

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

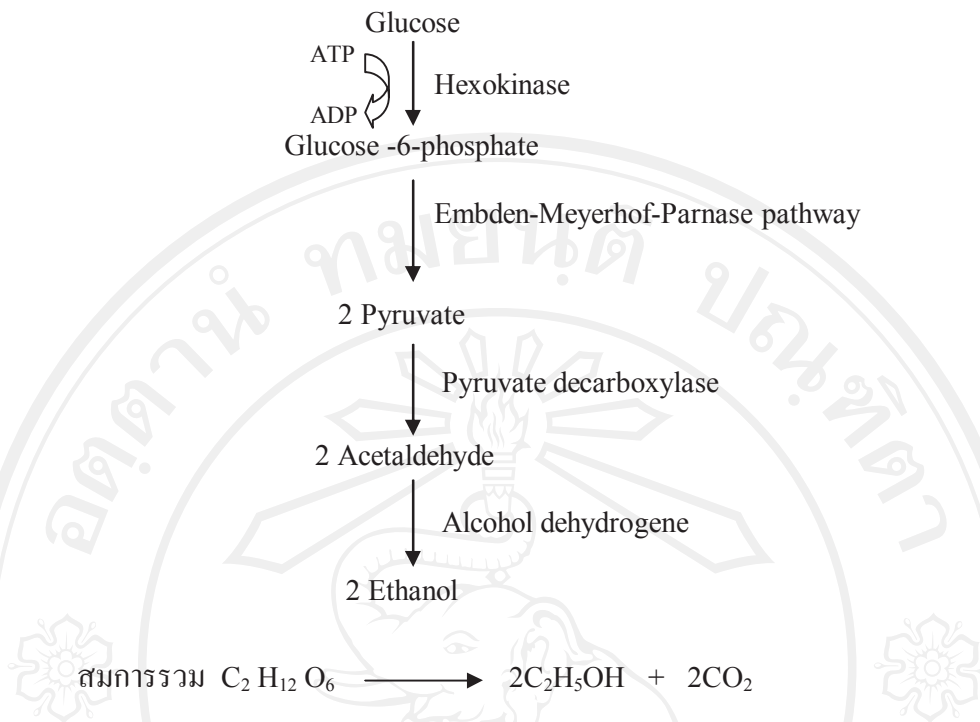
2.1 กระบวนการหมักแอลกอฮอล์

ในทางทฤษฎี น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลได้ร้อยละ 51.1 และเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนักของน้ำตาลที่ถูกย่อย เมื่อนำกลูโคสมาเข้ากระบวนการหมักโดยยีสต์ ยีสต์จะหมักกลูโคสให้เป็นแอลกอฮอล์ (ภาพ 2.1) แต่ในความเป็นจริง ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารอื่นๆ เช่น glycerol, ester, aldehyde amyl alcohol, isobutyl alcohol, fusel oil และกรดบางชนิด เป็นต้น โดยทั่วไปแอลกอฮอล์มักจะอยู่ระหว่างร้อยละ 80-95 ของทฤษฎี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ สภาพแวดล้อมในระหว่างการหมักและสายพันธุ์ของยีสต์



ภาพ 2.1 สมการการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล

การหมักแอลกอฮอล์เป็นกระบวนการเผาผลาญกลูโคส ในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยทั่วไปแล้วการหมักมักใช้ยีสต์ในสกุล *Saccharomyces sp.* ซึ่งเอทานอลจะถูกสร้างขึ้นโดยอาศัย Embden-Meyerhof-Parnas pathway (ภาพ 2.2) โดยเริ่มจากกลูโคสที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท 2 โมเลกุล และสร้าง ATP อีก 2 โมเลกุล จากนั้นไพรูเวทจะสลายตัวต่อไปด้วย เอนไซม์ไพรูเวทดีคาร์บอกซิเลส (pyruvate decarboxylase) ได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 2 โมเลกุล ส่วนที่เหลือ คือ อะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) 2 โมเลกุล ซึ่งเป็นสารประกอบพวกแอลดีไฮด์ (aldehyde) อะซีตัลดีไฮด์จะถูกเร่งปฏิกิริยา ด้วยเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase) ให้กลายเป็นเอทานอล 2 โมเลกุล



ภาพ 2.2 การผลิตเอทานอลจากกลูโคส โดยผ่านกระบวนการ Embden-Meyerhof-Parnase pathway
ที่มา : กำเนิด, 2534

ยีสต์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักจะอยู่ในสกุล *Saccharomyces sp.* ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ *S. cerevisiae*, *S. bayanus* และ *S. carlbergensis* ยีสต์เหล่านี้สามารถหมักได้อย่างรวดเร็วในปริมาณแอลกอฮอล์สูง และทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณแอลกอฮอล์ อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง (กำเนิด, 2534) ยีสต์ที่จำหน่ายโดยทั่วไปจะมี 2 แบบ คือ ยีสต์ผง และยีสต์สดหรือยีสต์ที่อยู่ในอาหารเหลว สำหรับยีสต์ผง (active dry yeast) มักผลิตจากยีสต์สด โดยนำมาทำแห้งจนมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 8 การใช้ยีสต์ผงในการหมักจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม เนื่องจากเป็นยีสต์ที่มีการศึกษา คัดเลือก และทำการผสมจากยีสต์หลายๆ สายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติที่ดี เช่น ให้กลิ่นหอม สร้างคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ และอาจมีความสามารถในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการในการหมักได้อีกด้วย ยีสต์ผงสามารถเก็บได้เป็นปี และมีการคงตัวในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ แต่การใช้งานจะต้องเติมน้ำ (rehydration) โดยการเติมน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 37-41 องศาเซลเซียส เขย่าเล็กน้อย ส่วนยีสต์สดมักไม่สะดวกต่อการใช้งาน และการจัดเก็บ เพราะอายุการเก็บค่อนข้างสั้นประมาณ 3-4 เดือน และต้องเก็บในที่เย็น การเตรียมหัวเชื้อโดยวิธีนี้ค่อนข้างจะยุ่งยาก (ประดิษฐ์, 2545)

Saccharomyces cerevisiae เป็นยีสต์ชนิดหนึ่งที่สำคัญต่อการผลิตสุรากลั่นเป็นอย่างมาก ยีสต์ชนิดนี้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตสุราต่างๆ ทั้งในรูปแบบของยีสต์แห้งพร้อมใช้ ที่ผลิตจำหน่ายเป็นการค้าของหลายบริษัท และที่เป็นยีสต์สดมีการต่อเชื้อใช้เองในโรงงานสุราต่างๆ ในหลายประเทศ *Saccharomyces sp.* สายพันธุ์ที่มีจำหน่าย และใช้งานในประเทศไทย ได้แก่

1. K1V-1116 เป็น *Saccharomyces sp.* ที่นำมาจำหน่ายในประเทศไทยเมื่อประมาณ 4-5 ปีมาแล้ว เพื่อใช้ในการทำไวน์ผลไม้ทั้งไวน์ขาวและไวน์แดง ความเข้มข้นของน้ำผลไม้ที่ใช้หมัก คือ 18-22 องศาบริกซ์ ใช้เวลาหมัก 1-3 สัปดาห์ หมักได้ในช่วงอุณหภูมิ 15-40 องศาเซลเซียส (แต่ไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียส) จึงเหมาะกับประเทศไทยที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงและใช้ได้ดีกับผลไม้ไทยหลายชนิด เพราะให้กลิ่นหอมของผลไม้เป็นธรรมชาติ เหมาะสมที่จะใช้ทำสุรากลั่นจากผลไม้

2. EC1118 เป็น *Saccharomyces sp.* ที่นำมาจำหน่ายในประเทศไทยเมื่อประมาณ 4-5 ปีพร้อมกับ K1V-1116 เพื่อใช้ในการทำไวน์ผลไม้ทั้งไวน์ขาวและไวน์แดง ระดับความเข้มข้นของน้ำผลไม้ที่ใช้หมัก คือ 18-22 องศาบริกซ์ ใช้เวลาหมัก 2-4 สัปดาห์ หมักได้ในช่วงอุณหภูมิ 15-35 องศาเซลเซียส (แต่ควรหมักที่อุณหภูมิไม่เกิน 25 องศาเซลเซียสเพื่อให้ได้กลิ่นและรสที่ดี) ให้แอลกอฮอล์สูงกว่าและทนแอลกอฮอล์ได้สูงกว่า K1V-1116 ใช้ในการแก้ไขปัญหาหุดหมักได้ดี หรือใช้ในการทำแชมเปญ ใช้ได้ดีกับผลไม้ไทยหลายชนิด ให้กลิ่นหอมของผลไม้เป็นธรรมชาติและกลิ่นที่ซับซ้อน เหมาะสมที่จะใช้ทำสุรากลั่นจากผลไม้ (Lallemand Inc., 2004)

นอกจากนี้ยังมีเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งเหมาะสมในกระบวนการหมักแต่เรียกเป็นสายพันธุ์ต่างๆ และมีจำหน่ายในทางการค้าในรูปแบบของยีสต์ผง (ตาราง 2.1)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของยีสต์ในกระบวนการหมักของแอลกอฮอล์ คือ

1. สารอาหาร ยีสต์ใช้คาร์บอนจากน้ำตาล โดยสามารถทนความเข้มข้นของน้ำตาลได้สูงสุดประมาณร้อยละ 22 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ถ้าเกินจากนี้จะทำให้ยีสต์เจริญได้ช้า และทำให้การหมักไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจทำให้เกิดกรดแลกติก กรดน้ำส้ม และสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ ถ้าน้ำตาลแบบโมเลกุลเล็กๆ เช่น กลูโคส และฟรุกโตส อัตราการหมักจะเกิดได้เร็วกว่าพวกโมเลกุลใหญ่ เช่น ซูโครส ทั้งนี้เป็นเพราะยีสต์สามารถนำน้ำตาลโมเลกุลเล็กมาใช้ได้ทันที (รัฐพงศ์, 2545) ส่วนไนโตรเจน (Arrizon *et al.*, 2007) ยีสต์ใช้ในรูปแบบของสารละลายแอมโมเนีย เกลือแอมโมเนียม ไม่นิยมใช้ในรูปแบบของไนไตรท์และไนเตรท ฟอสฟอรัสเป็นอาหารที่จำเป็นสำหรับยีสต์ซึ่งจะใช้สร้าง ATP (Adenine-5-triphosphate) สังกะหรณ์นิวคลีโอโปรตีน เป็นต้น โดยสามารถใช้ในรูปแบบของไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และไดโซเดียมฟอสเฟต เป็นต้น ส่วนแมกนีเซียมจำเป็นต่อการหมักแอลกอฮอล์โดยยีสต์ โดยเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิดใน Embden-Meyerhof-Parnase pathway

ตาราง 2.1 ตัวอย่างยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมไวน์

สายพันธุ์หรือรหัสทางการค้า	คุณสมบัติ
Lalvin EC-1118 (<i>S. cerevisiae</i> var. <i>bayanus</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - สำหรับไวน์ขาวและแดงที่ต้องการหมักอย่างรวดเร็วและรสชาติเป็นกลางๆ - หมักได้ระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส - ทนแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 16 (v/v)
Lalvin K1-V1116 (<i>S. cerevisiae</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - สำหรับหมักไวน์แดง - หมักได้ระหว่าง 15-35 องศาเซลเซียส - ทนแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 14 (v/v)
Enoferm BDX (<i>S. cerevisiae</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - สำหรับหมักไวน์แดง - หมักได้ระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส - ทนแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 16 (v/v)
Fermivin (<i>S. cerevisiae</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - สำหรับหมักไวน์แดง และไวน์ขาว - หมักได้ระหว่าง 15-35 องศาเซลเซียส - ทนแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 16 (v/v) - ผลิตกรดระเหยต่ำกว่า 0.15 กรัม/ลิตร - ผลิต acetaldehyde ต่ำกว่า 20 มิลลิลิตร - ผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ต่ำ
Fermivin PDM (<i>S. cerevisiae</i> var. <i>bayanus</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - สำหรับหมักไวน์แดง และไวน์ขาว - หมักได้ระหว่าง 14-28 องศาเซลเซียส - ทนแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 16 (v/v) - ผลิตกรดระเหยต่ำกว่า 0.15 กรัม/ลิตร - ผลิต acetaldehyde ต่ำกว่า 10 มิลลิลิตร - ผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ต่ำ

ที่มา : Lallemand Inc. (2004); DSM Food Specialties Beverage Ingredients (2004)

2. ความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก โดยทั่วไปยีสต์ชอบเจริญในสภาพความเป็นกรด-ด่าง 3.5-5.5 โดยถ้าต่ำกว่า 3.5 อัตราการเจริญของยีสต์จะลดลง ถ้าต่ำกว่า 3.0 ยีสต์ไม่สามารถเจริญได้ ดังนั้นจึงนิยมปรับความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4.0-4.5 ซึ่งยีสต์มีประสิทธิภาพในการเจริญได้ดี และยังสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อื่นได้ด้วย

3. ออกซิเจน ยีสต์ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวน ซึ่งยีสต์สามารถแบ่งตัวเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในเวลาไม่ถึงชั่วโมงในการเจริญ และจะมีการเพิ่มจำนวนถึงล้านเซลล์เมื่อเวลาผ่านไปภายใน 24 ชั่วโมง แต่อาจจะมีการปนเปื้อนของเชื้อ Acetobacter ซึ่งจะผลิตกรดน้ำส้มขึ้นมา ซึ่งจะมีผลในการเจริญของยีสต์ทำให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์น้อย ดังนั้นในการหมักควรใช้อุปกรณ์ดักอากาศ (air lock) ซึ่งจะป้องกันไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่ถังได้แต่สามารถให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากยีสต์ออกมาจากถังได้ (โชคชัย, 2546)

4. อุณหภูมิ มีผลโดยตรงต่อการทำงานของยีสต์ และมีผลทางอ้อมต่อปริมาณแอลกอฮอล์ในช่วงแรกของการหมัก อุณหภูมิควรอยู่ในช่วง 25-26 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า แต่ไม่ควรเกิน 20 องศาเซลเซียส และเมื่อหมักไปในช่วงสุดท้ายของการหมัก ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงมากๆ จะทำให้เอนไซม์ในยีสต์เกิดการเสียสภาพในธรรมชาติ (denature) อัตราการเจริญของยีสต์จะลดลงในระหว่างที่อยู่ในช่วง 55-85 องศาเซลเซียส และอาจทำให้ยีสต์ตายได้ (รัฐพงศ์, 2545)

5. คาร์บอนไดออกไซด์และความดัน คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาในการใช้น้ำตาลของยีสต์จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ด้วย ถ้าไม่มีการระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากถังจะทำให้ความดันในถังหมักสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อัตราเร็วของการหมักลดลง (Fleet, 1994)

6. ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ ในกรณีที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูงขึ้นถึงขีดจำกัดคือ ร้อยละ 15 โดยปริมาตร (โดยขีดจำกัดนี้อาจสูงหรือต่ำกว่านี้ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ยีสต์) ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้นนี้จะถูกยับยั้งการทำงานของยีสต์ ทำให้การหมักหยุดชะงักลงแม้มีน้ำตาลเหลืออยู่ในน้ำสำ (รัฐพงศ์, 2545)

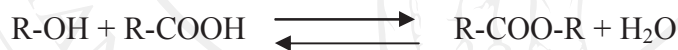
ความแตกต่างของสายพันธุ์ยีสต์ในแง่ของคุณภาพในการผลิตกลั่น รส ในการหมักและสภาวะในการหมักมีความสำคัญต่อการสร้างกลิ่นรสสุรากลั่นเช่นกัน เช่นปริมาณยีสต์ที่ใช้ในการหมัก และอุณหภูมิการหมัก (Varmam and Sutherland, 1994) เป็นต้น

สารเคมีอื่นที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์

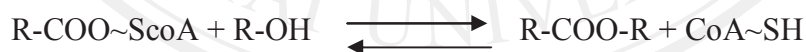
1. เอสเทอร์ (ester) การหมักแอลกอฮอล์ประกอบด้วยสารระเหยหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ กรดคาร์บอนิก เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ และคีโตน เป็นต้น ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้โดยมากมาจากกิจกรรมของยีสต์ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ แต่สารระเหยบางตัว เช่น เอทิลซิวซีเนต ที่เป็นสารที่ให้กลิ่นหอมเฉพาะของสาเก มาจากกิจกรรมของราขณะย่อยแป้ง มีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์สารระเหยได้ของยีสต์ในระหว่างการหมัก เช่น องค์ประกอบของข้าว และสายพันธุ์ยีสต์ เป็นต้น สารเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จะถูกผลิตขึ้นขณะที่ยีสต์อยู่ในระยะกำลังเจริญ วิธีการสังเคราะห์เอสเทอร์ โดยยีสต์ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ และกรดที่มีอยู่ในสารละลายด้วย (นัยทัศน์, 2542)

เอสเทอร์เป็นสารหอมระเหย ที่มีความสำคัญในการให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ (Cortes *et al.*, 2005) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Acyl CoA และ free alcohols โดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ Esterase และ Alcohol acetyl transferase ทำให้เกิดกลิ่นหอมขึ้น นอกจากนี้การเกิดเอสเทอร์ยังเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของกรดในปฏิกิริยา esterification

ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ สามารถเกิดได้ 2 รูปแบบ ดังสมการต่อไปนี้
แบบที่ 1 เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเอทิลแอลกอฮอล์กับกรดแอซิดิก



แบบที่ 2 เกิดจากปฏิกิริยา alcoholysis ของสารประกอบ Acyl CoA



2. แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลใหญ่ (higher alcohol) หรือแอลกอฮอล์ชั้นสูง มีที่มาจากกระบวนการสลายกลูโคส และกรดอะมิโน เกิดขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของยีสต์ ได้แก่ amyl alcohol isobutyl alcohol และ 2-phenyl ethanol ชนิดและปริมาณขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของยีสต์และองค์ประกอบของสารอาหารเริ่มต้น (นัยทัศน์, 2542)

3. แอลดีไฮด์ (aldehyde) เป็นสารในกลุ่ม carbonyl ซึ่งมีบทบาทต่อกลิ่นรสของสาโท เกิดจากปฏิกิริยาของการออกซิไดส์แอลกอฮอล์เป็นแอลดีไฮด์ ปริมาณแอลดีไฮด์ที่ถูกสร้างขึ้นมาขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของยีสต์และสภาวะการหมัก โดยทั่วไปแล้วปริมาณแอลดีไฮด์ควรมีค่าอยู่ในช่วง 60-190 มิลลิกรัมต่อลิตร (พัฒนางษ์, 2543)

4. เอทิลคาร์บาเมต (ethyl carbamate) เป็นสารประกอบที่สร้างขึ้นในระหว่างการหมักด้วยยีสต์ สร้างจากยูเรียซึ่งเป็นสารตั้งต้น (precursor) ที่จะถูกเอนไซม์ Urease เปลี่ยนเป็นสารนี้

5. ฟูเซลอยด์ (fusel oil) เกิดจากกระบวนการสลายกรดอะมิโน ชนิด valine, leucine isoleucine และ phenylalanine และเกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างกรดอะมิโน ชนิด threonine, glutamic acid, isoleucine และ valine ตัวอย่างของฟูเซลอยด์ ได้แก่ แอลกอฮอล์มอลโทมัลเทกูดสูงๆ เช่น 1-propanol, 1-butanol, 2-butanol, 2-methyl-1-butanol, 3-methyl-1-butanol, 3-pentanol และ 1-hexanol (พัฒนพงษ์, 2543)

6. เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) ในกระบวนการหมักสุราแช่ประเภทต่างๆ ได้แก่ สาโท ไวน์ และไวน์ผลไม้ นั้น ยีสต์มีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาล และคาร์โบไฮเดรตเป็นแอลกอฮอล์และสารอื่นๆ ได้ในชนิดและปริมาณต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะในการหมัก ในบางสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น ในกระบวนการผลิตไวน์ผลไม้บางชนิดที่ใช้เอนไซม์เพคตินเอสในการเตรียมน้ำผลไม้ ก็ทำให้เกิดเมทิลแอลกอฮอล์ขึ้นได้ เป็นต้น

2.1.1 วัตถุดิบทั่วไปที่ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักนั้น ต้องใช้วัตถุดิบให้น้ำตาล ซึ่งยีสต์สามารถหมักได้ในสภาวะที่เหมาะสม วัตถุดิบดังกล่าวแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. วัตถุดิบที่เป็นแป้ง (starchy material) เป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานของยีสต์ได้ แต่จะต้องมีการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลก่อน โดยอาจใช้กรดหรือเอนไซม์จากเมล็ดพืชที่กำลังงอก (malt) หรือใช้จุลินทรีย์ชนิดที่สร้างเอนไซม์อะไมเลสหรือการใช้เอนไซม์ทางการค้าที่สร้างจากจุลินทรีย์ ซึ่งวัตถุดิบในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ได้แก่

1.1 เมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น

1.2 พืชที่เก็บแป้งไว้ในหัว และราก ได้แก่ มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง เป็นต้น

2. วัตถุดิบที่เป็นน้ำตาล (saccharide material) เช่น น้ำตาล น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง และกากน้ำตาล เป็นต้น การผลิตสุราจากวัตถุดิบประเภทนี้จะได้จากการหมักด้วยเชื้อยีสต์ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ และเนื่องจากวัตถุดิบประเภทนี้มีน้ำตาลอยู่แล้วการทำสุราจึงต้องมีการปรับปริมาณน้ำตาลให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม และสามารถหมักได้เร็ว เพราะยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ทันที (กล้าณรงค์ และคณะ, 2545)

3. วัตถุดิบที่เป็นเซลลูโลส (cellulosic material) เช่น ไม้ หรือของเสียจากอุตสาหกรรมป่า ไม้ ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ยากต่อการย่อยสลายซึ่งจำเป็นต้องมีการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาล ซึ่งน้ำตาลที่ย่อยได้จะได้ประมาณร้อยละ 65-88 ประกอบด้วยกลูโคส ฟรุกโตส แมนโนสไซโลส และอะราบินโนส จากนั้นยีสต์จะหมักต่อเป็นแอลกอฮอล์

4. วัตถุดิบจากผลพลอยได้จากกระบวนการทางอุตสาหกรรม เช่น หางนม และของเสียจากผลไม้ เป็นต้น ซึ่งยังมีน้ำตาลอยู่ เมื่อนำไปหมักด้วยยีสต์ก็จะได้แอลกอฮอล์

2.2 สุรากลั่น

สุรากลั่นเป็นเครื่องแอลกอฮอล์ที่ได้จากกระบวนการหมักวัตถุดิบต่างๆ แล้วนำไปกลั่น ทำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูงกว่าเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดอื่น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเหล้ากลั่นแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เช่น บรันดี (brandy) ได้มาจากการกลั่นไวน์ รัม (rum) ได้มาจากการหมักน้ำตาลอ้อย หรือกากน้ำตาลอ้อย วอดก้า (vodka) และยีน (gin) ได้มาจากการหมักธัญพืชชนิดต่างๆ หรือแป้งมันฝรั่ง เป็นต้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสุรากลั่นได้ให้ความหมายของสุราว่า หมายถึง เครื่องดื่มที่มีแรงแอลกอฮอล์เกินร้อยละ 0.5 (v/v) แต่ไม่เกินร้อยละ 80 (v/v) ส่วนสุรากลั่น หมายถึง สุราที่ได้จากการกลั่นน้ำสำเป็นสุรา หรือกลั่นน้ำสำเป็นแอลกอฮอล์ก่อนแล้วปรุงแต่งให้เป็นสุรา ทั้งนี้รวมถึงสุรากลั่นที่ผสมกับของอื่น หรือเครื่องดื่มชนิดอื่น และชื่อของสุรากลั่นนั้น ส่วนมากจะเรียกตามกรรมวิธีการผลิตนั้นๆ เช่น สุราผสม สุราปรุงพิเศษ สุราขาว วอดก้า ยีน วิสกี้ บรันดี และรัม เป็นต้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

2.2.1 ประเภทและชนิดของสุรากลั่น

กรมสรรพสามิตได้กำหนดประเภทและชนิดของสุรากลั่นที่อนุญาตให้ทำขึ้นในราชอาณาจักรตามความในมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติภาษีสุรา พ.ศ.2493 ไว้ดังนี้

1. สุราขาว คือ สุราที่กลั่นจากข้าวหรือน้ำตาล โดยปราศจากเครื่องย้อมหรือสิ่งปรุงแต่งอย่างใดและเมื่อนำออกมาจากโรงงานเพื่อเสีภาษี ต้องมีแรงแอลกอฮอล์ระดับต่างๆ ดังนี้ คือ ร้อยละ 28, 30, 35 และ 40 (v/v)

2. สุราสามทับ (แอลกอฮอล์) คือ สุรากลั่นที่ปราศจากเครื่องย้อมหรือสิ่งปรุงแต่ง และเมื่อนำออกมาจากโรงงานเพื่อเสีภาษี ต้องมีแรงแอลกอฮอล์ตั้งแต่ร้อยละ 80 (v/v) ขึ้นไป (เป็นแอลกอฮอล์ที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง เคมีภัณฑ์ เป็นต้น)

3. สุราผสม คือ สุรากลั่นที่มีกรรมวิธีใช้สิ่งปรุงแต่งขึ้นจากสุราขาวหรือสุราสามทับ เมื่อผสมปรุงแต่งแล้วและเมื่อนำออกมาจากโรงงานเพื่อเสียกาญี ต้องมีแรงแอลกอฮอล์ระดับต่างๆ ดังนี้ คือ ร้อยละ 28, 30 และ 35 (v/v)

4. สุราปรุงพิเศษ คือ สุรากลั่นที่ผสมปรุงแต่งขึ้นจากสุราขาวหรือสุราสามทับ โดยมีกรรมวิธีพิเศษ เมื่อผสมปรุงแต่งแล้วจะต้องได้รับอนุมัติว่าเป็นสุราปรุงพิเศษจึงถือว่าเป็นสุราปรุงพิเศษ และเมื่อนำออกมาจากโรงงานเพื่อเสียกาญี ต้องมีแรงแอลกอฮอล์ระดับต่างๆ ดังนี้ คือ ร้อยละ 35 และ 40 (v/v)

5. สุราพิเศษ คือ สุรากลั่นโดยตรงจากข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ผลองุ่น หรือพืชผลอื่นๆ หรือสุราที่ผสมปรุงแต่งขึ้นจากสุรากลั่นได้นั้นโดยกรรมวิธีพิเศษ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์สุรากลั่นของสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดนิยามของสุรากลั่นต่างๆ ดังต่อไปนี้ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

สุราผสม สุราปรุงพิเศษ สุราปรุงพิเศษ หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการนำสุราขาวหรือแอลกอฮอล์บริสุทธิ์มาปรุงแต่งหรือแช่กับผลไม้ พืช สมุนไพร เพื่อให้ได้กลิ่น รสตามต้องการ ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 40 (v/v)

สุราผลไม้ (fruit spirit) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นไวน์ที่ทำจากองุ่นหรือผลไม้อื่นที่มีแรงแอลกอฮอล์ต่ำกว่าร้อยละ 95 (v/v) ไม่มีการบ่มในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 50 (v/v)

วอดก้า (vodka) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการนำสุราที่ผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่นที่เกิดจากวัตถุดิบ โดยวิธีการกลั่นซ้ำหรือกรองด้วยถ่าน ทั้งนี้อาจมีการปรุงแต่งกลิ่นรส หรือไม่ก็ได้ ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 38 (v/v)

ยีน (gin) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำส่ำร่วมกับหรือผ่านผลจูนิเปอร์ (Juniper) หรืออาจผสมสุรากลั่นกับสารสกัดของผลจูนิเปอร์ ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 45 (v/v)

วิสกี้ (whisky) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำส่ำของรัฐพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวมอลต์ ข้าวโพด ข้าวเหนียวแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 95 (v/v) และเก็บบ่มในถังไม้ที่เหมาะสมไม่น้อยกว่า 2 ปี ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 (v/v)

บรั่นดี (brandy) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นไวน์ที่ทำจากองุ่นหรือผลไม้อื่นที่มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 95 (v/v) และเก็บบ่มในถังไม้ที่เหมาะสมไม่น้อยกว่า 1 ปี ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 38 (v/v)

รัม (rum) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำสำจากน้ำอ้อย น้ำตาลอ้อย หรือกากน้ำตาลอ้อย แล้วนำมาบ่มที่แรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 80 (v/v) ในถังไม้ที่เหมาะสมไม่น้อยกว่า 1 ปี ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 (v/v)

ไลต์รัม (light rum) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำสำจากน้ำอ้อย น้ำตาลอ้อย หรือกากน้ำตาลอ้อย ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 40 (v/v)

คอร์เดียล หรือลิเคียวร์ (cordial or liqueur) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการผสมสุรากลั่นหรือกลั่นสุราร่วมกับ หรือผ่านผลไม้ หรือพืชผลไม้ หรือสารให้กลิ่นรสจากธรรมชาติแล้วปรุงแต่งรสด้วยน้ำตาล หรือน้ำเชื่อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

2.2.2 การหมักสุราจากผลไม้

การทำสุรากลั่นจากผลไม้เป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก เนื่องจากประเทศไทยมีผลไม้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วงที่ผลผลิตออกมาสู่ท้องตลาดพร้อมๆ กันเป็นจำนวนมาก ราคามักจะตกต่ำอยู่เสมอ ผลไม้ที่เหมาะสมจะนำมาทำสุรา มีข้อพิจารณาในการคัดเลือกใกล้เคียงกับผลไม้ที่ใช้ในการทำไวน์ คือ มีรสชาติหวานและเปรี้ยว มีกลิ่นหอม ที่สำคัญคือ ไม่ควรนำเอาผลไม้ที่มีเนื้อสารประกอบพวกเพคตินอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น แอปเปิล หรือ ส้ม มาทำการหมัก เพราะเสี่ยงต่อการเกิดเมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อร่างกาย วิธีการทำสุราจากผลไม้ใช้แนวทางเดียวกับการทำไวน์ผลไม้คือ คั้นเอาแต่น้ำผลไม้มาหมัก (ไม่นิยมเอาเปลือกหรือเอาเนื้อมาผสมระหว่างหมักด้วย เนื่องจากเสี่ยงต่อการเกิดเมทิลแอลกอฮอล์) แต่อาจเปลี่ยนจากการใช้ยีสต์ทำไวน์ เป็นยีสต์ทำสุรากลั่นชนิดที่หมักเร็วและให้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูง การทำสุราผลไม้ควรที่จะเน้นไปที่กลิ่นของผลไม้ จึงไม่จำเป็นต้องหมักนานเพื่อเอากลิ่นที่ซับซ้อนแบบไวน์ ดังนั้นจึงอาจใช้เวลาในการหมัก 5-7 วันเป็นอย่างมาก ช่วงที่อุณหภูมิการหมักก็ไม่จำเป็นต้องต่ำมากเกินไป ประมาณ 28-32 องศาเซลเซียส แต่อย่าสูงกว่านี้เพราะกลิ่นหอมของผลไม้จะระเหยหมดไปก่อน (คุณวุฒิ, 2547)

Hernandes-Gomes *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาสาร volatile compounds ที่สำคัญที่มีในสุรากลั่นจากผลเมลอน ได้แก่ acetaldehyde, methanol, 1-propanol, 1-butanol, 2-butanol, 2-methyl-1-propanol, 2-methyl-1-butanol, 3-methyl-1-butanol, ethyl acetate, ethyl butyrate และ ethyl lactate โดยเปรียบเทียบกันระหว่าง วิธีการเตรียมน้ำหมัก 3 วิธี คือ ผลเมลอนบด ผล เมลอนบดพร้อมเปลือก และน้ำเมลอน พบว่าสุรากลั่นที่ผลิตโดยใช้น้ำหมักแบบบดพร้อมเปลือก มีปริมาณสารดังกล่าวสูงกว่าการใช้หมักทั้ง 2 วิธี

2.2.3 การกลั่นสุราและเครื่องมือที่ใช้ในการกลั่นสุรา

การกลั่นสุราก็คือการแยกเอทิลแอลกอฮอล์ออกจากน้ำสำ โดยอาศัยจุดเดือด (boiling point) และความดันไอ (vapor pressure) ของแอลกอฮอล์กับน้ำและสารละลายที่ต่างกัน การกลั่นแอลกอฮอล์ หมายถึง การแยกเอทิลแอลกอฮอล์ออกจากน้ำสำ โดยอาศัยจุดเดือด และความดันไอของแอลกอฮอล์กับสารละลายที่ต่างกัน โดยเอทิลแอลกอฮอล์จะมีจุดเดือดที่ 78.3 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำบริสุทธิ์จะมีจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส แต่น้ำผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์จะมีจุดเดือดที่ต่ำกว่าน้ำแต่สูงกว่าเอทิลแอลกอฮอล์ (ภาพ 2.3) แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้จะมีความบริสุทธิ์มากขึ้นเพียงใดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักๆ คือ ชนิดของเครื่องกลั่น ชนิดของหม้อกลั่น โดยการกลั่นจะสามารถแยกสารบางชนิดที่ไม่ต้องการออกได้ ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก เช่น กรดเอสเทอร์ แอลดีไฮด์ ฟลูเชลอลอยด์ และสารระเหยต่างๆ แต่อาจมีสารระเหยบางอย่างเช่นเอสเทอร์ อาจหลงเหลืออยู่บ้าง ซึ่งจะมีกลิ่นเฉพาะในแต่ละชนิดของน้ำหมักซึ่งจะเป็นเอกลักษณ์ของสุราแต่ละชนิดที่ผลิต (โชคชัย, 2546)

ระบบการกลั่นสุราที่ได้รับความนิยมในระดับอุตสาหกรรมแบ่งออกได้ 2 วิธี คือ การกลั่นแบบหม้อต้ม (pot still distillation) และการกลั่นแบบลำดับส่วน (fraction distillation) จุดประสงค์ในการกลั่น คือต้องการแยกแอลกอฮอล์และสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ออกมาให้ได้ความเข้มข้นมากที่สุด (Hardy and Brown, 1989)

ประเภทของเครื่องกลั่นสุราสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (โชคชัย, 2546)

1. เครื่องกลั่นสุราแบบดั้งเดิม คือ เครื่องกลั่นสุราที่ใช้กันมาตั้งแต่โบราณ ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องกลั่นจะเป็นหม้อที่ทำจากดินใช้ใส่น้ำหมักระหว่างต้ม เหนือหม้อต้มขึ้นไปจะเป็นไหที่รองกันด้วยผ้าชุบน้ำ ซึ่งตัวไหจะออกแบบเป็นพิเศษ โดยการเจาะตรงกลางใส่ท่อสำหรับให้น้ำสุราไหลออกมา ปลายท่อด้านในทำเป็นลักษณะคล้ายช้อนขนาดใหญ่ เพื่อให้น้ำสุราที่ควบแน่นจากกันกระทะไหลลงที่ช้อนนี้ ซึ่งจะไหลออกมาตามท่อสู่ภาชนะที่บรรจุสุรา ส่วนข้างบนไหจะมีกระทะวางทับ ซึ่งภายในกระทะจะเติมน้ำเปล่าไว้ซึ่งน้ำนี้ต้องเป็นน้ำเย็น

วิธีการกลั่น และการทำงานของเครื่องกลั่น เริ่มจากการใส่น้ำหมักลงในหม้อต้ม ใช้ผ้าชุบน้ำพันรอบปากหม้อแล้ววางไหลงบนผ้า จัดปลายช้อนสำหรับรองน้ำสุราให้อยู่ตรงกลางไห วางกระทะลงบนปากไห เติมน้ำเย็นลงบนกระทะทำกาต้มน้ำ เมื่อความร้อนถึงระดับหนึ่งจะมีไอระเหยเกิดขึ้น เมื่อไอน้ำนี้ลอยขึ้นไปปะกระทะที่เย็นกว่าไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ก้นกระทะและตกลงบนช้อน แล้วไหลออกมาตามท่อสู่ภาชนะรองรับน้ำสุราที่อยู่ภายนอก

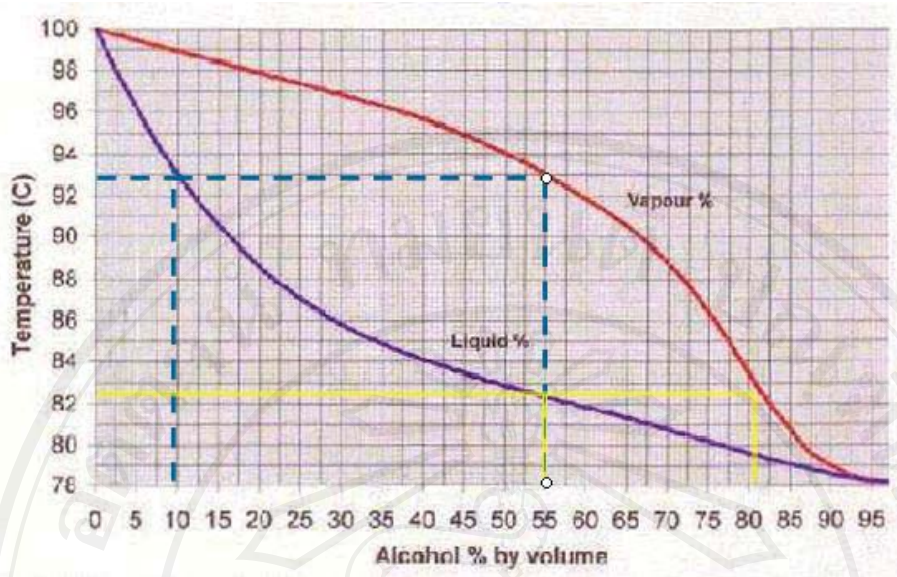
2. เครื่องกลั่นสมัยใหม่ ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นจากเครื่องกลั่นแบบโบราณ โดยเครื่องกลั่นชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องกลั่นแบบธรรมดา เครื่องกลั่นแบบไหลย้อนกลับ (reflux still) และเครื่องกลั่นแบบแยกลำดับส่วน (fractionating column)

2.1 เครื่องกลั่นแบบธรรมดา เป็นหม้อกลั่นที่ไอระเหยงขึ้นมากกระทบกับความเย็นโดยตรง การแยกไอแอลกอฮอล์กับไอน้ำออกจากกันได้ไม่มากนัก ซึ่งการควบแน่นมักใช้ท่อยาวๆ มาขดในน้ำ โดยทั่วไปจะได้รับความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 40-60 (v/v) ความสามารถในการแยกสารระเหยต่างๆ จะไม่ดีเท่ากับอีก 2 ชนิด

2.2 เครื่องกลั่นแบบไหลย้อนกลับ ไอระเหยงจากหม้อต้มจะระเหยไปที่ตัวควบแน่นซึ่งของเหลวที่ได้จากการควบแน่นส่วนหนึ่งจะไหลย้อนกลับมาที่หม้อต้มเพื่อกลั่นซ้ำ อีกส่วนหนึ่งจะไหลออกมายังถังเก็บสุราข้างนอก ความเข้มข้นของสุรากลั่นอยู่ที่ได้ประมาณร้อยละ 75-85 (v/v) โดยขึ้นอยู่กับความยาวท่อ ระบบเครื่องกลั่นนี้สามารถกำจัดกลิ่นของสารปนเปื้อนในสุราได้ดีกว่าแบบแรก นิยมใช้ในการกลั่นเพื่อผลิตวอดก้า

2.3 เครื่องกลั่นแบบแยกลำดับส่วน เป็นเครื่องกลั่นที่ให้ความบริสุทธิ์มากที่สุด โดยท่อจะบรรจุด้วยวัสดุ कुछ ซับ เพื่อให้ไอระเหยงไหลวนไปมา ประมาณ 9 ส่วนใน 10 ส่วน จะไหลย้อนกลับมาลงที่หม้อต้ม ความเข้มข้นของสุรากลั่นที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูงมากถึงร้อยละ 95 (v/v) นิยมใช้ในการกลั่นเพื่อผลิตวิสกี้ และเหล้ารัมชนิดต่างๆ

การกลั่นสุราใช้หลักการแยกสารที่ผสมกันอยู่ โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด ทำการต้มน้ำสำจนถึงจุดเดือดของแอลกอฮอล์ คือ 78.3 องศาเซลเซียส แอลกอฮอล์จะระเหยออกมา กระทบกับความเย็นจากชุดควบแน่นก็จะควบแน่นกลายเป็นหยดของเหลว ได้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น นอกจากจะได้เอทิลแอลกอฮอล์ที่กินได้แล้ว ในการกลั่นสุราก็จะมีเมทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่เป็นพิษระเหยออกมาด้วย แต่จะมีจุดเดือดต่ำกว่าเอทิลแอลกอฮอล์ จึงระเหยออกมาก่อนที่อุณหภูมิ 60-77 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถแยกส่วนนี้ออกไปได้ เรียกว่า “ส่วนหัว” เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 78-90 องศาเซลเซียส ให้เก็บส่วนนี้ไว้ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ เมื่อทำการกลั่นไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูงเกิน 90 องศาเซลเซียส แอลกอฮอล์ส่วนนี้เรียกว่า “ส่วนหาง” มีสารพิษที่เมื่อดื่มแล้วจะทำให้มีอาการปวดหัว ตาแฉะ และยังทำให้สุราที่ได้มีกลิ่นฉุน โดยสารพวกนี้จะเป็นฟลูออไรด์ และเฟอร์ฟูรัล ดังนั้นไม่ควรกลั่นเกิน 90 องศาเซลเซียส (ห้างหุ้นส่วนจำกัด โคราซทริเทคมีคอล, 2548) และต้องมีการควบคุมให้เฉพาะเอทิลแอลกอฮอล์ออกมาโดยมีการปนเปื้อนของสารประกอบหัวและหางให้น้อยที่สุด ไม่ควรเร่งอุณหภูมิให้น้ำออกมามาก เพราะอุณหภูมิที่สูงเกินไปนอกจากจะเร่งปฏิกิริยาการเกิดสารเฟอฟูรัลที่มีกลิ่นเหม็นแล้วยังเกิดการควบแน่นของไอน้ำทำให้ได้สุราที่เจือน้ำ (ยุพกนิษฐ์, 2548)



ภาพ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของแอลกอฮอล์

ตาราง 2.2 สารเคมีปนเปื้อน จุดเดือดและความเป็นพิษในสุรากลั่น

ชื่อสาร	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	ความเป็นพิษ
Acetone	56.5	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และ ประสาทตา ตับ ไต
Methyl alcohol	64.5	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และ ประสาทตา ตับ ไต
Ethyl acetate	77.2	ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบ หายใจ ตับ ไต
Ethyl alcohol	78	แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นน้ำสุรา
N-propylalcohol (1-Propanol)	97	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และ ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร
Water	100	-

ตาราง 2.2 (ต่อ) สารเคมีปนเปื้อน จุดเดือดและความเป็นพิษในสุรากลั่น

ชื่อสาร	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	ความเป็นพิษ
Butanol	116	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใด
Butyl acetate	126	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใด เชื้อบูตา และระบบทางเดินอาหาร
Fusel oil (<i>I</i> -amyl alcohol)	130	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใด
Fusel oil (<i>N</i> -amyl alcohol)	135-138	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใด
Furfural	161	ระบบทางเดินอาหาร และมะเร็งตับ
Ethyl carbamate (Urethane)	182-184	ตา ระบบทางเดินอาหาร และมะเร็งตับ

ที่มา : โจชชชัย (2546)

2.3 ส้มเขียวหวาน และส้มสายน้ำผึ้ง

2.3.1 ความเป็นมาของส้มเขียวหวาน

ส้มที่มีการปลูกในภูมิภาคต่างๆ ของโลก มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในประเทศจีนและญี่ปุ่น ซึ่งมีการแพร่กระจายไปยังสหรัฐอเมริกา ยุโรป และออสเตรเลีย จนเป็นพืชที่สามารถปลูกกันได้ทั่วไปทั้งในเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน (เปรมปรี, 2544) สายพันธุ์ส้มที่ปลูกในสหรัฐอเมริกา และยุโรป เป็นส้มสายพันธุ์เดียวกันที่ผลิตในประเทศบราซิลซึ่งเป็นประเทศที่มีการผลิตส้มมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของโลก ส้มที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา และยุโรปเป็นส้มที่มีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยวกว่าส้มที่ปลูกในแถบเอเชีย ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมในการบริโภคของคนในภูมิภาคนั้นๆ สำหรับความเป็นมาของส้มเขียวหวานในประเทศไทยเริ่มมีมานานกว่า 100 ปี น่าจะเป็นกิ่งพันธุ์ที่ชาวจีนที่อพยพนำเข้ามาด้วย และเริ่มมีการปลูกเพื่อการค้าเมื่อ 70 ปีที่ผ่านมา มีการปลูกกันมากที่ตำบลบางมดซึ่งเป็นที่มาของส้มบางมด แต่ประสบปัญหาของการขยายตัวของเมือง และสภาพน้ำเค็มในภาคกลางจึงทำให้พื้นที่เพาะปลูกลดลง จึงได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ของส้ม เพื่อสามารถนำไปขยายพันธุ์ได้ในทุกภูมิภาค และมีการเปลี่ยนชื่อเรียกตามแหล่งที่ปลูก เช่น นำมาปลูกที่เชียงใหม่จะเรียกว่า ส้มสาย

น้ำผึ้ง ในขณะที่เดียวกันเมื่อนำไปปลูกที่จังหวัดยะลา จะถูกเรียกว่า ส้มโชกุน ซึ่งเป็นส้มที่มีชื่อเสียงของจังหวัดยะลา จึงได้ชื่อว่า เพชรยะลา (เปรมปรี, 2544)

ส้มเขียวหวานจัดเป็นผลไม้ที่ทุกคนรู้จักและนิยมบริโภคเนื่องจากราคาไม่แพง และมีวางจำหน่ายอยู่ทั่วไป ทั้งยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคทั้งในผลสดหรือในรูปสินค้าแปรรูป เช่น น้ำส้มคั้น ซึ่งนอกจากจะให้คุณค่าทางอาหารสูงแล้วยังเป็นที่รวมของเส้นใยและกากนั้นก็สามารถเป็นยาระบายอ่อนๆ ได้เป็นอย่างดี

ผลส้มจัดเป็น berry type ชนิดพิเศษที่เรียกว่า hesperidium ซึ่งเจริญมาจากรังไข่ของดอกส้ม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. เปลือก (peel) ประกอบด้วยเซลล์ผิว (epidermis) มีชั้น cuticle หุ้มอยู่ด้านบน ชั้นนอกสุด (exocarp) จะมีการสะสมมากขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตของผล ความหนาของชั้น cuticle ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม flavedo เป็นเซลล์ที่อยู่ใต้ชั้นเซลล์ผิวมีสีเขียว สีเหลืองหรือสีส้มเนื่องจากมี chloroplast ที่สามารถเปลี่ยนเป็น chromoplast ได้ ถ้าเก็บเกี่ยวผลช้าในชั้นของ flavedo นี้มีส่วนของต่อมน้ำมัน (oil gland) อยู่ เซลล์ที่อยู่ใกล้กับต่อมน้ำมันเป็นแหล่งสำคัญในการสะสมน้ำมัน เมื่อผลแก่ผนังเซลล์ที่อยู่ใกล้ต่อมน้ำมันจะบาง และถูกทำลายได้ง่ายในชั้น flavedo นี้ไม่มีกลุ่มท่อลำเลียง ชั้น albedo เป็นเซลล์ฟวก spongy parenchyma เกาะกันอย่างหลวมๆ คล้ายร่างแห ทำให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์เป็นจำนวนมาก เซลล์ของชั้น albedo มีสีเขียว ไม่มี chloroplast หรือ chromoplast

2. กลีบ (segment หรือ section) เป็นส่วนของชั้นกลาง (mesocarp) ไม่มีสีเขียวประกอบด้วย segment wall ที่เป็นผนังบางๆ แบ่งระหว่าง locule มี membrane 2 ชั้นของ 2 locule มาประกอบกัน จึงสามารถแยกแจากกันเป็นกลีบได้ กิ่ง (juice sac) เป็นส่วนที่เจริญมาจากผนังของ segment wall เข้าไปภายใน locule และเป็นส่วนของผลที่นำมารับประทาน ภายในตัวกิ่งประกอบด้วยน้ำตาลและกรดซึ่งส่วนมากเป็นกรดส้ม (citric acid) เมล็ดมีขนาด รูปร่าง และจำนวนแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์

3. ใต้วง (juice vesicle) ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มท่อลำเลียงหลายอันรวมกัน อย่างหลวมๆ และมีเนื้อเยื่อ spongy อยู่รอบๆ กลุ่มท่อลำเลียงบางเส้นต่อกับด้าน styler end ของเมล็ด

2.3.2 ส้มสายน้ำผึ้ง

ส้มสายน้ำผึ้ง เป็นส้มในกลุ่มเปลือกอ่อนเช่นเดียวกับส้มเขียวหวาน เป็นส้มที่ขายได้ราคาดีที่สุดในกลุ่มส้มเปลือกอ่อนด้วยกัน เนื่องจากมีรสชาติดี คือ มีรสชาติเข้มข้น รสหวานแหลมติดอมเปรี้ยวเล็กน้อย ซานนุ่ม และมีกลิ่นหอม แหล่งกำเนิดเดิมอยู่ที่จังหวัดยะลา โดยมีการนำเมล็ดพันธุ์จากประเทศจีนมาปลูก และเกิดการกลายพันธุ์ดีกว่าต้นแม่ ซึ่งส้มที่ปลูกที่ยะลาจะเรียกว่า “ส้มโชกุน” มีผิวส้มเป็นสีเขียว ต่อมา ดร.บัณฑิต จิระวัฒนากุล เจ้าของสวนส้มธนาธร ได้นำส้มโชกุนมา

ทดลองปลูกที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสภาพดินและอากาศที่เอื้ออำนวย ทำให้ผลผลิตส้มที่ออกมามีคุณภาพ มีรสชาติที่ดีมาก และมีผิวส้มเป็นสีเหลืองทอง ดร.บัณฑิต จึงได้เรียกชื่อส้มนี้ว่า “ส้มสายน้ำผึ้ง” นอกจากนี้ผลผลิตที่ออกตามปีฤดูของส้ม จะอยู่ในช่วงเดือน ธันวาคม ถึง มกราคม จึงทำให้ส้มสายน้ำผึ้งเป็นที่นิยมและต้องการของตลาดมาก (ปาน, 2543)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มสายน้ำผึ้งที่แตกต่างจากส้มพันธุ์อื่น

1. ทรงพุ่มจะสูงและหนากว่าส้มเขียวหวาน
2. กิ่งและใบจะมีลักษณะตั้งขึ้น (erect form) ส่วนส้มเขียวหวานจะมีลักษณะตก หรือย้อยห้อยลงมา (weeping form and willow leaf)
3. ใบมีสีเขียวเข้ม มีขนาดเล็ก และเรียกว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย และเมื่อนำใบมาขยี้ดมดูจะมีกลิ่นหอมคล้ายส้มจีน
4. ลำต้น ส่วนสูงจะแข็งแรงกว่าทั้งทางด้านโครงสร้าง และความต้านทานโรค
5. มีดอกสีขาวใหญ่กว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อยออกดอกมากในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ระยะเก็บเกี่ยวประมาณ 10 เดือน
6. ผล รูปร่างและขนาดไม่แตกต่างจากส้มเขียวหวานมากนัก ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนได้แก่ เปลือกบางกว่า เนื้อสีแดงเข้มกว่า จำนวนผลมากกว่า เนื้อในแน่นกว่า ปริมาณน้ำของผลมีมากกว่า มีความหวานมากกว่า สีของผลส้มเหลืองขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่พิเศษไปมากกว่านั้นเป็นส้มที่อร่อยหวานมีกลิ่นหอม และเมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มสายน้ำผึ้ง กับส้มเขียวหวานที่มีขนาดเท่ากัน ส้มสายน้ำผึ้งจะมีขนาดน้ำหนักมากกว่า ส่วนลักษณะอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ไม่ได้มีความผิดแตกต่างไปจากลักษณะประจำพันธุ์ส้มเขียวหวานโดยทั่วไป กล่าวคือ ผลส้มมีทรงกลมแป้นเล็กน้อย ปลายผลราบเป็นแอ่งตื้นๆ ฐานผลส่วนใหญ่มน ผิวผลเรียบ เปลือกอ่อน ปอกง่าย กลีบแยกออกจากกันได้ง่าย มีประมาณ 11 กลีบ (วรพงษ์, 2542)

2.3.3 ชนิดและพันธุ์ส้ม

ส้มเป็นผลไม้ที่มีพันธุ์หลากหลายสามารถแบ่งเป็นกลุ่ม (เปรมปรี, 2544) ได้ดังนี้

1. กลุ่มส้มเกลี้ยง (Thai orange group) ส้มกลุ่มนี้นิยมปลูกรับประทานสดหรือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น น้ำส้มบรรจุกระป๋อง ส่วนเปลือกใช้ทำแยมผิวส้ม (marmalade) เป็นต้น ลักษณะของส้มกลุ่มนี้ คือ เปลือกไม่ล่อนออกจากเนื้อ กลีบส้มแต่ละกลีบติดกันแน่น ทำให้การแกะเปลือกออกจากเนื้อและการแยกกลีบออกจากกันทำได้ยาก กลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1.1 Sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) หมายถึง กลุ่มของส้มเกลี้ยงทั้งหมดเป็นส้มที่ปลูกกันมากที่สุดของโลก แบ่งเป็นประเภทย่อยลงไปอีก ดังนี้

1.1.1 Common oranges กลุ่มนี้มีการปลูกประมาณ 2 ใน 3 ของส้มเกลี้ยง ทั้งหมดโดยพันธุ์ที่รู้จักและมีความสำคัญ ได้แก่ valencia, pineapple, hamlin, shamouti, vernia, mosambi และ belladonna ในที่ปลูกในประเทศไทย คือ พันธุ์ส้มเกลี้ยง

1.1.2 Suger or acidless oranges ไม่ค่อยปลูกกันมากนัก เป็นส้มเกลี้ยงที่มีปริมาณกรดต่ำกว่าปกติมากจึงมีรสหวานโดยตลอด พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ succari sucrena และ vainiglia สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย คือ ส้มตรา (ส้มกา หรือส้มเซ่ง)

1.1.3 Pigment or blood oranges พันธุ์ส้มกลุ่มนี้มีสีของแอนโทไซยานินนอกเหนือจากแคโรทีนอยด์ จึงทำให้มีสีออกไปทางสีแดง ปลูกมากในแถบเมดิเตอร์เรเนียน พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ moro, tarocco, sanguinello, comune และ spanish sanguinelli

1.1.4 Navel oranges เอกลักษณะของส้มกลุ่มนี้ คือ มีรังไข่หรือผลที่สองที่ไม่มีการพัฒนาต่อ (rudimentary secondary ovary) เกิดขึ้นทับซ้อนที่ส่วนปลายของรังไข่แรก จึงทำให้เกิดลักษณะเป็นรูที่ส่วนก้นของผลขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายสะดือ (navel) อันเป็นที่มาของชื่อส้มกลุ่มนี้ โดยพันธุ์ที่ปลูกกันมากเป็นการค้าหลักของโลกที่รู้จักกันมากที่สุด คือ washington navel ซึ่งชื่อพันธุ์ดั้งเดิม คือ bahia หรือ baia นอกจากนี้ยังมีสายพันธุ์ใหม่ออกมาอีกเป็นจำนวนมาก

1.2 Sour or bitter oranges (*Citrus aurantium* L.) บางครั้งเรียกส้มกลุ่มนี้ว่า seville oranges สำหรับประเทศไทยรู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า ส้มซ่า ส้มชนิดนี้มีความสำคัญในแถบเมดิเตอร์เรเนียน เนื่องจากใช้ในการผลิตน้ำอบ (colonge) หัวน้ำหอม (perfume) และเครื่องสำอางอื่นๆ อีกกลุ่มพันธุ์ที่ใช้กันอยู่ได้แก่ bonquet และ bergamot

2. กลุ่มส้มเปลือกอ่อน (mandarins) จัดเป็นกลุ่มส้มที่ปลูกกันมากที่สุดในทวีปเอเชีย ซึ่งแหล่งผลิตที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ จีน ไต้หวัน และไทย มีลักษณะสำคัญ คือ เปลือกอ่อนและล่อนแกะออกง่าย กลีบส้มสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย สามารถแบ่งออกได้ 5 กลุ่มย่อย ดังนี้

2.1 Satsuma mandarins (*Citrus unahiu* Mar.) จัดเป็นส้มกลุ่มหลักของญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุด คือ miyagawa wase

2.2 King mandarin (*Citrus nobillis* Lour.) เรียกกันย่อๆ ว่า king บางครั้งก็เรียกว่า King of Siam อย่างไรก็ตามส้มชนิดนี้ไม่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย เป็นส้มที่มีรสชาติดีมากชนิดหนึ่ง แต่มีผิวหนาและขรุขระ

2.3 Mediterranean mandarin (*Citrus deliciosa* Ten.) ใช้เป็นไม้ประดับ และใช้ในการสกัดน้ำมันสำหรับเครื่องสำอาง มีเพียงพันธุ์เดียว คือ willowleaf

2.4 Common mandarin (*Citrus reticulata* Blanco.) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากในประเทศไทย โดยพันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ เขียวหวาน, โขกุน (หรือสายน้ำผึ้ง), ponkan, craco, dency clementine และ ellendale นอกจากนี้ยังมีส้มลูกผสมที่เกิดเองตามธรรมชาติที่เชื่อว่าเป็น tangor (ลูกผสมระหว่าง tangarine และพันธุ์ orange) ได้แก่ tankan และส้มจุก (som-chuk หรือ somjook) สำหรับพันธุ์ฟรีเมองต์ (fremont) เป็นลูกผสมระหว่าง clementine และพันธุ์ ponkan

2.5 Small fruited mandarins เนื่องจากมีลักษณะคล้ายส้มเปลือกก่อน แต่มีรสเปรี้ยวจัด นอกจากนี้ยังมีส้มที่คล้ายลูกผสมของ mandarins อีกหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ calamondin (*Citrus madurensis* Lour.) หรือเรียกกันว่า calamansi

2.3.4 องค์ประกอบของสารกลิ่นในส้ม

Lota *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากเปลือกของส้มเขียวหวาน 41 สายพันธุ์ ด้วยเทคนิค Gas Chromatography และ Gas Chromatography-Mass Spectrometry พบว่ามีองค์ประกอบที่สามารถจำแนกได้ทั้งสิ้น 55 ชนิด โดยชนิดที่สำคัญได้แก่ limonene พบอยู่ในปริมาณสูง (ร้อยละ 52.2-96.2) ตามด้วย terpinene (ร้อยละ 0-36.7) α -pinene (ร้อยละ 0.1-2.1) linalool (ร้อยละ 0.1-2.5) myrcene (ร้อยละ 1.3-1.8) และ sabinene (ร้อยละ 0.1-1.3)

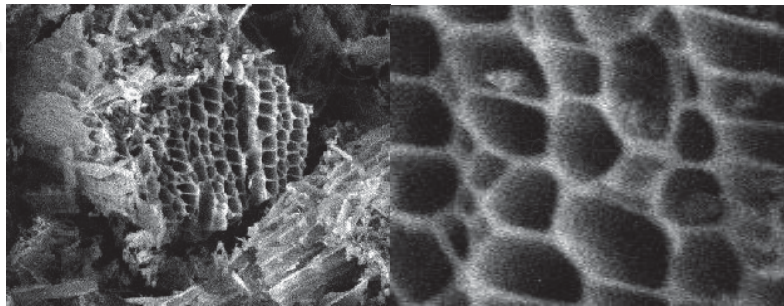
Merle *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของสารกลิ่นในน้ำมันหอมระเหยจากส้มจากแถบเมอร์ดิเตอร์เรเนียน (สเปน) และส้มจากแถบเอเชีย (ญี่ปุ่น) ด้วยเทคนิค Gas Chromatography และ Gas Chromatography-Mass Spectrometry พบว่ามีสารประกอบในน้ำมันหอมระเหยที่สามารถจำแนกได้มากกว่าร้อยละ 98 โดย limonene เป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุด (ร้อยละ 88-95) ส่วนส้มจากแถบเอเชียจะมีปริมาณ terpinene อยู่สูง (ร้อยละ 3.6-4.1) ในขณะที่ส้มจากแถบเมอร์ดิเตอร์เรเนียนแทบจะไม่พบสารชนิดนี้ประกอบอยู่เลย

Sawamura *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของสารกลิ่นในน้ำมันหอมระเหยจากส้มสายพันธุ์ *Citrus reticulata* Blanco (Ponkan) ที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี cold-pressed พบว่าสารประกอบ 39 ชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม monoterpene ซึ่งพบอยู่ประมาณร้อยละ 89.6 ของสารหอมระเหยทั้งหมด สารในกลุ่มนี้ที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ limonene (ร้อยละ 80.3) ตามมาด้วย terpinene (ร้อยละ 4.7) myrcene (ร้อยละ 2.1) และ α -pinene (ร้อยละ 0.1-2.1)

2.4 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี หรือกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพก่อน เพื่อให้โครงสร้างทางกายภาพของถ่านเกิดรูพรุนหรือรอยแตกขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรจำนวนมหาศาล ซึ่งพื้นที่ผิวภายในผนังรูพรุนหรือรอยแตกเหล่านั้นทำให้เกิดพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ที่อนุภาคสาร และ โมเลกุลก๊าซจำนวนมากสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ในถ่าน (ถ่านกัมมันต์น้ำหนักเพียง 1 กรัมจะมีพื้นที่ผิวภายในโดยรวมระหว่าง 500-1,500 ตารางเมตรขึ้นอยู่กับเกรดของถ่าน ชนิดวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต) โดยทั่วไปคนส่วนใหญ่จะรู้จักและคุ้นเคยกับการใช้ถ่านนี้ในการกรองน้ำ แต่นอกเหนือจากการกรองน้ำแล้ว ถ่านชนิดนี้ยังนิยมใช้กรองสาร และเป็นวัสดุดูดซับในหลายอุตสาหกรรมด้วย การดูดซับอนุภาคหรือโมเลกุลก๊าซของถ่านกัมมันต์เป็นปฏิกิริยาทางกายภาพโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งประสิทธิภาพในการกรองหรือดูดซับสารจะต่ำลง เนื่องจากที่ว่างภายในโครงสร้างถ่านมีน้อยลง ผู้ใช้งานจึงต้องทำการเปลี่ยนถ่านเก่าออกและใส่ถ่านใหม่เข้าไปทดแทน โดยถ่านที่ถูกใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ ด้วยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำเพื่อกำจัดสารต่างๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ออกหมดก่อน

สิ่งหนึ่งที่ควรทราบเกี่ยวกับการใช้ถ่านกัมมันต์คือ ถ่านสามารถดูดซับหรือกรองสารได้บางชนิด ซึ่งสารที่ถ่านดูดซับหรือกรองได้ดีมักเป็นสารอินทรีย์มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้ถ่านไม่สามารถดูดซับหรือกรองสารจำพวกแอลกอฮอล์ และ โกลคอล (glycol) ได้ นอกจากนี้สารเคมีประเภทแอมโมเนีย กรดแก่ เบสแก่ โลหะและสารอนินทรีย์อย่างโซเดียม เหล็ก ตะกั่ว ฯลฯ ก็ไม่สามารถดูดซับหรือกรองด้วยถ่านกัมมันต์ได้เช่นกัน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด โดยวัสดุที่ใช้มักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย และซังข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบพวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ และแอนทราไซต์ เป็นต้น (บุญรักษ์, 2551)



ภาพ 2.4 ภาพถ่ายพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง

2.4.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไป แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน โดยทั่วไปมักใช้วิธีเผาที่ไม่มีอากาศเพื่อไม่ให้วัตถุดิบกลายเป็นเถ้า ซึ่งอุณหภูมิในการเผาประมาณ 200-400 องศาเซลเซียส และขั้นตอนการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่เรียกว่าการกระตุ้น (activation) แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ

1. การกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี เช่น แคลเซียมคลอไรด์ สังกะสีคลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้น จากนั้นนำไปเผาในถังที่มีออกซิเจนเป็นเวลาหลายชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิเผาประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์ออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เลย เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

2. การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊ส หรือไอน้ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800-1,000 องศาเซลเซียส เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (superheated steam) เพื่อทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ สลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน (porous) อยู่ทั่วไป ขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีนี้ มีข้อดีที่สามารถนำมาใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีทั้งในรูปเม็ดเล็กๆ (Granular Activated Carbon, GAC) ในรูปเป็นผง (Powder Activated Carbon, PAC) หรืออยู่ในรูปผงอัดเป็นแท่ง (compressed PAC) โดยทั่วไปจะเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดใดก็ได้ แล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งาน ถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้ในการฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ในการกำจัดกลิ่นในอุตสาหกรรมเครื่องคั้ม เบียร์ และไวน์ ใช้ในการทำตัวละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์และอุตสาหกรรมการพิมพ์ ใช้ในการดูดซับสีและกลิ่นในการทำน้ำประปา ใช้ในเครื่องกรองน้ำหรือเครื่องทำน้ำให้บริสุทธิ์ที่มีจำหน่ายอย่างแพร่หลาย และใช้เป็นวัสดุทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ เป็นต้น

2.4.2 สมบัติของถ่านกัมมันต์

1. ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine Number) เป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากไอโอดีนถูกถ่านดูดซับได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยวัดเป็นมิลลิกรัม (ของไอโอดีน) / น้ำหนักถ่าน 1 กรัม

2. โมลาสันัมเบอร์ (Molass Number) เป็นค่าที่บอกปริมาณของรูขนาดใหญ่ (macropore, รูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 อังสตรอม ที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์ โดยถ่านที่มีรูขนาดใหญ่มาก (ค่าโมลาสันัมเบอร์สูง) จะดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่อย่าง โมเลกุลสี ได้ดีกว่าถ่านที่มีรูพรุนเล็ก (ค่าโมลาสันัมเบอร์ต่ำ)

3. แทนนิน (Tannin) แทนนินเป็นสารผสมประกอบด้วยสาร โมเลกุลขนาดใหญ่และสาร โมเลกุลขนาดกลาง เช่นเดียวกันผิวของถ่านกัมมันต์ก็มีทั้งรูขนาดใหญ่ และรูขนาดกลาง ดังนั้นค่า แทนนินจึงใช้บอกความสามารถในการดูดซับสารแทนนินหรือสาร โมเลกุลขนาดใหญ่และกลาง ของถ่าน และระบุในหน่วยพีพีเอ็ม (ppm, part per million = ส่วนในล้านส่วน) ซึ่งถ่านกัมมันต์ควรมีค่านี้อยู่ในช่วง 200-362 พีพีเอ็ม

4. เมทิลีนบลู (Methylene Blue) ในถ่านกัมมันต์บางชนิดมีรูขนาดไม่ใหญ่มากเหมาะกับการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดกลางเช่น สารเมทิลีนบลู ทำให้สารให้สีนี้ถูกใช้เป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง ค่าเมทิลีนบลูจะระบุในหน่วยน้ำหนักกรัม/ 100 กรัม

5. ความหนาแน่น (Apparent Density) ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่ามักบ่งว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีกว่า เนื่องจากสามารถดูดซับสารได้ในปริมาณมากกว่า

6. ค่าความแข็ง/ ค่าการขัดถู (Hardness/ Abrasion Number) บอกถึงความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ ค่านี้จะบอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสี และความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง (backwashing) ซึ่งค่านี้จะแตกต่างกันอย่างชัดเจนตามชนิดวัสดุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

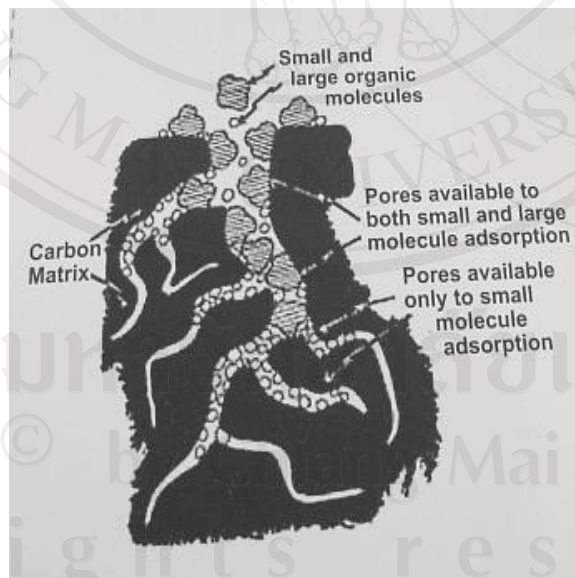
7. ปริมาณเถ้า (Ash Content) จะลดประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ และลดประสิทธิภาพการนำถ่านไปกระตุ้นซ้ำ

8. ระดับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride Activity) เป็นการหาความพรุนของถ่านกัมมันต์โดยดูจากค่าการดูดซับไออ้อมตัวของสารคาร์บอนเตตระคลอไรด์

9. ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน (Particle Size Distribution) เกี่ยวข้องกับความละเอียดของผงถ่าน ยิ่งถ่านมีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้น ซึ่งมีผลให้โมเลกุลก๊าซถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น และทำให้ความดันก๊าซของระบบไม่ลดลงมากด้วย ดังนั้นอุตสาหกรรมจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมาก เพื่อสร้างแรงดันก๊าซให้ไหลผ่านถ่านกรองด้วยอัตราเร็วที่กำหนด

2.4.3 การทำงานของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์กำจัดสารอินทรีย์โดยใช้หลักการดูดซับ (adsorption) และดูดซึม (absorption) การดูดซับจะเป็นการจับกันอย่างหลวมๆ ของสารอินทรีย์และคาร์บอนที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ในทางทฤษฎีสารที่ถูกดูดซับอาจจะถูกปล่อยกลับออกมาได้ แต่ภาวะการปล่อยกลับออกมานั้นเกิดขึ้นได้ยาก แบคทีเรียมักจะสร้างกลุ่มอยู่ที่ผิวของถ่านกัมมันต์และกินบางส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ ซึ่งจะเป็นการช่วยคืนรูปพรุนของถ่านกัมมันต์บางส่วน และป้องกันการหลุดกลับของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ ส่วนกระบวนการดูดซึมนั้นจะอาศัยหลักการแพร่ของแก๊สหรือสารประกอบเข้าไปในร่างแหรูพรุนภายในเม็ดถ่าน (ภาพ 2.4) ซึ่งภายในจะเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือเกิดการจับยึดโดยความเป็นร่างแหยึดเหนี่ยวไว้ ยกตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น โอโซนถูกดูดซึมเข้าไปและถูกคาร์บอนรีดิวซ์เป็นออกซิเจน ซึ่งตัวโอโซนหรือออกซิเจนไม่ได้ไปสร้างหรือถูกจับไว้โดยถ่านกัมมันต์แต่อย่างใด ส่วนกระบวนการดูดซึมอีกประเภทคือการถูกดูดซึมเข้าไปแล้วเกิดปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้สร้างพันธะที่หนาแน่นกับคาร์บอนของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปแล้วสารที่มีโมเลกุลใหญ่จะถูกดูดซึมและดูดซับได้ช้ากว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก นอกจากนี้อัตราการดูดซึมและดูดซับจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดค่า และความเค็ม เป็นต้น



ภาพ 2.5 การดูดซึมและดูดซับสารของถ่านกัมมันต์

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

1. ชนิดผงละเอียด ซึ่งสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนใหญ่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว เช่น
 - อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ใช้ในการฟอกสีและทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น
 - อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสีและทำให้มีรสดีขึ้น
 - อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสีและดูดกลิ่น
 - อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์ เช่น วิสกี้ ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูดกลิ่นและทำให้รสชาติดีขึ้น
2. ชนิดเม็ดหรือเกล็ด ซึ่งจะสามารถนำกลับมา re-used เพื่อนำกลับมาใช้ในครั้งต่อไปได้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไปหลายอุตสาหกรรม เช่น
 - อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
 - อุตสาหกรรมการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันโดยทั่วไปและในด้านการทหาร เพื่อการดูดซับก๊าซพิษและไอของสารพิษ
 - อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมใยสังเคราะห์ และอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น
 - อุตสาหกรรมการผลิตบุหรี่บางยี่ห้อ เพื่อกรองแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และน้ำมันดิน (tar) โดยนำถ่านกัมมันต์มาไว้ที่ก้นกรอง