเทียบแสดงตัวอักษรว่า “ R ” (Reference) เปรียบเทียบกับ สุรากลั่นที่ปริมาณการกลั่น 20 30 และ 40 ลิตร ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกับตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ที่ได้ รักษาร้อยแล้ว โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 20 คน แล้วให้คะแนนตามแบบทดสอบ คุณลักษณะที่ ทดสอบมีดังนี้ คือ การดูสี ความใส การดมกลิ่น การดื่มเพื่อรับรสชาติ และการยอมรับ รายละเอียด ตามตารางแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงในภาคผนวก ก1 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูก นำมาเปลี่ยนเป็นตัวเลข จาก 1-7 โดยที่

คะแนน 4 = ไม่มีความแตกต่างกับการกลั่นที่ปริมาณสาโท 10 ลิตรเลย

คะแนน 7 = ดีกว่าการกลั่นที่ปริมาณสาโท 10 ลิตรมาก

คะแนน 1 = ต่ำกว่าการกลั่นที่ปริมาณสาโท 10 ลิตรมาก

5. เปรียบเทียบสุรากลั่นจากเครื่องกลั่นต่างชนิดกัน โดยพิจารณาจากประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบสุรากลั่นที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบใน การกลั่น โดยเปรียบเทียบ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เปรียบเทียบสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่น สุญญากาศ กับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงานสุรา และแบบที่ 2 เปรียบเทียบสุรากลั่นที่

กลิ่น โดยเครื่องกลิ่นสุญญากาศ กับสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งพิจารณาจากการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส โดยนำตัวอย่างสุรากลั่นใส่แก้วสำหรับชิม เลือกใช้สุรากลั่นที่กลิ่น โดยเครื่องกลิ่นสุญญากาศ เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบแสดงตัวอักษรว่า “ R ” (Reference) เปรียบเทียบกับสุรากลั่นที่กลิ่น โดยเครื่องกลิ่นของโรงงานสุรา และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกับตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง ที่ใส่รหัสเรียบร้อยแล้ว โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 20 คน แล้วให้คะแนนตามแบบทดสอบ คุณลักษณะที่ทดสอบมีดังนี้ คือ การดูสี ความใส การดมกลิ่น การดื่มเพื่อรับรสชาติ และการยอมรับ รายละเอียดตามตารางแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงในภาคผนวก ค1 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นตัวเลข จาก 1-7 โดยที่

คะแนน 4 = ไม่มีความแตกต่างกับสุรากลั่นที่กลิ่น โดยเครื่องกลิ่นสุญญากาศเลย

คะแนน 7 = ดีกว่าสุรากลั่นที่กลิ่น โดยเครื่องกลิ่นสุญญากาศมาก

คะแนน 1 = ด้อยกว่าสุรากลั่นที่กลิ่น โดยเครื่องกลิ่นสุญญากาศมาก

6. การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การประเมินค่าใช้จ่ายของการกลั่นสุราแบบสุญญากาศ ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการตอบแทนในการลงทุน

6.1 ค่าใช้จ่ายของการกลั่นสุราแบบสุญญากาศ ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable cost) สำหรับค่าใช้จ่ายคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาและค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการใช้งาน สำหรับค่าใช้จ่ายผันแปร ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าซ่อมบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามการใช้งานของเครื่อง

หากกำหนดให้

| | | |
|----|---|--|
| TC | = | ค่าใช้จ่ายรวมของการกลั่นสุราแบบสุญญากาศ (บาท/ปี) |
| FC | = | ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท/ปี) |
| VC | = | ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท/ปี) |

| | | |
|-----|---|---|
| PBP | = | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
| P | = | ราคาต้นทุนของเครื่อง (บาท) |
| S | = | มูลค่าซาก (บาท) |
| D | = | ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี) |
| Y | = | อายุการใช้งาน (ปี) |
| I | = | ค่าดอกเบี้ย (บาท/ปี) |
| R&M | = | ค่าซ่อมบำรุง (บาท/วัน) |
| W | = | ต้นทุนสาโทที่ใช้ในการกลั่น (บาท/วัน) |
| i | = | อัตราดอกเบี้ย (% ต่อปี) |
| A | = | จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี (วัน/ปี) |
| h | = | ชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง/วัน) |
| Cap | = | ความสามารถในการทำงานของเครื่อง (ลิตร/ชั่วโมง) |
| CR | = | ราคาสุรากลั่น (บาท/ลิตร) |
| L | = | ค่าแรงงาน (บาท/วัน) |
| E | = | อัตราค่าใช้ไฟฟ้า(บาท/วัน) |
| e | = | อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย) |
| F | = | อัตราค่าใช้แก๊ส (บาท/วัน) |
| V | = | ภาษีสุรากลั่น 25 เปอร์เซ็นต์ของราคาสุรากลั่น |

ดังนั้น

$$TC = FC + VC \quad (8)$$

เมื่อ

$$FC = D + I \quad (9)$$

และ

$$VC = (L + E + R\&M + F + W) \times A \quad (10)$$

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, D) คัดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight-Line Method โดยใช้สมการ

$$D = \frac{(P - S)}{Y} \quad (11)$$

ค่าเสียโอกาสหรือดอกเบี้ย (Interest, I) โดยที่ i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (เปอร์เซ็นต์)

$$I = \left(\frac{P + S}{2} \right) \times \left(\frac{i}{100} \right) \quad (12)$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/ลิตร)} = \frac{TC}{(\text{Cap})(h)(A)} \quad (13)$$

6.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback period ; PBP) คือ ระยะเวลาจากการเริ่มลงทุน จนถึงเวลาที่รายได้สุทธิเฉลี่ยต่อปีจากการกลั่นสุราแบบสุญญากาศมีค่าเท่ากับการลงทุนซึ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ว่า

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินลงทุน(P)}}{\text{รายได้สุทธิจากการกลั่นสุราแบบสุญญากาศ}} \quad (14)$$

รายได้สุทธิจากการกลั่นสุราแบบสุญญากาศ=รายได้จากการกลั่นสุรา-ค่าใช้จ่ายรวมในการกลั่นสุรา

6.3 ผลตอบแทนสุทธิ ได้จากส่วนแตกต่างระหว่างผลตอบแทนจากการทำงานของเครื่อง กับค่าใช้จ่ายในการกลั่นสุราแบบสุญญากาศซึ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ว่า

$$\text{ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ปี)} = [(CR)(\text{Cap})(h)(A)(1-V)] - TC \quad (15)$$

ผลการวิจัย

1. ผลของการกลั่นสุราจากสาโทโดยใช้เครื่องระเหยชนิดสุญญากาศ (Rotavapor) ขนาดห้องปฏิบัติการ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าวโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสภาวะในการกลั่นจะใช้สภาวะเดียวกันกับสภาวะของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยในการออกแบบ พบว่า ปัมสุญญากาศที่เลือกใช้สามารถทำความดันที่สภาวะสุญญากาศได้ 210 mbar และสำหรับการควบคุมจะเลือกใช้น้ำที่ได้จากคูลลิ่งทาวเวอร์แทนน้ำจากเครื่องทำความเย็น เพื่อจะได้เป็นการลดการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการกลั่น ซึ่งน้ำจากคูลลิ่งทาวเวอร์สำหรับการควบคุมของคอนเดนส์เซอร์จะมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส

ดังนั้นการทดลองของเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ในห้องปฏิบัติการ จึงทำการทดลองกลั่นสาโทโดยควบคุมสภาวะสุญญากาศที่ 210 mbar อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการควบคุมของคอนเดนเซอร์ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณสาโทที่ใช้กลั่น 4 ลิตร และใช้เวลาในการกลั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อควบคุมสภาวะการกลั่น และใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ water bath ซึ่งอุณหภูมิของน้ำใน water bath ที่ใช้ในการทดสอบ คือ 80 85 90 และ 95 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 6 ผลของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศในห้องปฏิบัติการที่สภาวะต่างๆ

| อุณหภูมิ water bath (°C) | อุณหภูมิ สาโท (°C) | ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่กลั่น ได้ 35 ดีกรี (ml) | อัตราการ ผลิต (l/hr) | เปอร์เซ็นต์ Yield | พลังงานไฟฟ้าที่ ใช้(kWh) | พลังงาน จำเพาะ (kWh/l) |
|--------------------------------|--------------------------|--|----------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 80 | 56 | 612 | 0.61 ^a | 15.3 ^a | 2.60 | 4.24 ^b |
| 85 | 59 | 785.17 | 0.79 ^b | 19.63 ^b | 2.85 | 3.63 ^a |
| 90 | 60.5 | 904.43 | 0.90 ^c | 22.61 ^c | 3.24 | 3.58 ^a |
| 95 | 60.5 | 1059.27 | 1.06 ^d | 26.48 ^d | 3.80 | 3.59 ^a |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

จากตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศในห้องปฏิบัติการ ซึ่งแสดงค่าอุณหภูมิของ water bath อุณหภูมิสาโท ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งทำการปรับให้ได้ 35 ดีกรีเท่ากัน อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield พลังงานที่ใช้ และพลังงานจำเพาะมีค่าเปลี่ยนไป โดยอุณหภูมิสาโท ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ อัตราการผลิต พลังงานที่ใช้ และพลังงานจำเพาะ

เมื่อตั้งอุณหภูมิของ water bath เป็น 80 และ 85 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสาโทที่วัดได้จะมีค่า 56 และ 59 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของ water bath เป็น 90 และ 95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสาโทที่วัดได้จะมีค่าเท่ากันที่ 60.5 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิสาโทระหว่างทำการกลั่นจะเพิ่มตามอุณหภูมิของ water bath ในช่วงแรก และจะคงที่ที่อุณหภูมิสาโทเป็น 60.5 องศาเซลเซียส ในช่วงสุดท้าย เนื่องจากที่อุณหภูมิสาโท 60.5 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายในสาโทระเหยกลายเป็นไอที่ระดับสภาวะสุญญากาศ 210 mbar ซึ่งเมื่อนำสารที่มีจุดเดือดสูงกว่าเอทานอลในสาโท ประกอบด้วย 2-Propanol (rubbing alcohol), 1-Propanol และน้ำ ไปคำนวณในสมการแอนโทนิน (โซโซ, 2536) เพื่อหาจุดเดือดของสารละลายดังกล่าว พบว่า มีจุดเดือด 47.73 60.72 และ 61.74 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นสารละลายสาโทจึงมีจุดเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 60.5 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงจุดเดือดของ 1-Propanol และน้ำ ที่เป็นสารละลายอยู่ในสาโท ที่สภาวะสุญญากาศ 210 mbar ซึ่งการที่อุณหภูมิของสาโทไม่เพิ่มขึ้นถึงแม้ว่า

มีการให้ความร้อน จาก water bath เพิ่ม เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มให้แก่สาโทนั้น ได้ใช้ไปในการระเหยตัวของสารละลาย (ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ) แต่จะมีผลทำให้อัตราการระเหยของสารละลายในสาโทเพิ่มขึ้น นั่นคือ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้ระเหยกลายเป็นไอของสารละลายที่อยู่ในสาโท ซึ่งถ้าปรับอุณหภูมิของ water bath เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณของน้ำ และสาโทจะระเหยออกมามากขึ้น แต่อุณหภูมิของสาโทยังมีค่าเท่าเดิม

จากผลของอัตราการผลิต และเปอร์เซ็นต์ Yield ที่อุณหภูมิ water bath 80 85 90 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิ water bath 95 องศาเซลเซียส จะให้อัตราการผลิต และเปอร์เซ็นต์ Yield ออกมาสูงสุดที่ 1.06 l/hr และ 26.48 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิของ water bath สูง ทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของ water bath สูงขึ้น จะทำให้โมเลกุลต่าง ๆ ของสารละลายในสาโทมีพลังงานจลน์สูงขึ้น เมื่อพลังงานจลน์มากพอที่ชนะแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค จึงเกิดการระเหยขึ้น ดังนั้นพลังงานจลน์ยิ่งมาก จะทำให้อนุภาคของไอสาโทออกจากสาโทมากขึ้นและมีผลให้การระเหยของไอสาโทดีกว่า (กฤษณา, 2540; ลัดดา, 2539)

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ พบว่า เมื่ออุณหภูมิของ water bath เพิ่มขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เพราะเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าส่งไปยังแผ่นขดลวดให้ความร้อน เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนให้แก่ น้ำใน water bath ซึ่งที่อุณหภูมิ water bath 95 องศาเซลเซียส จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 3.80 kWh

จากตารางผนวกที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะ คือ พลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งทำการปรับให้ได้ 35 ดีกรี พบว่า อุณหภูมิ water bath ทั้ง 4 อุณหภูมิ มีพลังงานจำเพาะแบ่งเป็นกลุ่มได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 ที่อุณหภูมิ water bath 85 90 และ 95 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานจำเพาะ 3.63 3.58 และ 3.59 kWh/l ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ข้อมูลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 แต่จะต่างกับกลุ่ม 2 ที่อุณหภูมิ water bath 80 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานจำเพาะ 4.24 kWh/l ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากทั้งๆที่ใช้พลังงานในการกลั่นต่ำกว่า แต่ปริมาณสาโทที่ได้ต่ำกว่ามากทำให้ค่าพลังงานจำเพาะสูงกว่าการกลั่นที่สภาวะอื่นๆ

จากตารางผนวกที่ 1 ตารางผนวกที่ 2 และตารางผนวกที่ 3 เมื่อนำทั้งอัตราการผลิตเปอร์เซ็นต์ Yield และพลังงานจำเพาะ มาศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกลั่นสุราของ

เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) ในห้องปฏิบัติการ คือที่อุณหภูมิ water bath 95 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิสาโทในขณะกลั่นเป็น 60.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากได้อัตราการผลิต และเปอร์เซ็นต์ Yield สูงสุดที่ 1.06 l/hr และ 26.48 ตามลำดับ โดยพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด คือ 3.59 kWh/l ดังนั้นในการออกแบบ และทดสอบสำหรับเครื่องต้นแบบจึงเลือกอุณหภูมิสาโท 60.5 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิตดลองเบื้องต้นในการกลั่น โดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

2. ออกแบบเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

การออกแบบเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ประกอบด้วย การออกแบบถังกลั่น การออกแบบคอนเดนส์เซอร์ การออกแบบท่อต่อเชื่อมระหว่างถังกลั่นกับคอนเดนส์เซอร์ การออกแบบท่อรับผลิตภัณฑ์ ป้อนสุญญากาศที่เลือกใช้ และระบบควบคุมอุณหภูมิ

2.1 ถังกลั่น

ส่วนของถังกลั่น ทำจากสแตนเลส ดังแสดงในภาพที่ 36 โดยถังกลั่นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ตัวถังสูง 60 เซนติเมตร หนา 3.28 มิลลิเมตร การคำนวณความหนาแสดงในภาคผนวก ก1 ซึ่งมีความจุโดยรวม 75 ลิตร และก้นถังสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร ส่วนแบบที่ใช้ในการจัดสร้างถังกลั่น และฝาถังกลั่น แสดงในภาคผนวก ข2 และ ข3 ตามลำดับ โดยด้านก้นถังมีท่อพร้อมวาล์ว เพื่อปล่อยอากาศที่ก้นถังแล้วออก มีชั้นวางเตาแก๊สขนาด KB 5

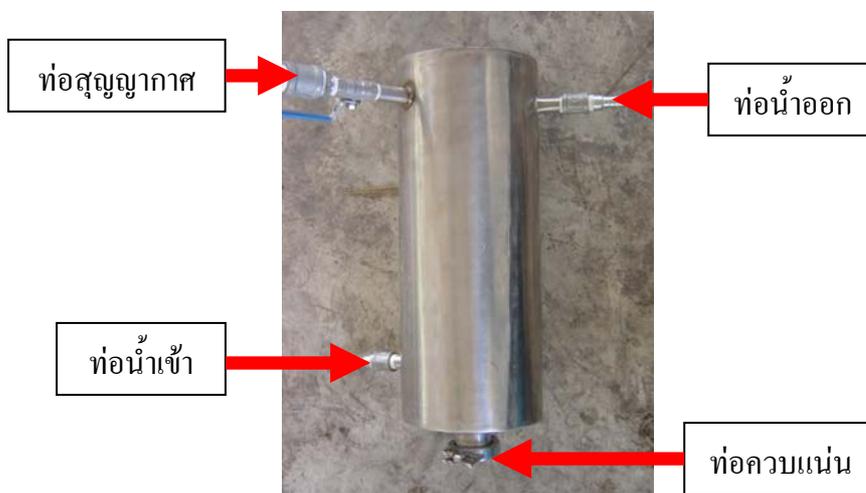


ภาพที่ 36 ถังกลั่น

2.2 คอนเดนส์เซอร์

คอนเดนส์เซอร์ประกอบด้วย ท่อด้านนอกทำด้วยสแตนเลส ดังแสดงในภาพที่ 37 และภาคผนวก ข4 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และภายในท่อคอนเดนส์เซอร์มีท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาวทั้งหมด 19.6 เมตร นำมาขดเป็นวงจำนวน 2 ชั้น โดยที่ขดท่อวงแรกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร และขดท่อวงสองมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร แต่ละขด ขควรรอบ 26 รอบ สำหรับความยาวของท่อที่ใช้แสดงการคำนวณในภาคผนวก ก2

หลักการทำงานของคอนเดนส์เซอร์ น้ำเย็นจะไหลเข้าไปตามขดท่อด้านใน โดยจะไหลเข้าที่น้ำเข้าที่ด้านล่าง และเมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอของแอลกอฮอล์ ทำให้เกิดการกลั่นตัวแล้ว น้ำซึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะไหลออกที่น้ำออกที่บน ส่วนท่อสุญญากาศเป็นท่อที่ต่อกับปั๊มสุญญากาศ และท่อควบแน่นเป็นท่อที่ไอของสารโทะระเหยเข้ามาควบแน่น เมื่อควบแน่นแล้ว แอลกอฮอล์จะไหลกลับที่ท่อควบแน่น เพื่อ ไหลลงที่รับผลิตภัณฑ์

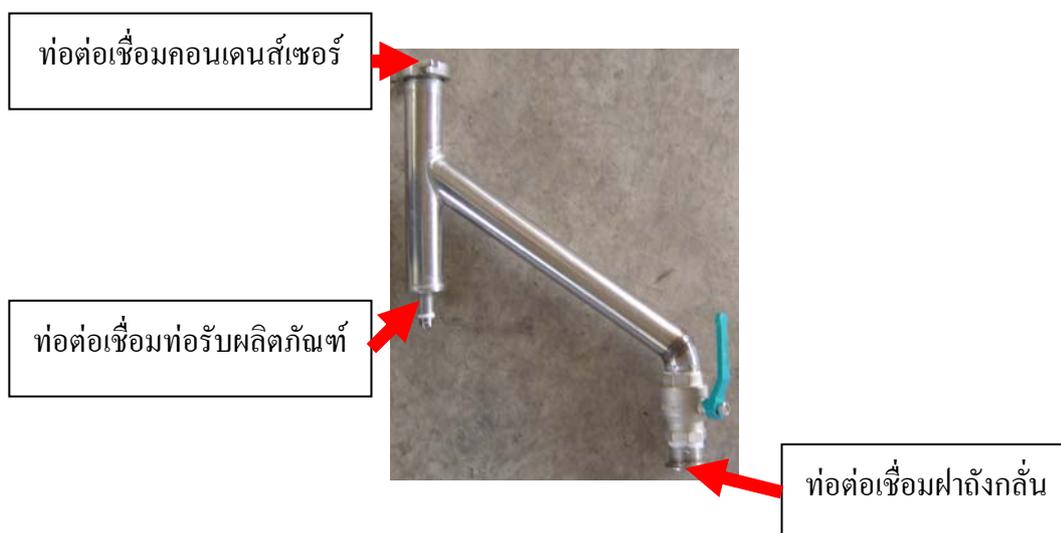


ภาพที่ 37 คอนเดนส์เซอร์

2.3 ท่อต่อเชื่อม

ท่อต่อเชื่อมใช้ท่อสแตนเลสโดยมีวาล์วกับข้อต่อ ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 38 และภาคผนวก ข5

หลักการการทำงานของท่อต่อเชื่อม โดยไอของแอลกอฮอล์จะระเหยผ่านท่อต่อเชื่อมฝาดังกลั่นไปยังคอนเดนส์เซอร์ ซึ่งผ่านท่อต่อเชื่อมกับคอนเดนส์เซอร์ด้านบน แอลกอฮอล์ระเหยเข้าไปควบแน่นที่คอนเดนส์เซอร์ แล้วไหลลงผ่านท่อต่อเชื่อมกับคอนเดนส์เซอร์ และผ่านท่อต่อเชื่อมท่อรับผลิตภัณฑ์ เพื่อรวบรวมไอแอลกอฮอล์ที่ผ่านการควบแน่นที่ท่อรับผลิตภัณฑ์



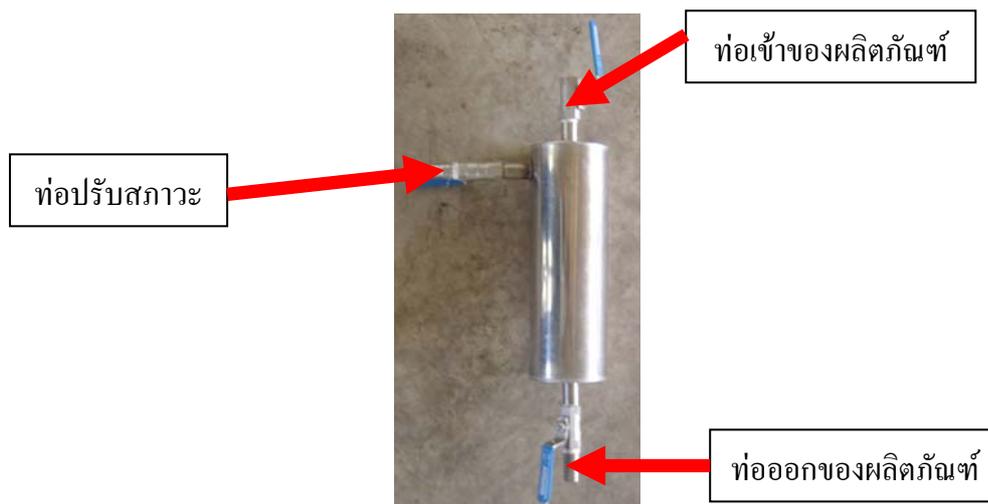
รูปที่ 38 ท่อต่อเชื่อม

2.4 ท่อรับผลิตภัณฑ์

ท่อรับผลิตภัณฑ์ทำจากสแตนเลส มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร มีท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ " ต่อกับท่อรับผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ด้าน ด้านบน ด้านล่าง และด้านข้าง ดังแสดงในภาพที่ 39 และภาคผนวก ข6

หลักการการทำงานของท่อรับผลิตภัณฑ์ คือ แอลกอฮอล์ที่ควบแน่นจากคอนเดนส์เซอร์จะไหลผ่านท่อเข้าของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านบน ไปในท่อรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งวาล์วของท่อเข้าของผลิตภัณฑ์

จะเปิดตลอดเวลาขณะที่ทำการกลั่น เมื่อต้องการนำแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ออก ให้ปิดวาล์วท่อเข้าของผลิตภัณฑ์ และเปิดวาล์วท่อปรับสถานะ ที่อยู่ด้านข้าง เพื่อให้ภายในท่อรับผลิตภัณฑ์ปรับจากสถานะสุญญากาศเป็นสถานะบรรยากาศ จากนั้นเปิดวาล์วท่อออกของผลิตภัณฑ์ เพื่อนำสุรากลั่นออก



ภาพที่ 39 ท่อรับผลิตภัณฑ์

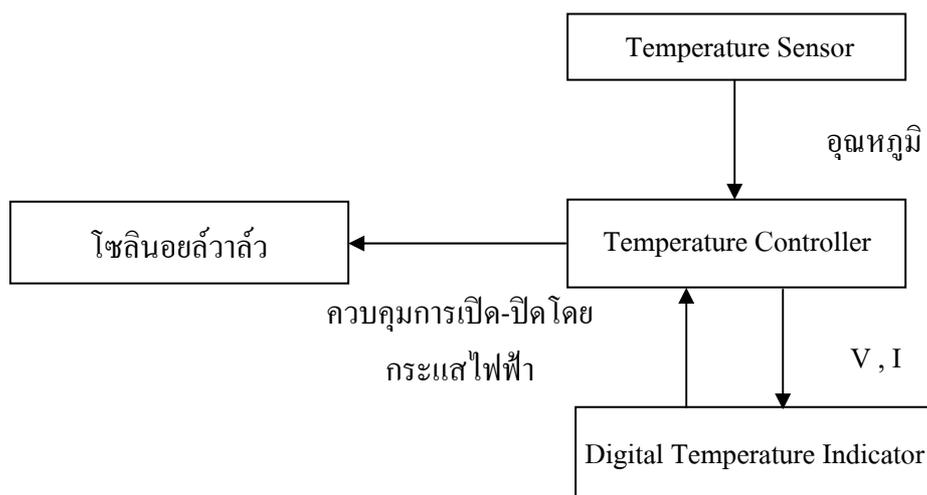
2.5 ปั๊มสุญญากาศ

เป็นปั๊มสุญญากาศชนิดวอเตอร์ริง (water-ring vacuum pump) ดังแสดงในภาพที่ 40 ประกอบด้วย ปลอดภัยและใบพัดวางอยู่ตำแหน่งศูนย์กลางของปลอดภัย เมื่อใบพัดหมุนจะมีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากน้ำ ซึ่งใบพัดจะดูดน้ำเข้าและปล่อยออกอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดแรงดูดสุญญากาศ



ภาพที่ 40 ปุ่มสูญญากาศ

2.6 ระบบควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 41 แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิ

ระบบควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยส่วนต่างๆ 4 ส่วน คือ

2.6.1 Temperature Sensor ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ แล้วส่งสัญญาณอนาลอกไปยัง Temperature Controller โดยที่ Temperature Sensor จะอยู่ตำแหน่งด้านล่างของถังกลั่น โดยจะทะลุถึงก้นด้านล่าง มีท่อเพื่อป้องกันความร้อนจากเตาแก๊ส ซึ่งจะวัดอุณหภูมิของสาโทที่ด้านล่างของถัง

2.6.2 Temperature Controller เป็นอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาลอกจาก Temperature Sensor ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยแสดงผลที่ Digital Temperature Indicator และทำการประมวลผล เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมการเปิดปิดของโซลินอยด์วาล์ว

2.6.3 Digital Temperature Indicator หน้าจอแสดงสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ทราบว่าในปัจจุบันอุณหภูมิที่ Temperature Sensor วัดอยู่นั้นมีอุณหภูมิเป็นเท่าไร และยังบอกถึงค่าอุณหภูมิที่เราตั้งค่าที่ควบคุมไว้ด้วย โดยที่ Digital Temperature Indicator จะอยู่ที่กล่องควบคุม

2.6.4 โซลินอยด์วาล์วเป็นตัวควบคุมการไหลของแก๊สเพื่อทดแทนการเปิดปิดด้วยมือ เพราะมีความสะดวกและง่ายในการควบคุม ซึ่งควบคุมการเปิดปิดแบบอัตโนมัติ จะทำงานโดยใช้อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในคอยล์คูลูกสูบ ให้ยกตัวขึ้นชนะแรงดันของสปริง เพื่อเปิดรูให้ของไหลไหลผ่านวาล์ว โดยที่ โซลินอยด์วาล์ว จะอยู่ใกล้กับเตาแก๊สเพื่อควบคุมการเปิดปิดวาล์ว

จากภาพที่ 41 หลักการทำงานของระบบควบคุม คือ ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ Digital Temperature Indicator แล้วส่งสัญญาณดิจิทัลไปยัง Temperature Controller จากนั้น Temperature Sensor ซึ่งทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ แล้วส่งสัญญาณอนาลอกไปยัง Temperature Controller เพื่อแปลงสัญญาณจากอนาลอก ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยแสดงผลที่ Digital Temperature Indicator เมื่ออุณหภูมิยังไม่ถึงตามที่กำหนดไว้ Temperature Controller จะให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในคอยล์คูลูกสูบ ให้ยกตัวขึ้นเปิดรูให้แก๊สไหลผ่านวาล์ว และเมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่ตั้งไว้ที่ Temperature Controller จะควบคุมไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ลูกสูบจะดันลงตามแรงสปริงปิดรูของแก๊สไม่ให้ไหล

เมื่อนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 42 จะได้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ



ภาพที่ 42 เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

3. ผลของการหาวิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการกลั่น และอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าวของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยวิธีการกลั่นในการทดลองมี 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 ตั้งอุณหภูมิการกลั่น จากนั้นเปิดเตาแก้สความร้อน และเปิดปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นจนกระทั่ง อัตราการผลิตน้อยกว่า 20 ml/นาที่ จึงหยุดทำการกลั่น วิธีที่ 2 ตั้งอุณหภูมิการกลั่น จากนั้นเปิดเตาแก้สความร้อน และเปิดปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นจนกระทั่ง ไม่มีสุรากลั่นออกมา จึงหยุดทำการกลั่น และ วิธีที่ 3 ตั้งอุณหภูมิการกลั่น จากนั้นเปิดเตาแก้สความร้อน และเปิดปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นจนกระทั่งอัตราการผลิตลดลงต่ำกว่า 20 ml/นาที่ จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิการกลั่นโดยปรับที่ชุดควบคุมให้มีอุณหภูมิมากกว่าเดิม 5 องศาเซลเซียส ทำจนกว่าสุรากลั่นที่ออกมามีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 35 ดีกรี จึงหยุดทำการกลั่น ส่วนอุณหภูมิการกลั่นจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า อุณหภูมิสาโทที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นที่สภาวะสุญญากาศ 210 mbar คือ 60.5 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงทดลองเครื่องสุญญากาศต้นแบบเบื้องต้น โดยเลือกใช้อุณหภูมิสำหรับกลั่นสาโท คือ 50 55 60 และ 65 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสาโทในการกลั่นครั้งละ 10 ลิตร สำหรับการควบคุมใช้น้ำจากคูลิ่งทาวเวอร์อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางในการควบคุม แต่เมื่อทดลองกลั่นสาโทเบื้องต้น พบว่า อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 องศาเซลเซียส นั้น ต้องใช้เวลานานในการกลั่น เพราะอุณหภูมิที่ใช้กลั่นต่ำเกินไปทำให้เสียเวลาในการกลั่น และที่อุณหภูมิการกลั่น 65 องศาเซลเซียส นั้นแก้สไม่สามารถให้ความร้อนให้อุณหภูมิของสาโทถึงตามต้องการได้ เพราะอุณหภูมิในการกลั่นสูงเกินไป ทำให้ค่าสภาวะความดันสุญญากาศสูงขึ้นมากกว่า 210 mbar ซึ่งเป็นไปตามกฎของแก๊ส คือ ถ้าให้ปริมาตรของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะผันแปรโดยตรงกับอุณหภูมิ (ชัยวัฒน์, 2546) ดังนั้น ในทดลองหาอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ จึงเลือกทดสอบอุณหภูมิการกลั่นสาโท 2 ระดับ คือ 55 และ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 7 ผลของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศดันแบบแสดงวิธีการกลั่นและ อุณหภูมิการกลั่นที่แตกต่างกัน

| วิธีใน การกลั่น | อุณหภูมิในการกลั่น (°C) | เวลา (min) | ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่ กลั่นได้ (ml) | อัตราการ ผลิต (l/hr) | เปอร์เซ็นต์ Yield | พลังงาน แก๊สที่ใช้ (kWh) | พลังงาน จำเพาะ (kWh/l) |
|-----------------|-------------------------|------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 55 | 19.67 | 2162.00 ^d | 6.60 ^f | 21.62 ^d | 3.91 | 1.81 ^a |
| 2 | 55 | 34.67 | 2251.43 ^c | 3.90 ^d | 22.51 ^c | 4.74 | 2.11 ^b |
| 3 | 55 | 34 | 2764.91 ^f | 4.88 ^e | 27.65 ^f | 5.30 | 1.92 ^a |
| 1 | 60 | 30 | 1547.57 ^a | 3.10 ^b | 15.48 ^a | 5.58 | 3.61 ^c |
| 2 | 60 | 50 | 1776.16 ^b | 2.13 ^a | 17.76 ^b | 6.98 | 3.93 ^d |
| 3 | 60 | 35 | 2053.14 ^c | 3.52 ^c | 20.53 ^c | 8.37 | 4.08 ^c |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

จากตารางที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศดันแบบ ซึ่งแสดงวิธีการกลั่น อุณหภูมิในการกลั่น ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งปรับให้ได้ 35 ดีกรี อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield พลังงานแก๊สที่ใช้ และพลังงานจำเพาะมีค่าเปลี่ยนไป โดยปริมาณ แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งปรับให้ได้ 35 ดีกรี อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield พลังงานแก๊สที่ใช้ และ พลังงานจำเพาะ จะมีความสัมพันธ์กับวิธีในการกลั่น และอุณหภูมิในการกลั่น

จากตารางผนวกที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ ของการกลั่น 3 วิธี วิธี ละ 2 อุณหภูมิ ที่ 55 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า วิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่น ต่างกัน จะส่งผลให้อัตราการผลิตแบ่งเป็นกลุ่มได้ 6 กลุ่ม โดยการกลั่นวิธีที่ 3 ที่อุณหภูมิการกลั่น สาโท 55 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตอยู่ในกลุ่มมากที่สุดเนื่องจากการกลั่นวิธีนี้ เมื่ออัตราการ ผลิตของสุรากลั่นออกมาน้อยกว่า 20 ml/นาที่ แต่ดีกรียังสูงกว่า 35 ดีกรี จะทำการเพิ่มอุณหภูมิการ กลั่นมากกว่าเดิม 5 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สูญเสียสุรากลั่นในช่วงที่การกลั่นวิธีที่ 1 และการกลั่น วิธีที่ 2 ไม่สามารถกลั่นได้ ถึงแม้ว่าการกลั่นวิธีที่ 3 จะมีการใช้พลังงานมากขึ้น แต่ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้มีค่าเพิ่มขึ้นตาม ทั้งยังไม่สูญเสียแอลกอฮอล์ที่อยู่ในสาโท

จากตารางผนวกที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิต ของการกลั่น 3 วิธี วิธีละ 2 อุณหภูมิ ที่ 55 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า วิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นต่างกัน จะส่งผลให้อัตราการผลิตแบ่งเป็นกลุ่มได้ 6 กลุ่ม โดยการกลั่นวิธีที่ 1 ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตอยู่ในกลุ่มมากที่สุด เนื่องจากการกลั่นทั้ง 3 วิธีในระยะเริ่มต้นจะมีปริมาณแอลกอฮอล์ออกมาสูง และมีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูง ซึ่งวิธีที่ 1 นี้จะหยุดกลั่นในช่วงนี้ ทำให้มีปริมาณแอลกอฮอล์สูง และใช้ระยะเวลาในการกลั่นน้อย ส่งผลให้อัตราการผลิตสูง แต่จะสูญเสียแอลกอฮอล์ที่อยู่ในสาโท โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ Yield

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของการกลั่น 3 วิธี พบว่า อุณหภูมิในการกลั่น 55 องศาเซลเซียส จะให้ค่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ และอัตราการผลิตมากกว่าอุณหภูมิการกลั่นสาโท 60 องศาเซลเซียส สาเหตุเนื่องจาก อุณหภูมิการกลั่นสาโทที่ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณสุรากลั่นจะออกมา มากกว่าที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส แต่ดีกรีของสุรากลั่นที่ได้จะต่ำกว่า และใช้พลังงานบางส่วนในการกลั่นน้ำออกมาด้วยทำให้ เมื่อนำไปเจือจางให้ได้สุรากลั่น 35 ดีกรีนั่น ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิในการกลั่นสาโท 60 องศาเซลเซียส เพราะอุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส ได้สุรากลั่นที่มีดีกรีสูงกว่าที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าเพิ่มอุณหภูมิการกลั่นสาโทมากเกินไปจะทำให้ น้ำออกมา มากจึงทำให้สุรากลั่นที่ได้มีดีกรีลดลง และเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากตารางผนวกที่ 6 เมื่อนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Yield คือ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ 35 ดีกรี ต่อปริมาณสาโทที่ใช้กลั่น ของวิธีการกลั่น 3 วิธี วิธีละ 2 อุณหภูมิ ที่ 55 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบ พบว่า วิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นต่างกัน จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ Yield แบ่งเป็นกลุ่มได้ 6 กลุ่ม โดยวิธีการกลั่นวิธี 3 ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ Yield มากสุดที่ 27.65 เพราะที่ปริมาณการกลั่นสาโทเท่ากัน 10 ลิตร วิธีการกลั่นวิธี 3 ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ออกมา มากสุด

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานแก๊สที่ใช้ของวิธีการกลั่นทั้ง 3 วิธี ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 2 ระดับ คือ 55 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า วิธีการกลั่น 3 วิธี ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานแก๊สน้อยกว่าที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 60 องศาเซลเซียส

สาเหตุเนื่องจาก การกลั่นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เสียพลังงานการใช้แก๊สที่เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในการระเหยของสาโทน้อยลง

จากตารางผนวกที่ ๗7 เมื่อเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะ คือ พลังงานแก๊สต่อปริมาณ แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ ของวิธีการกลั่น 3 วิธี วิธีละ 2 อุณหภูมิ ที่ 55 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า วิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นต่างกัน จะส่งผลให้พลังงานจำเพาะแบ่งเป็นกลุ่มได้ 5 กลุ่ม โดยพลังงานจำเพาะวิธีการกลั่นวิธี 1 ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส จะมีค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด เนื่องจากในช่วงแรกของการกลั่นจะมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ออกมามาก และวิธีการกลั่นวิธี 1 ที่อุณหภูมิการกลั่นสาโท 55 องศาเซลเซียส จะหยุดกลั่นทันที จึงมีเวลาในการกลั่น และพลังงานแก๊สที่ใช้ก็น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะซึ่งเป็นอัตราส่วนพลังงานแก๊สต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ จึงมีค่าน้อยที่สุด

จากตารางผนวกที่ ๗4 ตารางผนวกที่ ๗5 ตารางผนวกที่ ๗6 และตารางผนวกที่ ๗7 เมื่อนำข้อมูลวิธีการกลั่น 3 วิธี วิธีละ 2 อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยพิจารณาปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งทำการปรับให้ได้ 35 ดีกรี อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield และพลังงานจำเพาะ พบว่า วิธีการกลั่นที่ดีที่สุดคือ วิธีที่ 3 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งทำการปรับให้ได้ 35 ดีกรีมากที่สุดคือ 2764.90 ml มีอัตราการผลิต 4.88 l/hr ซึ่งการกลั่นวิธีนี้ยังส่งผลมีปริมาณแอลกอฮอล์เหลืออยู่ในสาโทต่ำสุด โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ Yield มีค่ามากที่สุดคือ 27.65 และการกลั่นวิธีนี้ยังให้ค่าพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด โดยมีค่า 1.92 kWh/l

สาเหตุของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกลั่นสาโทของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบมีค่าไม่เท่ากัน โดยของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) มีอุณหภูมิ 60.5 องศาเซลเซียส และของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบมีอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เนื่องจากข้อจำกัดในการควบคุมอุณหภูมิ เพราะเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิสาโทโดยตรงขณะกลั่นได้ ต้องควบคุมอุณหภูมิที่ water bath แทน ส่วนเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ สามารถควบคุมอุณหภูมิสาโทโดยตรงได้

ดังนั้นวิธีการกลั่นที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบคือ วิธีที่ 3 ซึ่งมีวิธีการกลั่น โดยเปิดแก๊สและปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่ระดับ

สภาวะสุญญากาศ 210 mbar กลั่นจนกระทั่งอัตราการผลิตลดลงต่ำกว่า 20 ml/นาที่ ซึ่งจากการทดลองใช้เวลาในการกลั่นประมาณ 25 นาที จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิการกลั่น โดยปรับที่ชุดควบคุมให้มีอุณหภูมิมากกว่าเดิม 5 องศาเซลเซียส โดยจากการทดลอง พบว่า การกลั่นวิธีนี้ให้ค่ากำลังการผลิต 4.88 l/hr ซึ่งมีค่าพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด คือ 1.92 kWh/l และเปอร์เซ็นต์ Yield อยู่ในกลุ่มมากที่สุด คือ 27.65

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ซึ่งนำผลการทดลองที่ 1 การกลั่นสุราจากสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Rotavapor) ขนาดห้องปฏิบัติการ มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 3 การหาวิธีการกลั่นและอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยเลือกแต่สภาวะที่ดีที่สุด นำมาเปรียบเทียบทางด้าน อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield และพลังงานจำเพาะ

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

| ชนิดของเครื่องกลั่นสุญญากาศ และวิธีการกลั่น | อัตราการผลิต (l/hr) | เปอร์เซ็นต์ Yield | พลังงานจำเพาะ (kWh/l) |
|---|---------------------|-------------------|-----------------------|
| 1. การทดลอง Rotavapor ที่อุณหภูมิ water bath 95 °C | 1.06 | 26.48 | 3.59 |
| 2. การทดลองเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ที่อุณหภูมิ 55 °C วิธีการกลั่นวิธีที่ 3 | 4.88 | 27.65 | 1.92 |

จากตารางที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Rotavapor) เปรียบเทียบการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงอัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield และพลังงานจำเพาะมีค่าเปลี่ยนไป โดยอัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield และพลังงานจำเพาะจะมีความสัมพันธ์กับชนิดของเครื่องกลั่นสุญญากาศ และวิธีการกลั่น

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิตของเครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Rotavapor) กับอัตราการผลิตของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ พบว่า เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Rotavapor) มีอัตราการผลิต 1.06 l/hr ซึ่งต่ำกว่าเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ที่มีอัตราการผลิต 4.88 l/hr เนื่องจากเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) นั้นไม่สามารถนำสุรากลั่นออกมาวัด

เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ได้ทันที โดยจากการทดลองใช้เวลากลั่น 1 ชั่วโมง แล้วจึงหยุดการทำงาน ของเครื่อง ปรับให้เครื่องเป็นสภาวะบรรยากาศ จากนั้นนำสุรากลั่นออกมาวัดปริมาณ และ เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ทำให้การกลั่นจากเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) มีเปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ต่ำ เพราะได้น้ำจากสาโทปริมาณมากออกมาผสมกับสุรากลั่น และยังเสียเวลาในการ กลั่น จากข้อเสียนี้นจึงนำมาปรับปรุงให้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบสามารถนำสุรากลั่นออกมาวัด เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ได้โดยไม่ต้องหยุดทำการกลั่น ทำให้ได้สุรากลั่นที่มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ สูง และใช้เวลาในการกลั่นน้อย เพราะหยุดกลั่นได้ทันทีเมื่อเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่ำกว่า 35 ดีกรี

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ Yield คือ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่น ได้ 35 ดีกรี ต่อปริมาณ สาโทที่ใช้กลั่น ของการทดลองเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) โดยอุณหภูมิ water bath 95 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการทดลองเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบที่อุณหภูมิ 55 องศา เซลเซียส วิธีการกลั่นวิธีที่ 3 พบว่า เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) และเครื่องกลั่นสุญญากาศ ต้นแบบ มีเปอร์เซ็นต์ Yield 26.48 และ 27.65 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ Yield สูงสุดของแต่ละสภาวะการทดลอง

เมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะ คือ พลังงานที่ใช้ต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่น ได้ ที่การ ทดลองเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) โดยอุณหภูมิ water bath 95 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบ กับการทดลองเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยวิธีการกลั่นที่ 3 พบว่า พลังงานจำเพาะของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบมีค่า 1.92 kWh ซึ่งน้อยกว่าเครื่องระเหย สุญญากาศ (Rotavapor) ที่มีค่าพลังงานจำเพาะ 3.59 kWh เนื่องจากเครื่องกลั่นสุญญากาศจะหยุดทำ การกลั่นได้ทันที เมื่อสุรากลั่นมีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์น้อยกว่า 35 ดีกรี ทำให้ไม่เสียพลังงานใน การกลั่นน้ำ หรือสารผสมอื่นๆ ที่อยู่ในสาโทออกมา

จากตารางที่ 8 เมื่อนำข้อมูลการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) และเครื่อง กลั่นสุญญากาศต้นแบบ มาวิเคราะห์โดยพิจารณาจากอัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield และพลังงาน จำเพาะ พบว่า การกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ที่อุณหภูมิการกลั่น 55 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้วิธีการกลั่นวิธีที่ 3 นั้น มีประสิทธิภาพการกลั่นดีกว่าเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) เนื่องจากเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบได้ทำการปรับปรุงข้อเสียของเครื่องระเหย ภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ดังตารางที่ 9 ทำให้ได้อัตราการผลิตมากกว่า และยังมีค่า พลังงานจำเพาะต่ำกว่า เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor)

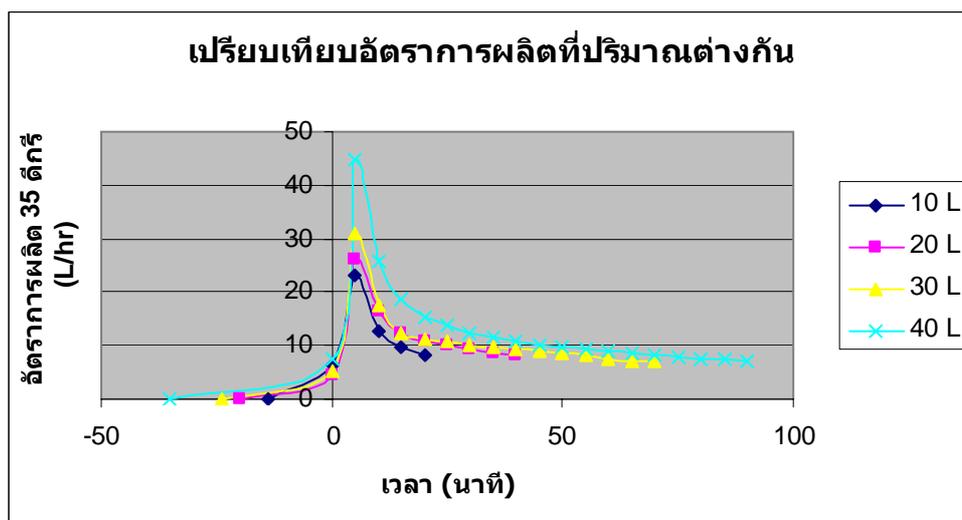
ตารางที่ 9 การนำข้อเสียของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) มาปรับปรุงเครื่องกลั่นสุญญากาศ
ต้นแบบ

| ข้อเสียของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) | เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ |
|--|--|
| ● ปริมาณการกลั่น 4 ลิตร | ● ปริมาณการกลั่น 10 – 40 ลิตร |
| ● ควบคุมอุณหภูมิที่ water bath (ต้องนำความร้อนของ water bath ไปให้ความร้อนแก่ สารโท) | ● ควบคุมอุณหภูมิที่สารโท |
| ● เวลานำสารกลั่นออกจากเครื่องต้องหยุด กลั่นก่อน แล้วจึงปรับให้เป็นสถานะ บรรยากาศ จากนั้นจึงนำสารกลั่นออก | ● สามารถนำสารกลั่นออกได้เลย โดยไม่ ต้องทำการหยุดกลั่น |
| ● ใช้ไฟฟ้าในการให้ความร้อนซึ่งเหมาะ สำหรับใช้งานในห้องปฏิบัติการ | ● ใช้แก๊สในการให้ความร้อนซึ่งเหมาะ สำหรับใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม |

5. ผลของปริมาณสาโทที่ใช้ในการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณสาโทที่เหมาะสมในการกลั่นสุราที่หมักจากข้าวโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ซึ่งจากการทดลองที่ 3 เพื่อหาวิธีการกลั่น และอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ ที่ความดันสุญญากาศ 210 mbar และอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ 25 องศาเซลเซียส พบว่า วิธีการกลั่นวิธีที่ 3 โดยตั้งอุณหภูมิการกลั่น 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดเตาแก๊สความร้อน และเปิดปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นจนกระทั่งอัตราการผลิตลดลงต่ำกว่า 20 ml/นาที่ จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิการกลั่นโดยปรับที่ชุดควบคุมให้มีอุณหภูมิมากกว่าเดิม 5 องศาเซลเซียส ทำจนกว่าสุรากลั่นที่ออกมามีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 35 ดีกรี จึงหยุดทำการกลั่น เป็นวิธีที่เหมาะสมในการกลั่นสุราของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

ดังนั้นการทดลองหาปริมาณสาโทที่ใช้ในการกลั่นที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบจึงทำการทดลองกลั่นวิธีที่ 3 เปรียบเทียบผลของการกลั่น เมื่อใช้ปริมาณสาโทต่างกัน คือ 10 20 30 และ 40 ลิตร ตามลำดับ สาเหตุที่ทดลองช่วงการกลั่น 10 - 40 ลิตร เพราะในการทดสอบเครื่องกลั่นเบื้องต้น พบว่าถ้าปริมาณสาโทใช้กลั่นน้อยกว่า 10 ลิตร จะเกิดรอยไหม้ที่ขอบเนื่องจากปริมาณสาโทน้อยเกินไป และที่ปริมาณสาโท 50 ลิตร จะมีฟองออกมาล้นถัง โดยล้นออกมาถึงท่อรับผลิตภัณฑ์ทำให้สุรากลั่นที่ออกมาขุ่น



ภาพที่ 43 อัตราการผลิตที่ปริมาณสาโท 10 20 30 และ 40 ลิตร

จากภาพที่ 41 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิตโดยปริมาณสาโทต่างกัน พบว่า ปริมาณสาโทในการกลั่นยิ่งมาก จะได้ปริมาณสุรากลั่นออกมามาก และออกมามากในช่วงให้ความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เนื่องจากการกลั่นช่วงแรกสารละลายในสาโทที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอล ที่ความดันสุญญากาศ 210 mbar ได้แก่ Acetone Methanol (wood alcohol) และ Ethyl acetate ซึ่งมีจุดเดือด 16.5 29.2 และ 36 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (โซโซ, 2538) จะระเหยออกมาพร้อมกับเอทานอลที่มีจุดเดือด 43.1 องศาเซลเซียส (Ackland, 2003) จึงทำให้อัตราการผลิตในช่วงแรกมีค่าอัตราการผลิตสูง แต่หลังจากนั้นเมื่อสารละลายในสาโทเหลือแต่เอทานอล กับสารละลายที่มีจุดเดือดสูงกว่าเอทานอล อัตราการผลิตจึงลดลง

ตารางที่ 10 ผลของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบที่ปริมาณการกลั่นแตกต่างกัน

| ปริมาณสาโท (ลิตร) | เวลา (นาที) | ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่ กลั่นได้ (ml) | อัตราการผลิต (l/hr) | เปอร์เซ็นต์ Yield | พลังงาน แก๊สที่ใช้ (kWh) | พลังงาน จำเพาะ (kWh/l) |
|----------------------|----------------|---|------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 10 | 34 | 2764.91 | 4.88 ^a | 27.65 ^a | 5.30 | 1.92 ^c |
| 20 | 60 | 5371.86 | 5.38 ^c | 26.86 ^a | 10.05 | 1.87 ^c |
| 30 | 94.67 | 8143.29 | 5.16 ^{bc} | 27.14 ^a | 13.95 | 1.71 ^a |
| 40 | 130 | 10768.71 | 4.97 ^{ab} | 26.92 ^a | 19.53 | 1.81 ^b |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

จากตารางที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ของการกลั่นสาโทโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบซึ่งแสดงค่าปริมาณสาโท ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ซึ่งทำการปรับให้ได้ 35 ดีกรี อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield พลังงานแก๊สที่ใช้ และพลังงานจำเพาะมีค่าเปลี่ยนไป โดยปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield พลังงานแก๊สที่ใช้ และพลังงานจำเพาะจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสาโท

เมื่อเพิ่มปริมาณสาโท จะทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณสาโทมากจะทำให้มีสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส ที่ระดับสถานะความดัน 210 mbar ในสาโทปริมาณมากขึ้น เมื่อนำไปกลั่น ปริมาณสุรากลั่นที่ได้จึงมากขึ้น จากตารางผนวกที่ 8 และ

ตารางที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิต พบว่า ปริมาณสาโทต่างกันจะส่งผลให้อัตราการผลิตต่างกันแบ่งเป็นกลุ่มได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ที่ปริมาณสาโท 10 ลิตร และ 40 ลิตร กลุ่มที่ 2 ที่ปริมาณสาโท 30 ลิตร และ 40 ลิตร และกลุ่มที่ 3 ที่ปริมาณสาโท 20 ลิตร และ 30 ลิตร

จากการเปรียบเทียบพลังงานแก๊สที่ใช้ของปริมาณสาโท 4 ระดับ คือ 10 20 30 และ 40 ลิตร พบว่า ปริมาณสาโท 10 ลิตร จะใช้พลังงานแก๊สน้อยที่สุด และพลังงานแก๊สที่ใช้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสาโทที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณสาโทมากพลังงานความร้อนที่ต้องให้แก่สาโทเพื่อให้มีอุณหภูมิตามต้องการจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานแก๊สมากขึ้น

จากตารางผนวกที่ 9 เมื่อนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Yield คือ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ 35 ดีกรี ต่อปริมาณสาโทที่ใช้กลั่น ที่ปริมาณสาโทต่างกัน 4 ระดับ คือ 10 20 30 และ 40 ลิตร มาเปรียบเทียบ พบว่า ปริมาณสาโทต่างกัน จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ Yield ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อมีการวิเคราะห์โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางผนวกที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะ หรือ พลังงานแก๊สต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ ที่ปริมาณสาโทต่างกัน 4 ระดับ คือ 10 20 30 และ 40 ลิตร พบว่า ปริมาณสาโทต่างกัน จะส่งผลให้พลังงานจำเพาะแบ่งเป็นกลุ่มได้ 3 กลุ่ม โดยพลังงานจำเพาะของปริมาณสาโท 30 ลิตร จะมีค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด เพราะจากการเปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ และพลังงานจำเพาะต่อหน่วยของปริมาณสาโทเริ่มต้นที่ใช้ พบว่า ที่ปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร มีปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ต่อหน่วยของสาโทเริ่มต้นมากที่สุด และพลังงานจำเพาะต่อหน่วยของสาโทเริ่มต้นน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะซึ่งเป็นอัตราส่วนพลังงานแก๊สต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ จึงมีค่าน้อยที่สุด

จากตารางที่ 10 ตารางผนวกที่ 8 และตารางผนวกที่ 10 ในการหาปริมาณการกลั่นที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยใช้วิธีการกลั่นตามวิธีที่ 3 ซึ่งพิจารณาจากพลังงานจำเพาะ และอัตราการผลิตมาศึกษา พบว่า ปริมาณการกลั่นที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ คือ ที่ปริมาณการกลั่น 30 ลิตร เนื่องจากมีพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด 1.71 kWh /l และมีอัตราการผลิตอยู่ในกลุ่มมากที่สุด 5.16 l/hr

6. ผลของปริมาณสาโทที่ใช้ในการกลั่นต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาปริมาณการกลั่นสาโทที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยพิจารณาจากประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้สุรากลั่นที่ปริมาณการกลั่น 10 ลิตร เป็นตัวอ้างอิง เนื่องจากปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร ใช้เวลาในการกลั่นน้อยสุด และให้ปริมาณแอลกอฮอล์มากที่สุดที่ปริมาณสาโทเท่ากัน นำปริมาณการกลั่น 10 ลิตร มาเปรียบเทียบกับสุรากลั่นที่ปริมาณการกลั่น 20 ลิตร 30 ลิตร และ 40 ลิตร โดยใช้ผู้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสุรากลั่นจำนวน 20 คน ประเมินคุณลักษณะสี่ ความใส กลิ่น รสชาติ และการยอมรับ

ตารางที่ 11 การประเมินค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัส ที่ปริมาณการกลั่นต่างๆ เปรียบเทียบกับปริมาณการกลั่น 10 ลิตร

| ปริมาณการ กลั่นสาโท | คุณลักษณะต่างๆของสุรากลั่น | | | | |
|------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | สี | ความใส | กลิ่น | รสชาติ | การยอมรับ |
| 20 ลิตร | 4.2 ^a | 4.45 ^a | 5.15 ^a | 4.25 ^a | 4.65 ^a |
| 30 ลิตร | 5.55 ^b | 5.75 ^b | 5.65 ^a | 4.6 ^{ab} | 5.45 ^b |
| 40 ลิตร | 6.15 ^c | 6.1 ^b | 5.65 ^a | 5.1 ^b | 5.95 ^b |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

จากตารางที่ 11 แสดงคะแนนค่าเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยมีคุณลักษณะสี่ ความใส กลิ่น รสชาติ และการยอมรับ ของสุรากลั่น ที่ปริมาณการกลั่นต่างๆ เปรียบเทียบกับปริมาณการกลั่น 10 ลิตร

จากตารางผนวกที่ 11 แสดงคะแนนค่าเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี ความใส กลิ่น รสชาติ และการยอมรับ ของสุรากลั่น มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในอันตรภาคชั้น 7 ชั้น โดยแต่ละอันตรภาคชั้นจะมีความหมายที่ต่างกัน คือ ชั้นที่ 1 แยกว่าปริมาณการกลั่น 10 ลิตร มาก ชั้นที่ 2 แยกว่า ปริมาณการกลั่น 10 ลิตร ปานกลาง ชั้นที่ 3 แยกว่าปริมาณการกลั่น 10 ลิตร เล็กน้อย ชั้นที่ 4 เหมือนกับ

ปริมาณการกลั่น 10 ลิตร ชั้นที่ 5 ดีกว่าปริมาณการกลั่น 10 ลิตร เล็กน้อย ชั้นที่ 6 ดีกว่าปริมาณการกลั่น 10 ลิตร ปานกลาง และชั้นที่ 7 ดีกว่าปริมาณการกลั่น 10 ลิตร มาก

จากตารางผนวกที่ ง11 และตารางผนวกที่ ง12 เมื่อพิจารณาจากสี ซึ่งสีที่ดีของสุรากลั่นจะต้องมีสีใส ปราศจากสีเหลืองที่เกิดจากการไหม้ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณการกลั่นสาโท 20 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 4 คือ สีใสเท่ากับปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร ปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 6 คือ สีใสมากกว่าปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร ปานกลาง และปริมาณการกลั่นสาโท 40 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 7 คือ สีใสมากกว่าปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร มาก เนื่องจากปริมาณการกลั่นสาโตน้อยทำให้เกิดการไหม้ที่ขอบ สุรากลั่นที่ออกมาจึงมีสีไหม้ ทำให้สุรากลั่นออกมาสีเหลืองเล็กน้อย

จากตารางผนวกที่ ง11 และตารางผนวกที่ ง13 เมื่อเปรียบเทียบจากความใส โดยความใสที่ดีจะต้องมีความมันวาว ไม่มีความขุ่น จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณการกลั่นสาโท 20 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ ใสมันวาวมากกว่าปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร เล็กน้อย และปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร และ 40 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 6 คือ ใสมันวาวมากกว่าปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร ปานกลาง เนื่องจากปริมาณการกลั่นสาโตน้อยทำให้เกิดการไหม้ที่ขอบ ความใสของสุรากลั่นที่ออกมาจึงมีความมันวาวน้อยกว่า

จากตารางผนวกที่ ง11 และตารางผนวกที่ ง14 เมื่อวิเคราะห์จากกลิ่น ซึ่งกลิ่นที่ดีจะต้องไม่มีที่เกิดจากการไหม้ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณการกลั่นสาโท 20 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ กลิ่นดีกว่าปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร เล็กน้อย และปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร และ 40 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 6 คือ กลิ่นดีกว่าปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร ปานกลาง เนื่องจากกลิ่นของสุรากลั่นขึ้นอยู่กับปริมาณการกลั่นสาโท เพราะปริมาณการกลั่นสาโตน้อยจะเกิดกลิ่นไหม้ปนกับกลิ่นของสาโท ทำให้สุรากลั่นออกมามีกลิ่นของสาโตน้อย

จากตารางผนวกที่ ง11 และตารางผนวกที่ ง15 เมื่อพิจารณารสชาติ โดยรสชาติที่ดีจะต้องมีรสชาติที่นุ่ม และหอมหวาน จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณการกลั่นสาโท 20 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 4 คือ รสชาติเหมือนกับปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร และปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร และ 40 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ รสชาติดีกว่าปริมาณการกลั่น

สาโท 10 ลิตร เล็กน้อย เนื่องจากที่ปริมาณการกลั่นสาโทน้อย จะเกิดการไหม้ ทำให้รสชาติที่ออกมาต่างจากปริมาณการกลั่นที่มากกว่า

จากตารางผนวกที่ ง11 และตารางผนวกที่ ง16 เมื่อพิจารณาการยอมรับ พบว่า ปริมาณการกลั่นสาโท 20 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 4 คือ ยอมรับเท่ากับปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร และปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร และ 40 ลิตร จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ การยอมรับมากกว่าปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร เล็กน้อย เนื่องจากเมื่อพิจารณาการยอมรับโดยรวมซึ่งประกอบด้วย สี ความใส กลิ่น และรสชาติ พบว่า ปริมาณการกลั่นสาโทมาก จะมีความใส ความมันวาว กลิ่น และรสชาติ ของสุรากลั่น ดีกว่าปริมาณการกลั่นสาโทน้อย จึงทำให้ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ยอมรับสุรากลั่นที่กลั่นจากสาโทปริมาณมาก

จากตารางผนวกที่ ง11 เพื่อต้องการหาปริมาณการกลั่นสาโทที่เหมาะสมของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยพิจารณาจากประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณการกลั่นที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ คือ ปริมาณการกลั่น 40 ลิตร เนื่องจากที่ปริมาณการกลั่น 30 ลิตร และ 40 ลิตร มีความมันวาว กลิ่น รสชาติ การยอมรับโดยรวม อยู่อันตรภาคชั้นที่สูงกว่า ปริมาณการกลั่น 20 ลิตร และเมื่อพิจารณาความใส ที่ปริมาณการกลั่น 40 ลิตร จะอยู่อันตรภาคชั้นที่สูงกว่า ปริมาณการกลั่น 20 ลิตร และ 30 ลิตร ดังนั้น ปริมาณการกลั่น 40 ลิตร จึงเป็นปริมาณการกลั่นที่เหมาะสมที่สุด เมื่อพิจารณาจากประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำการผลของการทดลองที่ 5 ปริมาณสาโทที่ใช้ในที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ และผลของการทดลองที่ 6 ปริมาณสาโทที่ใช้ในการกลั่นต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส มาวิเคราะห์ พบว่า เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกลั่น ที่ปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร มีพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด 1.71 kWh /l และมีอัตราการผลิตอยู่ในกลุ่มมากที่สุด 5.16 l/hr ซึ่งเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ที่ปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร มีความมันวาว กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวมอยู่อันตรภาคชั้นที่สูง ดังนั้น ที่ปริมาณสาโท 30 ลิตร เป็นปริมาณการกลั่นที่เหมาะสมที่สุด เมื่อพิจารณาทั้งประสิทธิภาพการกลั่น และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

7. ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของสุรากลั่นที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องกลั่นต่างกัน

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบสุรากลั่นที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบในการกลั่น ซึ่งเปรียบเทียบ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เปรียบเทียบสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศกับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงานสุราที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งใช้โมลาสชนิดเดียวกันเป็นวัตถุดิบในการกลั่น โดยเครื่องกลั่นของโรงงานสุราเป็นแบบ water still ประกอบด้วยส่วนของการกลั่นเป็นถึงไต้วัตถุดิบให้ความร้อนจากด้านล่างของถัง ส่วนของการควบแน่นมีกระดงไต้ น้ำไหลเวียนอยู่ด้านบน และส่วนของรองรับผลผลิต อยู่ในถัง มีหลักการทำงาน คือ ให้ความร้อนให้สาโทกลายเป็นไอ เมื่อไอสัมผัสพื้นผิวเย็นของกระดง เกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ ไหลตามความโค้งของกระดง และหยดลงในภาชนะรองรับ แบบที่ 2 เปรียบเทียบสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศกับสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งไม่ทราบชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของเครื่องกลั่น

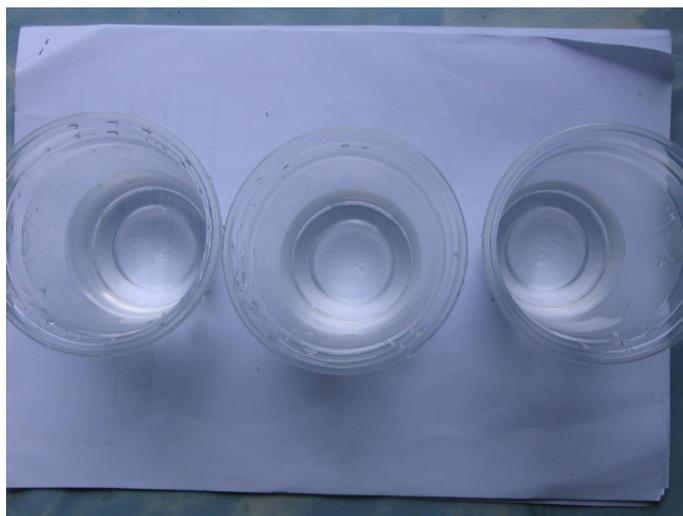
นำสุรากลั่น 3 ตัวอย่าง มาประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ซึ่งในการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะนำเอาสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศเป็นตัวอ้างอิง เปรียบเทียบกับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด โดยใช้ผู้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสุรากลั่นจำนวน 20 คน ประเมินคุณลักษณะสี่ ความใส กลิ่น รสชาติ และการยอมรับ

ตารางที่ 12 การประเมินค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสุรากลั่นที่ใช้เครื่องกลั่นต่างชนิดกัน เปรียบเทียบกับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ

| สุรากลั่นที่ใช้เปรียบเทียบ | คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะต่างๆของสุรากลั่น | | | | |
|---|--|--------|-------|--------|-----------|
| | สี | ความใส | กลิ่น | รสชาติ | การยอมรับ |
| สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน | 4.2 | 4.9 | 4.85 | 4.65 | 5 |
| สุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด | 4.45 | 5.15 | 4.1 | 4.5 | 4.65 |

จากตารางที่ 12 แสดงคะแนนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด เปรียบเทียบกับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ โดยมีคุณลักษณะสี ความใส กลิ่น รสชาติ และการยอมรับ

จากตารางผนวกที่ 17 แสดงคะแนนค่าเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี ความใส กลิ่น รสชาติ และการยอมรับ ของสุรากลั่น มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในอันตรภาคชั้นต่างๆ 7 ชั้น โดยแต่ละอันตรภาคชั้นจะมีความหมายที่ต่างกัน คือ ชั้นที่ 1 แย่กว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศมาก ชั้นที่ 2 แย่กว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศปานกลาง ชั้นที่ 3 แย่กว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศเล็กน้อย ชั้นที่ 4 เหมือนกับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ ชั้นที่ 5 ดีกว่าสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศเล็กน้อย ชั้นที่ 6 ดีกว่าสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ ปานกลาง และชั้นที่ 7 ดีกว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศมาก



ภาพที่ 44 สี และความใสของสุราที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุราที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ตามลำดับ

จากภาพที่ 44 เมื่อพิจารณาจากสี ซึ่งสีที่ดีของสุรากลั่นจะต้องมีสีใส ปราศจากสีเหลืองที่เกิดจากการไหม้ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า แบบที่ 1 สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน อยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 4 คือ สีใสเท่ากับ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ และแบบที่ 2 สุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด อยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ สีใสมากกว่าสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ เล็กน้อย เนื่องจากสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศมีปริมาณ โม

ลาสที่ใช้กลิ่น 10 ลิตร ซึ่งน้อยกว่า เครื่องกลั่นของโรงงานซึ่งมีปริมาณ โมลาสที่ใช้กลิ่น 50 ลิตร ทำให้เกิดการไหม้ที่ขอบ ส่งผลให้สีของสุรากลั่นมีสีเหลืองกว่าเล็กน้อย

จากการพิจารณาความใส โดยความใสที่ดีจะต้องมีความมันวาว ไม่มีความขุ่น จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ทั้ง 2 แบบ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ ใสมันวาวมากกว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ เล็กน้อย เนื่องจากสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมีกระบวนการเก็บสุรากลั่น โดยการรวมสุรากลั่นในถังขนาดใหญ่ ก่อน แล้วเติมน้ำทำให้เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เจือจางเหลือ 35 ดีกรี จึงทำให้สารที่ขุ่นเกิดการตกตะกอนอยู่ด้านล่างของถัง ส่งผลให้สุรากลั่นที่อยู่ด้านบนของถังมีความใสมันวาวกว่าสุรากลั่นที่เก็บบรรจุขวดโดยตรงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบกลิ่น ซึ่งขึ้นอยู่กับกลิ่นเป็นที่พึงประสงค์หรือไม่ และในการทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบส่วนใหญ่ไม่ชอบกลิ่นฉุนของโมลาส ทำให้แบบที่ 1 สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน อยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ กลิ่นดีกว่าสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ เล็กน้อย เนื่องจากเครื่องกลั่นสุญญากาศเป็นการกลั่นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้กลิ่นของโมลาสเข้ามาในสุรากลั่น ส่งผลให้สุรากลั่นมีกลิ่นฉุนของโมลาส ซึ่งเครื่องกลั่นสุญญากาศนั้นไม่เหมาะกับการกลั่นวัตถุดิบที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น โมลาส และสาโท แต่จะเหมาะกับวัตถุดิบที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เช่น ไวน์ผลไม้ และแบบที่ 2 สุรากลั่นที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด อยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 4 คือ กลิ่นเท่ากับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ

เมื่อทดสอบชิมสุรากลั่นเพื่อพิจารณารสชาติ โดยรสชาติที่ดีจะต้องมีรสชาติที่นุ่ม และหอมหวาน จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ทั้ง 2 แบบ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ รสชาติดีกว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ เล็กน้อย เนื่องจากปริมาณโมลาสที่ใส่ในเครื่องกลั่นสุญญากาศน้อยกว่า จะทำให้เกิดการไหม้ที่ขอบ และประกอปกกับมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ จึงทำให้ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้คะแนนรสชาติสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ดีกว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ เล็กน้อย

เมื่อพิจารณาการยอมรับ ซึ่งจะพิจารณาจากสี ความใส กลิ่น และรสชาติ ของสุรากลั่น จาก การทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ทั้ง 2 แบบ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และ สุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จะอยู่ในอันตรภาคชั้นที่ 5 คือ การยอมรับดีกว่า สุรากลั่นที่กลั่น โดยเครื่องกลั่นสุญญากาศ เล็กน้อย เนื่องจากเมื่อพิจารณาการยอมรับโดยรวมซึ่งประกอบด้วย สี ความใส กลิ่น และรสชาติ พบว่า สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มี จำหน่ายตามท้องตลาด จะมี สี ความใส กลิ่น และรสชาติ ดีกว่าสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่น สุญญากาศ เล็กน้อย จึงทำให้ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ยอมรับมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบสุรากลั่นที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบในการกลั่น ซึ่งเปรียบเทียบ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เปรียบเทียบสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศกับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่น ของโรงงานสุรา และแบบที่ 2 เปรียบเทียบสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศกับสุรากลั่นที่มี จำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า ทั้ง 2 แบบ สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงานสุรา และสุรา กลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด มีคะแนนเฉลี่ยของ สี ความใส กลิ่น รสชาติ และ การยอมรับ มากกว่าสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศเล็กน้อย เนื่องจากสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่น ของโรงงาน มีปริมาณการกลั่นสาโทมากกว่า และมีการเก็บรักษาสุราหลังการกลั่นที่ดีกว่า ส่วนสุรา ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด เป็นการผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นสุรากลั่นจึงมีการ ปรับปรุงเชื้อจุลินทรีย์ ปรับปรุงวัตถุดิบในการกลั่น และมีการปรุงแต่ง สี ความใส กลิ่น รสชาติ ของ สุรากลั่น ให้เป็นที่ต้องการแก่ผู้บริโภค และส่วนเครื่องกลั่นสุญญากาศนั้นเป็นการกลั่นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้กลิ่นของวัตถุดิบ เครื่องกลั่นนี้จึงไม่เหมาะกับการกลั่นวัตถุดิบที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น โมลาส และสาโท แต่จะเหมาะกับวัตถุดิบที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เช่น ไวน์ผลไม้

8. การวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 13 งบประมาณในการสร้างเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

| ส่วนประกอบหลัก | จำนวน | ราคา/หน่วย | ราคา |
|--|-------|------------|---------|
| 1. แผ่นสแตนเลส ขนาด 4" x 8"หนา 3.28 mm | 1 | 9,200 | 9,200 |
| 2. ท่อสแตนเลส ขนาด dia 1 ½" x 1.5 mm | 1 | 1,720 | 1,720 |
| 3. ท่อสแตนเลส ขนาด dia ½" x 3 mm | 1 | 1,300 | 1,300 |
| 4. ท่อสแตนเลส ขนาด dia 1 cm | 4 | 900 | 3,600 |
| 5. Seal ยาง | 1 | 800 | 800 |
| 6. วาล์วขนาด 1 ½" | 1 | 350 | 350 |
| 7. วาล์วขนาด ½" | 6 | 250 | 1,500 |
| 8. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ | | | |
| 8.1 Temperature Sensor | 1 | 1,400 | 1,400 |
| 8.2 โซลินอยวาล์ว | 1 | 1,100 | 1,100 |
| 8.3 Temperature controller และ Digital Temperrature Indicator | 1 | 4,000 | 4,000 |
| 8.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อื่นๆ | 1 | 1,000 | 1,000 |
| 9. เกจสุญญากาศ | 1 | 1,500 | 1,500 |
| 10. เต้าแก๊ส KB5 | 1 | 800 | 800 |
| 11. วัสดุอื่นๆ | | | 15,000 |
| 12. ค่าจ้างในการสร้าง | | | 35,000 |
| รวม | | | 78,270 |
| 12. Pump Vacuum | 1 | 37,450 | 37,450 |
| 13. Cooling tower | 1 | 13,910 | 13,910 |
| 14. Pump น้ำ | 1 | 4,280 | 4,280 |
| 15. ระบบท่อเดินน้ำ | 1 | 3,210 | 3,210 |
| รวม | | | 137,120 |

เงื่อนไขต่างที่ใช้ในการประเมินผลมีดังนี้

1. ใช้วิธีเส้นตรงในการคิดค่าเสื่อมราคา
2. ไม่คิดค่าโรงเรือน ค่าภาษี และค่าประกัน
3. ไม่คิดค่าใช้จ่ายปลีกย่อยอื่น ๆ
4. ใช้ค่าใช้จ่ายในปี 2548 เป็นฐานการคำนวณ
5. ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน

การประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ครอบคลุมถึงค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน ระยะเวลาคืนทุนและผลตอบแทนที่ได้รับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ

| | | | |
|-----|---|---|------|
| TC | = | ค่าใช้จ่ายรวมของการกลั่นสุราแบบสุญญากาศ (บาท/ปี) | |
| FC | = | ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท/ปี) | |
| VC | = | ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท/ปี) | |
| PBP | = | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) | |
| P | = | 137,120 บาท | |
| S | = | 10 % ของ P 13,712 บาท | |
| D | = | 12,340.8 บาทต่อปี | (11) |
| Y | = | 10 ปี | |
| I | = | 7730.14 บาทต่อปี | (12) |
| R&M | = | 50 % ของ E 9.77 บาทต่อวัน | |
| W | = | ค่าใช้จ่ายในการทำสาโท 12 บาทต่อลิตร ปริมาณสาโท 30 ลิตร จะใช้เวลา 95 นาที แต่เมื่อรวมเวลาเปลี่ยนถ่ายกาก 15 นาที จะใช้เวลาทั้งหมด 110 นาที ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง | |
| | = | 1570.91 บาทต่อวัน | |
| i | = | อัตราดอกเบี้ย (% ต่อปี) 10.25 % ต่อปี (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารกรุงไทยเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2548) | |
| A | = | 250 วันต่อปี | |

| | | |
|-----|---|---|
| h | = | 8 ชั่วโมง/วัน |
| Cap | = | อัตราการผลิต 5.16 ลิตร/hr ที่ปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร เมื่อรวมเวลาเปลี่ยนถ่ายกาก 15 นาที จะได้อัตราการผลิต 4.99 ลิตร/hr |
| CR | = | 88 บาทต่อลิตร |
| L | = | 360 บาท/วัน (2 คน) |
| E | = | 0.756 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง |
| | = | 19.54 บาท/วัน |
| e | = | 3.23 บาท/หน่วย |
| F | = | 0.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ราคา 18 บาท/กิโลกรัม ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง |
| | = | 86.4 บาทต่อวัน |
| V | = | 0.25 |

จากข้อกำหนดต่าง ๆ ดังกล่าว สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$FC \text{ บาทต่อปี} = 12,340.8 + 7730.14 \text{ บาทต่อปี} \quad (9)$$

$$= 20,070.94 \text{ บาทต่อปี}$$

$$VC \text{ บาทต่อปี} = (360 + 19.54 + 9.77 + 86.4 + 1570.91) \times 250 \quad (10)$$

$$= 511,652.9 \text{ บาทต่อปี}$$

$$TC \text{ (บาท/ปี)} = 531,723.8 \text{ บาทต่อปี} \quad (8)$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน(บาท/ลิตร)} = 531,723.8 / (250 \times 8 \times 4.99) \quad (13)$$

$$= 53.28 \text{ บาท/ลิตร}$$

$$\text{ผลตอบแทนสุทธิ(บาท/ปี)} = (88 \times 4.99 \times 8 \times 250 \times 0.75) - 531,723.8 \quad (15)$$

$$= 126,956.2 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(ปี)} = 137,120 / 126,956.2 \quad (14)$$

$$= 1.08 \text{ ปี}$$

เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนเกิน 1 ปี ต้องเสียค่าดอกเบี้ยจาก ธนาคาร 10.25% ต่อปี

$$\text{ราคาเครื่องรวมกับดอกเบี้ย(บาท)} = 137,120 + (137,120 \times (10.25/100))$$

$$= 151,174.8 \text{ บาท}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(ปี)} = 151,174.8 / 126,956.2 \quad (14)$$

$$= 1.191 \text{ ปี} \times 365 \text{ วัน}$$

$$= 435 \text{ วัน หรือ 1 ปี 70 วัน}$$

สรุป

ในการผลิตสุรากลั่นของชุมชนเป็นเครื่องคั้นแอลกอฮอล์ ซึ่งในระบบการผลิตสุรากลั่นของชุมชนในปัจจุบันยังกลั่นสุร่าออกมายังไม่ได้คุณภาพตามที่ภาครัฐต้องการ ต่างก็ประสบปัญหา คือ กลั่นได้ปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำ คุณภาพไม่สม่ำเสมอ และวัสดุที่ใช้ทำเครื่องไม่สะอาด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สะอาด จึงยากแก่การขยายตัวสู่อุตสาหกรรม ดังนั้นจากปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วจึงมีการออกแบบและพัฒนาการกลั่นสุร่าภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งกระบวนการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้กลั่นสาโทที่อุณหภูมิต่ำกว่า 78 องศาเซลเซียส สามารถกลั่นสาโทได้เร็วกว่าการกลั่นที่สภาวะบรรยากาศ ประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน และยังทำให้กลิ่นรสของสาโทไม่หายไป โดยที่สภาวะของเครื่องกลั่นได้กำหนดให้สภาวะสุญญากาศ 210 mbar และอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าชี้ผลได้แก่ อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ Yield พลังงานจำเพาะ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

1. สภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุร่าที่หมักจากข้าว โดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ในระดับห้องปฏิบัติการ

สภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสุร่าที่หมักจากข้าวของเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) คือ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสุญญากาศภายในพื้นที่การระเหย (Evaporation zone) 60.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอัตราการการผลิต และเปอร์เซ็นต์ Yield มากสุดที่ 1.06 l/hr และ 26.48 ตามลำดับ และยังให้ค่าพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด 3.59 kWh/L

2. วิธีการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

วิธีการกลั่นที่ดีที่สุด คือ เปิดแก๊สและปั๊มสุญญากาศพร้อมกัน กลั่นที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส กลั่นจนกระทั่งอัตราการผลิตลดลงต่ำกว่า 20 ml/นาทิจ ซึ่งจากการทดลองใช้เวลาในการกลั่นประมาณ 25 นาที จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิการกลั่นโดยปรับที่ชุดควบคุมให้มีอุณหภูมิมากกว่าเดิม 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้อัตราการผลิต และเปอร์เซ็นต์ Yield มากที่สุด โดยที่ปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร มีอัตราการผลิต และเปอร์เซ็นต์ Yield เท่ากับ 4.88 l/hr และ 27.65 ตามลำดับ และยังให้ค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด 1.92 kWh/l

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกลั่นของเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) กับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor) เนื่องจากเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบได้ทำการปรับปรุงข้อเสียของเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Rotavapor) ทำให้ได้อัตราการผลิต และเปอร์เซ็นต์ Yield มากที่สุด และยังมีค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด

4. ปริมาณสาโทที่ใช้ในการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ

ปริมาณสาโท 30 ลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ โดยมีพลังงานจำเพาะอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด 1.71 kWh/l อัตราการผลิตอยู่ในกลุ่มมากที่สุด 5.16 l/hr และเปอร์เซ็นต์ Yield 27.14 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ปริมาณการกลั่นสาโท 30 ลิตร มีความมันวาว กลิ่น รสชาติ และการยอมรับอยู่ในอันตรภาคชั้นที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณการกลั่นสาโท 10 20 และ 40 ลิตร

5. การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของสุรากลั่นซึ่งใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบเปรียบเทียบกับเครื่องกลั่นต่างชนิดกัน

เครื่องกลั่นสุญญากาศ จะทำการกลั่นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ยังรักษากลิ่นของวัตถุดิบอยู่ในสุรากลั่น เครื่องกลั่นสุญญากาศจึงไม่เหมาะกับการกลั่นวัตถุดิบที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น โมลาส และสาโท แต่จะเหมาะกับวัตถุดิบที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เช่น ไวน์ผลไม้

ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและพัฒนาการกลั่นสุราภายใต้สภาวะสุญญากาศ มีข้อเสนอแนะ 2 ประการ คือ ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำผลวิจัยไปใช้ และประเด็นวิจัยใหม่ดังนี้

1. การนำผลวิจัยไปใช้

การนำผลวิจัยไปใช้ควรคำนึงถึงสภาวะของเครื่องกลั่นสุญญากาศ ต้องมีค่าสภาวะอยู่ในค่าที่กำหนดไว้ และคุณภาพของสาโทจะส่งผลต่อปริมาณและเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ของสุรากลั่น

2. ประเด็นวิจัยใหม่

2.1 ควรมีการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของสาโท โดยหากสาโทที่กลั่นแล้ว จะออกจากด้านล่างของถังกลั่น แลกเปลี่ยนความร้อนกับสาโทที่รอจะเข้าไปกลั่นในเครื่อง จะส่งผลให้ประหยัดพลังงานในการให้ความร้อน และการนำสาโทเข้าควรเป็นลักษณะหัวฉีด เพื่อให้สาโทสามารถระเหยได้เร็วขึ้น เมื่อได้รับความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.2 ควรมีการออกแบบที่ดักฟอง เพื่อให้ไม่มีฟองผ่านไปถึงกระบอกรับผลิตภัณฑ์ของเครื่อง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2516. **สุรา**. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2544. **สุรากลั่น**. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

กุลธินันท์ ตะวงค์. 2543. **การออกแบบเครื่องทอดภายใต้สุญญากาศ**. โครงการงานวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

กฤษณา ชูติมา. 2540. **หลักเคมีทั่วไป เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 14. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ .

ขวัญเมือง สิทธิเกษม. 2526. **การกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัชวาล ตันทกิตติ. 2544. **การออกแบบห้องเย็นและระบบทำความเย็น**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2546. **หลักเคมี 1**. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

โซโซ โอเอะ. 2536. **วิศวกรรมการกลั่นจากห้องทดลองถึงโรงงาน**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

ตระการ ก้าวกลีกรรม. 2540. **คู่มือถังรับแรงดัน**. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

รัชชัย ศรีสวน และเกรียงไกร ลุยะพันธุ์. 2534. **หน่วยการกลั่นสำหรับโรงงานต้นแบบการหมักเอทิลแอลกอฮอล์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2541. **วิศวกรรมอาหาร:หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลัดดา มีสุข. 2539. **เคมีทั่วไป**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

สมโภชน์ ไชยเยี่ยม. 2546. **สุราหมัก**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2538. **การใช้ประโยชน์จากข้าวสำหรับการผลิตไวน์และวิสกี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ackland, T. 2002. **Home Distillation of Alcohol**. Available Source:
<http://www.homedistiller.org>, August 28, 2002.

Cerrutti, P. Alzamora , S.M. and Chirife, J. 1990. A Multi-parameter Approach to Control the Growth of *Saccharomyces cerevisiae* in Laboratory Media. **Journal of food science** Vol 55: 837.

Fahrasmane, L. Parfait, A. Jouret, C and Galzy P. 1985 Production of Higher Alcohols and Short Chain Fatty Acids by Different Yeasts Used in Rum Fermentations. **Journal of food science** Vol 50: 1427.

Headley, L.M. and Harddy, J.K. 1989. Classification of whiskies by principal component analysis. **Journal of food science** Vol 54: 1351.

Headley, L.M. and Harddy, J.K. 1992. Adulterants in whiskey: Detection and Identification by principal component analysis. **Journal of food science** Vol 57: 980.

Hohl, L.A. 1940. Further Observations on Production of Alcohol by *Saccharomyces ellipsoideus* in Sryuped Fermentation. **Food Research** Vol 2: 453.

Hohl, L.A. and Cruess ,W.V. 1936. Effect of temperature, variety of juice and method of increasing sugar content on maximum alcohol production by *Saccharomyces ellipsoideus*. **Food Research** Vol 1: 405.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การคำนวณเพื่อการออกแบบ

ภาพผนวก ก1 การคำนวณออกแบบถังก้น

กำหนดให้การออกแบบครั้งนี้ถังก้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 360 mm. และมีความสูงจากปากถังถึงก้นถัง 486.6 mm.

1. การคำนวณหาความหนาของผนังของถัง

- ความดันออกแบบภายนอก ; P = 1.055 kg/cm²
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ; D_o = 360 mm.
- ความยาวจากหัวถังถึงแหวนเสริมความแข็งแรง ; L = 400 + (86.6/3)
= 428.87 mm.

- วัสดุที่ใช้สร้างถังเป็น SS เทียบเท่าชนิด 304 L จากภาพผนวก ก2

จากภาพผนวก ก2 ได้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ;

$$E = 1.82 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2 \text{ ที่อุณหภูมิไม่เกิน } 205 \text{ }^\circ\text{C}$$

สมมติให้ถังมีความหนา 2 mm

$$t = 2 \text{ mm.}$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{360}{2} = 180$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{428.87}{360} = 1.191$$

หาค่าตัวประกอบ A ; จากภาพผนวก ก1

$$\text{ได้ } A = 0.00045$$

หาค่าตัวประกอบ B ; จากภาพผนวก ก1 สำหรับ 18Cr-8Ni ชนิด 304L

$$\text{ได้ } B = 340$$

ดังนั้นค่าความดันสูงสุดที่ยอมรับได้คือ

$$P_a = \frac{4B}{3\left(\frac{D_o}{t}\right)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4 \times 340}{3 \times 180} \\
 &= 2.51 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่ามีค่าความปลอดภัยหรือรับแรงดันได้มากกว่าค่ากำหนด $2.51 - 1.05 = 1.46 \text{ kg/cm}^2$

ดังนั้นที่ความหนาของถัง 2 mm. ปลอดภัย

2. การคำนวณหาความหนาของหัวถัง (ถังครึ่งทรงรี 2 : 1)

สมมติให้ถังมีความหนา 2 mm

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$R_o = 0.9D_o = 0.9 \times 360 = 324$$

ดังนั้นค่าตัวประกอบ A คือ

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{0.125}{\left[\frac{R_o}{t} \right]} \\
 &= \frac{0.125 \times 2}{324} \\
 &= 0.0007713
 \end{aligned}$$

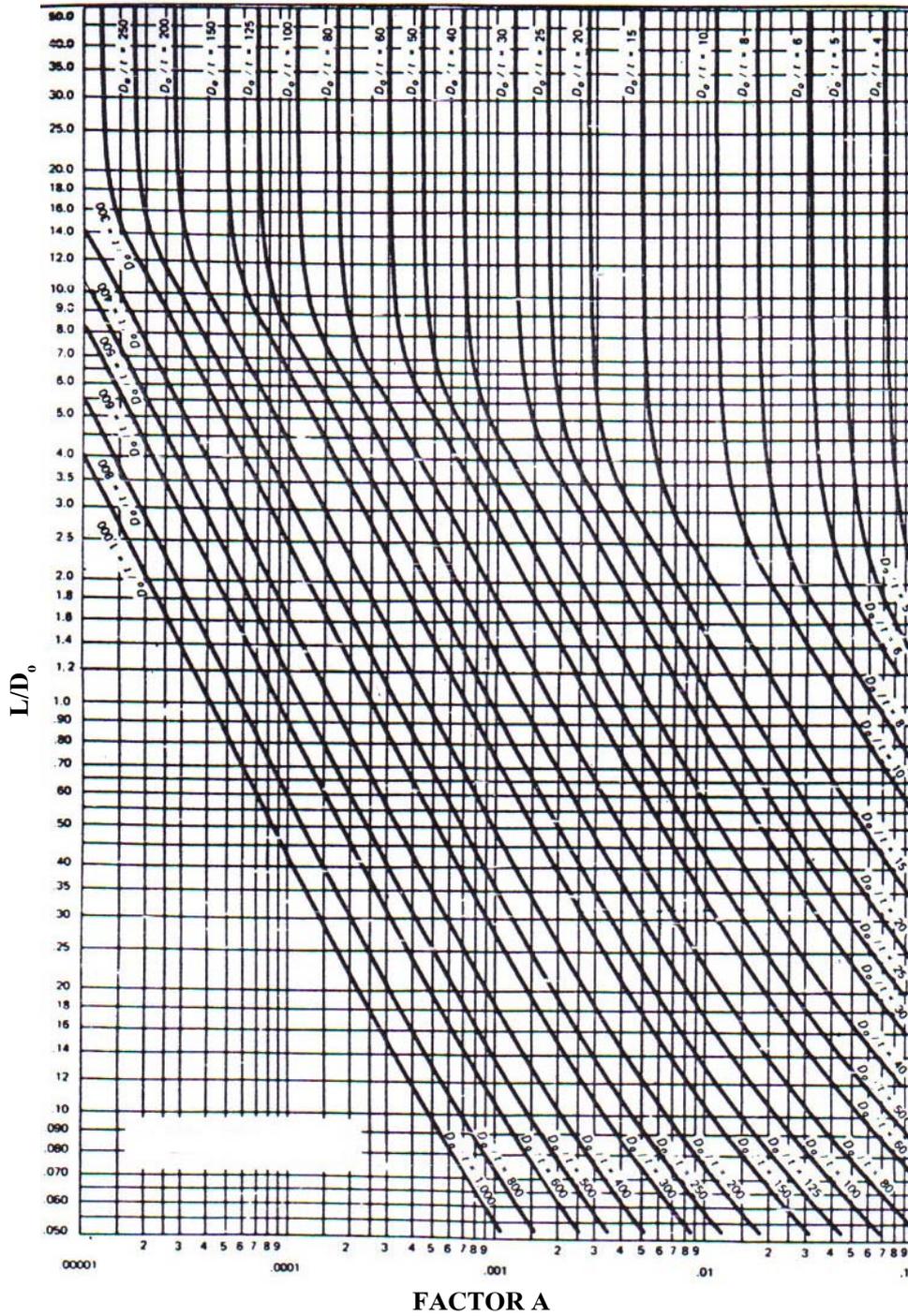
จากค่า A นำไปหาค่าตัวประกอบ B ; จากภาพผนวก ก2 สำหรับ 18Cr-8Ni ชนิด 304L

$$\text{ได้ } B = 370$$

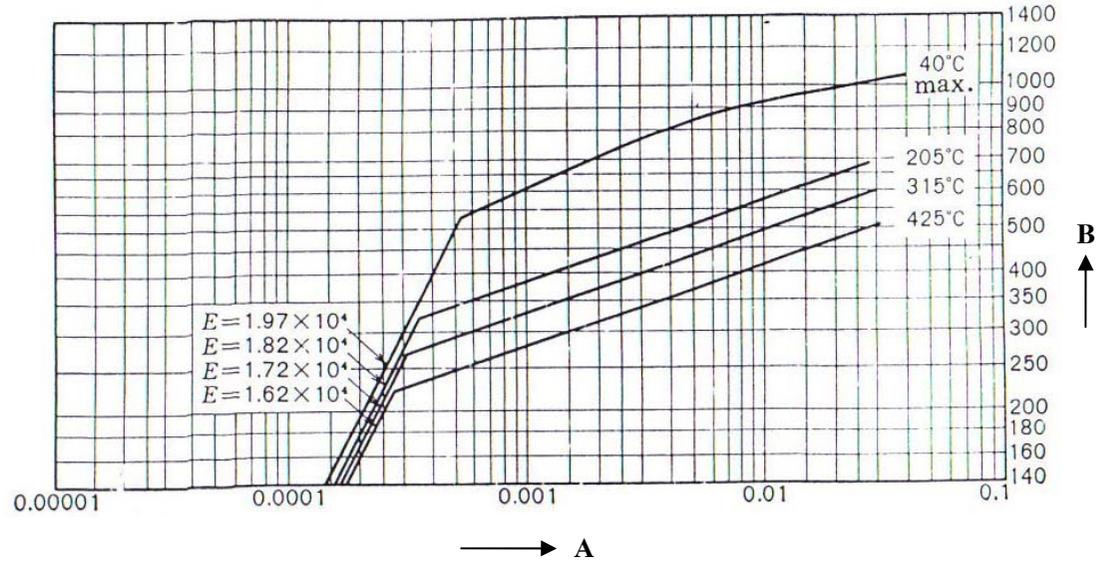
ดังนั้นค่าความดันสูงสุดที่ยอมรับได้คือ

$$\begin{aligned}
 P_a &= \frac{B}{\left[\frac{R_o}{t} \right]} \\
 &= \frac{370 \times 2}{324} \\
 &= 2.28 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่ามีค่าความปลอดภัยหรือรับแรงดันได้มากกว่าค่ากำหนด $2.28 - 1.05 = 1.23 \text{ kg/cm}^2$
ดังนั้นที่ความหนาของถัง 2 mm. ปลอดภัย



ภาพผนวกที่ ก1 ค่าของตัวประกอบ A ที่ใช้ในสูตรสำหรับถังภายใต้แรงดันภายนอก
ที่มา: ตระการ (2540)



ค่าของแผนภาพใช้งาน ได้เมื่อถ่วงสร้างขึ้นจากเหล็กกล้าออสเทนิติก
(18Cr-8Ni-Mo, คาร์บอนสูงสุด 0.03 ชนิด 304L)

หมายเหตุ : ในกรณีซึ่งค่าของ A ตกอยู่ต่ำกว่าของปลาย
ของเส้นอุณหภูมิ ให้สมมติจุดตัดกัน ณ เส้นขนานที่ขึ้นต่อ
ออกมาจากปลายต้นของเส้นอุณหภูมิ

ภาพผนวกที่ 2 ค่าของตัวประกอบ B ที่ใช้ในสูตรสำหรับถังภายใต้แรงดันภายนอก
ที่มา: ตระการ (2540)

ภาคผนวก ก2 การคำนวณออกแบบคอนเดนเซอร์

กำหนดให้การออกแบบคอนเดนส์เซอร์ความดันรอบท่อ 17.4 kpa อุณหภูมิสารโทเมื่อกลายเป็นไอ 55 °C และกลั่นตัวที่คอนเดนส์เซอร์อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ที่กลั่น 35 °C

$$P = 17.4 \text{ kPa}$$

$$T_{s1} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{s2} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_{s1} = 10 \text{ l/hr} = 0.00278 \text{ l/s}$$

$$= 0.00278 \text{ kg/s (คิดความถ่วงจำเพาะเท่ากับน้ำ)}$$

$$h1 = 2600.9 \text{ kJ/kg (ที่ } 55 \text{ }^{\circ}\text{C)}$$

$$h2 = 146.08 \text{ kJ/kg (ที่ } 35 \text{ }^{\circ}\text{C)}$$

$$V_{s1} \text{ (m/s)} = \frac{m_{s1} \text{ (kg/s)} \times v_{s1} \text{ (m}^3\text{/s)}}{A \text{ (m}^2)}$$

$$V_{s2} \text{ (m/s)} = \frac{m_{s2} \text{ (kg/s)} \times v_{s2} \text{ (m}^3\text{/s)}}{A \text{ (m}^2)}$$

$$= \frac{0.00278 \times 9.568}{\pi \times 0.1^2}$$

$$= \frac{0.00278 \times 0.001006}{\pi \times 0.1^2}$$

$$= 0.8467 \text{ m/s}$$

$$= 8.9 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$q_{\text{cond}} = h_2 - h_1 + \frac{1}{2}(V_{s2}^2 - V_{s1}^2)$$

$$= 146.68 - 2600.9 + \frac{1}{2}((8.9 \times 10^{-5})^2 - 0.8467^2)$$

$$= -2454.22 + (-0.36845)$$

$$= -2454.57845 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{cond}} = (-2454.57845) \times 0.00278$$

$$= -6.824 \text{ kW}$$

เครื่องคอนเดนเซอร์

$$6.824 = m_w \times 4.18(T_{u1} - 26)$$

กำหนดอุณหภูมิอุณหภูมิลึงทาวเวอร์ต่างกัน 5 °C ดังนั้น $T_{u1} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$6.824 = m_w \times 4.18(31 - 26)$$

$$m_w = \frac{6.824}{4.18 \times 5}$$

$$m_w = 0.3265 \text{ kg/s}$$

หาจำนวนขดท่อ

$$Q = UA\Delta T_{in} \times \text{Eff}$$

U ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรวมระหว่างแอมโมเนียกับน้ำ 1220-2440 W/(m²°C)

$$A = \pi D l$$

$$\text{กำหนด } D = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$$

$$A = \pi \times 0.01 \times l$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{in} &= \frac{\text{Max}\Delta T - \text{Min}\Delta T}{\ln(\text{Max}\Delta T/\text{Min}\Delta T)} \\ &= \frac{(55-31)-(35-26)}{\ln((55-31)/(35-26))} \\ &= \frac{15}{0.98} \end{aligned}$$

$$\Delta T_{in} = 15.2931 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Eff} = 60\%$$

แทนค่า

$$6.824 = 1.22 \times \pi \times 0.01 \times l \times 15.2931 \times 0.6$$

$$\begin{aligned} l &= \frac{6.824}{1.22 \times \pi \times 0.01 \times 15.2931 \times 0.6} \\ &= 19.4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\pi D n = 19.4 \text{ m}$$

$$\text{กำหนด } D_1 = 16 \text{ cm} = 0.16 \text{ m}$$

$$D_2 = 8 \text{ cm} = 0.08 \text{ m}$$

$$2l_2 = l_1$$

$$l_1 + l_2 = 19.4 \text{ m}$$

$$3l_2 = 19.4 \text{ m}$$

$$l_2 = 6.47 \text{ m} , \quad l_1 = 12.94 \text{ m}$$

$$n_1, n_2 = \frac{6.47}{\pi \times 0.08}$$

$$= 25.7 \cong 26 \text{ ขด}$$

$$\begin{aligned}\text{ความสูงคอนกรีต} &= 26 \times 0.01 \\ &= 0.26 \text{ m} \quad = 26 \text{ cm} \\ \text{ดังนั้น ความยาวท่อ} &= \pi D_1 n + \pi D_2 n \\ &= \pi \times 26 \times (0.16 + 0.08) \\ &= 19.6 \quad \text{m}\end{aligned}$$

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าคงที่แอนโทนิน

| ชื่อสาร | สูตรเคมี | ค่าคงที่แอนโทนิน | | |
|---------------|--------------------------------|------------------|----------|---------|
| | | A | B | C |
| Water | H ₂ O | 8.02754 | 1705.616 | 231.405 |
| Methane | CH ₄ | 4.87763 | 125.819 | 224.327 |
| Ethane | C ₂ H ₆ | 8.83450 | 659.739 | 256.431 |
| Propane | C ₃ H ₈ | 6.85802 | 819.296 | 248.733 |
| Butane | C ₄ H ₁₀ | 7.23086 | 1175.581 | 271.079 |
| Isobutane | C ₄ H ₁₀ | 6.81927 | 912.141 | 243.342 |
| Isopentane | C ₅ H ₁₂ | 6.81010 | 1030.476 | 234.402 |
| Neopentane | C ₅ H ₁₂ | 6.73883 | 950.318 | 236.821 |
| Pentane | C ₅ H ₁₂ | 6.86430 | 1070.617 | 232.696 |
| Hexane | C ₆ H ₁₄ | 6.89122 | 1178.802 | 225.200 |
| Heptane | C ₇ H ₁₆ | 6.89798 | 1265.235 | 216.533 |
| Octane | C ₈ H ₁₈ | 6.92010 | 1352.580 | 209.192 |
| Ethylene | C ₂ H ₄ | 6.74771 | 584.146 | 254.843 |
| Propylene | C ₃ H ₆ | 6.84998 | 795.819 | 248.266 |
| 1,3-butadiene | C ₄ H ₆ | 6.87308 | 941.662 | 240.397 |
| Acetylene | C ₂ H ₂ | 7.07108 | 699.530 | 251.680 |
| Cyclopentane | C ₅ H ₁₀ | 6.90626 | 1134.481 | 232.565 |
| Cyclohexane | C ₆ H ₁₂ | 6.85532 | 1209.299 | 223.527 |
| Benzene | C ₆ H ₆ | 7.60093 | 1660.652 | 271.689 |
| Toluene | C ₇ H ₈ | 6.96554 | 1351.272 | 220.191 |
| Ethyl benzene | C ₈ H ₁₀ | 6.96257 | 1427.414 | 213.521 |
| o-xylene | C ₈ H ₁₀ | 7.00438 | 1478.244 | 214.074 |
| m-xylene | C ₈ H ₁₀ | 7.01117 | 1463.218 | 215.159 |
| p-xylene | C ₈ H ₁₀ | 6.99112 | 1453.667 | 215.317 |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

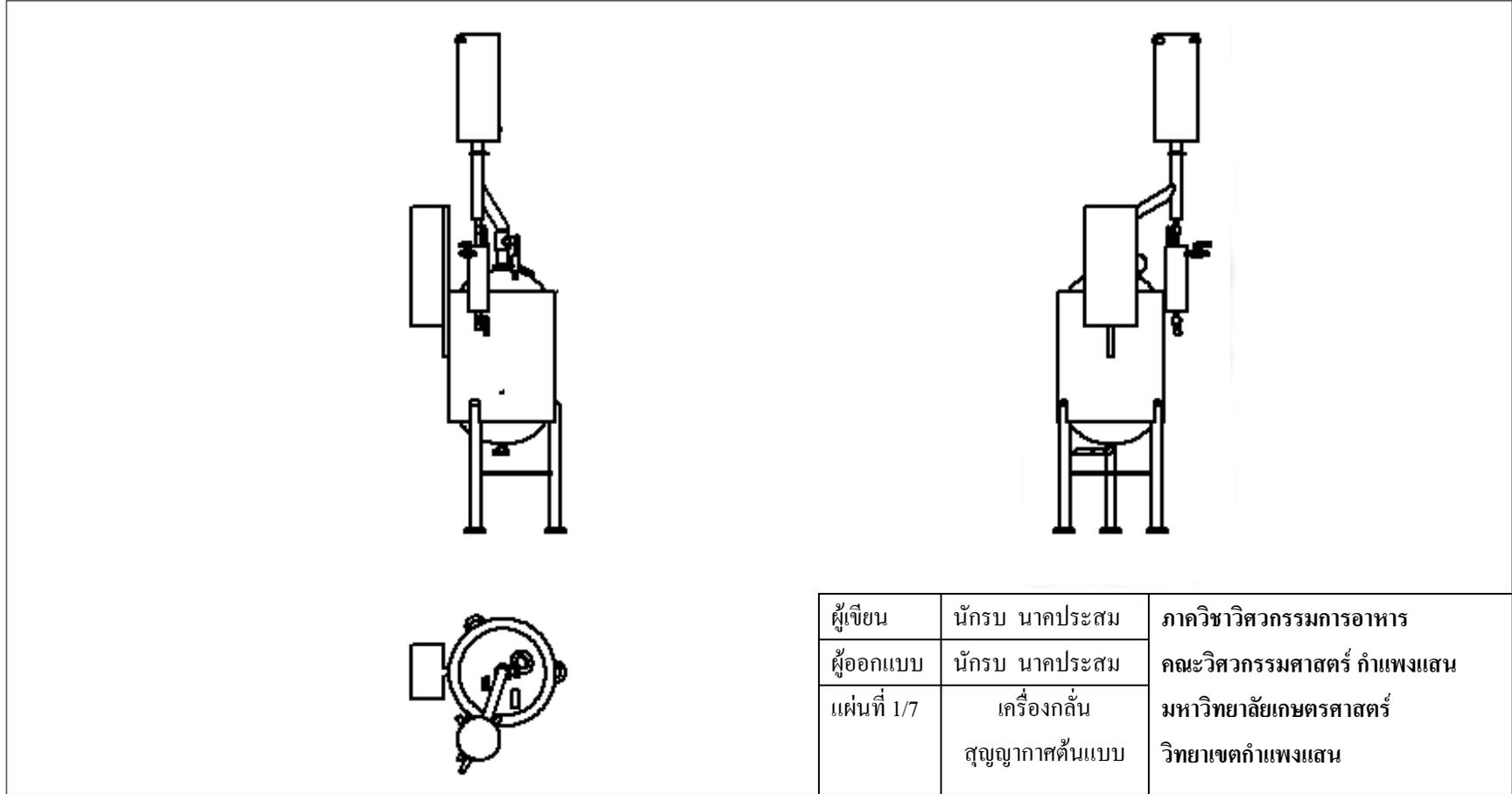
| ชื่อสาร | สูตรเคมี | ค่าคงที่แอนโทนิน | | |
|-------------------------|---|------------------|----------|---------|
| | | A | B | C |
| Biphenyl | C ₁₂ H ₁₀ | 7.23195 | 1987.623 | 201.594 |
| Methanol | CH ₄ O | 8.07919 | 1581.341 | 239.650 |
| Ethanol | C ₂ H ₆ O | 8.12187 | 1598.673 | 226.726 |
| Propanol | C ₃ H ₈ O | 7.75111 | 1441.629 | 198.851 |
| Isopropanol | C ₃ H ₈ O | 7.73610 | 1357.427 | 197.336 |
| Butanol | C ₄ H ₁₀ O | 7.37903 | 1313.878 | 174.361 |
| Ethylene oxide | C ₂ H ₄ O | 8.72206 | 2022.830 | 335.806 |
| Diethyl ether | C ₃ H ₆ O | 7.27572 | 1260.453 | 180.562 |
| Acetaldehyde | C ₂ H ₄ O | 8.06340 | 1637.083 | 295.467 |
| Acetone | C ₃ H ₆ O | 7.29958 | 1312.253 | 240.705 |
| Methyl ethyl ketone | C ₄ H ₈ O | 6.86450 | 1150.207 | 209.246 |
| Acetic acid | C ₂ H ₄ O ₂ | 7.55960 | 1644.048 | 233.524 |
| Ethyl acetate | C ₄ H ₈ O ₂ | 7.10319 | 1245.702 | 217.961 |
| Methylamine | CH ₅ N | 7.39500 | 1034.977 | 235.576 |
| Ethylamine | C ₂ H ₇ N | 7.33096 | 1121.445 | 235.296 |
| Acetonitrile | C ₂ H ₃ N | 7.15383 | 1355.374 | 235.297 |
| Methyl mercaptan | CH ₄ S | 7.22891 | 1122.494 | 251.402 |
| Ethyl mercaptan | C ₂ H ₆ S | 7.32093 | 1330.977 | 264.878 |
| Chloroform | CHCl ₃ | 7.08282 | 1233.129 | 232.197 |
| Ethylchloride | C ₂ H ₅ Cl | 7.03691 | 1025.821 | 244.072 |
| 1,1-dichloro ethane | C ₂ H ₄ Cl ₂ | 7.06941 | 1215.342 | 232.890 |
| 1,2-dichloro ethane | C ₂ H ₄ Cl ₂ | 7.46028 | 1521.789 | 248.480 |
| Chloro difluoro methane | CHClF ₂ | 7.24077 | 947.577 | 258.186 |
| Dichloro fluoro methane | CHCl ₂ F | 6.97575 | 996.267 | 234.172 |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

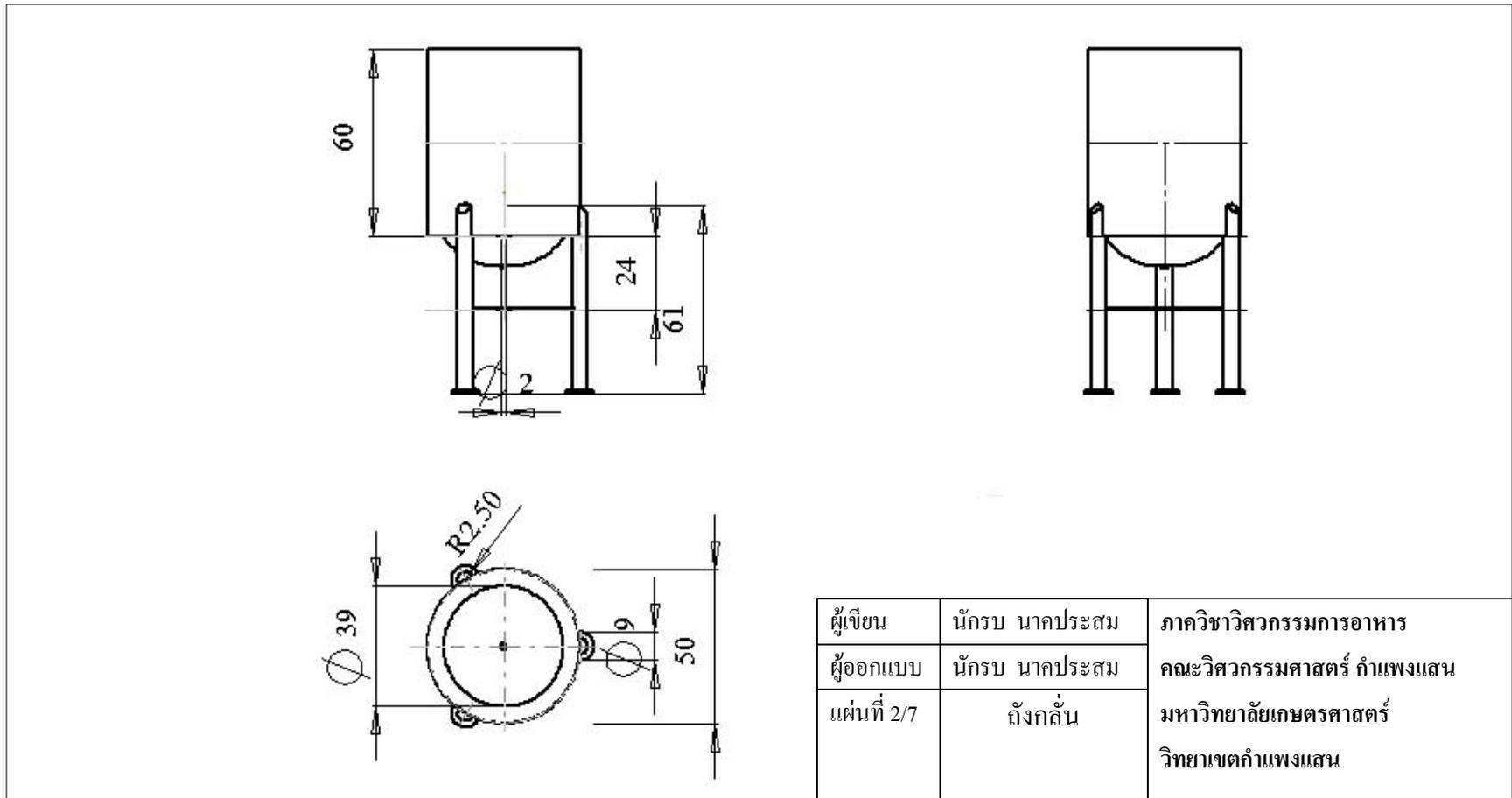
| ชื่อสาร | สูตรเคมี | ค่าคงที่แอนโทนิน | | |
|---------------------------|---------------------------------|------------------|----------|---------|
| | | A | B | C |
| Dichloro difluoro methane | CCl_2F_2 | 6.68619 | 782.072 | 235.377 |
| Aniline | $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$ | 7.22051 | 1661.858 | 199.102 |
| Pyridine | $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ | 7.03782 | 1371.358 | 214.654 |
| Chlorobenzene | $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ | 6.98593 | 1435.675 | 218.026 |

ที่มา: โซโซ (2536)

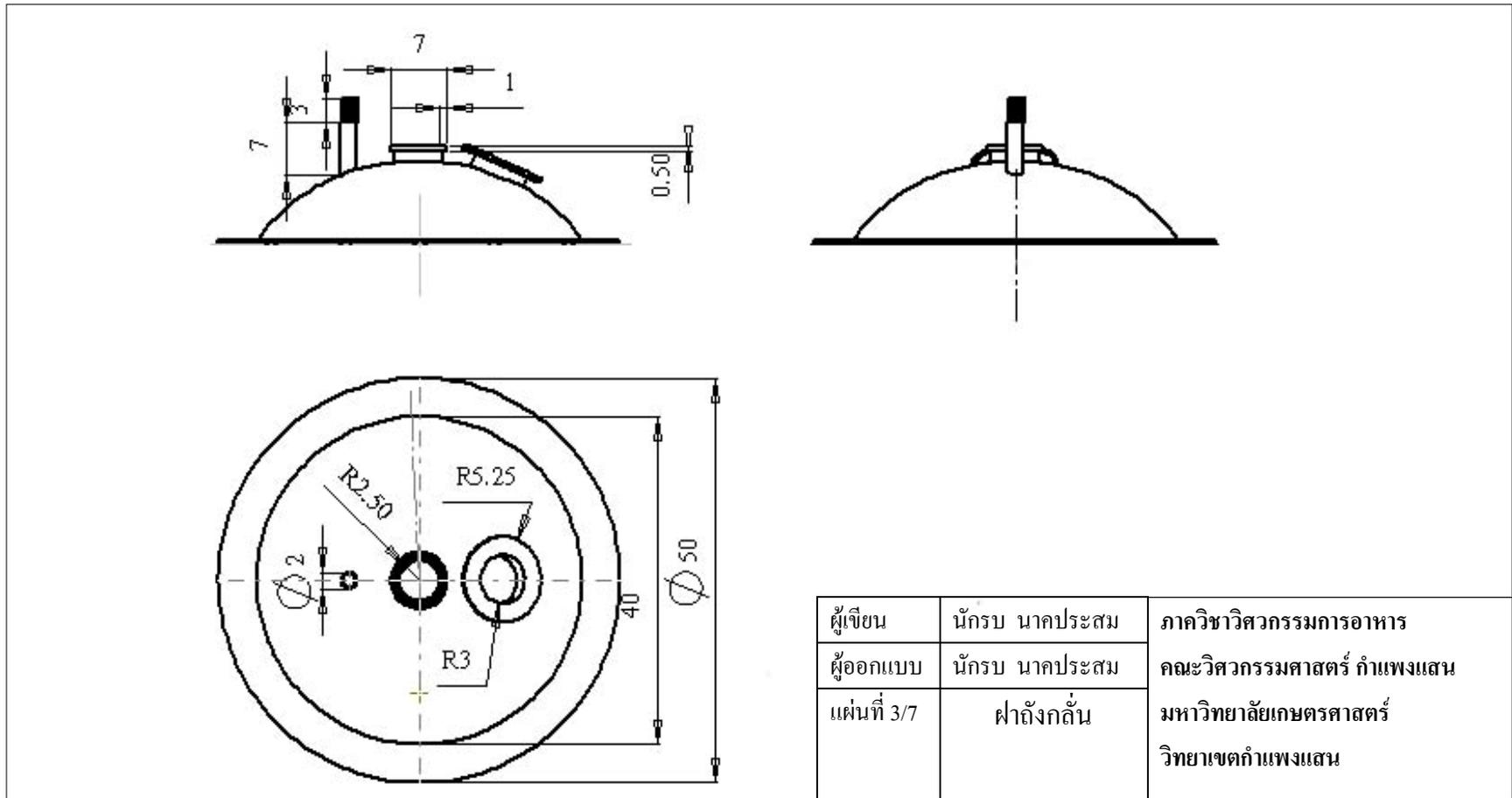
ภาคผนวก ข
แบบและภาพเครื่องกลันสูญญากาศต้นแบบ



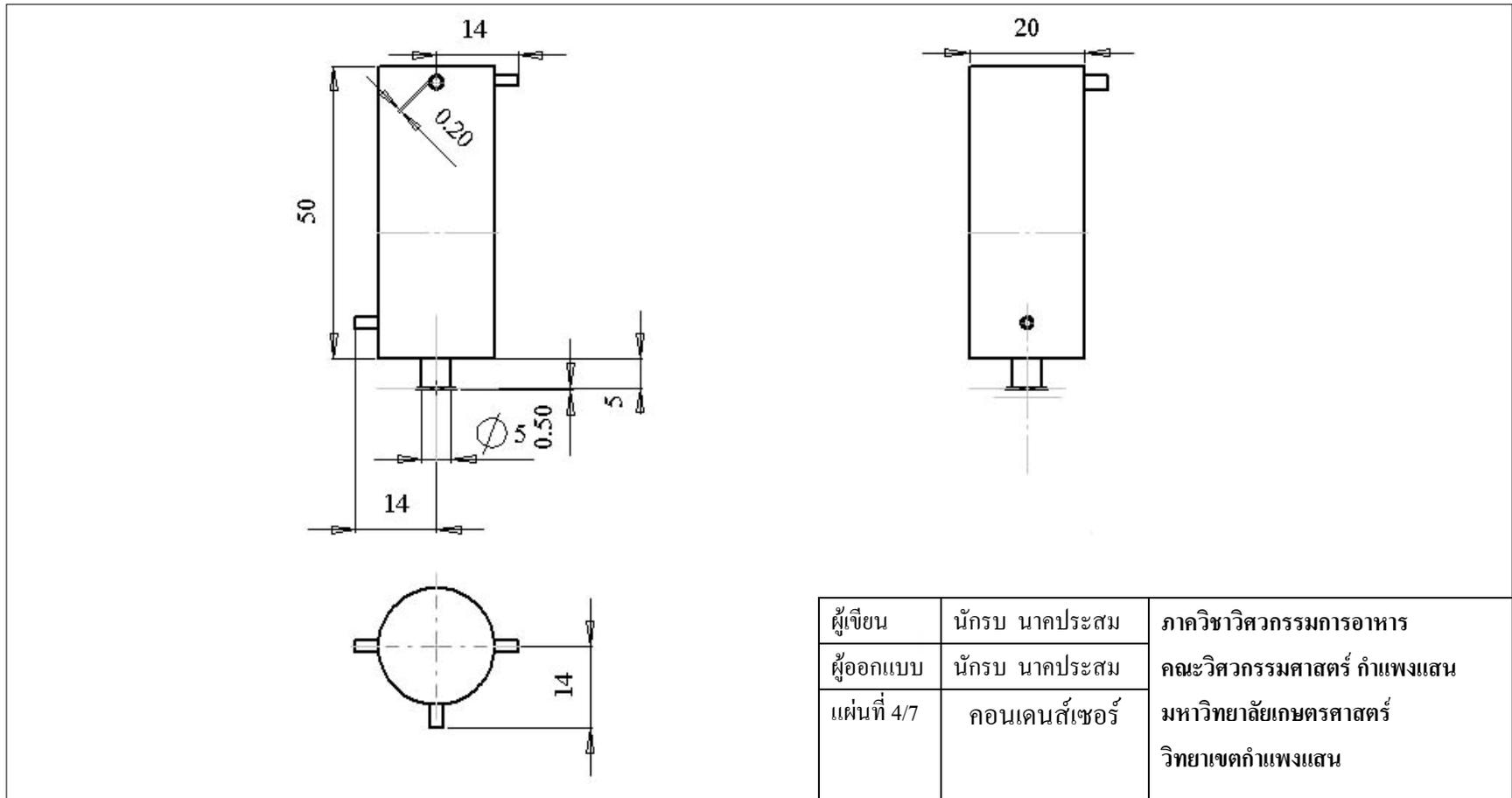
ภาพผนวกที่ ข1 แบบ 3 views standard แสดงเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบ



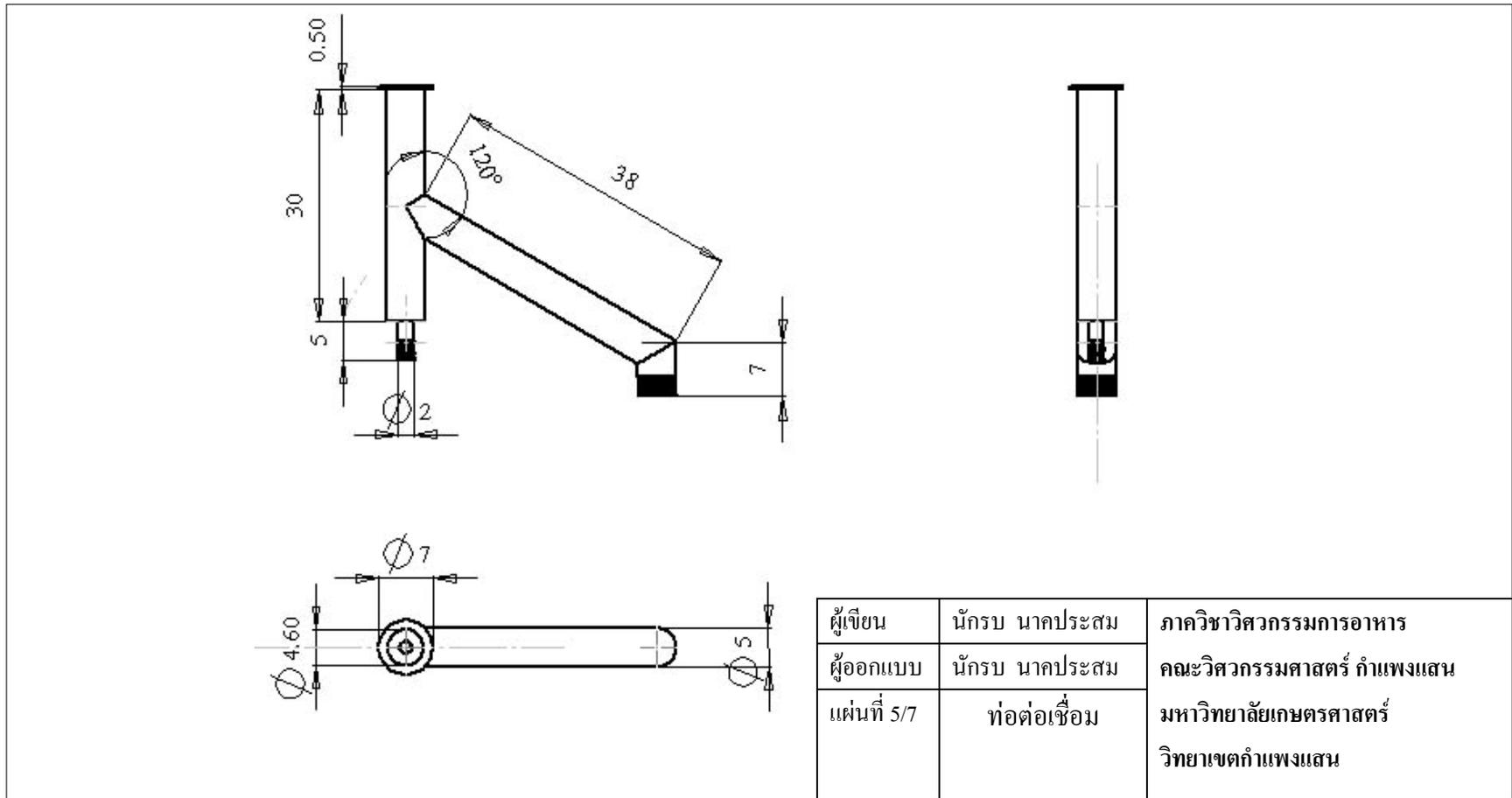
ภาพผนวกที่ ข2 แบบ 3 views standard แสดงถึงกลับ



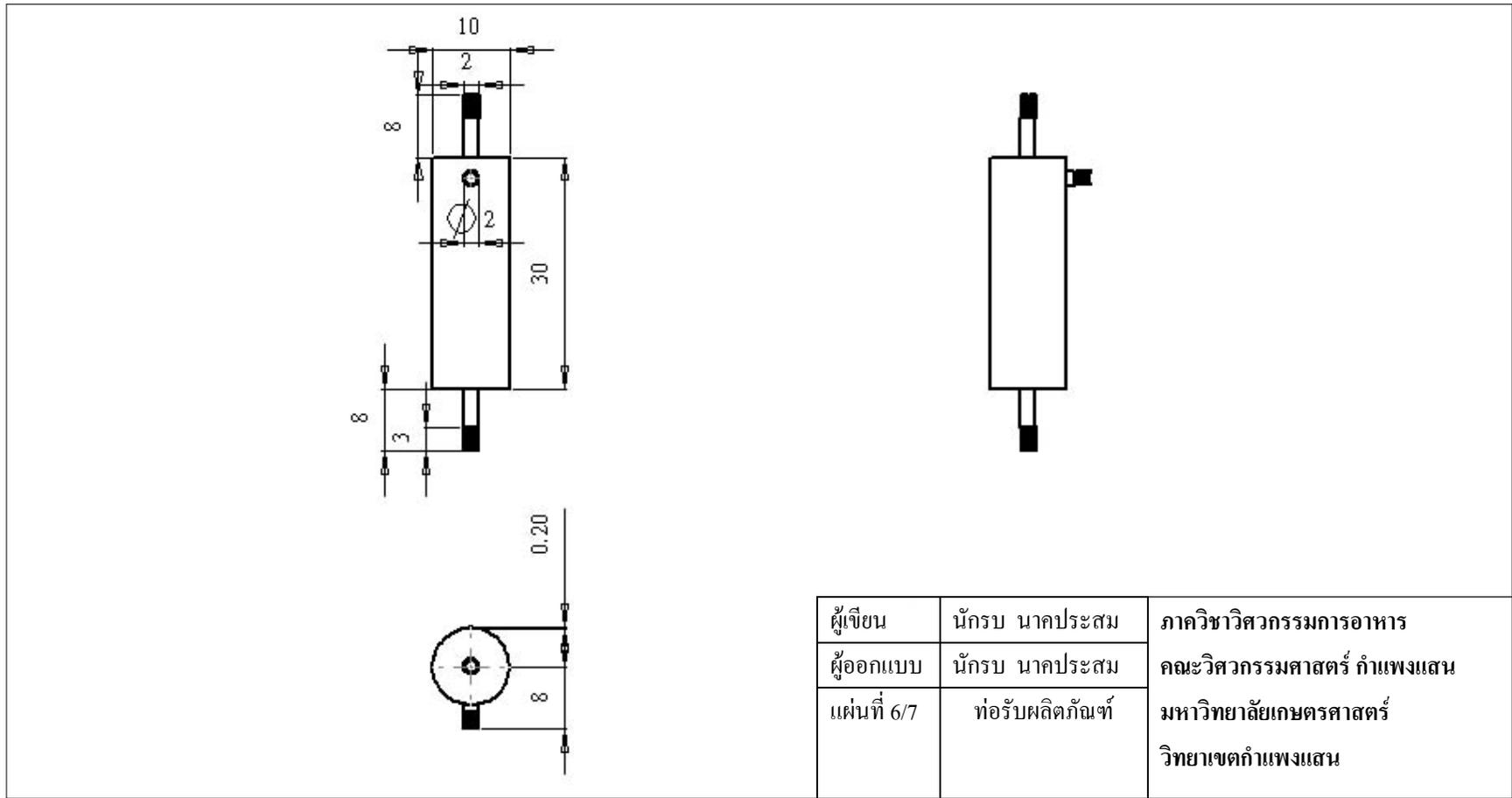
ภาพผนวกที่ ข3 แบบ 3 views standard แสดงฝาหม้อกัลัน



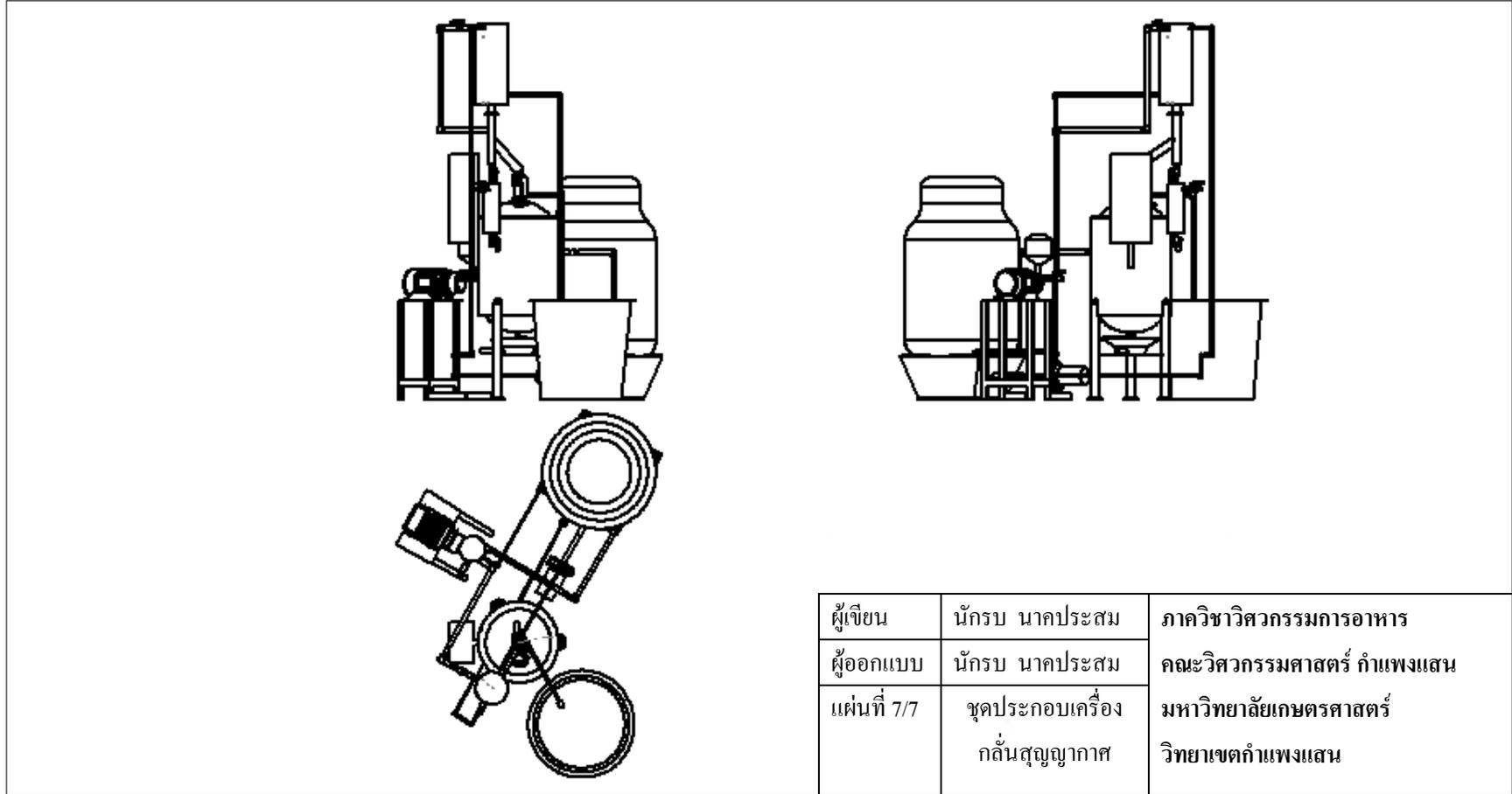
ภาพผนวกที่ ข4 แบบ 3 views standard แสดงคอนเดนส์เซอร์



ภาพผนวกที่ ๗5 แบบ 3 views standard แสดงท่อต่อเชื่อมระหว่างถังกั่นกับคอนเดนส์เซอร์

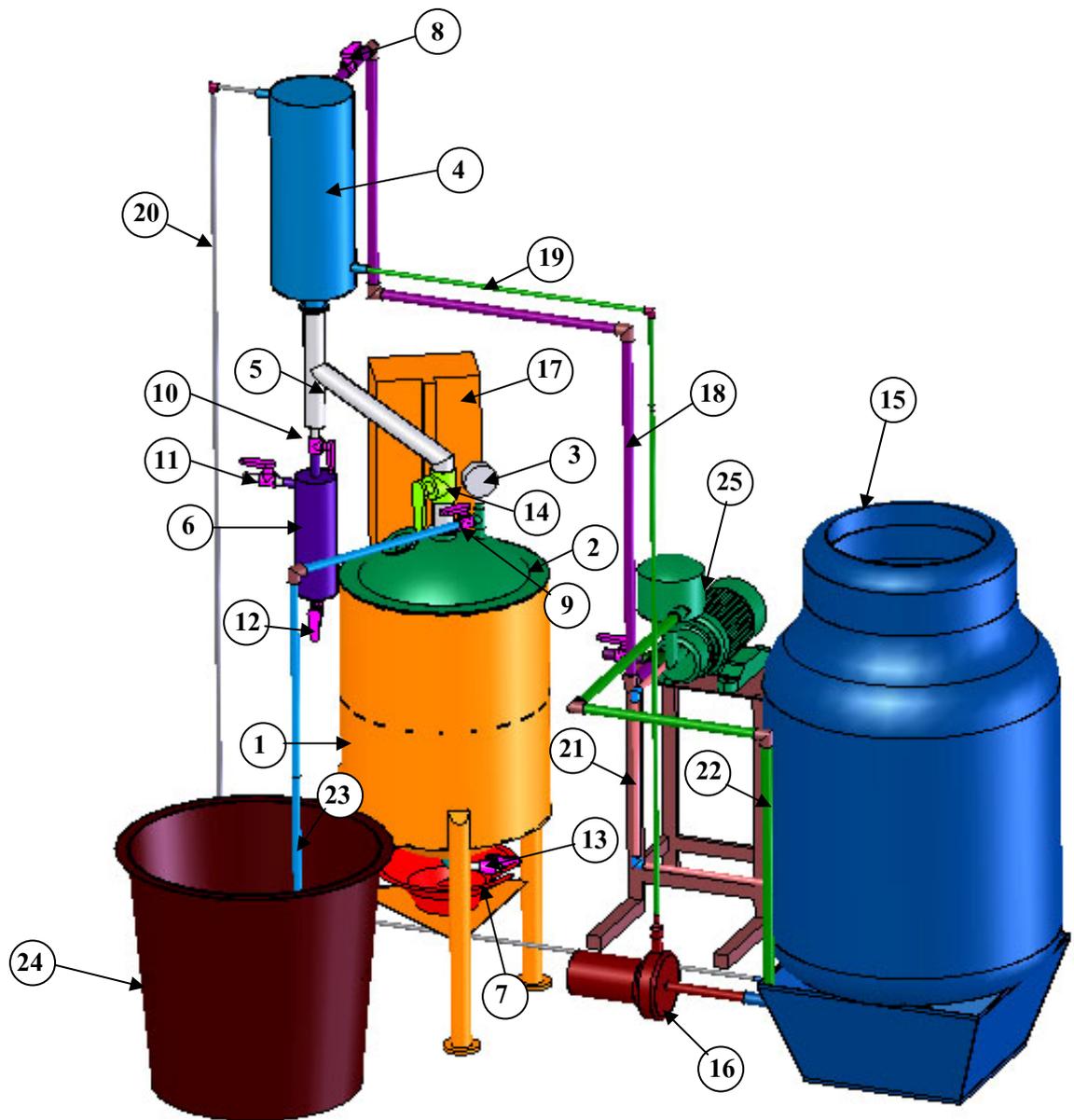


ภาพผนวกที่ ข6 แบบ 3 views standard แสดงท่อรับผลิตภัณฑ์



ภาพผนวกที่ ๗ แบบ 3 views standard ชุดประกอบเครื่องกลั่นสุญญากาศ

เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพผนวกที่ ข8 เครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบเมื่อนำมาต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์และหมายเลข

1. ถังกลั่น
2. ฝาถังกลั่น
3. เกยวัดระดับสุญญากาศ
4. คอนเดนส์เซอร์ ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อความแน่นอนของสารที่ระเหยตัว
5. ท่อต่อเชื่อมระหว่างถังกลั่นกับคอนเดนส์เซอร์
6. ท่อรับผลิตภัณฑ์
7. ชุดเตาแก๊ส KB 5 พร้อมโซลินอยด์วาล์วควบคุมอุณหภูมิ
8. วาล์วสุญญากาศ
9. วาล์วนำสารละลายเข้า และระบายอากาศของถังกลั่น
10. วาล์วระหว่างท่อต่อเชื่อมกับท่อรับผลิตภัณฑ์
11. วาล์วระบายอากาศของท่อรับผลิตภัณฑ์
12. วาล์วระบายสารที่กลั่นได้ออก
13. วาล์วระบายสารละลายที่เหลือจากการกลั่นออกจากเครื่องกลั่นสุญญากาศ
14. วาล์วถังกลั่น
15. คูลิ่งทาวเวอร์
16. ปั๊มน้ำหมุนเวียน
17. ตู้ไฟควบคุมการทำงาน
18. ชุดท่อระบบสุญญากาศ
19. ชุดท่อนำน้ำหล่อเย็นเข้าคอนเดนส์เซอร์
20. ชุดท่อนำน้ำหล่อเย็นออกคอนเดนส์เซอร์
21. ชุดท่อสูบน้ำเข้าปั๊มสุญญากาศ
22. ชุดท่อระบายน้ำออกจากปั๊มสุญญากาศ
23. ชุดท่อนำสารละลายเข้า
24. ถังสารละลายเตรียมนำเข้า
25. ปั๊มสุญญากาศ ชนิด water-ring

ภาคผนวก ก
แบบใบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบใบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ.....อายุ.....ปี เพศ () ชาย() หญิง

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างเหล่านี้เปรียบเทียบกับ “ R ” ก่อน แล้วจึงทดสอบตัวอย่างเหล่านี้ที่
หลัง แล้วขีด / หรือวงกลมบ่งคุณลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่าง “ R ”

ตารางผนวก ค1 แบบใบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

| คุณลักษณะ ต่างๆ | รหัสตัวอย่าง | | |
|-----------------------|--|--|--|
| | | | |
| 1. สีของสุรา กลิ่น | ก. สีใสมากกว่า R มาก ข. สีใสมากกว่า R ปานกลาง ค. สีใสมากกว่า R เล็กน้อย ง. สีใสเท่ากับ R จ. สีเหลืองน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. สีเหลืองน้อยกว่า R ปานกลาง ช. สีเหลืองน้อยกว่า R มาก | ก. สีใสมากกว่า R มาก ข. สีใสมากกว่า R ปานกลาง ค. สีใสมากกว่า R เล็กน้อย ง. สีใสเท่ากับ R จ. สีเหลืองน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. สีเหลืองน้อยกว่า R ปานกลาง ช. สีเหลืองน้อยกว่า R มาก | ก. สีใสมากกว่า R มาก ข. สีใสมากกว่า R ปานกลาง ค. สีใสมากกว่า R เล็กน้อย ง. สีใสเท่ากับ R จ. สีเหลืองน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. สีเหลืองน้อยกว่า R ปานกลาง ช. สีเหลืองน้อยกว่า R มาก |
| 2. ความใส | ก. ใสมันวาวกว่า R มาก ข. ใสมันวาวมากกว่า R ปานกลาง ค. ใสมันวาวมากกว่า R เล็กน้อย ง. ใสมันวาวเท่ากับ R จ. ใสมันวาวน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. ใสมันวาวน้อยกว่า R ปาน กลาง ช. ใสมันวาวน้อยกว่า R มาก | ก. ใสมันวาวกว่า R มาก ข. ใสมันวาวมากกว่า R ปานกลาง ค. ใสมันวาวมากกว่า R เล็กน้อย ง. ใสมันวาวเท่ากับ R จ. ใสมันวาวน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. ใสมันวาวน้อยกว่า R ปาน กลาง ช. ใสมันวาวน้อยกว่า R มาก | ก. ใสมันวาวกว่า R มาก ข. ใสมันวาวมากกว่า R ปานกลาง ค. ใสมันวาวมากกว่า R เล็กน้อย ง. ใสมันวาวเท่ากับ R จ. ใสมันวาวน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. ใสมันวาวน้อยกว่า R ปาน กลาง ช. ใสมันวาวน้อยกว่า R มาก |

ตารางผนวก ค1(ต่อ) แบบใบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

| คุณลักษณะ ต่างๆ | รหัสตัวอย่าง | | |
|--------------------|---|---|---|
| | | | |
| 3. กลิ่น | ก. ดีกว่า R มาก ข. ดีกว่า R ปานกลาง ค. ดีกว่า R เล็กน้อย ง. เหมือนกับ R จ. แย่กว่า R เล็กน้อย ฉ. แย่กว่า R ปานกลาง ช. แย่กว่า R มาก | ก. ดีกว่า R มาก ข. ดีกว่า R ปานกลาง ค. ดีกว่า R เล็กน้อย ง. เหมือนกับ R จ. แย่กว่า R เล็กน้อย ฉ. แย่กว่า R ปานกลาง ช. แย่กว่า R มาก | ก. ดีกว่า R มาก ข. ดีกว่า R ปานกลาง ค. ดีกว่า R เล็กน้อย ง. เหมือนกับ R จ. แย่กว่า R เล็กน้อย ฉ. แย่กว่า R ปานกลาง ช. แย่กว่า R มาก |
| 4. รสชาติ | ก. ดีกว่า R มาก ข. ดีกว่า R ปานกลาง ค. ดีกว่า R เล็กน้อย ง. เหมือนกับ R จ. แย่กว่า R เล็กน้อย ฉ. แย่กว่า R ปานกลาง ช. แย่กว่า R มาก | ก. ดีกว่า R มาก ข. ดีกว่า R ปานกลาง ค. ดีกว่า R เล็กน้อย ง. เหมือนกับ R จ. แย่กว่า R เล็กน้อย ฉ. แย่กว่า R ปานกลาง ช. แย่กว่า R มาก | ก. ดีกว่า R มาก ข. ดีกว่า R ปานกลาง ค. ดีกว่า R เล็กน้อย ง. เหมือนกับ R จ. แย่กว่า R เล็กน้อย ฉ. แย่กว่า R ปานกลาง ช. แย่กว่า R มาก |
| 5. การยอมรับ | ก. ยอมรับมากกว่า R มาก ข. ยอมรับมากกว่า R ปานกลาง ค. ยอมรับมากกว่า R เล็กน้อย ง. ยอมรับเท่ากับ R จ. ยอมรับน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. ยอมรับน้อยกว่า R ปานกลาง ช. ยอมรับน้อยกว่า R มาก | ก. ยอมรับมากกว่า R มาก ข. ยอมรับมากกว่า R ปานกลาง ค. ยอมรับมากกว่า R เล็กน้อย ง. ยอมรับเท่ากับ R จ. ยอมรับน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. ยอมรับน้อยกว่า R ปานกลาง ช. ยอมรับน้อยกว่า R มาก | ก. ยอมรับมากกว่า R มาก ข. ยอมรับมากกว่า R ปานกลาง ค. ยอมรับมากกว่า R เล็กน้อย ง. ยอมรับเท่ากับ R จ. ยอมรับน้อยกว่า R เล็กน้อย ฉ. ยอมรับน้อยกว่า R ปานกลาง ช. ยอมรับน้อยกว่า R มาก |

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณ

ภาคผนวก ง
ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของ อัตราการผลิต(1/hr) ที่อุณหภูมิ water bath ต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | .322 | 3 | .107 | 133.61 | .000 |
| Within Groups | 6.420E-03 | 8 | 8.025E-04 | | |
| Total | .328 | 11 | | | |

| อุณหภูมิ | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลอัตราการผลิต(1/hr)ที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | | | |
|-------------|----------------|---|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 80.00 | 3 | 0.61 | | | |
| 90.00 | 3 | | 0.78 | | |
| 85.00 | 3 | | | 0.90 | |
| 95.00 | 3 | | | | 1.06 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 2 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติเปอร์เซ็นต์ Yield ที่อุณหภูมิ water bath ต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 200.968 | 3 | 66.989 | 133.691 | .000 |
| Within Groups | 4.009 | 8 | .501 | | |
| Total | 204.977 | 11 | | | |

| อุณหภูมิ | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Yield ที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | | | |
|-------------|----------------|---|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 80.00 | 3 | 15.30 | | | |
| 90.00 | 3 | | 19.63 | | |
| 85.00 | 3 | | | 22.61 | |
| 95.00 | 3 | | | | 26.48 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 3 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของพลังงานจำเพาะ(kWh/l)ที่อุณหภูมิ water bath ต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | .937 | 3 | .312 | 18.925 | .001 |
| Within Groups | .132 | 8 | 1.650E-02 | | |
| Total | 1.069 | 11 | | | |

| อุณหภูมิ | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูล พลังงานจำเพาะ(kWh/l)ที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | |
|-------------|----------------|--|-------|
| | | 1 | 2 |
| 95.00 | 3 | 3.59 | |
| 90.00 | 3 | 3.59 | |
| 85.00 | 3 | 3.63 | |
| 80.00 | 3 | | 4.25 |
| Sig. | | .666 | 1.000 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 4 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของปริมาณสุรากลั่นที่ 35 ดีกรี (ml) ที่อุณหภูมิในการกลั่นและวิธีการกลั่นต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 2642349.263 | 5 | 528469.853 | 211.732 | .000 |
| Within Groups | 29951.320 | 12 | 2495.943 | | |
| Total | 2672300.583 | 17 | | | |

| อุณหภูมิในการกลั่น และวิธีการกลั่น | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลปริมาณสุรากลั่นที่ 35 ดีกรี (ml) ที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 1 | 3 | 1547.57 | | | | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 2 | 3 | | 1776.16 | | | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 3 | 3 | | | 2053.14 | | | |
| อุณหภูมิ 55 °C วิธีที่ 1 | 3 | | | | 2162.00 | | |
| อุณหภูมิ 55 °C วิธีที่ 2 | 3 | | | | | 2251.43 | |
| อุณหภูมิ 55 °C วิธีที่ 3 | 3 | | | | | | 2764.90 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ ๖5 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของอัตราการผลิตสุรากลับที่ 35 ดีกรี (l/hr) ที่อุณหภูมิในการกลั่นและวิธีการกลั่นต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 36.238 | 5 | 7.248 | 542.163 | .000 |
| Within Groups | .160 | 12 | 1.337E-02 | | |
| Total | 36.398 | 17 | | | |

| อุณหภูมิในการกลั่น และวิธีการกลั่น | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลอัตราการผลิตสุรากลับที่ 35 ดีกรี (l/hr) ที่ ระดับนัยสำคัญ = .05 | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 2 | 3 | 2.13 | | | | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 1 | 3 | | 3.10 | | | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 3 | 3 | | | 3.52 | | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 2 | 3 | | | | 3.90 | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 3 | 3 | | | | | 4.88 | |
| อุณหภูมิ 55 °C วิธีที่ 1 | 3 | | | | | | 6.60 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่
ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 6 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ Yield ที่อุณหภูมิการกลั่น และวิธีการกลั่นต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 264.087 | 5 | 52.817 | 211.227 | .000 |
| Within Groups | 3.001 | 12 | .250 | | |
| Total | 267.088 | 17 | | | |

| อุณหภูมิในการกลั่น และวิธีการกลั่น | จำนวนชุด ข้อมูล | กลุ่มข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Yield ที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 1 | 3 | 15.48 | | | | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 2 | 3 | | 17.76 | | | | |
| อุณหภูมิ 60 °C วิธีที่ 3 | 3 | | | 20.53 | | | |
| อุณหภูมิ 55 °C วิธีที่ 1 | 3 | | | | 21.62 | | |
| อุณหภูมิ 55 °C วิธีที่ 2 | 3 | | | | | 22.51 | |
| อุณหภูมิ 55 °C วิธีที่ 3 | 3 | | | | | | 27.65 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 7 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของพลังงานจำเพาะ(kWh /l)ที่อุณหภูมิในการกลั่นและวิธีการกลั่นต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 17.222 | 5 | 3.444 | 552.536 | .000 |
| Within Groups | 7.481E-02 | 12 | 6.234E-03 | | |
| Total | 17.297 | 17 | | | |

| อุณหภูมิในการกลั่น และวิธีการกลั่น | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลพลังงานจำเพาะ(kWh/l)ที่ ระดับนัยสำคัญ = .05 | | | | |
|---------------------------------------|----------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| อุณหภูมิ55 °C วิธีที่ 1 | 3 | 1.81 | | | | |
| อุณหภูมิ55 °C วิธีที่ 3 | 3 | 1.92 | | | | |
| อุณหภูมิ55 °C วิธีที่ 2 | 3 | | 2.11 | | | |
| อุณหภูมิ60 °C วิธีที่ 1 | 3 | | | 3.61 | | |
| อุณหภูมิ60 °C วิธีที่ 2 | 3 | | | | 3.93 | |
| อุณหภูมิ60 °C วิธีที่ 3 | 3 | | | | | 4.08 |
| Sig. | | .109 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 8 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของอัตราการผลิต(1/hr) ที่ปริมาณสาโทที่ใช้กลั่นแตกต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | .436 | 3 | .145 | 10.767 | .004 |
| Within Groups | .108 | 8 | 1.350E-02 | | |
| Total | .544 | 11 | | | |

| ปริมาณสาโทที่ใช้ กลั่น | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลอัตราการผลิต(1/hr) ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 | | |
|---------------------------|----------------|---|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 10 ลิตร | 3 | 4.88 | | |
| 40 ลิตร | 3 | 4.97 | 4.97 | |
| 30 ลิตร | 3 | | 5.16 | 5.16 |
| 20 ลิตร | 3 | | | 5.38 |
| Sig. | | .366 | .079 | .054 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 9 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ Yield ที่ปริมาณสาโทที่ใช้กลับแตกต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 1.161 | 3 | .387 | 2.364 | .147 |
| Within Groups | 1.309 | 8 | .164 | | |
| Total | 2.470 | 11 | | | |

| ปริมาณสาโทที่ใช้ กลับ | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Yield ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 |
|-----------------------|----------------|--|
| 20 ลิตร | 3 | 26.86 |
| 40 ลิตร | 3 | 26.92 |
| 30 ลิตร | 3 | 27.14 |
| 10 ลิตร | 3 | 27.65 |
| Sig. | | .055 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 10 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติของ พลังงานจำเพาะ(kWh/l) ที่ปริมาณ
 สาโทที่ใช้กลั่นแตกต่างกัน

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 6.996E-02 | 3 | 2.332E-02 | 29.420 | .000 |
| Within Groups | 6.341E-03 | 8 | 7.927E-04 | | |
| Total | 7.630E-02 | 11 | | | |

| ปริมาณสาโทที่ใช้ จำนวนชุดข้อมูล กลุ่มข้อมูลพลังงานจำเพาะ(kWh/l) ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 | | | | |
|---|---|-------|-------|------|
| กลั่น | | 1 | 2 | 3 |
| 30 ลิตร | 3 | 1.71 | | |
| 40 ลิตร | 3 | | 1.81 | |
| 20 ลิตร | 3 | | | 1.87 |
| 10 ลิตร | 3 | | | 1.92 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | .068 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่
 ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 11 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ปริมาณการกลั่นสาโท 10 ลิตร เป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับปริมาณการกลั่นสาโท 20 ลิตร 30 ลิตร และ 40 ลิตร

| ชั้น | อันตรายภาคชั้น | | สี | | | ความใส | | | กลิ่น | | | รสชาติ | | | การยอมรับ | | |
|------|----------------|--------|------|------|------|--------|------|------|-------|------|------|--------|------|------|-----------|------|------|
| | ต่ำสุด | สูงสุด | 20 l | 30 l | 40 l | 20 l | 30 l | 40 l | 20 l | 30 l | 40 l | 20 l | 30 l | 40 l | 20 l | 30 l | 40 l |
| 1 | 1.000 | 1.857 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1.858 | 2.715 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 2.716 | 3.573 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3.574 | 4.431 | 4.20 | | | | | | | | | 4.25 | | | 4.25 | | |
| 5 | 4.432 | 5.289 | | | | 4.45 | | | 5.15 | | | | 4.6 | 5.1 | | 5.45 | 5.95 |
| 6 | 5.290 | 6.147 | | 5.55 | | | 5.75 | 6.1 | | 5.65 | 5.65 | | | | | | |
| 7 | 6.148 | 7.005 | | | 6.15 | | | | | | | | | | | | |

ตารางผนวกที่ 12 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะสีของสุรากลั่น

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 39.900 | 2 | 19.950 | 37.041 | .000 |
| Within Groups | 30.700 | 57 | .539 | | |
| Total | 70.600 | 59 | | | |

| ปริมาณการ กลั่นสาโท | จำนวนชุด ข้อมูล | กลุ่มข้อมูลคุณลักษณะสีของสุรากลั่นที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | | |
|------------------------|--------------------|--|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 20 ลิตร | 20 | 4.20 | | |
| 30 ลิตร | 20 | | 5.55 | |
| 40 ลิตร | 20 | | | 6.15 |
| Sig. | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 13 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะความใสของสุรากลั่น

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 30.233 | 2 | 15.117 | 15.810 | .000 |
| Within Groups | 54.500 | 57 | .956 | | |
| Total | 84.733 | 59 | | | |

| ปริมาณการ กลั่นสาโท | จำนวนชุด ข้อมูล | กลุ่มข้อมูลคุณลักษณะความใสของสุรากลั่นที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | |
|------------------------|--------------------|--|------|
| | | 1 | 2 |
| 20 ลิตร | 20 | 4.45 | |
| 30 ลิตร | 20 | | 5.75 |
| 40 ลิตร | 20 | | 6.10 |
| Sig. | | 1.000 | .262 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 14 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะกลิ่นของสุรากลั่น

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 3.333 | 2 | 1.667 | 2.523 | .089 |
| Within Groups | 37.650 | 57 | .661 | | |
| Total | 40.983 | 59 | | | |

| ปริมาณการ กลั่นสาโท | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลคุณลักษณะกลิ่นของสุรากลั่นที่ระดับนัยสำคัญ = .05 |
|------------------------|----------------|---|
| | | 1 |
| 20 ลิตร | 20 | 5.15 |
| 30 ลิตร | 20 | 5.65 |
| 40 ลิตร | 20 | 5.65 |
| Sig. | | .070 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 15 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะรสชาติของสุรากลั่น

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 7.300 | 2 | 3.650 | 4.913 | .011 |
| Within Groups | 42.350 | 57 | .743 | | |
| Total | 49.650 | 59 | | | |

| ปริมาณการ กลั่นสาโท | จำนวนชุด ข้อมูล | กลุ่มข้อมูลคุณลักษณะรสชาติของสุรากลั่นที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | |
|------------------------|--------------------|--|------|
| | | 1 | 2 |
| 20 ลิตร | 20 | 4.25 | |
| 30 ลิตร | 20 | 4.60 | 4.60 |
| 40 ลิตร | 20 | | 5.10 |
| Sig. | | .204 | .072 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 16 วิเคราะห์กลุ่มข้อมูลเหมือนกันทางสถิติโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะการยอมรับของสุรากลั่น

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 17.200 | 2 | 8.600 | 7.606 | .001 |
| Within Groups | 64.450 | 57 | 1.131 | | |
| Total | 81.650 | 59 | | | |

| ปริมาณการกลั่นสาโท | จำนวนชุดข้อมูล | กลุ่มข้อมูลคุณลักษณะการยอมรับของสุรากลั่นที่ระดับนัยสำคัญ = .05 | |
|--------------------|----------------|---|------|
| | | 1 | 2 |
| 20 ลิตร | 20 | 4.65 | |
| 30 ลิตร | 20 | | 5.45 |
| 40 ลิตร | 20 | | 5.95 |
| Sig. | | 1.00 | .143 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้โดยใช้ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ตารางผนวกที่ 17 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งใช้สุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นสุญญากาศต้นแบบเป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับสุรากลั่นที่กลั่นโดยเครื่องกลั่นของโรงงาน และสุรากลั่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

| ชั้น | อันตรายจากชั้น | | สี | | ความใส | | กลิ่น | | รสชาติ | | การยอมรับ | |
|------|----------------|--------|-----|------|--------|------|-------|-----|--------|------|-----------|------|
| | ต่ำสุด | สูงสุด | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1 | 1.000 | 1.857 | | | | | | | | | | |
| 2 | 1.858 | 2.715 | | | | | | | | | | |
| 3 | 2.715 | 3.572 | | | | | | | | | | |
| 4 | 3.572 | 4.429 | 4.2 | | | | | 4.1 | | | | |
| 5 | 4.429 | 5.286 | | 4.45 | 4.9 | 5.15 | 4.85 | | 4.65 | 4.55 | 5 | 4.65 |
| 6 | 5.286 | 6.143 | | | | | | | | | | |
| 7 | 6.143 | 7.000 | | | | | | | | | | |