บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของน้ำมัน

โดยทั่วไปแล้ว น้ำมัน หมายความถึง สารประกอบ 2 ประเภท ประเภทแรก คือ น้ำมันแร่ ซึ่งสูบขึ้นมาจากใต้ดิน ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น และผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมหลายชนิด ไม่สามารถใช้บริโภคได้ ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ประเภทที่สอง คือ น้ำมันที่บริโภคได้ ได้แก่ น้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงอินทรีย์เคมีที่พืชและสัตว์สังเคราะห์ขึ้นและถูกนำไปสกัดออกมาใช้บริโภคหรือใช้เตรียมอาหาร เพื่อเพิ่มรสชาติ และแปรรูปให้ชวนรับประทานยิ่งขึ้น ในสมัยแรกที่มีการสกัดน้ำมันพืชนั้น ก็เพื่อใช้ทดแทนหรือผสมกับน้ำมันสัตว์ให้มีปริมาณมากขึ้นเพียงพอต่อความต้องการ และพบว่ามีพืชหลายชนิดที่ใช้สกัดเอาน้ำมันได้ประกอบกับวิทยาการในการเพาะปลูก การสกัดและการแปรรูป ได้ก้าวหน้าขึ้นตามลำดับ จึงได้นำน้ำมันพืชไปแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการบริโภคอีกมากมายหลากหลายชนิด เช่น ทำสี และน้ำมันผสมสี เครื่องสำอาง ยารักษาโรค สบู่ ผงซักฟอก เส้นใยสังเคราะห์ หนังเทียม แผ่นพลาสติก น้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันหล่อลื่น (ในภาวะที่เกิดการขาดแคลน) อาจจะกล่าวได้ว่า น้ำมันพืชได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน

น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์เป็นสารประกอบเชิงอินทรีย์ เกิดจากการรวมตัวของกรดคาร์บอก-ซิลิค (carboxylic acid) หรือกรดไขมันหลายโมเลกุล โดยมีกลีเซอรอล (glycerol) หรือกลีเซอรีน (glycerine) เป็นตัวเชื่อม กรดไขมันแต่ละชนิดมีสูตรโครงสร้างของตัวเองโดยเฉพาะ และยังแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปและใช้ประโยชน์ได้น้อย จึงทำให้เกิดการสะสมตัวเกาะติดกับผนังด้านในของเส้นโลหิต เป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันและเปราะแตกได้ง่าย ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีคุณค่าทางด้านโภชนศาสตร์สูง เนื่องจากถูกดูดซึมและย่อยได้ง่าย น้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัว เรียกว่า น้ำมันอิ่มตัว ในทำนองเดียวกัน น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว เรียกว่า น้ำมันไม่อิ่มตัว

2.2 พืชที่ให้น้ำมัน

2.2.1 งา (sesame) จัดเป็นพืชที่อยู่อาณาจักร Plantae ส่วน Magnoliophyta ชั้น Magnoliopsida อันดับ Lamiales วงศ์ Pedaliaceae สกุล *Sesamum* ชนิด *S. indicum* หรือเรียกเป็นชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum Linn.*ชื่ออื่นๆ คือ งาดำ งาขาว เป็นไม้ล้มลุก สูงประมาณ 30 - 100 ซม. ลำต้นเป็นเหลี่ยม มีร่องตามยาวของลำต้น มีขนปกคลุม ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงตรงข้ามหรือสลับ ลักษณะใบเป็นรูปไข่ หรือรูปใบหอก กว้างประมาณ 2 - 5 ซม. ยาวประมาณ 6 - 10 ซม. ดอกเป็นดอกเดี่ยว ออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีขาวหรือสีชมพู ผลเป็นผลแห้ง เมล็ดแบน รูปไข่ สีดำ น้ำตาลหรือสีขาว [3] องค์ประกอบของต้นงาแสดงดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของงา [4]

น้ำมันงา จัดเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชอื่น ๆ ซึ่งในน้ำมันงาประกอบไปด้วย กรดไลโนเลอิค กรดโอเลอิค กรดพาราอะมิโนเบนโซอิค วิตามินอี วิตามินเอ วิตามินบีชนิดต่าง ๆ เช่น บี1 บี2 บี3 บี5 บี6 ธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี แคลเซียมและฟอสฟอรัส นอกจากนี้ยังมีสาร สำคัญอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอีกหลายชนิด

ประโยชน์ของน้ำมันงา [1]

- ใช้ผสมอาหาร หรือขนมให้มีกลิ่นหอม
- ช่วยในการระบาย แก้ท้องผูก รักษาแผลในกระเพาะอาหาร ขับพยาธิตัวกลม

- เสริมสร้างกระดูกให้แข็งแรง เนื่องจากมีฟอสฟอรัสและแคลเซียมอยู่มาก

- ใช้ทำเป็นน้ำมันทาบาดแผล ทาถูแก้ขัดยอก (มีสาร beta-sitosterol ซึ่งมีฤทธิ์ลดการอักเสบ)

- ใช้น้ำมันงาประกอบอาหารรับประทานเป็นประจำ จะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดแข็งตัว หลอดเลือดหัวใจตีบตัน และอาการท้องผูก

- ใช้ลดการหมักหมมในช่องท้อง โดยรับประทานน้ำมันงาดิบ ๆ 1 ถึง 2 ช้อนโต๊ะ ขณะท้องว่าง เพื่อให้ลำไส้ขับสิ่งที่หมักหมมอยู่ออกไป

- ใช้ทาผมจะทำให้ผมดำเป็นมันวาว ไม่แห้งแตกปลาย และใช้ทาผิว เพื่อให้ความชุ่มชื้น ลดรอยหยาบกร้าน ช่วยให้ผิวพรรณผุดผ่อง

- น้ำมันงาใส่ขิง ช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อย โดยใช้ขิงสดขูดละเอียดผสมกับน้ำมันงาในปริมาณเท่ากัน จุ่มผ้าฝ้ายลงในส่วนผสมนี้ นำมาถูนวดบริเวณที่ปวดเมื่อย

- ใช้กระเทียมสับผสมน้ำมันงา รักษาโรคผิวหนังอย่างกลาก เกลื้อน เรื้อนกวาง ทาบริเวณที่มีอาการ

- น้ำมันงาผสมน้ำปูนใส ช่วยบรรเทาอาการปวดแสบปวดร้อนจากน้ำร้อนลวกได้เป็นอย่างดี ใช้น้ำมันงา 1 ส่วน น้ำปูนใส 1 ส่วน ตีให้เข้ากันจนเป็นครีมขาว เอาผ้าขาวบางที่สะอาดจุ่มแล้วแปะไว้บริเวณที่เป็นแผล

- แก้ปัญหาผมร่วง ใช้น้ำมันงาเคี่ยว ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาทาบริเวณที่ผมร่วง วันละหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งผมเริ่มขึ้น

- ใช้นวดบรรเทาอาการช้ำบวม ให้ทาน้ำมันงาแล้วนวดเบา ๆ รอบ ๆ บริเวณ จะทำให้ตรงที่ช้ำบวมหายเร็วขึ้น

- เป็นหวัด แพ้อากาศ ให้รับประทานงาเป็นประจำ (รับประทานช่วงเช้า ประมาณ 2 ช้อนโต๊ะ) จะทำให้หายใจโล่ง อาการดีขึ้น

- ฤทธิ์ระบายท้องของงา ช่วยลดอาการอักเสบของหัวริดสีดวง ช่วยห้ามเลือดจากหัวริดสีดวง และน้ำมันงายังใช้ทาหัวริดสีดวง แก้ริดสีดวงอักเสบได้ด้วย

2.2.3 พืชที่ให้น้ำมันชนิดอื่น ๆ ได้แก่ เมล็ดทานตะวัน ปาล์ม ถั่วลิสง มะพร้าว ละหุ่ง สบู่ดำ เมล็ดฟักทอง ถั่วเหลือง เมล็ดนุ่น ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่น้ำมันจะสะสมอยู่ที่เมล็ดของพืชเหล่านี้ ในที่นี้จะไม่กล่าวถึง

2.3 ความแตกต่างระหว่างน้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันเป็นสารประกอบชนิดเดียวกันแต่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกัน กล่าวคือ ในอุณหภูมิห้อง (25 - 27 องศาเซลเซียส) ถ้าอยู่ในสภาพของเหลว เรียกว่า น้ำมัน ถ้าอยู่ในสภาพของแข็ง เรียกว่า ไขมัน และน้ำมันแต่ละชนิดก็มีจุดหลอมเหลวคงที่ จึงได้นำมาใช้เป็นประโยชน์ในการจำแนกน้ำมันออกจากกัน ในแต่ละกลุ่มของกรดไขมันทั้งสองประเภท ยังแบ่งออกได้อีกหลายชนิดตามจำนวนและโครงสร้างของโมเลกุลของธาตุองค์ประกอบทั้งสาม คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ดังนั้น คุณภาพและการใช้ประโยชน์ของน้ำมันพืชแต่ละพืชจึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนและชนิดของกรดไขมันที่ประกอบขึ้นมา และเป็นลักษณะเฉพาะของพืชแต่ละประเภท กรดไขมันบางชนิดอาจใช้ทดแทนกันได้หรือนำไปผ่านกรรมวิธีบางอย่างให้มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน แต่น้ำมันพืชบางชนิดมีคุณสมบัติพิเศษซึ่งต้องนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะอย่างเท่านั้น [5]

2.4 อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืช

การผลิตน้ำมันพืชแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- น้ำมันพืชสำหรับบริโภค (edible oil) ซึ่งสกัดจากถั่วเหลือง ถั่วลิสง รำข้าว เมล็ดฝ้าย เมล็ดนุ่น เมล็ดงา เมล็ดทานตะวัน เมล็ดดอกคำฝอย ข้าวโพด ฯลฯ

- น้ำมันพืชสำหรับบริโภคและใช้ในทางอุตสาหกรรม (edible industrial oil) ได้แก่น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม เป็นต้น

- น้ำมันที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม (industrial oil) ได้แก่ น้ำมันลินซีด น้ำมันมะเยา น้ำมันละหุ่ง เป็นต้น

การผลิตน้ำมันพืช แยกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้ [6]

2.4.1 การบีบอัด (mechanical pressing) ซึ่งอาจใช้เครื่องอัดแบบเกลียวหรือใช้เครื่องอัดแบบไฮโดรลิกส์ วิธีบีบ อัด น้ำมันจากเมล็ดพืช เป็นการผลิตแบบเดิมที่ใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรบีบหรืออัดเอาน้ำมันจากเมล็ดพืชโดยตรง เปอร์เซ็นต์ที่ได้น้ำมันจากการผลิตด้วยวิธีนี้ยังต่ำ ยังมีส่วนเหลือตกค้างอยู่ในกากของวัตถุดิบประมาณร้อยละ 6-8 คุณภาพของน้ำมันที่ได้ยังไม่เหมาะสมที่จะใช้บริโภคดีนัก อาจมีสารที่เป็นพิษต่อร่างกาย ซึ่งมีอยู่ในเมล็ดพืชตามธรรมชาติเจือปนอยู่ มี

กลิ่นไม่เป็นที่พอใจของผู้บริโภค หากทิ้งไว้นานจะมีกลิ่น และถ้าเก็บในอุณหภูมิต่ำจะเกาะตัวเป็นไข

2.4.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction) เช่น เฮกเซน คาร์บอนเตรตะคลอไรด์ และ เอทานอล วิธีสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย เป็นกรรมวิธีผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้เคมีภัณฑ์เข้าช่วยในการสกัดน้ำมัน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมันพืชในการผลิตต่ำเพียงประมาณร้อยละ 0.5 - 1 จึงนับว่าเป็นการผลิตที่ทันสมัยในปัจจุบัน ซึ่งกรรมวิธีการผลิตดังกล่าวนี้มีช่วงการทำงานที่ต่อเนื่องกันที่สำคัญ 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

2.4.2.1 การผลิตน้ำมันดิบ (crude oil) เป็นการใช้เฮกเซนซึ่งเป็นเคมีภัณฑ์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเข้าสกัดน้ำมันพืชจากวัตถุดิบ โดยมีความร้อนเข้าช่วย เมื่อเฮกเซนระเหยตัวออกไปจะเหลือน้ำมันดิบแยกตัวออกจากกากเพื่อนำไปกลั่นกรองต่อไป กรรมวิธีการผลิตในขั้นตอนนี้อาจทำได้หลายวิธีแล้วแต่ผู้ผลิตจะเห็นว่าวิธีใดเหมาะสมที่จะนำมาใช้

2.4.2.2 การกลั่นกรองน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์ (refining) เป็นการขจัดสิ่งเจือปนตามธรรมชาติที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้บริโภคออก เพื่อให้ผู้บริโภคพอใจและมีประโยชน์ในการบริโภคอย่างแท้จริงตามคุณสมบัติที่ต้องการ วิธีการที่ใช้จะทำเป็นขั้นตอน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเจือปนที่ต้องการกำจัดออก โดยใช้เคมีภัณฑ์และความร้อนความเย็นเช่นกัน ส่วนจะใช้สารชนิดใด ความร้อน ความเย็น มากน้อยเพียงใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารที่จะกำจัดออก นอกจากนี้ในกรรมวิธีการผลิต มักจะเติมวัตถุเจือปนในอาหารชนิดต่าง ๆ เพื่อรักษาคุณสมบัติของน้ำมันให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานาน

2.4.3 การสกัดโดยใช้เครื่องบีบและตัวทำละลาย (expeller-solvent extraction) เป็นการผสมผสาน ระหว่าง 2 วิธีดังกล่าวข้างต้นในการผลิต

2.5 ทฤษฎีการสกัด [7]

การสกัดเป็นกระบวนการหนึ่งในการแปรรูปอาหารที่ได้รับความสนใจมากขึ้น การสกัดเป็นกระบวนการแยกที่เกี่ยวข้องกับ 2 เฟส โดยที่ตัวทำละลายเป็นสารที่เติมเข้าไปเพื่อให้เกิดอีกเฟสหนึ่งที่แตกต่างจากเฟสเดิมขององค์ประกอบที่ต้องการแยก การแยกจะเกิดขึ้นเมื่อองค์ประกอบที่ต้องการแยกละลายออกมาในตัวทำละลายขณะที่องค์ประกอบอื่น ๆ ที่เหลือยังคงอยู่ในเฟสเริ่มต้น การสกัดในระบบของแข็ง-ของเหลวมักเรียกว่า ลิชชิง (Leaching) การสกัดใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันมานานแล้ว เนื่องจากน้ำมันจากถั่วเหลือง ข้าวโพดหรือรำข้าว ไม่สามารถแยกออกมาได้โดยใช้แรงกดอัด จึงจำเป็นต้องใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่น้ำมันจากถั่วลิสงได้จากการกดอัด แล้วทำการสกัดส่วนที่เหลือจากการอัด เพื่อให้สกัดน้ำมันออกไปได้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะที่สำคัญอย่าง

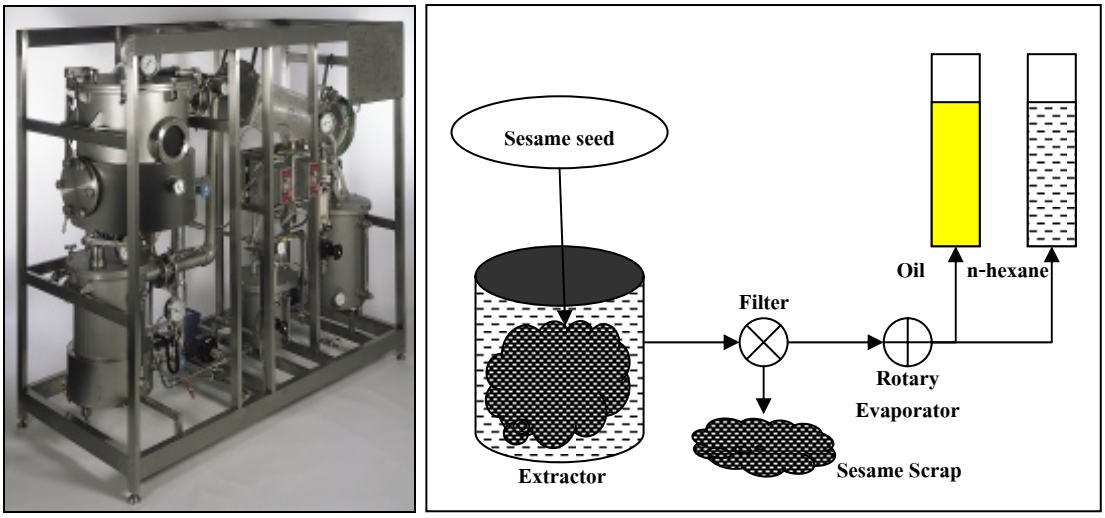
หนึ่งของของแข็งที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลายคือมีโปรตีนที่มีคุณภาพสูงเหลืออยู่ ซึ่งเหมาะสำหรับการแปรรูปเพื่อเป็นอาหารในลักษณะผงต่อไป การสกัดยังใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อแยกน้ำตาลออกจากอ้อยโดยน้ำตาลจากอ้อยจะถูกแยกด้วยวิธีการกดอัดทางกลหลายขั้นตอน ในขณะเดียวกันก็มีการเติมน้ำเข้าไปในระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้ นอกจากนี้ยังใช้การสกัดในอุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ เช่น การสกัดคาเฟอีนจากเมล็ดกาแฟด้วยน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ การสกัดกาแฟหรือชาด้วยน้ำร้อนเพื่อเข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying) หรือแบบพ่นฝอย (spray drying)

2.5.1 ชนิดของการสกัด (Types of extraction process)

โดยทั่วไปตัวทำละลายสามารถไหลซึมผ่านชั้นของสารที่หยาบ ขณะที่ของแข็งละเอียดจะทำให้เกิดความต้านทานการไหลค่อนข้างสูง ในเครื่องสกัดบางเครื่องจึงออกแบบมาเพื่อให้ของแข็งและของเหลวไหลสวนทางกันอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองมีน้ำมันอยู่ 19.0 – 23.5% [2] มักจะใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายเนื่องจากวิธีทางกลไม่ค่อยมีประสิทธิภาพนัก โดยใช้ไตรคลอเรทิลีน อะซิโตน หรือ อีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ระบบการสกัดแบ่งออกได้ดังนี้

2.5.2 การสกัดแบบกะเพียงครั้งเดียว (Single-stage batch extraction)

ในกระบวนการนี้ของแข็งจะสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีตัวถูกละลายอยู่จนถึงสมดุล โดยการปั๊มตัวทำละลายผ่านชั้นของของแข็งแล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น การผลิตน้ำตาลจากหัวบีท ส่วนที่ปิดด้านบนสามารถเลื่อนออกเพื่อใส่หัวบีทที่เฉือนเป็นชิ้นบาง ๆ เข้าไปในถังแล้วปล่อยน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 71- 77 องศาเซลเซียส ไหลเข้าไปในชั้นของของแข็งเพื่อชะละลายน้ำตาลออกมา ของแข็งอาจแช่อยู่ในตัวทำละลายที่มีการกวนหรือไม่ก็ได้ หลังจากสมดุล เฟสของตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่จะถูกระบาย (drained) ออกไปจากของแข็ง จากนั้นตัวทำละลายและน้ำที่สกัดได้จะถูกทำให้เดือดอย่างต่อเนื่องโดยได้รับความร้อนจากขดลวดไอน้ำ (steam coil) ตัวอย่างการสกัดอื่น ๆ เช่น การสกัดกาแฟหรือชาและการกำจัดคาแฟอีนด้วยน้ำ (water decaffeination) ของเมล็ดกาแฟดิบ สำหรับการศึกษาโครงงานครั้งนี้ เลือกวิธีการสกัดแบบกะเพียงครั้งเดียว ซึ่งแผนภาพการสกัดแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.2



(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 เครื่องสกัดน้ำมันงา (ก) ใช้ในอุตสาหกรรม (ข) แผนภาพแสดงการสกัด [8]

2.5.3 การสกัดชนิดการไหลผ่านแบบหลายขั้นตอน (Multistage cross-flow extraction)

ในกระบวนการนี้ ของแข็งจะสัมผัสตัวทำละลายบริสุทธิ์ซึ่งเริ่มต้นไม่มีตัวถูกละลายผสมอยู่เลยซ้ำแล้วซ้ำเล่า ตัวอย่างเช่นการสกัดไขมันด้วยซ็อกซ์เล็ท (soxhlet) เพื่อวิเคราะห์อาหาร วิธีนี้ต้องการตัวทำละลายจำนวนมาก หรือต้องการพลังงานจำนวนมากเพื่อใช้ในการระเหยและควบแน่นตัวทำละลายเพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่อีก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ระบบนี้ในการแยกทางอุตสาหกรรม ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดแบบนี้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 เครื่องสกัดแบบการไหลผ่านชนิดหลายขั้นตอน [9]

2.5.4 การสกัดชนิดไหลสวนทางกันแบบหลายขั้นตอน (Multistage countercurrent extraction)

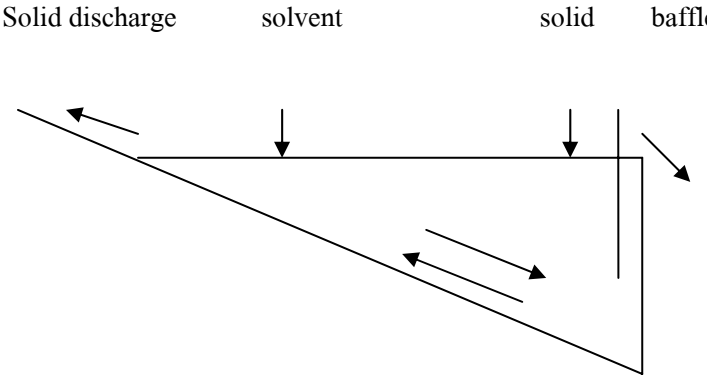
ในกระบวนการนี้ ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะเข้าสู่ระบบที่ปลายด้านตรงข้ามกับจุดที่ของแข็งที่ยังไม่ได้สกัดเข้าสู่ระบบ ตัวทำละลายบริสุทธิ์นี้จะสัมผัสกับของแข็งซึ่งอยู่ในขั้นสุดท้ายของการสกัด ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสตัวทำละลายสูงสุดที่สมดุล ดังนั้นหลังการแยกจากเฟสตัวทำละลายแล้ว ที่ขั้นตอนนี้ตัวทำละลายที่ยังเหลืออยู่ในของแข็งจะน้อยที่สุด ตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่เป็นจำนวนมากจะเรียกว่า เอกซ์แทรคท์ (extract) ซึ่งได้จากระบบ ณ ขั้นแรกของการสกัดหลังจากสัมผัสกับของแข็งที่เพิ่งจะเข้าสู่ระบบ ของแข็งจะไหลจากขั้นหนึ่งไปสู่อีกขั้นหนึ่ง โดยใช้ตัวทำละลายเดียวกันนี้จากขั้นตอนหนึ่งไปสู่อีกขั้นตอนหนึ่งเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ตัวทำละลายเคลื่อนจากขั้นตอนหนึ่งไปสู่ขั้นตอนถัดไปและความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของแข็งจะลดลงเมื่อเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำมันจากถั่วเหลืองโดยใช้เครื่อง Rotocel ในเครื่องสกัดนี้ประกอบด้วยถังทรงกระบอก 2 ถัง ซึ่งถังบนจะหมุนอย่างช้า ๆ เหนือถังทรงกระบอกที่อยู่นิ่งด้านล่าง ทั้งถังบนและถังล่างถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ที่มีขนาดเท่ากัน โดยเรียกส่วนที่แบ่งในถังด้านบนว่าเป็นเซล เพื่อให้ของที่อยู่ในแต่ละส่วนไม่ผสมกัน ถังด้านล่างจะเปิดด้วยตะแกรงลวดหรือจานที่มีรู (perforated disc) ของแข็งจะป้อนเข้าสู่แต่ละเซลของถังด้านบนเมื่อถังเคลื่อนที่ผ่านใต้ตัวฟีด หลังจากครบหนึ่งวงจรของการสกัด ของแข็งจะถูกนำออกไปโดยผ่านช่องเปิดที่พื้นซึ่งเป็นรู (perforated floor) แล้วนำออกไปโดยสายพานแบบสกรู ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะพ่นบนของแข็งก่อนที่ของแข็งจะถูกนำออกไปจากเครื่อง ตัวทำละลายจะไหลผ่านของแข็งในเซลที่อยู่ด้านบนและเข้าสู่ส่วนหรือห้องหนึ่งในถังที่อยู่นิ่งด้านล่าง จากนั้นตัวทำละลายในส่วนนี้จะถูกปั๊มเข้าไปพ่นบนของแข็งในเซลถัดไปซึ่งอยู่ในลำดับของอนุกรม ลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นทุกเซล ทำให้เกิดลักษณะการไหลสวนทางกันส่วนสารละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่เป็นจำนวนมากจะถูกนำออกไปจากห้องที่อยู่ใต้เซลซึ่งของแข็งใหม่เพิ่งจะส่งเข้าไป ในระบบนี้มักนิยมใช้กับการสกัดน้ำตาลจากหัวบีทและสกัดน้ำมัน

นอกจากนี้ยังมีเครื่องสกัด Boliman ที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยอนุกรมของถังที่มีรูให้ของเหลวไหลซึมผ่านได้ โดยจัดเรียงอยู่ในลักษณะที่สามารถยกขึ้นลงได้ (bucket elevator) ทั้งหมดนี้จะอยู่ในภาชนะที่ปิดสนิทไอผ่านเข้าออกไม่ได้ ของแข็งจะป้อนเข้าสู่เครื่องที่ตำแหน่งด้านบนขวาที่กำลังหมุนลง แล้วถูกชะละลายด้วยสารละลายเจือจางของน้ำมันในตัวทำละลายที่เรียกว่า ฮาล์ฟ มิสเซลลา (hallf miscella) โดยที่ของเหลวจะผ่านรูของตัวถังลงมาเก็บสะสมที่ด้านล่างเป็นสารละลายเข้มข้นที่เรียกว่า ฟูลมิสเซลลา จากนั้นถังจะเคลื่อนที่ขึ้นทางด้านซ้าย และถูกชะ

ละลายแบบสวนทางกันกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่พ่นบนถังด้านบน ของแข็งเปียกที่ชะละลายแล้วจะนำออกไปอย่างต่อเนื่อง เครื่องสกัดนี้จะเคลื่อนด้วยความเร็ว 1 รอบ/ชั่วโมง แต่ละถังบรรจุเมล็ดหรือธัญชาติประมาณ 40 กิโลกรัม โดยทั่วไปการสกัดจะใช้ธัญชาติและตัวทำละลายในปริมาณที่เท่ากัน

2.5.5 การสกัดแบบไหลสวนทางกันอย่างต่อเนื่อง (Continuous countercurrent extraction)

ในระบบนี้ ลักษณะทางกายภาพของขั้นตอนการสกัดอาจจะนิยามไม่เด่นชัด แต่ในแบบที่ง่ายที่สุด จะประกอบด้วยสายพานสกรูที่ลาดลงมา เริ่มต้นสายพานนี้จะเต็มไปด้วยตัวทำละลายถึงระดับโอเวอร์โฟลว์ที่ปลายด้านที่ต่ำกว่า และของแข็งจะเข้าสู่ระบบที่ปลายด้านที่ต่ำกว่า สกรูจะนำของแข็งเคลื่อนขึ้นผ่านตัวทำละลาย ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะเข้าสู่ระบบที่ปลายด้านสูงแล้วจะเคลื่อนลงในทิศทางตรงข้ามกับการไหลของของแข็ง ขณะเดียวกันจะละลายตัวถูกละลายในของแข็งให้เข้าไปในเฟสของตัวทำละลายที่เคลื่อนที่ลงในที่สุดตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่เป็นจำนวนมากจะถูกรวบรวมที่ปลายด้านที่ต่ำสุดของสายพานและนำออกไปจากระบบโดยผ่านตัวโอเวอร์โฟลว์ ตัวอย่างลักษณะเครื่องสกัดดังกล่าวนี้ได้แก่ Dorr Classifier ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ทิศทางการไหลของของแข็งและของเหลวใน Dorr Classifier [10]

2.5.6 หลักการโดยทั่วไปของการสกัด (General principles of extraction)

ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการสกัด ได้แก่

2.5.6.1 การแพร่ (Diffusion)

การแพร่ของโมเลกุลของสาร เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากจุดที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า การเคลื่อนที่นี้เป็นไปในลักษณะทุกทิศทุกทาง โดยไม่มีทิศทางที่แน่นอนผลจากการเคลื่อนที่แบบนี้จะทำให้ความเข้มข้นของโมเลกุลของสารในภาชนะที่มีเนื้อที่จำกัดนั้น มีความเข้มข้นเท่ากันหมด ตัวอย่างของการแพร่ที่พบได้เสมอ คือ การแพร่ของเกลือในน้ำ และ การแพร่ของน้ำหอมในอากาศ นอกจาก 2 ตัวอย่างที่ยกมาให้ดูแล้วยังมีตัวอย่างอีกมากมายที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การฉีดดีดีทีฆ่าแมลง การเติมน้ำตาลลงในถ้วยกาแฟ การหยดหรือแตะน้ำหอมตามเสื้อผ้า กลิ่นลูกเหม็นกันแมลง ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ หรือแม้กระทั่งในกระบวนการสกัดสารต่าง ๆ เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 1828 รอเบิร์ต บราวน์ (Robert Brown, 1773 – 1858) ได้สังเกตปรากฏการณ์อย่างหนึ่ง โดยพบว่า เมื่อเกสรดอกไม้ตกลงในน้ำ เกสรนั้นจะมีการเคลื่อนที่อย่างไม่มีทิศทางแน่นอนต่อมาจึงเรียกการเคลื่อนที่อย่างไม่มีทิศทางแน่นอนหรือไร้ทิศทางนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบ บราวเนียน (Brownian movement) และในปี ค.ศ. 1905 แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein, 1879 – 1955) ได้ให้เหตุผลว่า การเคลื่อนที่ของเกสรดอกไม้ที่เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนนั้นเกิดจากโมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เข้าชนเกสรดอกไม้อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกสรดอกไม้เคลื่อนที่ได้

การแพร่เกิดจากพลังงานจลน์ (kinetic energy) ของโมเลกุลหรือไอออนของสาร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และกระทบกระทั่งหรือชนกันโดยบังเอิญ เป็นผลให้เกิดการกระจายในทุกทิศทุกทาง ที่บริเวณที่มีความเข้มข้นของโมเลกุลหรือไอออนน้อยกว่า จนทำให้ทุกบริเวณมีความเข้มข้นของโมเลกุลหรือไอออนเท่ากันเรียกว่า ภาวะสมดุลของการแพร่ (diffusion equilibrium) ในภาวะเช่นนี้สารต่าง ๆ ก็ยังมีการเคลื่อนที่อยู่แต่อยู่ในลักษณะที่ไปและมาหรือออกเข้าในจำนวนที่เท่า ๆ กัน ดังนั้นในการสกัดด้วยตัวทำละลายยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก ระยะเวลา (residence time) ที่ของแข็งต้องอยู่ในขั้นของการสกัดยิ่งสั้น

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าขนาดอนุภาคของของแข็งจะมีผลต่ออัตราการสกัดคือ ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวสัมผัส (interfacial area) ระหว่างของแข็งและของเหลวยิ่งมากขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทขององค์ประกอบที่ละลายได้เพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่ในกรณีสารเป็นอนุภาคละเอียดมากอาจก่อให้เกิดความต้านทานหรือการยับยั้งการหมุนเวียนของตัวทำละลายที่จะผ่านชั้นของของแข็ง ทำให้พื้นที่ผิวของการสัมผัสที่มากขึ้นก็ไม่ได้ช่วยในเรื่องอัตราการถ่ายเทมวลสาร

2.5.6.2 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความเข้มข้นของตัวทำละลายสูงสุดที่เป็นไปได้ในเอ็กซ์แทรคท์สุดท้ายที่ออกจากระบบการสกัดคือความเข้มข้นอิ่มตัว ดังนั้น อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อของแข็งต้องสูงพอที่เมื่อตัวทำละลายบริสุทธิ์สัมผัสของแข็งที่ส่งเข้าเครื่องสกัดในตอนต้น สารละลายที่ได้หลังสมดุลต้องมีความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย

ในระบบที่ต้องทำการสกัดของแข็งหลายครั้งด้วยตัวทำละลายที่หมุนเวียนกลับมาใช้ ถ้าความสามารถในการละลายของตัวทำละลายสูงจะช่วยลดจำนวนเที่ยวของการหมุนเวียนตัวทำละลายที่ต้องใช้เพื่อกำจัดตัวถูกละลายออกไปในระดับที่ต้องการ

ของเหลวที่ใช้เป็นตัวทำละลาย ควรมีความหนืดต่ำเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนได้ดี โดยทั่วไปมักใช้ตัวทำละลายค่อนข้างบริสุทธิ์ในช่วงแรก แต่ในขณะที่กระบวนการสกัดดำเนินต่อไป ความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น และอัตราการสกัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นลดลง และสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น

ในหลายกรณีอุณหภูมิมีผลต่อการสกัดเนื่องจากความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการสกัดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สัมประสิทธิ์ของการแพร่มักจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนดีขึ้นด้วย ส่วนการกวนมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การแพร่แบบ เอ็ดดี้ (eddy diffusivity) และเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารจากผิวของอนุภาคไปยังสารละลายส่วนใหญ่

2.5.6.3 สมดุล (Equilibrium)

เมื่ออัตราส่วนตัวทำละลายต่อของแข็งมากพอที่จะทำให้ระดับของตัวถูกละลายที่ต้องการละลายออกมา สมดุลที่เกิดขึ้นจะเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของของแข็งและเฟสของตัวทำละลายเท่ากัน ดังนั้นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่อยู่ในของแข็งจะเท่ากับในเฟสของของเหลวหรือตัวทำละลาย แต่เมื่อปริมาณของตัวทำละลายไม่เพียงพอต่อการละลายตัวถูกละลายทั้งหมดที่มีอยู่ (สารละลายอิ่มตัว) จะพิจารณาสมดุลว่าเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายไม่เปลี่ยนแปลงอีกต่อไปในทั้งสองเฟส ไม่ว่าจะมีการสัมผัสที่นานขึ้นก็ตาม อย่างไรก็ตามเพื่อให้สมดุลเกิดขึ้นจำเป็นต้องให้เฟสของของแข็งและตัวทำละลายได้สัมผัสกันเป็นเวลาที่นานพอ

ปริมาณที่บ่งบอกความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกละลายในเฟสของตัวทำละลายในขั้นตอนของการสกัดขั้นหนึ่ง ๆ เรียกว่า ประสิทธิภาพของขั้น (stage efficiency) ถ้าสมดุลเกิดขึ้นในขั้นตอนการสกัดขั้นหนึ่ง ๆ ขั้นตอนนั้นจะมีประสิทธิภาพเป็น 100 % และเรียกว่าขั้นจินตภาพ (ideal stage)

ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการสกัดคือ พื้นที่ที่มีการสัมผัสระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลาย เวลาของการสัมผัส คุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับสมดุลของการถ่ายเทองค์ประกอบในการสกัดจากของแข็ง โครงสร้างของของแข็ง อาจเป็นอุปสรรคต่อการแพร่ และการควบคุมอัตราการสกัด

2. 5.6.4 การเลือกตัวทำละลาย

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งเพื่อให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูง โดยพิจารณาดังนี้

1. ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับของผสมที่จะแยก
2. ไม่ละลายในตัวทำละลายที่ละลายของผสม
3. ละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี ขณะที่ละลายสารอื่นได้น้อย
4. แยกจากสารสกัดได้ง่ายหลังจากสกัดแล้ว เช่น มีจุดเดือดต่ำ เพื่อแยกออกโดยการกลั่นได้ง่าย
5. ราคาถูก นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความเป็นพิษของตัวทำละลายที่ใช้ด้วย สำหรับตัวทำละลายที่ระเหยง่าย ไวไฟ ควรระวังเรื่องการติดไฟ จึงต้องทำการทดลองอย่างระมัดระวัง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการสกัด [9]

ตัวทำละลาย	สูตรโมเลกุล	จุดเดือด	ความหนาแน่นที่ 20 ^{o}C
อีเทอร์	$C_2H_5OC_2H_5$	35	0.714
เมทิลีนคลอไรด์	CH_2Cl_2	41	1.335
คลอโรฟอร์ม	$CHCl_3$	61	1.492
เอ็น-เฮกเซน	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	69	0.659
คาร์บอนเตตราคลอไรด์	CCl_4	77	1.594
เบนซีน	C_6H_6	80	0.879
โทลูอีน	$C_6H_5CH_3$	111	0.867

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างตัวทำละลายที่นิยมใช้อุตสาหกรรมการสกัด [9]

Solid feed	Solvent	Product
Sugar-cane	Water	Cane sugar (sucrose)
Palm Kernels	Hexane (naptha fraction)	Palm Kernel oil (oil)
Roasted Copper(sulphide) Ore	Water	Copper sulphate
Gold Ore	Dilute Potassium cyanide solution	Gold
Rock Phosphate	Sulfuric Acid	Phosphoric Acid

2.6 ตัวทำละลายที่เลือกใช้

ในโครงงานนี้ใช้นอร์มัลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย จึงเพิ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับนอร์มัลเฮกเซน เพื่อความปลอดภัยในการใช้นอร์มัลเฮกเซน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ [10]

ชื่อวงศ์ **Aliphatic hydrocarbons**

ชื่อเคมี **IUPAC: Hexane**

ชื่อเคมีทั่วไป **Hexyl hydride**

สูตรโมเลกุล **C_6H_{14}**

สูตรโครงสร้าง

ประโยชน์ สารนี้ใช้เป็นสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ และตรวจสอบในห้องปฏิบัติการเคมี นอกจากนั้นยังใช้เป็นตัวทำละลาย (solvent) ในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันพืช และตัวทำละลายในอุตสาหกรรมชนิดอื่น ๆ

2.6.1 ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

LD_{50} (มก./กก.)	28710 (หนู)
LC_{50} (มก./ม^3)	48000/4 ชั่วโมง (หนู)
IDLH (ppm.)	1100
PEL-TWA (ppm.)	50
TLV-TWA (ppm.)	50

ระยะเวลาสัมผัสที่ความเข้มข้นที่กำหนดในเวลาทำงานเฉลี่ยไม่เกิน 8 ชั่วโมง

2.6.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	ของเหลวที่ อุณหภูมิห้อง
สี	ไม่มีสี
กลิ่น	เหม็น เฉพาะตัว
น้ำหนักโมเลกุล	86.18
จุดเดือด	69 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	-95 องศาเซลเซียส
ความถ่วงจำเพาะ	0.66 (อากาศ = 1)
ความหนาแน่นไอ	3 (อากาศ = 1)
ความดันไอ	130 มม.ปรอท (ที่ 20 องศาเซลเซียส)

2.6.3 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ การหายใจเข้าไป จะเกิดการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจส่วนบน เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ ง่วงนอน หมดสติ และอาจจะทำให้เกิดอาการสับสน

สัมผัสทางผิวหนัง การสัมผัสถูกผิวหนัง จะก่อให้เกิดการระคายเคือง ผิวหนังอักเสบ หากดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังจะเป็นอันตราย

กินหรือกลืนเข้าไป การกลืนหรือกินเข้าไป จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบย่อยอาหาร ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เวียนศีรษะ

สัมผัสถูกตา การสัมผัสถูกตา จะก่อให้เกิดการระคายเคืองตา

การก่อมะเร็ง และความผิดปกติอื่น ๆ ผลเรื้อรังจะกดระบบประสาทส่วนกลาง ตา ผิวหนัง ระบบหายใจ ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนปลาย แต่มียังไม่มีข้อมูลการก่อมะเร็งในร่างกายมนุษย์

2.6.4 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัว สารนี้มีความเสถียร
- สารที่เข้ากันไม่ได้ สารออกซิไดซ์อย่างแรง เช่น คลอรีน ฟลูออรีน และแมกนีเซียมเปอร์คลอเรท
- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง ความร้อน เปลวไฟ แหล่งของการจุดติดไฟ
- สารอันตรายจากการสลายตัว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
- ไม่เกิดอันตรายจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

2.6.5 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

- จุดวาบไฟที่ -23 องศาเซลเซียส และลุกติดไฟได้เองที่ 224 องศาเซลเซียส
- สารดับเพลิง แอลกอฮอล์โฟม ผงเคมีดับเพลิง หรือคาร์บอนไดออกไซด์
- ใช้น้ำดับเพลงจะไม่ได้ผล ใช้น้ำฉีดหล่อเย็นภาชนะบรรจุที่ถูกเพลิงไหม้
- กรณีเกิดเพลิงไหม้ให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม และอุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังออกซิเจนในตัว
- การสัมผัสกับสารออกซิไดซ์อย่างรุนแรง จะทำให้เกิดเพลิงไหม้และเกิดก๊าซพิษคาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์

2.6.6 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

- เก็บในภาชนะบรรจุที่มีฝาปิด
- เก็บในพื้นที่หรือตู้สำหรับเก็บสารไวไฟ
- เก็บห่างจากแหล่งความร้อน ประกายไฟ เปลวไฟ
- มีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ
- มีการต่อสารเชื่อม (BOND) และต่อสายดินของถังบรรจุเมื่อทำการถ่ายเทของสาร
- ชื่อสำหรับการขนส่งเฮกเซน
- ประเภทอันตราย จัดอยู่ในประเภทที่ 3
- รหัส UN คือ 1208
- ประเภทการบรรจุหีบห่อ จัดอยู่ในกลุ่ม III

2.6.7 การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

- ปิดกั้นแหล่งจุดติดไฟ สูบบุหรี่ หรือทำให้เกิดเปลวไฟในบริเวณนี้
- ให้หยุดการรั่วไหลถ้าสามารถกระทำได้โดยปราศจากความเสี่ยงอันตราย
- ใช้ทรายหรือสารดูดซับอื่นที่ไม่ติดไฟ และเก็บใส่ในภาชนะบรรจุสำหรับนำไปกำจัด
- ใช้น้ำฉีดเป็นละอองเพื่อลดไอของสาร
- ให้ฉีดล้างบริเวณที่หกรั่วไหลด้วยน้ำ
- ป้องกันการปนเปื้อนสารไม่ให้ไหลลงสู่ท่อระบายน้ำหรือลำน้ำ
- ให้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว และชุดป้องกันแบบคลุมทั้งตัว
- วิธีการกำจัด กำจัดตามวิธีของหน่วยงานราชการ และกฎระเบียบสิ่งแวดล้อมประจำท้องถิ่น

2.6.8 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPD/PPE)

เมื่อจำเป็นต้องทำงานที่สัมผัสหรืออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เต็มไปด้วยไอ หรือของเหลวของนอร์มัลเฮกเซนหรือสารเคมีชนิดอื่น ๆ จำเป็นต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น หน้ากากกันไอพิษ ถุงมือ แว่นตา เป็นต้น เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งสามารถหาอุปกรณ์ดังกล่าวได้จากจุดที่มีสัญลักษณ์ ดังรูปที่ 2.5 เพราะส่วนใหญ่ในโรงงานหรือห้องปฏิบัติการฯ มักจะติดสัญลักษณ์เหล่านี้เอาไว้ ได้แก่ หน้ากาก ถุงมือยาง แว่นตา เป็นต้น

รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

2.6.9 การปฐมพยาบาล (First aid)

หายใจเข้าไป ถ้าหายใจเข้าไป ให้นำส่งไปพบแพทย์ทันที เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกจากบริเวณที่สัมผัสถูกสารสู่ที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าไม่หายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจลำบากให้ออกซิเจนช่วย

กินหรือกลืนเข้าไป ถ้ากลืนหรือกินเข้าไป ถ้าผู้ป่วยมีสติอย่ากระตุ้นให้ผู้ป่วยอาเจียน ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำหรือนมปริมาณมาก ๆ ทันที นำส่งไปพบแพทย์

สัมผัสถูกผิวหนัง ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง ให้ฉีดล้างผิวหนังทันที ด้วยสบู่และน้ำปริมาณมาก ๆ อย่างน้อย 15 นาที

สัมผัสถูกตา ถ้าสัมผัสถูกตา ให้ฉีดล้างตาด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ อย่างน้อย 15 นาที