บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

## 2.1 มะขามแขกและเซนโนไซด์

### 2.1.1 ประวัติความเป็นมา (1, 2, 3, 4, 5)

มะขามแขกเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง ซึ่งมีปลูกอยู่ทุกภาคในประเทศไทย และมีขึ้นเองตามธรรมชาติในป่าทั่ว ๆ ไป แต่ยังไม่มีความสำคัญในแง่เศรษฐกิจมากนัก ใช้เป็นแต่เพียงยากลางบ้าน หรือยารักษาโรคของแพทย์แผนโบราณเท่านั้น จนกระทั่งผู้เชี่ยวชาญเยอรมันจากศูนย์ศิลปาธิตและการฝึกอบรมไทย-เยอรมัน ได้นำเมล็ดพันธุ์มะขามแขกจากประเทศอินเดียมาเผยแพร่ให้สมาชิกในนิคมสร้างตนเอง พระพุทธบาท จ. สระบุรี ทดลองปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 โดยปลูกเป็นพืชรุ่นที่สองต่อจากข้าวโพด ซึ่งเป็นพืชหลักของนิคมสร้างตนเอง ปรากฏว่าได้ผลดีมาก สามารถสั่งฝักและใบแห้งไปขายเป็นสินค้าออกให้แก่บริษัทผลิตยาในประเทศเยอรมันทำรายได้ให้สมาชิกในนิคมปีหนึ่ง ๆ เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังได้นำเมล็ดพันธุ์ไปทดลองปลูกที่ศูนย์ศิลปาธิตฝึกอบรมไทย-เยอรมัน ต.โคกตูม อ. เมือง จ. ลพบุรี ทดลองปลูกดูเช่นกัน ซึ่งก็ให้ผลเป็นที่น่าพอใจมาก เพราะสามารถทำรายได้มากกว่าข้าวโพด ซึ่งปลูกเป็นพืชหลักด้วย มะขามแขกที่นำมาเผยแพร่ในเมืองไทยมีอยู่ 2 พันธุ์ คือ

1. มะขามแขกพันธุ์ Cassia acutifolia มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Cassia acutifolia, Delile และชื่อทางการค้าว่า Alexandrian

2. มะขามแขกพันธุ์ Cassia angustifolia มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Cassia angustifolia, Vahl และชื่อทางการค้าว่า Tinnevelly

มะขามแขกทั้ง 2 พันธุ์นี้ มีต้นกำเนิดมาจากต่างถิ่นกัน คือ พันธุ์ Cassia acutifolia เป็นพืชพื้นเมืองของอาฟริกาเขตร้อน ปลูกกันมากในประเทศ ซูดาน แถบเมือง Kordofan และเมือง Sennar ส่วนพันธุ์ Cassia angustifolia มีแหล่งกำเนิดที่เมือง โซมาลิแลน, อาราเบีย แคว้นปัญจาบ และสินธุ แหล่งที่ทำการปลูกมากอยู่ทางตอนใต้ของอินเดียคือที่เมือง Tinnevelly

2.1.2 ลักษณะของมะขามแขก (1)

มะขามแขกเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดเล็ก อยู่ในตระกูล Leguminosae สูงประมาณ 1 เมตร (ดูรูปที่ 2.1) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ใบเป็นใบรวมหรือใบประกอบ ใบรวมมีใบย่อยแยกออกเป็นคู่ ๆ แบบขนนกตรงปลายใบรวมใบย่อยจะเป็นใบคู่ เป็นแบบ พารีพินเนต (paripinnate) รูปร่างของใบย่อยคล้ายใบหอก คือ หัวแหลมท้ายแหลม ใบมีสีเขียว ขอบใบเรียบ ผิวใบมีขนนุ่ม ๆ ปกคลุมอยู่ทั้งทางด้านหน้าใบและหลังใบ ใบมีสีเขียว ดอกของมะขามแขกเป็นดอกช่อ สีเหลือง คล้ายดอกยี่เหล็ก ฝักมีลักษณะคล้ายฝักถั่วแปบแต่บางกว่า ส่วนหัวท้ายกลม

2.1.3 ประโยชน์ของมะขามแขก

มะขามแขกเป็นพืชสมุนไพรที่ใช้ทำยาระบายได้ ส่วนที่ให้ประโยชน์คือ ฝักและใบ มีสาร glycoside ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เซนโนไซด์ (sennosides) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นยาระบาย สารเคมีนี้จะถูกดูดซึมผ่านลำไส้ใหญ่ (6) และถูกขับถ่ายออกโดยตับ ซึ่งจะยังผลให้น้ำปัสสาวะของคนไข้ที่รับประทานยามะขามแขกมีสีเหลือง และเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อถูกกับด่าง

มะขามแขกให้ผลในการเป็นยาระบายที่ดีมาก (7) จากการทดลองกับหญิงมีครรภ์พบว่าไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือผลข้างเคียงแต่อย่างใด นอกจากนี้เมื่อทำการทดลองกับหญิงที่เพิ่งคลอดบุตรและต้องให้น้ำนมแก่บุตร จำนวน 50 ราย ปรากฏว่า ให้ผลดีมากถึง 49 ราย และทารกของแต่ละรายก็มิได้รับผลกระทบกระเทือนใด ๆ ที่ลำไส้เลย ในกรณีที่พิจารณาว่ายาที่มารดารับประทานเข้าไปจะลงผ่านสู่ทารกได้ทางน้ำนมมารดา

มะขามแขกใช้เป็นยาระบายที่ดีทั้งใบและฝักสำหรับแก้โรคท้องผูกเรื้อรัง (2) หรือใช้เป็นครั้งคราวก็ได้ แต่ใบมะขามแขกมีข้อเสียที่เมื่อรับประทานเข้าไปแล้ว จะเกิดอาการปวดมวนท้อง จึงนิยมใช้กับยาพวกขับลมลำไส้ เช่น กระวาน หรือ อบเชย เพื่อบรรเทาอาการปวดมวนในท้อง ส่วนฝักมะขามแขกมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าใบ จึงบรรเทาอาการปวดมวนท้องลง เหมาะสำหรับใช้กับเด็กและคนที่แบบบางหรือคนที่เป็นโรคริดสีดวงทวารหนัก การรับประทาน นำมาต้มกับน้ำต้มก็ได้ ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.5-2 กรัม หรืออาจรับประทานในรูปแบบที่ได้รับการปรุงแต่งแล้ว (senna preparation) เช่น ยาน้ำ, ยาน้ำเชื่อม หรือยาเม็ด เป็นต้น ยาเม็ดที่ทำจากฝักและใบมะขามแขก ซึ่งจัดว่าเป็นมาตรฐานในปัจจุบัน (7) ได้แก่ Sennokot และ Persennid

รูปที่ 2.1 ต้นมะขามแขก (1)

ตามลำดับ สำหรับยาชนิดหลังในประเทศแคนาดาและอเมริการู้จักกันดีในชื่อ Glysennid ขนาดที่ใช้รับประทาน (dose) สำหรับเด็ก 1-2 เม็ด และ 2-4 เม็ด สำหรับผู้ใหญ่

2.1.4 ส่วนประกอบทางเคมีของใบมะขามแขก (6, 8, 9, 10)

สารประกอบทางเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นยาระบายในใบมะขามแขกนั้น เป็นสารประกอบพวก anthraquinone ส่วนที่สำคัญและมีปริมาณมากที่สุดคือ เซนโนไซด์เอ (sennosides A) และเซนโนไซด์ บี (sennosides B) ส่วนที่เหลือมีอยู่ในปริมาณน้อยได้แก่ เซนโนไซด์ ซี (sennosides C), เซนโนไซด์ ดี (sennosides D) rhein anthrone-8-glucoside, rhein-8-glucoside, rhein-8-diglucoside, aloe-emodin -8-glucoside, aloe-emodin anthrone diglucoside, rhein, aloe-emodin, kaempferol, isorhamnetin, sennaemodin, chrysophanol, cathartic acid, cathartomannite, sennanigin, myricyl alcohol, salicylic acid, phytosterolin, mucilage, resin และ calcium oxalate.

การตรวจวัดปริมาณของสาร anthraquinone ในใบมะขามแขกสามารถทำได้โดยใช้วิธีการทดสอบของ Borntrager(Borntrager test)(1,8) วิธีการนี้จะทำให้ทราบว่าใบมะขามแขกที่นำมาทดสอบนั้นมีปริมาณสาร anthraquinone มากพอที่จะใช้ทำยาได้หรือไม่ วิธีการทดสอบทำโดย ต้มยาสมุนไพรกับกรดอนินทรีย์ (mineral acid) เจือจาง เพื่อไฮโดรไลซ์ (hydrolyse) สาร glycosides นี้ให้ได้เป็น aglycones ออกมาแล้ว นำมาสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน (benzene) แยกสารละลายในชั้นของเบนซีนมาเขย่ากับด่างจะได้สีชมพูถึงสีแดงเชอรี่ ชั้นในชั้นของด่าง แสดงว่าในตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณตัวยาสูงพอที่จะใช้ทำยาได้

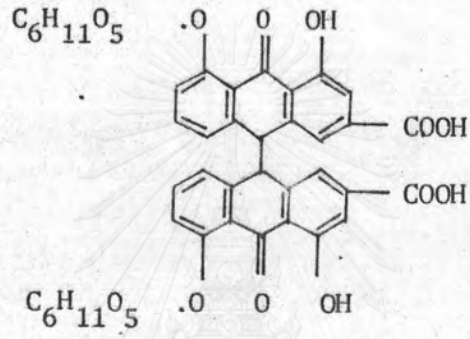
2.1.5 เซนโนไซด์(Sennosides) (1,10)

เซนโนไซด์เป็นสารประกอบ glycosides ชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า anthraquinone glucosides ซึ่งแยกได้เป็นหลายชนิดคือ เซนโนไซด์ เอ, เซนโนไซด์ บี, เซนโนไซด์ ซี และเซนโนไซด์ ดี

เซนโนไซด์ เอ. เป็นผลึกสีเหลือง รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบน ตกผลึกได้ในอาซีโตน (acetone) หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 200-240°ซ ค่า specific rotation $\left[\alpha\right]_D^{20}$ = -147° ที่อุณหภูมิ 20°ซ ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 น้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) ในอาซีโตน เข้มข้น

ร้อยละ 70 ปริมาตรต่อปริมาตร

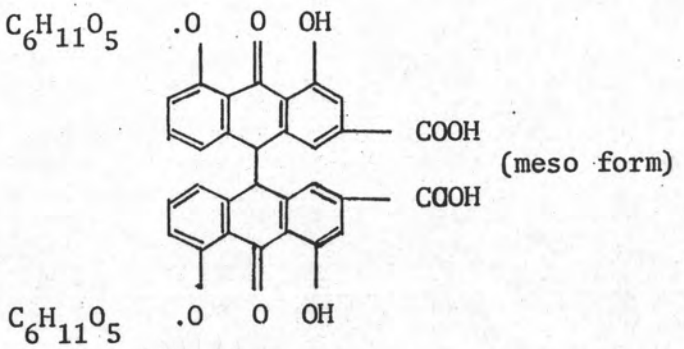
เซ่นโนไซด์ เอ มีสูตรโมเลกุล $C_{42}H_{38}O_{20}$ น้ำหนักโมเลกุล 862.72 คาร์บอน 58.47 %, ไฮโดรเจน 4.44 % และ ออกซิเจน 37.09 % โครงสร้างประกอบด้วย aglycones sennidin A กับ glucose 2 โมเลกุล sennidin A คือ dextrorotatory aglucon sennidin A มีสูตรโครงสร้างดังนี้



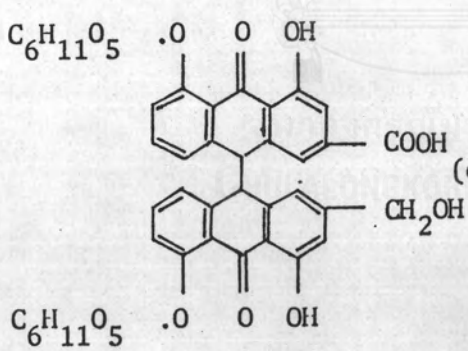

(optically active)

เซ่นโนไซด์ บี. เป็นผลึกรูปปริซึมสีเหลืองอ่อน(light yellow) เมื่อตกผลึกในสารละลาย อาซีโตนเจือจางและจะให้ผลึกรูปเข็มละเอียด (fine needles) เมื่อตกผลึกในน้ำ หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 180-186°ซ ค่า specific rotation $[\alpha]_D^{20} = -100°$ ที่อุณหภูมิ 20°ซ ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 น้ำหนักต่อปริมาตรในสารละลาย อาซีโตน เข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตรต่อปริมาตร

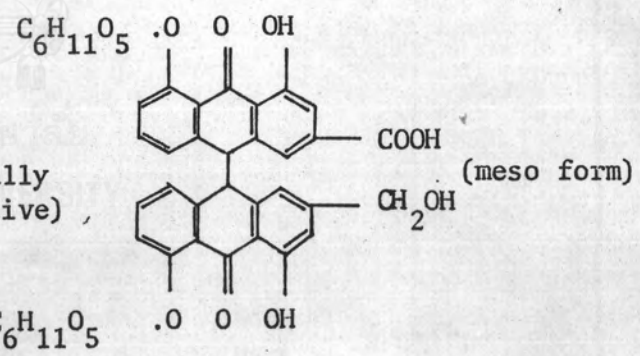
เซ่นโนไซด์ บี. มีสูตรโมเลกุล $C_{42}H_{38}C_{20}$ น้ำหนักโมเลกุล 862.72 เช่นเดียวกับ เซ่นโนไซด์ เอ แต่มีสูตรโครงสร้างต่างกันคือ เซ่นโนไซด์ บี ประกอบด้วย aglycone sennidin B และกลูโคส 2 โมเลกุล sennidin B คือ intramolecularly compensated meso-sennidin B. มีโครงสร้างดังนี้




เซนโนไซด์ ซี และเซนโนไซด์ ดี มีสูตรโมเลกุลเท่ากันคือ $C_{42}H_{40}O_{19}$ แต่มีสูตรโครงสร้างต่างกันเล็กน้อย ดังนี้




เซนโนไซด์ ซี




เซนโนไซด์ ดี

สารประกอบพวก anthraquinone derivatives ของมะขามแขกเหล่านี้ มีคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ เป็นสารประกอบที่ไม่ทนต่อความร้อน (thermolabile)(11) จะสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °ซ. ดังนั้น การระเหยหรือการทำแห้ง สารละลายสกัดของมะขามแขกควรทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °ซ. หรือ ทำงานภายใต้สภาวะลดความดัน (reduced pressure)

2.1.5.1 คุณสมบัติในการละลายของเซ้นโนไซด์

จาก The Merck Index (7th ed.) of chemicals and Drugs (12) ระบุว่า เซ้นโนไซด์เอและบีมีคุณสมบัติในการละลายเหมือนกัน แต่เซ้นโนไซด์ บี ละลายได้มากกว่าเล็กน้อย คือ ละลายได้เล็กน้อยใน เมทรานอล, คาร์บิทอล, อาซีโตนและไดออกเซ้น การละลายจะเพิ่มขึ้นในตัวทำละลายน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกับตัวทำละลายอินทรีย์เคมีร้อยละ 30 น้ำหนักต่อน้ำหนัก (water-miscible organic solvents) ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (aqueous solution of sodium bicarbonate), ไม่ละลายในน้ำ, เบนซีน, อีเทอร์, คลอโรฟอร์มและจากหนังสือ British Pharmaceutical codex บี ค.ศ. 1973 (10) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติในการละลายของเซ้นโนไซด์ว่า ไม่ค่อยละลายในน้ำและอีเทอร์ สามารถละลายได้เล็กน้อยใน แอลกอฮอล์ และละลายได้ในสารละลายที่เป็นด่างของไฮดรอกไซด์ (solution of alkali hydroxides) แต่จากหนังสือ Remington's Pharmaceutical Sciences บี ค.ศ. 1980 (9) กลับระบุว่า น้ำและแอลกอฮอล์เจือจางเป็นตัวทำละลายที่ดีของสารที่มีคุณสมบัติเป็นยาระบายในใบมะยามแยกและจากหนังสือ National Formulary บี ค.ศ. 1975 (13) ได้แสดงคุณสมบัติในการละลายของเซ้นโนไซด์เอ และบี ปริมาณ 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 25° ซ ไว้ดังนี้

| ปริมาณ 1 กรัม | ชนิดของสารละลายโดยปริมาตร (มิลลิลิตร) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | น้ำ | แอลกอฮอล์ | คลอโรฟอร์ม | อีเทอร์ |
| เซ้นโนไซด์ เอ และบี | 35 | 2100 | 3700 | 6100 |

แสดงให้เห็นว่า เซ้นโนไซด์เอ และบี 1 กรัม สามารถละลายได้หมดในน้ำปริมาตรเพียง 35 มิลลิลิตร ในขณะที่ต้องใช้แอลกอฮอล์, อีเทอร์ และคลอโรฟอร์ม ในปริมาณที่มากกว่าในการละลายเซ้นโนไซด์ ในปริมาณเดียวกัน

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า ยังมีความสับสนอยู่มากในเรื่องของคุณสมบัติในการละลายของ เซ้นโนไซด์ ดังนั้นจึงสมควรที่จะมีการค้นคว้า วิจัย เพื่อหาข้อสรุปที่ยืดเยื่อต่อไป

2.1.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเซนโนไซด์

การแยกและวิเคราะห์หาปริมาณ เซนโนไซด์ในมะขามแขกนั้น มีวิธีการทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. Paper Chromatography (14)

2. Low Voltage (15) หรือ High Voltage Paper-Electrophoresis (16)

3. Thin-Layer Chromatography (TLC) (17,18)

4. High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) (19) การวิเคราะห์หาปริมาณเซนโนไซด์ ด้วยวิธี HPLC นี้ ยังมิได้มีการทดลองใช้มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยมีการทดลองเรื่องนี้น้อยมาก ซึ่งถ้าสามารถใช้งานได้จริงแล้ว วิธี HPLC นี้ จะเป็นวิธีที่สะดวกและเหมาะสมที่สุดในการใช้งานขั้นอุตสาหกรรม

5. Chemical Analysis (20) การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาปริมาณเซนโนไซด์นี้มีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับการปรับปรุงและยอมรับว่าดีที่สุด คือวิธีของ Muller, K.H., Christ, B., และ Kuehn, G. ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในเรื่องการทดลองต่อไป

2.2 การสกัด (Extraction)

การสกัดเป็นวิธีการแยกส่วนที่ต้องการออกจากส่วนที่ไม่ต้องการ โดยใช้ตัวพา (carrier) และวิธีการที่เหมาะสม การสกัดตัวยาจากสมุนไพร เป็นการสกัดในระบบ ของเหลว-ของแข็ง (liquid-solid system) ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการล้างออก (leaching)

การล้างออก (leaching) เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการสกัดตัวยาจากสมุนไพร หมายถึง การแยกเอาสารประกอบที่มีอยู่ในสมุนไพรออกมา โดยใช้ตัวทำละลายและวิธีการที่เหมาะสม โดยทั่วไป การล้างออกจะประกอบด้วยกระบวนการสำคัญ 3 กระบวนการ (20) ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนสถานะของตัวถูกละลาย (solute) ขณะที่มันละลายในตัวทำละลาย กระบวนการที่ 2 เป็นการแพร่กระจาย (diffusion) ของตัวถูกละลายภายในตัวทำละลายที่อยู่ในช่องว่างของพืช และกระบวนการสุดท้ายเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลสารของตัวถูกละลาย จากสารละลายที่อยู่ภายในพืชออกสู่สารละลายทั้งหมด

กระบวนการแรกปกติจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงไม่ค่อยมีผลต่ออัตราเร็วในการสกัด

ถ้ากระบวนการที่ 2 เป็นกระบวนการควบคุมอัตราการสกัด พืชที่นำมาสกัดจะถูกบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนเพื่อให้ระยะทางที่ตัวถูกละลายต้องผ่านสั้นลง และถ้ากระบวนการที่ 3 มีผลต่อการสกัด การกวนในขณะทำการสกัดจะช่วยให้การถ่ายเทมวลสารเกิดได้เร็วขึ้น

2.2.1 <u>การถ่ายเทมวลสารในการสกัด</u> (Mass Transfer in Extraction) (21)

การถ่ายเทมวลสารในการสกัดเกิดได้ 3 กระบวนการดังได้กล่าวแล้ว สำหรับการประเมินค่าการถ่ายเทมวลสารของกระบวนการแรกคือ กระบวนการถ่ายเทมวลสารภายในช่องว่างของพืช ทำได้ยาก เพราะเราไม่สามารถจะคาดคะเนได้ว่าช่องว่างภายในพืชที่เกิดการถ่ายเทนั้นมีรูปร่างอย่างไร ดังนั้นการพิจารณาการถ่ายเทมวลสารในการสกัดอาจคาดคะเนได้จากขบวนการที่ 3 คือ การถ่ายเทมวลสารจากพืชสู่สารละลายทั้งหมด

สมมุติว่าของแข็งอยู่ในรูปทรงกลมแล้วมีของเหลวเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ อยู่รอบ ๆ ของแข็ง อัตราการถ่ายเทเขียนได้เป็นสมการอนุพันธ์ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = \frac{k' A(C_s - C)}{b} \qquad \text{--------- (2.1)}$$

A = พื้นที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลว

b = effective thickness ของชั้นฟิล์มของเหลวรอบ ๆ ของแข็ง

C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย เมื่อเวลา t

$C_s$ = ความเข้มข้นของสารละลายอิ่มตัวที่สัมผัสกับของแข็ง

M = มวลของตัวถูกละลายที่ถูกถ่ายเทไปในเวลา t

$k'$ = diffusion cocfficient.

พิจารณากระบวนการทำงานเป็นครั้งคราวแบบไม่ต่อเนื่อง (batch) มี V เป็นปริมาตรของสารละลายซึ่งมีค่าคงที่

$$dM = VdC$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{k' A(C_s - C)}{bV}$$

t เป็นช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก $C_o$ ถึง C, ให้ b และ A คงที่

$$\int \frac{dC}{C_s - C} = \int \frac{k' A}{Vb} \, dt$$

$$\ln \frac{C_s - C_o}{C_s - C} = \frac{k' A \, t}{Vb} \qquad \text{----------} \quad (2.2)$$

ถ้าใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ $C_o = o$ และ

$$1 - \frac{C}{C_s} = e^{-(kA/bV)t}$$

$$C = C_s(1 - e^{-(kA/bV)t}) \qquad \text{----------} \quad (2.3)$$

จากสมการ 2.3 จะเห็นได้ว่าการสกัดจะขึ้นอยู่กับเวลาและ diffusion coefficient ถ้าให้ส่วนที่เหลือคงที่ ค่า diffusion coefficient โดยปกติจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นในการสกัดบางกรณีจึงใช้ความร้อนเข้าช่วย เพื่อเพิ่มค่า diffusion coefficient ให้อัตราการสกัดสูงขึ้น สำหรับการสกัดตัวยาจากสมุนไพรมีข้อจำกัดอยู่บ้างตรงที่ตัวยาในสมุนไพร โดยส่วนใหญ่จะถูกทำลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง จึงไม่นิยมทำการสกัดที่อุณหภูมิสูงมากนัก

2.2.2 วิธีการดำเนินการ (Methods of Operation) (22)

การดำเนินการในกระบวนการล้างออกกระทำได้หลายวิธี อาทิ แบบไม่ต่อเนื่อง (batch), แบบกึ่งต่อเนื่อง (semibatch), และแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ (steady state-continuous conditions) การสกัดแบบไม่ต่อเนื่องเป็นวิธีการที่ของเหลวและของแข็งสัมผัสกันเป็นพัก ๆ ไม่ต่อเนื่องและได้ผลิตภัณฑ์ออกมา 1 ชุด การสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นลักษณะของของแข็งชุดเดียว ถูกสกัดโดยของเหลวที่ไหลผ่านเข้ามาอย่างต่อเนื่องได้ผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างต่อเนื่องด้วย สำหรับการสกัดแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอเป็นการสกัดที่ทั้งของแข็งและของเหลวได้สัมผัสกันอย่างต่อเนื่องให้ผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ

2.2.3 การสกัดแบบไหลซึมผ่าน (Percolation)

การสกัดแบบไหลซึมผ่านเป็นวิธีการสกัดที่ปล่อยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านชั้นของพืช

หรือของแข็งที่บรรจุ (pack) ไว้อย่างดีในเครื่องมือ ที่มีตะแกรงรูพรุนรองรับอยู่ สารละลายจะไหลออกมาตามรูพรุนของตะแกรง การปล่อยตัวทำละลายอาจใช้วิธีพ่นตัวทำละลายเป็นฝอย (spray) กระจายบนชั้นของพืชหรือแช่ตัวทำละลายให้ค่อย ๆ ซึมผ่านลงไปก็ได้ ส่วนใหญ่ที่นำมาสกัดด้วยวิธีนี้ จะถูกบดให้มีขนาดปานกลาง คือ 100 ถึง200 mesh ก่อนนำมาบรรจุลงในเครื่องมือ หลักการทำงานของวิธีการสกัดนี้สามารถเขียนแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (23)

แรงที่ใช้ในการดึงลง = น้ำหนักของตัวทำละลาย+น้ำหนักของพืช-แรงในท่อรูเข็ม (capillary force) เทคนิคการไหลซึมผ่านนี้ สามารถดัดแปลงการใช้งานได้หลายวิธี ได้แก่

2.2.3.1 <u>การไหลซึมผ่านโดยใช้แรงดัน</u> (pressure percolation) วิธีนี้จะใช้แรงดัน (pressure) เข้าช่วยในการไหลของตัวทำละลายผ่านชั้นของพืช มักจะใช้ในกรณีที่ตัวทำละลายระเหยง่าย หรือกรณีที่แรงต้านทานการไหลของของเหลวมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ลักษณะของเครื่องมือจะเป็นแบบปิด (closed vessel) ตัวทำละลายจะถูกสูบผ่านชั้นของพืช ลักษณะของเครื่องมือแบบนี้เรียกว่า diffuser นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับการทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายได้ด้วย และเมื่อนำเครื่อง diffuser มาเรียงต่อ ๆ กัน เป็นแถว ก็สามารถทำงานในลักษณะของการไหลแบบส่วนทางกัน ซึ่งเรียกว่า diffuser battery (24,25) ได้ โดยนำสารละลายสกัดที่ได้จาก diffuser เครื่องแรก ไปสกัดพืชใน diffuser ที่ 2 และต่อ ๆ ไป โดยที่ความเข้มข้นของตัวยาในสารละลายสกัดต้องไม่มากกว่า ความเข้มข้นของตัวยาในพืช diffuser แต่ละเครื่องใน battery จะมีการเปลี่ยนตำแหน่งกันในทำงาน เมื่อพืชใน diffuser ที่ 1 ถูกสกัดจนหมด diffuser ที่ 2 จะกลายเป็น diffuser แรก และเพิ่ม diffuser ใหม่ที่บรรจุพืชที่ยังไม่ผ่านการสกัด เข้ามาเป็น diffuser เครื่องสุดท้าย ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป

2.2.3.2 <u>การไหลซึมผ่านโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย</u> การทำงานเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (batch) เครื่องมือประกอบด้วย (21) เครื่องกลั่น, ส่วนชั้นของแข็งและเครื่องควบแน่น ตัวทำละลายจะถูกพ่นเป็นฝอย (spray) ผ่านชั้นของพืชไหลออกมายังเครื่องกลั่น และถูกทำให้เดือดด้วยขดท่อความร้อนที่ไอน้ำผ่าน ไอของตัวทำละลายจะผ่านไปยังเครื่องควบแน่นแล้วควบแน่นเป็นของเหลว ถูกส่งไปทำการสกัดใหม่ ส่วนสารละลายสกัดเข้มข้นจะถูกแยกออกนำไปใช้งานต่อไป

2.2.4 <u>การสกัดแบบจุ่มในสารละลาย</u> (Immersion)

การสกัดแบบจุ่มในสารละลายเป็นวิธีการสกัดที่ของแข็งและตัวทำละลายได้สัมผัสกัน

โดยตรง การสกัดวิธีนี้ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถใช้วิธีการไหลซึมผ่านได้ เนื่องจากพืชที่นำมาสกัดเมื่อบรรจุรวมกันจะให้คุณสมบัติที่ไม่ยอมให้ของเหลวซึมผ่าน (impermeable bed) ขนาดของพืชที่ใช้จะเล็กกว่าแบบไหลซึมผ่านคือ เล็กกว่า 200 mesh การแยกสารละลายสกัดออกจากพืชใช้บวนการปล่อยให้ตกตะกอน (settling) และขบวนการกรอง (filtration) เข้าช่วย การทำงานมี 2 ลักษณะ ดังนี้

2.2.4.1 การสกัดแบบย่อยสลาย (23) (Maceration) เป็นการสกัดที่ปล่อยให้สารที่มีฤทธิ์เป็นยาแพร่กระจาย (diffuse) ออกมาในสารละลายเอง โดยนำส่วนไพรที่บดละเอียดแล้วใส่ในภาชนะมีฝาปิดเติมตัวทำละลาย ปิดฝา และคนเป็นครั้งคราว ทิ้งไว้ 1-14 วัน แล้วแต่ชนิดของพืชที่นำมาสกัดและการใช้งาน วิธีนี้เหมาะสำหรับพืชที่มีตัวยาอยู่น้อยหรือพืชที่ไม่มีโครงสร้างเป็นช่อง ๆ (cellular structure)

2.2.4.2 การสกัดในถังกวน (Agitated Vessel) เป็นวิธีการสกัดแบบจุ่มในสารละลายโดยใช้การกวนเข้าช่วย ให้ตัวถูกละลายสัมผัสกับตัวทำละลายอย่างทั่วถึง การกวนทำได้ 2 ลักษณะ (21) คือ ใช้เครื่องมือทางกลศาสตร์ เช่น ใบพัด (paddle) และใช้แรงดันอากาศ (compressed air) บางกรณีสามารถใช้งานร่วมกับขดลวดความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ตัวทำละลายทำให้การสกัดเกิดได้ดียิ่งหลังจากที่การกวนสิ้นสุดลง สารละลายและสลัดจ์ (sludge) ซึ่งเป็นส่วนของพืชที่ปนอยู่กับของเหลว จะถูกส่งไปแยกจากกันโดยการตกตะกอนในเครื่องทำให้ข้น (thickener) และสลัดจ์จะถูกส่งไปกรอง (filtration) เพื่อแยกเอาของเหลวออกจากกากพืช โดยทั่วไปการกวนในถังจะกระทำกันเป็นครั้งคราวไม่ต่อเนื่อง ส่วนการตกตะกอนในเครื่องทำให้ข้น จะทำกันแบบต่อเนื่อง (continuous) โดยจัดเรียงแถวเครื่องทำให้ข้นแบบอนุกรม (batteries) และจัดให้มีการทำงานแบบส่วนทางกัน (countercurrent flow) ของตัวทำละลายและสลัดจ์

2.2.5 การสกัดอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน (Continuous Countercurrent Extraction)

วิธีการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกันหลายขั้นตอนเป็นกระบวนการล้างออกที่สำคัญที่สุด มีหลักการทำงาน คือ การนำเอาตัวทำละลายบริสุทธิ์มาสกัด วัตถุดิบที่ถูกสกัดมาแล้วหลายครั้งและใช้สารละลายสกัดที่ทำการสกัดมาหลายครั้งมีความเข้มข้นสูงมาสกัดวัตถุดิบบริสุทธิ์ วิธีนี้จะได้สารละลายสกัดที่มีความเข้มข้นของตัวยา (solute) สูงสุดและประหยัดมากที่สุด วัตถุดิบที่นำมา

สกัดจะถูกสกัดจนหมด ลักษณะการทำงานสามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การสกัดหลายขั้นตอนในเครื่องมือชุดเดียว (continuous contact fashion) และการสกัดหลายขั้นตอน โดยใช้เครื่องมือหลายหน่วย (stage-wise)

2.2.5.1 <u>การสกัดอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอนในเครื่องมือชุดเดียว</u> เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดได้รับการออกแบบให้มีการทำงานได้หลายขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง มีทั้งแบบที่ใช้เทคนิคการไหลซึมผ่านและใช้เทคนิคการสกัดในถังกวน เครื่องมือสกัดอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอนโดยใช้เทคนิคการไหลซึมผ่าน ได้แก่ Rottocel percolation extractor (22,24) การทำงานเป็นแบบไหลสวนทางกัน (countercurrent flow) เครื่อง Bollmann extractor (21,22) เป็นแบบไหลสวนทางกัน และไหลทางเดียวกัน (cocurrent flows) พืชที่เป็นวัตถุดิบจะถูกบรรจุไว้ในตะกร้า (basket) ที่เคลื่อนที่ได้โดยพืชที่ถูกสกัดแล้วหลายครั้งจะเคลื่อนเข้าหาตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่ถูกพ่นเป็นฝอยลงมา ส่วนพืชบริสุทธิ์ที่ยังไม่ถูกสกัดจะเคลื่อนที่เข้าหาสารสกัดที่ทำการสกัดมาหลายครั้งแล้ว สำหรับเครื่องมือสกัดหลายขั้นตอนที่ใช้เทคนิคการสกัดในถังกวน ได้แก่ Dorr thickener (21,22), Kennedy extractor (22) เป็นต้น

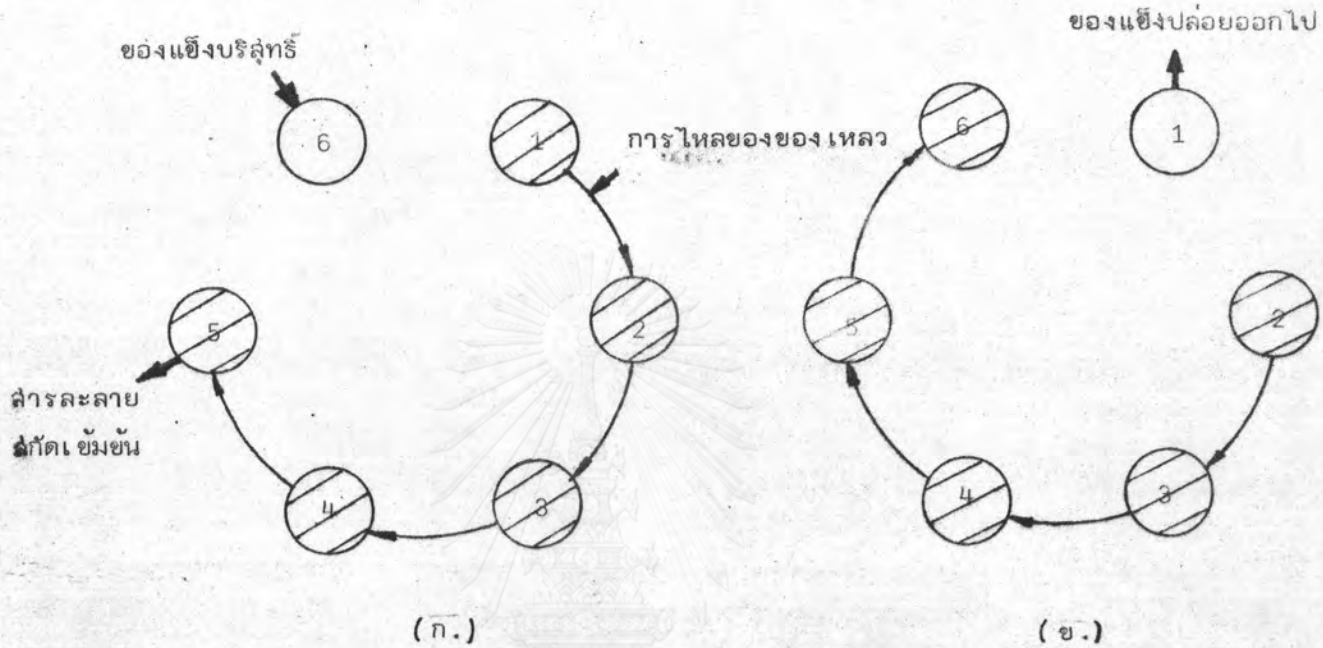
2.2.5.2 <u>การสกัดอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอนโดยใช้เครื่องมือหลายหน่วย</u> การทำงานใช้เครื่องมือหลายหน่วยนำมาเรียงต่อกัน (batteries) จัดให้มีการไหลของพืชและตัวทำละลายแบบสวนทางกัน พืชในระบบนี้จะอยู่ในรูปของ ของแข็งผสมของเหลวที่เรียกว่า สลัดจ์ (sludge) เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานลักษณะนี้ได้แก่ เครื่องทำให้ข้น (thickener) โดยตัวสารละลายจะไหลล้นออกทางส่วนบนและสลัดจ์จะตกตะกอนไหลออกทางส่วนล่างของเครื่องมือ

สำหรับการสกัดแบบไหลซึมผ่านและการสกัดในถังกวน ซึ่งมีปัญหาในการเคลื่อนย้ายพืชหรือวัตถุดิบให้ไหลในลักษณะสวนทางกับสารละลาย สามารถทำการสกัดได้โดยใช้หลักการทำงานของ shank system (22) ซึ่งเรียกว่า extraction battery วิธีนี้ไม่มีการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบจากขั้นตอนหนึ่งไปสู่อีกขั้นตอนหนึ่ง การไหลเข้าออกของเครื่องหน่วยใด ๆ จะเป็นไปโดยการไหลอย่างต่อเนื่องของตัวทำละลาย ราวกับว่ามันกำลังเคลื่อนที่จากขั้นตอนหนึ่งไปสู่อีกขั้นตอนหนึ่งในระบบการไหลสวนทางกัน หลักการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาระบบเป็นแบบวงกลมที่เวลาใด ๆ ในการสกัด ดูรูป 2.2 ก.ประกอบหน่วยที่ 6 จะว่างเปล่าไม่บรรจุอะไรเลย หน่วยที่ 1 ถึง 5 บรรจุวัตถุดิบไว้ โดยวัตถุดิบในหน่วยที่ 5

008871

ยังไม่ผ่านการสกัดเลย และวัตถุดิบในหน่วยที่ 1 ผ่านการสกัดมาแล้วหลายครั้ง สารละลายสกัดที่ได้จากหน่วยที่ 5 จะมีความเข้มข้นสูงสุดเพราะผ่านการสกัด วัตถุดิบบริสุทธิ์ จากนั้นทำการสกัดหน่วยที่ 1 ด้วย ตัวทำละลายบริสุทธิ์




รูปที่ 2.2 การสกัดแบบหลายขั้นตอน Shank system (22)

ส่งผ่าน (transfer) สารละลายสกัดจากหน่วย 4 ไปหน่วย 5, จากหน่วย 3 ไปหน่วย 4, หน่วย 2 ไปหน่วย 3 และจากหน่วย 1 ไปหน่วย 2 เติมวัตถุดิบบริสุทธิ์ลงในหน่วย 6 ดูรูป 2.2 ข. ประกอบ วัตถุดิบจากหน่วย 1 ถูกนำทิ้งไป ส่งผ่านสารละลายสกัดจากหน่วย 5 ไปหน่วย 6 จากหน่วย 4 ไปหน่วย 5, จากหน่วย 3 ไป หน่วย 4 และจากหน่วย 2 ไปหน่วย 3 เติมตัวทำละลายบริสุทธิ์ในหน่วย 2 ดำเนินการเช่นเดียวกับที่เริ่มต้น ในรูป 2.2 ก. โดยเลขที่ของหน่วยจะเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งเป็นเช่นนี้เรื่อยไป

การดำเนินงานจะเหมือนกับการดำเนินงานแบบไหลสวนทางกันหลายขั้นตอน โดยใช้วิธีการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง (batch simulation of a multistage conntercurrent operation) หลังจากการดำเนินงานในลักษณะนี้หลาย ๆ รอบ ความเข้มข้นของตัวยาในสารละลายสกัดและในวัตถุดิบในแต่ละหน่วย จะเป็นเช่นเดียวกับค่าที่ได้รับจากกระบวนการล้างออก

แบบไหลส่วนทางกันอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอน (continuous countercurrent multistage leaching) ที่ดำเนินการจริง การทำงานโดยจัดเรียงหน่วยของเครื่องมือเป็นแถว จะให้ผลดีกว่า และการจัดแถวให้มีความสูงเหลื่อมกันของเหลวจะไหลจากหน่วยสู่หน่วยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก อาศัยแรงจากเครื่องสูบน้อยลง

2.2.5.3 <u>การคำนวณหาจำนวนขั้นตอน (stage)</u>

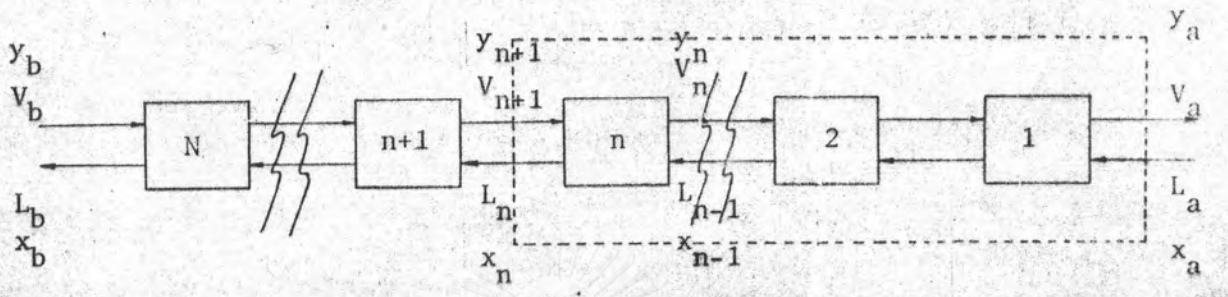
การคำนวณหาจำนวนขั้นตอน (stage) ทำได้ 2 วิธี คือ การใช้สูตรคำนวณและการใช้กราฟอย่างไรก็ตาม การคำนวณทั้งสองวิธีนี้จำเป็นต้องพิจารณาส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของการทำงานในแต่ละขั้นตอน (stage efficiency) และภาวะสมดุล (equilibrium)

พิจารณาการทำงานแบบเป็นครั้งคราวไม่ต่อเนื่อง ถ้าพืชถูกสกัดด้วยตัวทำละลายที่มากพอที่จะละลายตัวถูกละลายหรือตัวยาทั้งหมดได้ และไม่มีการดูดซับ (adsorption) ตัวยาและตัวทำละลายโดยพืช ถ้าให้เวลาในการสกัดนานพอ ตัวยาทั้งหมดจะละลายอยู่ในตัวทำละลายภายในพืชและของเหลวในสุดจะถูกแยกจากกันด้วยวิธีการปล่อยให้ตกตะกอน (settling) การกรอง (filtration) หรือการบีบน้ำออก การดำเนินงานทั้งหมดเกิดขึ้นในขั้นตอนเดียว ถ้าการแยกด้วยเครื่องมือทางกลศาสตร์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ การสกัดจะถูกทำให้สมบูรณ์ได้ด้วยการทำงานเพียงขั้นตอนเดียว การทำงานในขั้นตอนนี้เรียกว่า การทำงานในภาวะสมดุล (equilibrium stage) มีประสิทธิภาพการทำงานร้อยละ 100 แต่ในการทำงานจริงประสิทธิภาพการทำงานจะต่ำกว่านี้เพราะ เวลาอาจไม่พอที่จะทำให้ตัวยาละลายออกมาจนหมดและการแยกสารละลายสกัดออกจากพืชไม่สามารถกระทำได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ พืชหรือยองแข็งมักจะดูดซับเอาตัวยาและตัวทำละลายเอาไว้ ด้วยเหตุผลเหล่านี้เองที่ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานจริง ๆ ลดลง ดังนั้นในการดำเนินงานจริงที่ต้องการให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานสูง จึงต้องประกอบด้วยการทำงานหลายขั้นตอน และวิธีการที่ดีที่สุดก็คือ การสกัดแบบไหลส่วนทางกัน การคำนวณจำนวนขั้นตอนที่ใช้นั้น เราจะพิจารณาว่า การสกัดแต่ละขั้นตอน เป็นการสกัดในภาวะสมดุล และให้ความเข้มข้นของสารละลายสกัดที่ถูกดูดซับโดยพืชในแต่ละขั้นตอน มีค่าเท่ากับความเข้มข้นของสารละลายสกัดในขั้นตอนนั้น ๆ ความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$y^* = mx_a + B \quad \text{---------- (2.4)}$$

m และ B คือค่าคงที่




รูปที่ 2.3 การสกัดแบบส่วนทางกัน (26)

$V_i$ = ของเหลวไหลผ่านแต่ละขั้นตอน

$L_i$ = วัตถุดิบไหลผ่านแต่ละขั้นตอน

N = จำนวนขั้นตอน

ให้ วัตถุดิบที่ไม่มีตัวถูกละลายไม่ละลายในตัวทำละลาย

$x_a$ = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัตถุดิบบริสุทธิ์

$x_b$ = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัตถุดิบที่ออกจากระบบ

$y_b$ = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายบริสุทธิ์

$y_a$ = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่ออกจากระบบ

$y^*$ = ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่สภาวะสมดุล

2. สภาวะในการทำงาน (operating condition) (26)

ค่าสภาวะในการทำงานสามารถนำมาสร้างเส้นกราฟที่แสดงสภาวะในการทำงาน (operating line) ได้ โดยการทำมวลสารสมดุล (material balance) รอบเส้นประใน รูปที่ 2.3

สำหรับสารละลายทั้งหมด $V_{n+1} + L_a = V_a + L_n$ -----(2.5)

สำหรับตัวถูกละลาย $V_{n+1}y_{n+1} + L_a x_a = L_n x_n + V_a y_a$ -----(2.6)

จากสมการ (2.4) และ (2.5) ได้

$$y_{n+1} = \frac{1}{1+(V_a - L_a)/L_n} x_n + \frac{V_a y_a - L_a x_a}{L_n + V_a - L_a} \quad \text{----(2.7)}$$

สมการ (2.7) คือ สมการสภาวะการทำงาน (operating line) ซึ่งจะผ่านจุด $(x_a, y_a)$ และ $(x_b, y_b)$

ในการคำนวณหาจำนวนขั้นตอน สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่งได้แก่ ปริมาณสารละลายสกัดที่ถูกดูดซับโดยวัตถุดิบว่ามีค่าคงที่หรือมีค่าเปลี่ยนแปรตามความเข้มข้นของสารละลายสกัด (constant or variable underflow) การสกัดตัวยาจากพืช เนื่องจากความเข้มข้นของตัวยามีอยู่จำนวนน้อยเราจะประมาณว่า ปริมาณสารละลายสกัดที่ถูกดูดซับโดยพืชมีค่าคงที่ ดังนั้นค่า $L_n$ = คงที่ และเส้นกราฟสภาวะการทำงานจะเป็นเส้นตรง

การคำนวณหาจำนวนขั้นตอนอุดมคติ (number of ideal stages) สามารถคำนวณได้จากสมการของ McCabe-Thiele (26)

$$N = \frac{\log\left[(y_b - y_b^*)/(y_a - y_a^*)\right]}{\log\left[(y_b - y_a)/(y_b^* - y_a^*)\right]} \quad \text{----- (2.8)}$$

$y_a^* = x_a$, $y_b^* = x_b$;

$$N = \frac{\log\left[(y_b - x_b)/(y_a - x_a)\right]}{\log\left[(y_b - y_a)/(x_b - x_a)\right]}, \quad \text{----- (2.9)}$$

จากสมการที่ 2.8 จำนวนขั้นตอนทางทฤษฎีจริง ๆ จะมีค่าเท่ากับ N + 1 ทั้งนี้เพราะในการคำนวณของ McCabe-Thiele มิได้รวมขั้นตอนแรกไว้ ด้วยเหตุผลที่ว่าฟีดที่เข้าสู่ขั้นตอนนี้ไม่มีตัวทำละลายรวมอยู่ด้วย สำหรับการคำนวณด้วยกราฟ ทำได้โดยการเขียนเส้นกราฟที่สภาวะสมดุลและที่สภาวะการทำงานในแกนร่วมเดียวกัน แล้วลากเส้นต่อระหว่างกราฟทั้งสอง (22, 25, 26)

2.2.6 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกตัวทำละลาย

การเลือกใช้ตัวทำละลายในการสกัดตัวยาจากสมุนไพร มีปัจจัยที่สำคัญดังนี้

1. ความสามารถในการละลายสารที่มีสมบัติเป็นยา

2. ความปลอดภัย ต้องไม่เป็นพิษและไม่เป็นอันตราย เช่น ไม่ติดไฟง่าย ไม่ระเบิดง่าย

3. ราคา ตัวทำละลายที่ใช้ไม่ควรมีราคาแพงเกินไป ที่สำคัญควรเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศ

4. ความสะดวกและความปลอดภัยในการแปรรูปสารละลายสกัดที่ได้ โดยทั่วไปสารละลายสกัดจากสมุนไพรจะได้รับการแปรรูปก่อนนำไปใช้ เช่น ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้แห้งเป็นผง แล้วนำไปบรรจุแคปซูล (capsule) หรืออัดเป็นเม็ดยาต่อไป ในขบวนการเหล่านี้ต้องใช้ความร้อนเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจึงควรเลือกตัวทำละลายที่สามารถทนต่อความร้อนได้ ไม่เกิดอันตรายเมื่อได้รับความร้อนและสะดวกในการทำให้แห้ง

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

การค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับเซนโนไซด์ และมะขามแขกได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในอดีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในต่างประเทศ มีการศึกษาเรื่องนี้เป็นจำนวนมาก ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะที่สำคัญเท่านั้น

- การศึกษาเรื่องคุณสมบัติในการละลายของเซนโนไซด์

ปี ค.ศ. 1972 ที่ประเทศอียิปต์ Khafagy, Girgis, Khayyal และ Helmi (17) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการสกัดสารเซนโนไซด์ จากใบมะขามแขก โดยใช้ตัวทำละลาย 4 ชนิด คลอโรฟอร์ม, น้ำ, เอทธานอล ร้อยละ 70 และ

เมทรานอล ร้อยละ 70 โดยน้ำหนักด้วยวิธีการเขย่าใน glass stopper centrifuge Tube พบว่า เมทรานอล ร้อยละ 70 เป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด

ปี ค.ศ. 1975 ที่ประเทศอินเดีย Gupta, Rao และ Vishwapaul (27) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการสกัด เซนโนไซด์จากใบและฝักมะขามแขก ของสารละลายเอทรานอล และเมทรานอล ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยวิธีการย่อยสลาย (maceration)และวิธีการเขย่าในหลอดแก้วของ Stoll พบว่า สารละลายเอทรานอล ร้อยละ 70 โดยน้ำหนักสกัดเซนโนไซด์ได้ดีที่สุด คือประมาณร้อยละ 85 ถึง 90 โดยน้ำหนัก

ปี ค.ศ. 1979 ที่ประเทศญี่ปุ่น Hayashi และคณะ (19) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการสกัด เซนโนไซด์ เอ และ บี (sennoside A and B) จากใบมะขามแขกของตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ, phosphate buffer ที่มีค่า pH 6.5 และเมทรานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนักด้วยวิธีการเขย่า (shaking) และใช้เครื่องกลั่นแบบย้อนกลับ (reflux) พบว่า น้ำและ phosphate buffer pH 6.5 สามารถสกัดเซนโนไซด์ เอ และ บี ออกมาได้มากกว่า เมทรานอลความเข้มข้น ร้อยละ 70 โดยให้ผลร้อยละ 80 ถึง 100 โดยน้ำหนัก

- <u>การศึกษาการแยกเซนโนไซด์ในรูปผลึก</u>

ปี ค.ศ. 1949 ที่ประเทศเยอรมัน Stoll, Becker และ Kussmaul (28) ได้ทดลองสกัดเซนโนไซด์ เอ และ บี จากใบมะขามแขกด้วยตัวทำละลายผสม ethanolic chloroform ทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน (in vacuo) ที่อุณหภูมิ 30° ซ. ได้เซนโนไซด์ เอ ตกผลึกออกมานำของเหลวที่เหลือเติม methanolic solution of $CaCl_2$ จะได้ผลึกเกลือแคลเซียมของเซนโนไซด์ บี

ปี ค.ศ. 1969 Alfthan และ Martti (29) ได้ทดลองใช้เมทรานอล สกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขกแล้วปล่อยให้ตกผลึกใน เมทรานอล ที่มี แคลเซียมซาลิไซเลต (calcium salicylate) หรือแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)และกรดซาลิไซลิค (salicylic acid) ละลายอยู่จะได้เกลือแคลเซียม เซนโนไซด์ออกมา

ปี ค.ศ. 1972 ที่ประเทศญี่ปุ่น Hazama และคณะ (30) ได้ทดลองสกัดเซนโนไซด์

จากใบมะขามแยกโดยใช้ tertiary ammonium salt เป็นตัวทำละลาย สกัดและแยกเซนโนไซด์ออกมาด้วยวิธี column chromatography ได้ เกลือแคลเซียมของเซนโนไซด์ เอ และ บี ออกมา

ปี ค.ศ. 1975 ที่ประเทศญี่ปุ่น Nishimura และ Narba (31) ทดลองสกัดเซนโนไซด์จากใบและฝักมะขามแยกด้วย เมทธานอล ที่เป็นกรด ทำให้ตกตะกอนด้วยแคลเซี่ยมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และสารละลายผสมเมทธานอลและแอมโมเนีย ได้ผลึกของแคลเซียมเซนโนไซด์ เอ และแคลเซียมเซนโนไซด์ บี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ทำการทดลอง เช่นเดียวกับ Nishimura โดยทำการสกัดแบบไหลซึมผ่าน ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ผลึกของแคลเซียมเซนโนไซด์ที่ได้มีสีน้ำตาลแดง ไม่ดูดความชื้นและให้ประสิทธิภาพทางยาสูง

ปี ค.ศ. 1978 Gabriel และคณะ (32) ได้ทำการสกัดมะขามแยกที่บดละเอียดด้วยน้ำ ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ร้อยละ 0.25 ในอัตราส่วนของน้ำต่อมะขามแยก เท่ากับ 10 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้สารละลายเป็นกรด pH 3.5 ด้วยกรดอาซีติค (AcOH) แล้วสกัดต่อด้วย บิวทานอล (BuOH) นำไประเหยในเครื่องกลั่นแบบลดความดัน ( in vacuo) ที่อุณหภูมิ 50° ซ นำไปเข้าห้องเย็นอุณหภูมิ 4° ซ. จะได้ของแข็งที่มีเซนโนไซด์อยู่ถึงร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก

2.4 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้งหมายถึง การแยกเอาน้ำหรือของเหลวชนิดอื่นที่ระเหยได้ ออกจากสารประกอบซึ่งอาจเป็น ของแข็ง, กึ่งของแข็ง (paste) หรือสารละลาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นหรือของเหลวในระดับที่ยอมรับได้ (33)

การอบแห้งประกอบด้วย กระบวนการถ่ายเทความร้อนเพื่อทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะ และกระบวนการถ่ายเทมวลสารของของเหลวและไอ

กลไกในการถ่ายเทความร้อน (mechanism of heat transfer) ประกอบด้วย

1. การพาความร้อน (convection) จากก๊าซร้อนมายังสาร

2. การนำความร้อน (conduction) จากผิวของสารประกอบที่ร้อนเข้าไปในเนื้อของสารประกอบ

3. การแผ่รังสีความร้อน (radiation) จากก๊าซร้อน จากผนังหรือแผ่นความร้อนไปยังสารประกอบนั้น หรือสารประกอบมองเห็นแหล่งกำเนิดความร้อน

2.4.1 ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibruim Moisture Content) (22)

ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในสารประกอบ ซึ่งอาจเป็นน้ำหรือสารประกอบที่เป็นของเหลว จะให้ค่าความดันไอ (vapor pressure) ออกมาค่าหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของความชื้นและอุณหภูมิของสารประกอบนั้น และถ้าให้ก๊าซซึ่งมีค่าความดันย่อย (partial pressure) อยู่ค่าหนึ่งเข้นกันไหลผ่านสารประกอบนั้น อย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิและค่าความชื้น (humidity) คงที่ จะเกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างสารประกอบและก๊าซ โดยการระเหยหรือการดูดซึม (absorption) จนกระทั่งความดันไอของสารประกอบมีค่าเท่ากับความดันย่อยของก๊าซ เราเรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะสมดุลของก๊าซและสารประกอบ และเรียกปริมาณความชื้นของสารประกอบที่สภาวะนั้นว่า ปริมาณความชื้นสมดุล สภาวะสมดุลนี้ไม่ขึ้นกับอัตราการอบแห้ง หรือวิธีการอบแห้ง แต่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการรับความชื้นของสารประกอบนั้น ๆ (33)

2.4.2 Hysteresis (22)

สารประกอบที่เป็นของแข็งบางชนิดจะแสดงลักษณะความชื้นสมดุล (equilibrium moisture characteristics) แตกต่างจากสารประกอบอื่น ขึ้นอยู่กับการเข้าสู่สภาวะสมดุลว่า เกิดจากการดูดซับ (adsorption) หรือการคายความชื้น (desorption) เมื่อนำสารประกอบนี้ไปอบแห้งจะเกิดสมดุลการคายความชื้น (desorption equilibrium) และถ้านำสารประกอบที่แห้งไปวางทิ้งไว้ในอากาศซึ่งมีปริมาณความชื้นสูงกว่าจะเกิดสมดุลการดูดซับ (adsorption equilibrium) การเกิดสมดุลทั้ง 2 ชนิด เรียกว่า ปรากฏการณ์ hysteresis สารประกอบพวกนี้ได้แก่ สารที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนหรือมีช่องเปิดเป็นหลอดยาว (capillaries) เช่น ยางไม้ (gum) เป็นต้น โดยปกติการอบแห้งสารประกอบพวกนี้จะไม่ค่อยทำกัน แต่ถ้าจำเป็นควรเก็บสารที่อบแห้งแล้วในภาชนะที่มีความชื้นต่ำกว่า และปิดไว้อย่างดี

2.4.3 วิธีดำเนินการอบแห้ง (Drying Operation) (22)

วิธีดำเนินการอบแห้งสามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบไม่ต่อเนื่อง

(batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous) การอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง ในทางปฏิบัติก็คือ กระบวนการกึ่งต่อเนื่อง (semibatch process) มีการให้ความร้อนแก่สารอย่างต่อเนื่อง ภายใต้สภาวะการทำงานแบบไม่สม่ำเสมอ (unsteady state) เมื่อสารนั้นแห้งแล้ว จะถูกนำออกจากเครื่อง เริ่มกระบวนการใหม่เมื่อใส่สารชุดใหม่เข้าเครื่องอบ ส่วนการอบแห้งแบบต่อเนื่อง มีการทำงานอย่างสม่ำเสมอ (steady state) ของการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ มีการป้อนวัตถุดิบเข้าและได้ผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ

การแบ่งชนิดของการอบแห้งอาจพิจารณาได้อีกลักษณะหนึ่งจากวิธีการใช้ความร้อนในการระเหยน้ำหรือของเหลว ซึ่งแยกได้ 2 วิธีได้แก่ การให้ความร้อน โดยตรง (direct heat) และการให้ความร้อนผ่านตัวกลาง (indirect heat) วิธีแรก แหล่งความร้อนเช่นก๊าซร้อนจะสัมผัสโดยตรงกับสาร ส่วนวิธีหลัง ความร้อนจะถูกส่งผ่านตัวกลางมายังสาร เช่น การนำความร้อนผ่านผนังโลหะมายังสาร หรือการแผ่รังสีความร้อนผ่านอากาศ เป็นต้น

2.4.4 <u>การอบแห้งสารละลายสกัด</u>

สารละลายสกัดที่ได้จากการสกัดสมุนไพรบางชนิด เช่น สารละลายสกัดจากมะขามแขก, สารละลายสกัดจากพืชรู้ไม้พวกมะเขือพวง (belladonna) เป็นต้น มีคุณสมบัติที่ไม่ทนต่อความร้อน เนื่องจากตัวยาที่สกัดได้ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ดังนั้นในการอบแห้งสารละลายสกัดจากสมุนไพรเหล่านี้ จึงต้องพิจารณาเลือกใช้เครื่องอบแห้งที่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีพอ

เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ใช้อบแห้งสารละลายสกัด ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีด กระจายให้เป็นผงแห้ง (spray dryer) และเครื่องอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้อบแห้งสารละลายสกัด ได้แก่ เครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง (freeze dryer)

2.4.5 <u>เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง</u> (Spray Dryer)

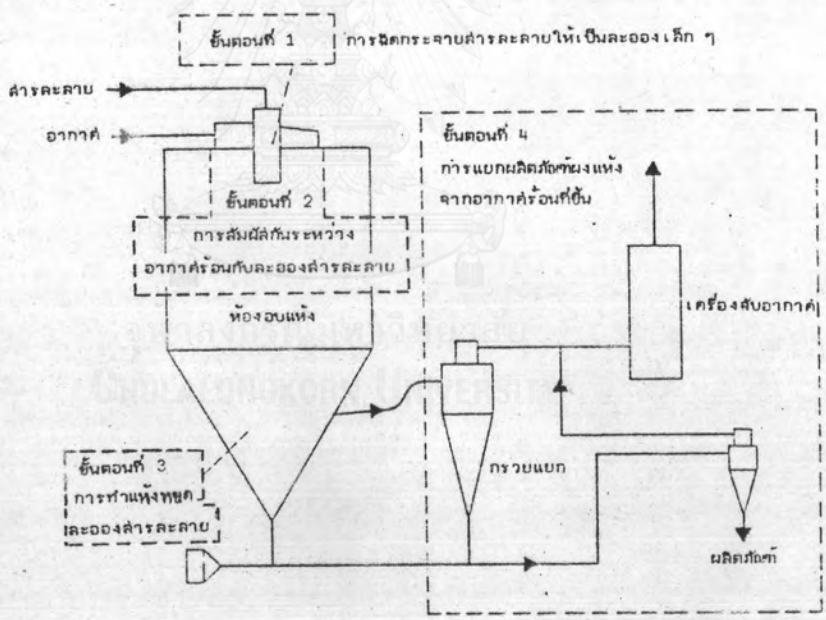
เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้สำหรับทำแห้งสารละลาย, สารละลายเข้มข้น (slurries) และสารละลายเข้มข้นกึ่งของแข็ง (paste) โดยให้สารละลายผ่านหัวฉีด กระจายเป็นละอองเล็ก ๆ ในกระแสอากาศร้อนที่ไหลผ่านเครื่องอบแห้ง หยดสารละลายจะระเหยอย่างรวดเร็วและแห้งก่อนถึงผนังเครื่องอบแห้ง และตกลงสู่ส่วนล่างของเครื่องอบ ซึ่งมีรูปร่างเป็นกรวย (conical bottom) ออกไปตามท่อเข้าเครื่อง

แยก (separator) แยกผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศชื้น

2.4.5.1 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง

การอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง ประกอบด้วยการทำงานที่สำคัญ 4 ขั้นตอน (34) (ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ) คือ

1. การฉีดกระจายสารละลายให้เป็นละอองเล็ก ๆ
2. การสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนกับละอองสารละลาย
3. การทำแห้งหยดละอองสารละลาย
4. การแยกผลิตภัณฑ์ผงแห้งจากอากาศร้อนที่ชื้น




รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง (34)

1. การฉีดกระจายสารละลายให้เป็นละอองเล็ก ๆ (atomization) (21,34,35) เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก สุดประสงค์เพื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวกับมวล ทำให้อัตราการระเหยของสารละลายสูงขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่มีคุณลักษณะเฉพาะตามต้องการ ส่วนประกอบสำคัญ

ของขั้นตอนนี้คือ เครื่องฉีด (atomizer) ซึ่งมีลักษณะต่างกันหลายชนิดที่สำคัญได้แก่

ก. เครื่องฉีดแบบหัวฉีดแรงดัน (pressure nozzles) เครื่องฉีดนี้เป็นชนิดหัวฉีด (nozzle) ใช้พลังงานแรงดันในการฉีดกระจายสารละลายให้เป็นละออง โดยสูบสารละลายด้วยแรงดันสูงผ่านท่อเล็ก ๆ (orifice) สารละลายจะหมุนอยู่ภายในหัวฉีดและถูกดันออกจากท่อเล็ก ๆ ในรูปของฟิลม์ที่มีความเร็วสูง แตกตัวออกเป็นละอองเล็ก ๆ เครื่องฉีดแบบนี้ให้อัตราการป้อนสารละลายไม่ค่อยสม่ำเสมอ หยดสารละลายมีขนาดใหญ่กว่าแบบอื่นคือ ประมาณ 120-125 ไมครอน เหมาะสำหรับใช้งานกับสารละลายที่มีค่าความหนืด (viscosity) ต่ำ

ข. เครื่องฉีดแบบหัวฉีดของไหลสองชนิด (two-fluid nozzles) หลักการทำงานคือ การใช้กระแสอากาศความเร็วสูงทำให้สารละลายแตกออกเป็นละอองเล็ก ๆ โดยให้สารละลายและอากาศไหลผ่านหัวฉีด ของไหลทั้งสองจะปะทะกัน แรงดันของอากาศจะทำให้สารละลายแตกตัวออก ละอองสารละลายที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน

ค. เครื่องฉีดแบบหมุน (rotary atomizers) ใช้พลังงานจากการเหวี่ยงทำให้สารละลายแตกตัวออก โดยให้สารละลายไหลเข้าตรงจุดศูนย์กลางของจาน (disc) ซึ่งกำลังหมุน สารละลายจะถูกเหวี่ยงไปยังบริเวณขอบของจานด้วยความเร่งและแตกออกเป็นละอองเล็ก ๆ หลุดออกจากขอบจาน จานที่ใช้มีหลายแบบ เช่น รูปถ้วยหรือใบพัด เป็นต้น ขนาดของละอองสารละลายประมาณ 20-120 ไมครอน เหมาะสำหรับใช้กับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง

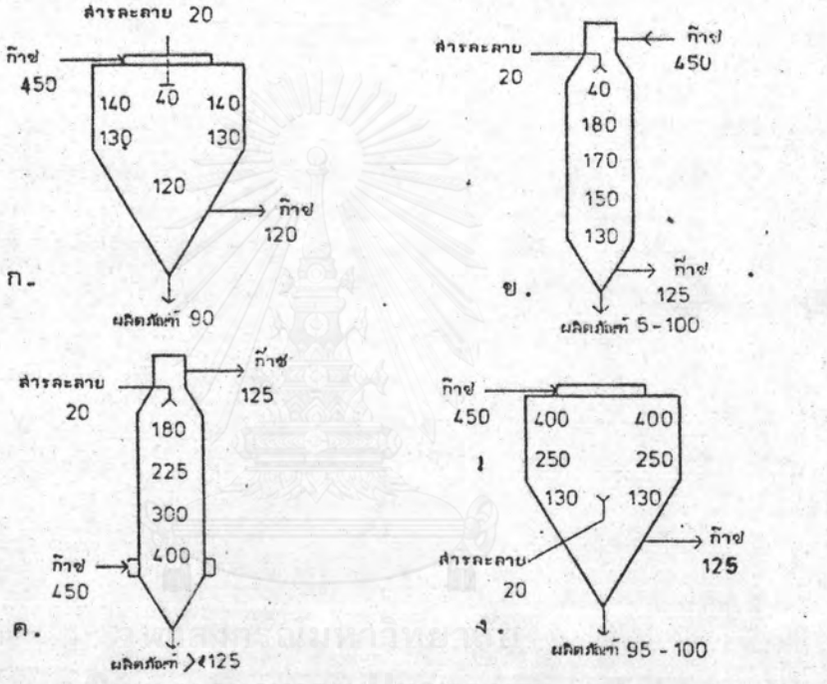
2. การสัมผัสระหว่างอากาศร้อนกับสารละลาย แบ่งตามลักษณะการไหลและผสมกันได้ 3 แบบ (33) ได้แก่

ก. การไหลไปทางเดียวกัน (cocurrent flow) สารละลายและอากาศร้อนไหลเข้าทางเดียวกัน (ดูรูป 2.5 ก., 2.5 ข.ประกอบ) วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่ไวต่อความร้อน เช่น สารละลายสกัดจากสมุนไพร, นม; กาแฟ เป็นต้น การระเหยเกิดขึ้นเร็วและใช้เวลาสั้นมาก อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก การไหลแบบนี้ใช้ได้กับเครื่องฉีดทั้ง 3 แบบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำ (low bulk density)

ข. การไหลสวนทางกัน (countercurrent flow) สารละลายและอากาศร้อนไหลเข้าในทิศทางตรงข้ามกัน (ดูรูป 2.5 ค. ประกอบ) วิธีนี้ความร้อนจะถูกนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด ไม่เหมาะกับสารละลายที่ไวต่อความร้อน ใช้ได้กับเครื่องฉีดที่มีหัวฉีดเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้

มีค่าความหนาแน่นรวมสูง (high bulk density)

ค. การไหลแบบผสมกัน (mixed flow) สารละลายและอากาศร้อนจะไหลไปทางเดียวกันและส่วนทางกันพร้อม ๆ กัน (ดูรูป 2.5 ง. ประกอบ) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะมีขนาดใหญ่




รูปที่ 2.5 การกระจายของอุณหภูมิ ในการสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและสารละลาย

ก. การไหลไปทางเดียวกันโดยใช้เครื่องฉีดแบบหมุน

ข. การไหลไปทางเดียวกันโดยใช้เครื่องฉีดแบบหัวฉีด

ค. การไหลส่วนทางกันโดยใช้เครื่องฉีดแบบหัวฉีด

ง. การไหลแบบผสมกัน โดยใช้เครื่องฉีดแบบหัวฉีด

การเลือกใช้ลักษณะการไหลและผสมกันของอากาศร้อนกับสารละลายขึ้นอยู่กับ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการ เช่น ขนาด, ค่าความหนาแน่นและที่สำคัญคือ อุณหภูมิที่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ได้โดยไม่ทำให้คุณภาพสูญเสียไป

อากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องอบแห้งได้จากเครื่องทำความร้อน 2 แบบ คือ แบบทำความร้อนโดยตรง และโดยอ้อม, แบบแรกได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้ก๊าซร้อนนำไปใช้โดยตรง หรือเป็นขดลวดความร้อนไฟฟ้า ให้ความร้อนแก่เครื่องอบ แบบนี้มีข้อดีที่มีการสูญเสียความร้อนน้อย ส่วนแบบหลังได้จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องทำความร้อน ซึ่งอาจผลิตความร้อนจากไอน้ำ หรือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก็ได้ แบบนี้ได้อากาศร้อนที่สะอาดกว่าแบบแรก ไม่มีอันตรายและสะดวกในการใช้งาน

3. การทำแห้งหยดละอองสารละลาย เมื่อหยดสารละลายสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการระเหยที่ผิวของหยดสารละลายเกิดเป็นแผ่นไอน้ำอิ่มตัว มีอุณหภูมิประมาณเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulb temperature) ของอากาศร้อน การระเหยของหยดสารละลายเกิดเป็น 2 ขั้นตอน คืออัตราการระเหยคงที่และไม่คงที่ ขั้นตอนแรก ความชื้นภายในหยดสารละลายมีอยู่มากพอที่จะแพร่กระจายไปที่ผิวจนอิ่มตัว อัตราการระเหยที่ผิวจึงคงที่ ในขั้นตอนที่ 2 เมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำลงกว่าสภาวะอิ่มตัว จะเข้าสู่จุดวิกฤต (critical point) ผิวของหยดสารละลายเริ่มแห้ง อัตราการระเหยในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายความชื้น ผ่านผิวนอกที่แห้ง ความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะมากขึ้นตามเวลา อัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง

เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายของส่วนที่แห้งของสารละลายกลับเข้าสู่ภายในหยดสารละลายเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่กระจายของความชื้นออกสู่ผิว ปริมาณของแข็งที่แห้งส่วนใหญ่จึงสะสมอยู่ที่ผิว ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกรวงและรูพรุน

การคำนวณหาอัตราการทำแห้งหยดสารละลายและปริมาณความร้อนที่ใช้ จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (25,34)

4. การแยกผลิตภัณฑ์ผงแห้งจากอากาศร้อน (34, 35, 36) มี 2 วิธี ได้แก่

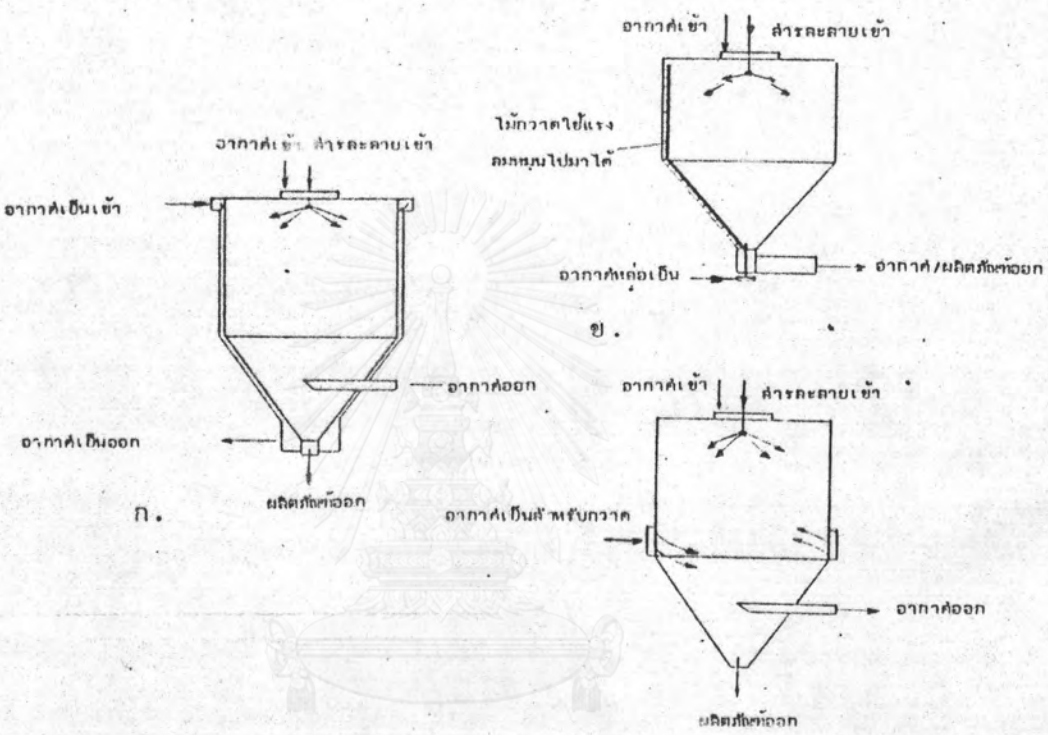
ก. การแยกภายในเครื่องอบแห้ง เป็นการแยกผลิตภัณฑ์โดยส่วนใหญ่ออกจากอากาศร้อน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กจะไหลออกจากเครื่องพร้อมกับอากาศและถูกแยกจากกันอีกครั้งด้วย เครื่องเก็บอนุภาคแบบลมหมุน (cyclone collector), เครื่องกรองแบบถุง (bag filter) หรือเครื่องจับอนุภาคแบบเปียก (wet scrubber) การแยกภายในเครื่องอบใช้หลักแรงโน้มถ่วงโลก หรือใช้เครื่องมือกลต่างๆเข้าช่วย เช่น สายพาน (conveyor), คราดหรือไม้กวาดติดตั้งบริเวณส่วนล่างของเครื่อง หรือใช้อากาศเป็นแปรง

(air brush) เป่าผลิตภัณฑ์ ออกจากเครื่อง

ข. การแยกภายนอกเครื่องอบแห้ง ผลิตภัณฑ์และอากาศจะไหลออกจากเครื่องอบพร้อมกัน มาทำการแยกภายนอกด้วยเครื่องเก็บอนุภาคแบบลมหมุน หรือเครื่องกรองแบบถุง เป็นต้น

2.4.5.2 <u>เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้งและระบบหล่อเย็น</u> (34)

สารละลายสกัดจากสมุนไพรที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จะมีสารประกอบพวกยางไม้ (gum) ละลายปนอยู่ด้วย สารประกอบพวกนี้มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดี (hygroscopic) เมื่อนำสารละลายสกัดมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง จะทำให้เกิดปัญหาในการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ติดตามผนังเครื่อง ทำให้ผลิตภัณฑ์ใช้เวลาอยู่ในเครื่องนานเกินไป สารที่เป็นยาในผลิตภัณฑ์จึงถูกความร้อนทำลายไป การแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดยการเพิ่มระบบหล่อเย็นที่ผนังเครื่อง ทำให้อุณหภูมิที่ผนังเครื่องอบไม่สูงเกินไป รายละเอียดของเครื่องมือดังกล่าวแล้วดังในรูปที่ 2.6 โดยตัวห้องอบเป็นรูปกรวย (conical) มีอากาศเป็นไหลผ่านบริเวณผนังเครื่อง การสัมผัสระหว่างอากาศร้อนกับสารละลายเป็นแบบไหลไปทางเดียวกัน การแยกผลิตภัณฑ์จากอากาศชื้น จะกระทำภายนอกเครื่องอบเพื่อให้เวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในเครื่องอบน้อยที่สุด เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง และระบบหล่อเย็นจึงเหมาะสำหรับการทำแห้งสารละลายสกัดจากสมุนไพรที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย




รูปที่ 2.6 ห้องอบแห้งผนังหล่อเย็น (34)

ก. แบบผนัง 2 ชั้น โดยให้อากาศเย็นไหลระหว่างผนังทั้ง 2

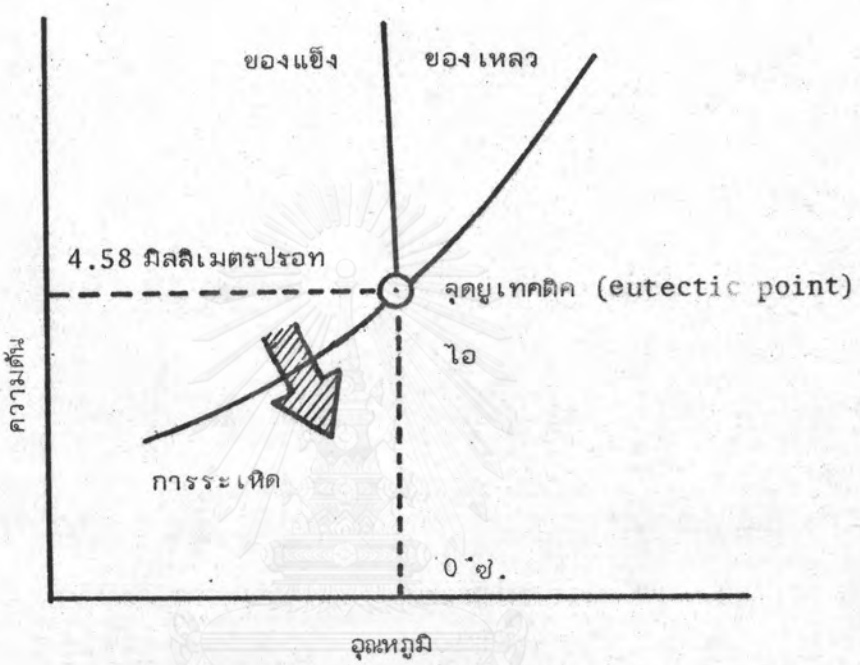
ข. แบบไม้กวาดใช้แรงลมกวาดไปรอบ ๆ ผนังอบแห้ง

ค. แบบใช้อากาศเป่าในแนวสัมผัสกับผนังห้องอบแห้ง

2.4.6 <u>เครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง</u> (Freeze Dryer)

การอบแห้งในสภาพเยือกแข็งทำงานโดยอาศัยหลักการระเหิด (sublimation) ของน้ำจากสภาพน้ำแข็งเป็นไอน้ำ สารละลายที่ต้องการทำแห้งจะถูกนำไปทำให้อยู่ในสภาพเยือกแข็ง

(frozen) กล่าวคือ น้ำภายในสารละลายจะอยู่ในสภาพน้ำแข็งและถูกถ่ายเทออกไปในรูปของไอน้ำ โดยไม่ผ่านการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีค่าความดันไอ (vapour pressure) และอุณหภูมิของผิวน้ำแข็งที่เกิดการระเหิดอยู่ต่ำกว่าจุด ยูเทคนิค (eutectic point) (ดูรูป 2.7 ประกอบ)




รูปที่ 2.7 แผนภาพย่องน้ำแสดงการเกิดกระบวนการระเหิด (37)

กระบวนการอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง ประกอบด้วย

1. การทำสารละลายให้เป็นของเยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ - 10 °ซ. หรือต่ำกว่านี้ ซึ่งสามารถทำให้เยือกแข็งได้ทั้งภายในและภายนอกเครื่องอบแห้ง

2. การให้ความร้อนแก่ของเยือกแข็ง ความร้อนส่วนนี้คือความร้อนที่ใช้ในการระเหิดไอน้ำจากของเยือกแข็ง มีค่าเท่ากับค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (latent heat of fusion) รวมกับค่าความร้อนของของเหลว (sensible heat of liquid) และค่าความร้อนแฝงของการระเหย (latent heat of evaporation)

การให้ความร้อนแก่ของเยือกแข็ง เป็นกระบวนการที่สำคัญมาก เพราะต้องระมัดระวังมิให้ความร้อนสูงเกินไป จนทำให้น้ำแข็งละลาย และไม่ต่ำเกินไปจนอัตราการระเหิดเกิดได้ช้า การให้ความร้อนนี้ทำได้หลายวิธี เช่น การนำความร้อนโดยการสัมผัสกับผิวความร้อน, การแผ่รังสีความร้อน, การใช้รังสี ไมโครเวฟ (microwaves) หรือโดยการใช้ก๊าซที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เช่น ฮีเลียม วิธีหลังนี้ทำงานโดย ควบคุม อุณหภูมิ, ความดันและเวลาในการไหลผ่านวัตถุดิบของก๊าซ เพื่อให้ได้อัตราการอบแห้งที่เหมาะสมโดยน้ำแข็งไม่ละลาย

3. การรักษาสภาวะในห้องอบแห้ง (drying chamber) ให้คงที่ สภาวะในเครื่องอบแห้งที่ทำให้ค่าความดันไอของน้ำแข็งมีค่าต่ำอยู่เสมอเพื่อให้เกิดการระเหิด ดังกล่าวข้างต้นก็คือ การอบแห้งในสภาพสูญญากาศ หรือการอบแห้งในอากาศแห้งที่มีปริมาณมากพอ วิธีหลังนี้ ทำงานที่ความดันบรรยากาศก๊าซแห้งที่นิยมใช้ได้แก่ อากาศ หรือไนโตรเจน (38) สำหรับการอบแห้งในสภาพสูญญากาศ ต้องรักษาสภาพสูญญากาศให้คงที่ ประมาณ 0.3-0.5 มิลลิเมตรปรอท หรือต่ำกว่านี้ ไอน้ำที่ระเหิดจากวัตถุดิบจะถูกดึงไปยังเครื่องควบแน่นให้กลายเป็นหยดน้ำก่อนมาถึงเครื่องสูบสูญญากาศ

2.4.6.1 <u>การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารในเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง</u>

การอบแห้งในสภาพเยือกแข็งเป็นการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสาร และการถ่ายเทความร้อน อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้านทานต่อการถ่ายเททั้งสองนี้ การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนไปยังผิวของของเยือกแข็ง ที่เกิดการระเหิดเกิดจากแรงดันของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งความร้อนกับผิวของของเยือกแข็ง และการถ่ายเทมวลสารของไอน้ำเกิดจากแรงดันของความแตกต่างของความดันย่อยของไอน้ำ (partial pressure of water vapour) ที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับผิวของของเยือกแข็งและกับเครื่องควบแน่น

การถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง ยังขึ้นอยู่กับวิธีการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบด้วย วิธีการที่นิยมใช้สำหรับการอบแห้งในสภาพเยือกแข็งของสารละลายได้แก่ การให้ความร้อนโดยการนำความร้อนจากด้านหนึ่ง และถ่ายเทไอน้ำจากอีกด้านหนึ่ง เป็นกระบวนการทำงานที่ให้ความร้อนส่งผ่านชั้นของของเยือกแข็ง และให้ไอน้ำถ่ายเทผ่านชั้นผลิตภัณฑ์

ที่แห้งแล้ว อัตราการอบแห้งของกระบวนการนี้จะควบคุมโดย การถ่ายเทมวลสาร (mass transfer controlled) (38) เพราะค่าความสามารถในการนำความร้อนของของเยื่อกแข็ง มีค่าสูงและอุณหภูมิของผิวของเยื่อกแข็งที่เกิดการระเหิดไม่แตกต่างจากอุณหภูมิของผิวความร้อนมากนัก ดังนั้นอัตราการอบแห้งจะมากหรือน้อยจึงขึ้นกับอัตราการถ่ายเทมวลสารเป็นสำคัญ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทมวลสารและการถ่ายเทความร้อนสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.9 (38)

$$h_i(T_s - T_f) = (\Delta H_s)\left(\frac{1}{\frac{1}{k_{ge}} + \frac{1}{k_{gi}}}\right)(P_{fw} - P_{ew}) \quad \text{-----(2.9)}$$

$h_i$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

$T_s$ = อุณหภูมิที่ผิวของของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

$T_f$ = อุณหภูมิที่ผิวที่เกิดการระเหิด

$\Delta H_s$ = ค่าความร้อนแฝงของการระเหิดของน้ำแข็ง

$k_{ge}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารจากภายนอกมายังของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

$k_{gi}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารภายในเนื้อของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

$P_{fw}$ = ความดันย่อยของไอน้ำที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับผิวของเยื่อกแข็งที่เกิดการระเหิด

$P_{ew}$ = ความดันย่อยของไอน้ำที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับเครื่องควบแน่น

นอกจากวิธีการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบแล้ว อัตราการอบแห้งสารละลาย ยังขึ้นกับปัจจัยสำคัญดังนี้

ก. อัตราการทำสารละลายให้เป็นของเยื่อกแข็ง การทำสารละลายให้เยื่อกแข็งอย่างรวดเร็ว จะให้โครงสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ซึ่งจะให้อัตราการอบแห้งที่ช้ากว่า โครงสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่ได้จากการทำสารละลายให้เยื่อกแข็งอย่างช้า. (39)

ข. ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลาย สารละลายที่มีปริมาณของแข็งมาก จะมีค่าความสามารถในการนำความร้อนสูงแต่จะลดความสามารถในการให้ไอน้ำผ่านลงเพราะช่องว่าง

ลดลง อย่างไรก็ตามสำหรับสารละลายที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่เกิน ร้อยละ 20 อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด แต่ในทางกลับกัน ถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าเกินร้อยละ 20 อัตราการอบแห้งจะลดลง ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลาย (38)

อย่างไรก็ดี กระบวนการอบแห้งในสภาพเยือกแข็งนี้ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ไม่สามารถทำงานที่อัตราการอบแห้งสูงได้เพราะต้องใช้ค่าความดันไอน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) ดังนั้น การอบแห้งแบบนี้จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าสูง และถูกทำลายได้ด้วยการอบแห้งวิธีอื่น การทำงานโดยทั่วไปเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง แต่ปัจจุบันได้รับการปรับปรุงให้สามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ (37, 38, 40) และยังสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้งได้ด้วย (38) โดยการฉีดสารละลายให้เป็นละอองในสภาพสูญญากาศ ละอองสารละลายจะถูกทำให้เยือกแข็งและถูกส่งไปอบแห้งในช่องอบแห่งในสภาพเยือกแข็ง