



บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 หญ้าหวานและสตีริโอไซด์

2.1.1 ประวัติความเป็นมา

หญ้าหวานเป็นพืชพื้นเมืองในประเทศปารากวัยแถบอเมริกาใต้ อยู่ยว่งแลทติจูด (Latitude) 21° - 26° เกิดขึ้นตามธรรมชาติแถบที่ลุ่ม อยู่เหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 500 เมตร หญ้าหวานเป็นพืชที่ชาวบ้านแถบทวีปอเมริกาใต้ใช้แทนน้ำตาลเมื่อ 100 ปีมาแล้ว ชาวบ้านแถบนั้นใช้ใบหญ้าหวานตากแห้งต้มกับน้ำ เป็นเครื่องดื่มมาเป็นเวลานานแล้ว และไม่ เคยปรากฏเลยว่าผู้ที่บริโภคน้ำต้มจากหญ้าหวานแล้วเกิดเป็นอันตรายเกิดขึ้น ผู้ค้นพบหญ้าหวาน เป็นคนแรกคือ Dr. Rebaudi และ Dr. Bertoni (9,10,11) ดังนั้นจึงใช้ชื่อผู้ค้นพบ เป็นชื่อทางวิทยาศาสตร์ของหญ้าหวาน ผู้ค้นพบทั้งสองเป็นนักเคมีชาวปารากวัย ได้ร่วมกันศึกษา ค้นคว้าเกี่ยวกับหญ้าหวาน จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1908 Dr. Rebaudi และ Rasenack ได้ อธิบายเกี่ยวกับสารที่ให้ความหวานจากหญ้าหวาน และในปี ค.ศ. 1909 Dr. Dietrich ได้ เป็นผู้แยกสกัดสารที่ให้ความหวานในหญ้าหวานเป็นครั้งแรก ให้ชื่อว่าสตีริโอไซด์ (Stevioside) ยี่สิบได้มาจากการประชุมเคมีนานาชาติที่ โคเปนเฮเกน ในปี ค.ศ. 1921 (International Chemical Symposium in Copenhagen in 1921)

สำหรับประเทศไทยได้เริ่มทดลองปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 โดยรัฐบาลญี่ปุ่นได้ส่ง นาย เต อียายากิ (1 - 8) มาเป็นหัวหน้าศูนย์วิจัยพืชประจำประเทศไทย ได้เริ่ม ทดลองปลูกครั้งแรกทางภาคใต้ ที่นิคมสร้างตนเองเทพา อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา เนื่องจาก ฝนตกชุก ทำให้ความหวานลดลง ปลูกไม่ได้ผลจึงเลิกโครงการไป

ต่อมาในปี พ.ศ. 2521 ได้ทดลองปลูกใหม่ที่ อำเภอแม่ลาวย จังหวัดเชียงราย ปรากฏว่าได้ผลดี จึงได้ขยายการปลูกออกไปที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง และจังหวัดอื่น ๆ ทางภาคเหนือ การส่งเสริมการปลูกหญ้าหวานก็เพิ่มขึ้นอีก 5 แห่งที่นิคมโนนสัง นิคมห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี นิคมลำไทรน้อย จังหวัดอุบล นิคมเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น นิคมลำปาง

จังหวัดกาฬสินธุ์ และต่อมาบริษัทสยามลดีเรียของประเทศไทย ได้ทดลองปลูกหญ้าหวานที่มณฑล
กวางตุ้ง สาธารณรัฐประชาชนจีน ในชื่อโครงการว่า พันธุ์นิคมเทพา

หญ้าหวานชื่อเรียกภาษาอังกฤษว่า สดีเรีย (Stevia) ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า Stevia
Pebaudiana Bertoni อยู่ในตระกูลคอมโพสิที (Compositae Family) เป็นพืชของ
ไซรแซนทีมัม (Chrysanthemum) เป็นพืชที่มีอายุยืนอยู่ได้หลายปี (Perennial Herb) เป็น
พวกเดียวกับทานตะวันในบ้านเรา (1-8)

ชื่อตั้งเดิม : Ca'a' - he'e (ใน Guarany) (9,10,11)
: Yerba-dulce (ใน Spanish)

ทั้ง 2 ชื่อมีความหมายว่า "Sweet Herb" หรือที่เรียกว่า "el dulce te'del"
paraguay" หมายความว่า "Sweet Tea of Paraguay" ในประเทศญี่ปุ่นไม่มีชื่อเรียกอย่าง
อื่นนอกจากเรียกว่า stevia หรือบางทีในอังกฤษและญี่ปุ่นเรียกว่า "Ama-Ha Sutibia
หมายความว่า "sweet Leaf stevia"

2.1.2 ลักษณะของหญ้าหวาน (6)

หญ้าหวานเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก ลักษณะคล้ายโหระพา หรือ แมงลัก รูปร่างและ
สีของใบมีลักษณะคล้ายใบโหระพาและแมงลักรวมกัน ใบมีสีเขียวอ่อนไม่มีกลิ่น ฝังอยู่ในตระกูล
เดียวกับพวกทานตะวัน ดาวเรือง หรือ เขอบีร่า ดอกมีสีขาวเป็นกลุ่ม ๆ อยู่ปลายกิ่ง เมล็ดมี
ลักษณะคล้ายเมล็ดแมงลัก แต่ขนาดเล็กกว่า ส่วนที่ให้ความหวานมากที่สุดได้แก่ใบ

หญ้าหวานมีความสูงของต้นเฉลี่ยประมาณ 60-80 เซนติเมตร โตเต็มที่สูงประมาณ
150-170 เซนติเมตร ระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกประมาณ 90-120 วัน สภาพดินฟ้าอากาศ
ที่จะเพาะปลูกหญ้าหวานได้ดีต้องมีอุณหภูมิประมาณ 20⁰-25⁰ ช. ดินค่อนข้างเป็นกรดมีค่า pH
ประมาณ 6-6.5 หญ้าหวานชอบดินแฉะ แต่ต้องไม่มีน้ำขัง เมล็ดหญ้าหวานเล็กมาก น้ำหนัก
1 กรัมจะมีประมาณ 2,500 เมล็ด มีอัตราการงอกต่ำ การปลูกปลูกได้ประมาณ 10,000 ต้นต่อ
ไร่ ปลูกเป็นแถว ในระยะระหว่างแถว 25-30 เซนติเมตร และระหว่างต้น 30-40 เซนติเมตร
ปลูกประมาณ 3-4 แถวต่อแปลง สลับแบบหินปลาเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ลักษณะของหญ้าหวานมีอยู่
30 กว่าชนิด แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของต้นและใบ

2.1.3 ประโยชน์ของหญ้าหวาน (9.10.11)

หญ้าหวานเป็นพืชที่ไร้แคลอรีที่ให้รสหวาน เป็นสารพวก Diterpene Glycoside เป็น Glycoside ที่ไม่มีผลให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส 150-300 เท่า สาร Glycoside นี้ เรียกว่า สตีวิโอไซด์ (Stevioside) และ เรบอดิโอไซด์ (Rebaudioside A-E) สารที่สกัดได้จากหญ้าหวานใช้กันมากในทางแพทย์ จุดสำคัญ การผลิตอาหารที่ต้องการความหวานแต่ไม่ต้องการคุณค่าทางอาหาร เพราะสารไกลโคไซด์ที่สกัดได้ไม่มีแคลอรีนัยมาก ดังนั้นจึงใช้กับคนไข้ที่เป็นโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ ผู้ที่กำสัถลดความอ้วน ตลอดจนใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ต้องมีส่วนผสมของความหวาน อาทิเช่น หมากฝรั่ง ลูกกวาด เครื่องดื่ม (น้ำผลไม้ น้ำนมรสขจรขจายในรสต่าง ๆ) ไอศกรีม แยม เยลลี่ ขนมปัง และอาหารหวานแฉ่ำแข็ง ใช้ปรุงอาหารแห้งที่ต้องการรสหวาน ได้แก่ ปลาหมึกแห้ง ปลาป่น ไข่ปลาแห้ง ฯลฯ หรือใช้ปรุงรสซอส ซีอิ๊ว มายองเนส ผงกะหรี่ แป้งเพาะปุระ แม้แต่ของหมักดองที่มีรสเค็มมาก จะเป็นการดองระยะยาวหรือสั้นก็ตาม ช่วยรักษากลิ่นของที่ดอง และทำให้รสกลมกล่อมยิ่งขึ้น นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังนำไปใช้ทางยาแทนน้ำตาล และในการผลิตยาพื้นอีกด้วย ในสหรัฐอเมริกาใช้สตีวิโอไซด์ผสมในบุหรี่ ทำให้บุหรี่มีรสกลมกล่อมเป็นที่ถูกใจของผู้สูบ ในฮ่องกงใช้ใบแห้งผสมกับชาผงเล็กน้อย ช่วยเสริมรสชา้น้ำชาให้ดีขึ้น

2.1.4 ประวัติการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับหญ้าหวาน (9,10,11)

ในปี 1908 Dr. Rebaudi และ Rasenack เป็นคนแรกที่แยกสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวาน โดยอยู่ในรูปของ Glycoside ที่เป็นผลึก วิธีทำเขาใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย และตกตะกอนสิ่งที่ไม่ละลายด้วย Ether พบว่าจะมีสารอยู่ 42% ที่ละลายได้ในน้ำ หลังจากนั้นก็ตกผลึกใหม่ในเมธานอล จะได้เป็นผงสีขาว รสหอมเหลว 200° - 210° ซี มีสูตรโมเลกุล $C_{42}H_{72}O_{21}$ ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกแล้ว จะได้กลูโคส 3 โมเลกุล และจะได้สารที่มีจุดหลอมเหลว 226° - 227° ซี มีสูตรโมเลกุล $C_{30}H_{40}O_5$

ในปี 1909 Dr. Dietrich (12) ได้เป็นผู้อธิบายเกี่ยวกับการแยก Glycoside ออกจากหญ้าหวาน โดยใช้เป็นตัวทำละลาย และตกผลึกด้วยเมธานอล เพื่อแยก Glycoside

ในปี 1915 Kobert (13) ได้ให้ความเป็นมาเกี่ยวกับ "sweet principle of Eupatorium และ Glycyrrhiza.

ในปี 1920 The Bulletin of the Imperial Institute (14) ได้
อธิบายว่า "The Caa'-chc plant as a sweetening agent ซึ่งในพืชจะประกอบด้วย
glycoside 2 ชนิดคือ

- Estavin เป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำ, แอลกอฮอล์ ได้ดี
- Rebaudin เป็น Amorphous เชื่อว่าเป็นอนุพันธ์ โซเดียม - โปตัสเซียม
ของ estavin

ในปี 1921 ผลึกที่สกัดได้จากหญ้าหวานได้ให้ชื่อว่า "สตีริโอไซด์" ซึ่งชื่อนี้ได้มา
จากการประชุมเคมีนานาชาติที่ โคเปนเฮเกน (International Chemical Symposium
in.Copenhagen in 1921)

ในปี 1931 Pomare และ Lavieille (9) ได้ทำการทดลองโดยนำ
สตีริโอไซด์มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่อ Metabolism ของร่างกายมนุษย์ ปรากฏว่าไม่เกิด
การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของ Metabolism ในร่างกายมนุษย์ และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค
ต่อมาก็ได้มีรายงานว่าสตีริโอไซด์ ที่สกัดได้จากหญ้าหวานไม่เป็นอันตรายต่อหนู กระต่ายและลูกไก่
(20) จากผลอันนี้จึงสรุปได้ว่าจะไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ด้วย และคนที่น้ำหนัก 60
กิโลกรัม สามารถรับสตีริโอไซด์ได้ 144 กรัม ในเวลา 48 ชั่วโมง จะไม่มีอันตรายใด ๆ
เกิดขึ้น (9)

ในปี 1941 ในสงครามโลกครั้งที่ 2 นานาชาติต่างก็ให้ความสนใจกับสิ่งที่ใช้
ทดแทนน้ำตาลจนกระทั่ง Dr.Melville ได้อธิบายเกี่ยวกับการปลูกหญ้าหวานให้กับผู้อำนวยการ
ส่วน Royal Botanic ในประเทศอังกฤษ จึงเป็นเหตุให้หญ้าหวานเริ่มปลูกในอังกฤษตั้งแต่นั้นมา

ในปี 1945 Gattoni ได้รายงานรายละเอียดต่าง ๆ ใน Medical Plants
Divisions ของ Institute Agronomico National ของปารากวัย เขาได้สนับสนุน
ให้ใช้สตีริโอไซด์ ในอุตสาหกรรมในปารากวัย ซึ่งสตีริโอไซด์จะใช้ประโยชน์แทนฮัคคารินได้
หลังจากนั้นก็มิได้พยายามศึกษาเกี่ยวกับสารที่ให้ความหวานในหญ้าหวานเรื่อยมา

ในปี 1960 Dr. Dolder และผู้ร่วมงานได้ศึกษาหาโครงสร้างโมเลกุลของ สตีริโอไซด์ ได้สำเร็จ และได้อธิบายไว้ว่า สตีริโอไซด์เป็นผลึกสีขาว มีรูปร่างคล้าย Prism ยาว ๆ (15) และมีจุดหลอมเหลว 198° เกลียว

ในปี 1968 Plamas และ Kuc' ได้ทดลองโดยการนำหญ้าหวานมาต้มกับน้ำ และนำมากทดลองให้หนูโดยควบคุมปริมาณการกินไว้ปรากฏว่าไม่มีอันตรายใด ๆ เกิดขึ้นกับหนูเลย ในรายงานของเขาได้กล่าวไว้ว่า ได้ใช้หญ้าหวานให้ลูกภาพสัตว์ที่กินโดยการควบคุมปริมาณการ ต้มกิน ด้วยการต้มหญ้าหวานแห้งกับน้ำ

ในปี 1970 มีการประชุม International Diabetes Symposium Hold ได้มี รายงานเกี่ยวกับสตีริโอไซด์ว่าใช้เป็นยารักษาโรคเบาหวานได้

ในปี 1973 Whistler ได้ทำรายงานเกี่ยวกับ สตีริโอไซด์ ว่าไม่เป็นอันตรายและ เขาได้ตั้งสมมติฐานว่า ถ้าหากจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตน่าจะเป็นสารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในหญ้าหวานมากกว่า จะเป็นสตีริโอไซด์

ในปี 1974 Farnsworth ได้ศึกษาผลของสตีริโอไซด์ และการควบคุมอย่าง ใดอย่างหนึ่งในใบหญ้าหวาน และได้ทำรายงานไว้ว่า Steviol หรือ Dihydro Isosteviol ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการไฮโดรไลส์สตีริโอไซด์ไม่ได้เกิดจากหญ้าหวานโดยตรง เขาได้ศึกษา เกี่ยวกับสตีริโอไซด์ ทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ และเภสัชวิทยา ที่กระทำต่อสัตว์และมนุษย์ในปัจจุบัน ไม่มีผลทางด้านเป็นพิษ และเป็น Sugar Substitute (แทนน้ำตาลเพื่อไม่ให้เกิดพลังงาน)

ในปี 1975 Akashi และ Yokoyama จากบริษัท "Tama Biochemical" ได้ ศึกษาทางด้านดูแลรักษาใบหญ้าหวานตากแห้ง และการสกัดใบหญ้าหวานโดยมากทดลองให้หนูกิน สารละลายที่สกัดได้ ปรากฏว่าหนูไม่เป็นอันตรายใดเกิดขึ้น (20)

2.1.5 ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าหวาน (16)

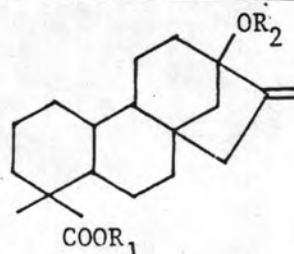
หญ้าหวานมีสารประกอบที่มีรสหวานอยู่ สารประกอบนี้เป็นพวก Diterpene Glycoside ซึ่งเป็น Glycoside ที่ไม่มีสีให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส 150-300 เท่า สารที่ให้รสหวานมีอยู่ 5 ชนิด คือ

สตรีโอยด์ เรบอดีโอยด์-ดี
 เรบอดีโอยด์-เอ เรบอดีโอยด์-อี
 เรบอดีโอยด์-ซี

แต่โครงสร้างของสารประกอบที่พบส่วนใหญ่ในหญ้าหวานคือ สตรีโอยด์ และเรบอดี-
 โอยด์-เอ หรือบางทีอาจจะมี เรบอดีโอยด์-ซี บ้าง ลักษณะโครงสร้างของ Diterpene
 Glycoside หญ้าหวาน และผลิตภัณฑ์ของการ Hydrolysis Diterpene Glycoside (16)
 แสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสารที่ให้ความหวาน ที่มีอยู่ในหญ้าหวาน (17)

จำนวน	ส่วนประกอบ	ขนาดของความหวาน* (เทียบกับน้ำตาลซูโครส)	R ₁	R ₂
1	สตรีโอยด์	150	B-glc	B-glc ² — ¹ B-glc.
2	เรบอดีโอยด์-เอ	220	B-glc	B-glc ² ₃ — ¹ B-glc B-glc
3	เรบอดีโอยด์-ซี	10 - 20	B-glc	B-glc ² ₃ — ¹ B-rham B-glc
4	เรบอดีโอยด์-ดี	220	B-glc ² — B-glc	B-glc ² ₃ — ¹ B-glc B-glc
5	เรบอดีโอยด์-อี	170	B-glc ² — B-glc	B-glc ² — ¹ B-glc
6	เรบอดีโอยด์-เอ	30 - 40	B-glc	B-glc ² — ¹ B-rham
7	สตรีออลไปโอยด์	40 - 60	H	B-glc ² — ¹ B-glc



glc : D-glucopyranosyl

rham : L-rhamnopyranosyl

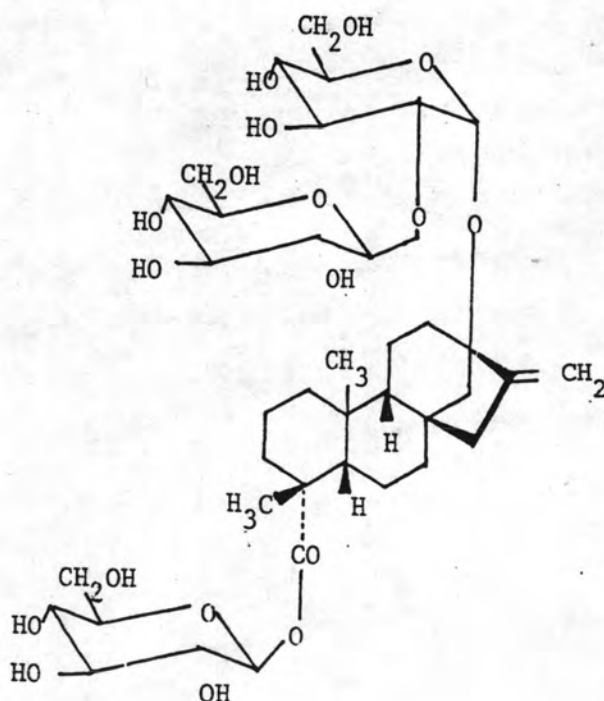
H : Hydrogen

* ปริมาณความหวานเทียบกับน้ำตาลซูโครสในน้ำ ในอัตราส่วนร้อยละ 6

จากตาราง 2.1 โครงสร้างสำคัญของสารทั้งหมดจะเหมือนกันแต่สมบัติต่าง ๆ เช่น จุดหลอมเหลว, Infrared Spectrum หรือ Polarity ของสารจะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ R_1 , R_2 ว่าจะเป็นตัวไหนและความหวานจะหวานเป็นที่เท่าของน้ำตาลซูโครสก็ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ R_1 , R_2 เช่นกัน

2.1.6 สตีริโอไซด์ (18)

โครงสร้างของสตีริโอไซด์ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ - ส่วนที่เป็นน้ำตาล 3 โมเลกุล - ส่วนที่เป็น Aglycon, สูตร $C_{38}H_{60}O_{18}$ สตีริโอไซด์ น้ำหนักโมเลกุล 804.9 ประกอบด้วย C 56.70 % H 7.51 %, O 35.78 % แยกจากใบหญ้าหวานเป็นผลึกสีขาว เบา ประกอบด้วยผลึกขนาดเล็กมากเป็น Hygroscopic crystals จุดหลอมเหลว $198^{\circ}C$, ละลายได้ใน Dioxane Alcohol สารละลายกรด, น้ำร้อน และในน้ำที่อุณหภูมิ ประมาณ $40^{\circ}-50^{\circ}$ เซลเซียส จะมีปริมาณการละลายในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (17) เป็นสารที่ให้รสหวานแต่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของสตีริโอไซด์

ถ้านำไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริก 5% ที่ 100°C จะได้เป็น Isosteviol เป็นผลิตภัณฑ์หลักกว่า ซึ่งหลังจากตกผลึกใหม่ใน Aqueous Acetic acid หรือ Aqueous Ethanol มีจุดหลอมเหลว 234°C

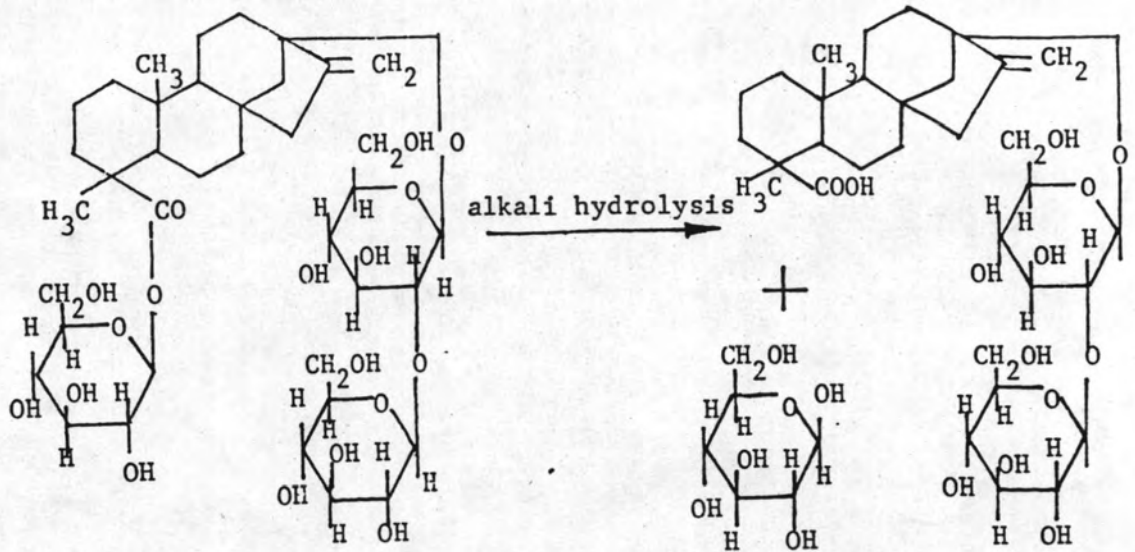
2.1.7 Thermal และ pH-Stability (17,18, 19)

สตีริโอไซด์ละลายอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 2-10 แล้วแช่สารละลายไว้ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ปรากฏว่าสตีริโอไซด์มีการสลายหายไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดง pH-stability (19)

pH	สตีริโอไซด์ที่เหลือในอัตราส่วนร้อยละ
3	98
5	99
7	100
8	97
9	99
10	47

จกตารางที่ 2.2 ที่ pH = 10 จะเริ่มมีสภาวะเป็นต่างแก่ สตีริโอไซด์ที่เหลือในปริมาณร้อยละ 47 แสดงว่าสตีริโอไซด์ จะสลายตัวได้ทีสภาวะเป็นต่างแก่ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดไฮโดรไลซ์ของสตีโรอิดในสภาวะต่างแก่

สตีโรอิดมี Thermal-Stability สูงมาก ซึ่งผลจากการทดลองใช้สตีโรอิดละลาย อยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 4,6.8 แล้สารละลายไว้ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50⁰ และ 100⁰ เซลเซียส ปรากฏว่าสตีโรอิดไม่เกิดการสลายตัว นักหนักที่ได้คงที่ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดง Thermal-Stability (17)

อุณหภูมิ °เซลเซียส	pH	สตีโรอิดที่เหลือในอัตราส่วนร้อยละ
50	4	99
	6.8	100
100	4	98.5
	6.8	100

2.1.8 การวิเคราะห์หาปริมาณลีสทีโรไลต์

การแยกและการวิเคราะห์หาปริมาณลีสทีโรไลต์จากหญ้าหวานมีวิธีการทำได้หลายวิธี ดังนี้

2.1.8.1 Thin-Layer Chromatography (TLC) (20)

2.1.8.2 High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) (21, 22, 23)

การวิเคราะห์หาปริมาณลีสทีโรไลต์ด้วยวิธีนี้ได้มีการทดลองกันมาก คอลัมน์ส่วนใหญ่ที่ใช้เป็น μ -Bondapak ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ใช้ Acetonitrile : Water 82.5 : 17.5 เป็น Mobile Phase, Detector เป็นแบบ Refractive Index วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้หาปริมาณลีสทีโรไลต์ได้อย่างถูกต้องมาก

2.1.8.3 Gas-Chromatography (24, 25) เป็นวิธีทั่ว ๆ ไปที่ใช้ในการหาปริมาณลีสทีโรไลต์ วิธีนี้ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมที่แยกสกัดลีสทีโรไลต์ออกจากหญ้าหวาน คอลัมน์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะบรรจุ Silicone วิธีนี้จะกล่าวอย่างละเอียดในขั้นตอนการทดลองต่อไป

2.1.8.4 Chemical Analysis (26) การวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อหาปริมาณลีสทีโรไลต์ มีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายและเร็วที่สุด เพื่อทราบผลอย่างประมาณโดยใช้วิธีของ Somogi-Nelson

2.1.9 งานวิจัยที่ผ่านมา

2.1.9.1 Yukio Sawaguchi (27) จากบริษัท Sanyo Kokusaku pulk K.K. ในปี 1975 ได้นำใบหญ้าหวานสกัดด้วยน้ำเย็นหรือน้ำร้อน หลังจากนั้นทำให้เข้มข้น และตกตะกอนสิ่งสกปรกด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 ปรับให้ได้ pH 7-11 แล้วนำมาผ่าน Strongly-Acidic Cation Exchange Resin และ Anion-Exchange-Resin นำส่วนที่ได้ทำให้เข้มข้นจนแห้งสกัดด้วยเมธานอล ทำสิ่งทีสกัดได้ให้เข้มข้นจะได้ลีสทีโรไลต์บริสุทธิ์ในปริมาณร้อยละ 91.3 โดยน้ำหนัก

2.1.9.2 Koichi Mochida (28) จากบริษัท Bansu Chomiryo K.K. ในปี 1975 ได้นำใบหญ้าหวานสกัดด้วยน้ำร้อน หลังจากนั้นเติม Cationic High-Polymeric

Flocculant หรือ Cationic Surface Active Agent เพื่อตกตะกอนก้ำกัสดิ่งสกปรก เช่น สี, สสารที่ไม่ละลาย, Polysaccharides, โปรตีน เป็นต้น และรวมตกตะกอนโดยใช้ Flocculant แล้วนำสารละลายที่ได้ไปผ่านกระบวนการฟอกสีด้วยวิธีหั่ว ๆ ไป สัตว์โอโซลก็ยังคงเหลืออยู่ในสารละลาย

2.1.9.3 Kunihiko Miwa (29) จากบริษัท Toyo Ink Seizo K.K.

ในปี 1977 นำสารละลายที่ล่กักได้ก้ำกัสดิ่งสกปรกออกโดยใช้เกลือโลหะ (Metal Salt) เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต หรือโซเดียมอลูมิเนต โดยตกตะกอนพวก โพลีฟีนอล, โปรตีน เกลือที่เกิดขึ้น จะถูกก้ำกัสดึงออกโดยวิธี Electrolysis ของอลูมิเนียม ใช้ไฮดรอกไซด์ของโลหะเป็น Electrode อีกวิธี โดยการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะ จะได้ตะกอนซึ่งจะไปดูดซับ (Adsorb) พวก โพลีฟีนอล, โปรตีน, คลอโรฟิลล์ เป็นการก้ำกัสดิ่งสกปรกได้อีกวิธีหนึ่ง

2.1.9.4 Tooru Satou (30) จากบริษัท Scisan Kaihatsu Kagaku

Kenkyusho ในปี 1978 นำน้ำหั่วหวาน 1 กิโลกรัม ล่กักด้วยน้ำหรือแอลกอฮอล์ 3-10 ลิตร ทำให้เข้มข้นจะได้ล่กักที่มีปริมาณของแข็งในปริมาณ ร้อยละ 10-50 โดยน้ำหั่ว และเติม Metallic Chloride เช่น แคลเซียม, อลูมิเนียม, เหล็กคลอไรด์ ในปริมาณร้อยละ 0.1-5 โดยน้ำหั่ว เพื่อตกตะกอนล่กักสกปรกที่เป็น Colloidal และดูดซับสารบางตัว กรอง นำสารละลายไปทำให้บริสุทธิ์ด้วย Ion Exchange Resin, ตัวดูดซับ (Adsorbent), Ultrafiltration หรือ Dialysis Membranes

2.1.9.5 Susumu Ogawa (31) จากบริษัท Maruzen Kasei K.K. ในปี

1979 ได้ล่กักใบหั่วหวานด้วยน้ำหรือแอลกอฮอล์ นำล่กักที่ล่กักได้ไปผ่าน Basic Anion Exchange Resin ที่อยู่ในรูปของเกลือ (Cl^- หรือ SO_4^{2-} form) Resin จะดูดซับ (Adsorb) สีในสารละลาย และสารละลายที่ผ่าน Resin ทำให้เข้มข้นมีปริมาณของแข็งในสารละลายในปริมาณร้อยละ 1-30 และมี pH ประมาณ 4-7

2.1.9.6 Georgia และ Rookville (32) ได้ทดลองนำหั่วหวานล่กัก

ไขหั่วออกด้วยตัวทำละลาย ซึ่งตัวทำละลายที่ล่กักได้ไม่ละลายสัตว์โอโซลออกมา ในการทดลองได้ใช้เครื่องฟอรัมล่กักไขหั่วออกอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ Soxhlet Extractor หรือ Lloyd-Type Extractor จนกระทั่งสารละลายคลอโรฟอร์มเป็นสีเหลืองใส หลังจากนั้นนำหั่วหวานล่กักด้วยไดออกเซน โดยต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองสารละลายด้วย Buchner Funnel นำส่วนที่กรอง

ได้ทำให้เข้มข้นที่สูญญากาศ จุดหลอม 50° เซลเซียส เดิมเมธานอลในอัตราส่วน 1 : 1 จะได้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ ประมาณอัตราส่วนร้อยละ 6.5

2.2 การสกัด (Extraction) (33,34)

เป็นกระบวนการที่ไยแยกสารที่ต้องการออกจากของผสมหรือสารละลาย โดยให้ตัวทำละลาย และวิธีที่เหมาะสม สตีริโอไซด์เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในใบหญ้าหวาน ดังนั้นการสกัดจึงใช้ เป็นระบบการสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Liquid-Solid System)

ใบหญ้าหวานหลังจากบดให้มีขนาดเล็กลงแล้ว ก็ถูกนำมาแช่ในตัวทำละลายที่เหมาะสม ในระหว่างนั้นสาร Stevioside ที่อยู่ในใบหญ้าหวานก็ค่อย ๆ ละลายออกมาผสมกับตัวทำละลาย ขั้นตอนของกระบวนการนี้จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 กระบวนการ ได้แก่

กระบวนการที่ 1 ตัวทำละลายเข้าสู่ใบพืช

กระบวนการที่ 2 ตัวถูกละลายในใบพืชออกสู่ผิวหน้าหรือช่องว่างของพืช

กระบวนการที่ 3 ตัวถูกละลายจากผิวหน้าของพืชเข้าสู่สารละลาย

ถ้ากระบวนการที่ 2 เป็นกระบวนการควบคุมอัตราการสกัด พืชที่นำมาสกัดจะถูกบดให้มีขนาดเล็กลงก่อน เพื่อให้ตัวถูกละลาย (Solute) ละลายสู่สารละลายได้มากขึ้น

ถ้ากระบวนการที่ 3 มีผลต่อการสกัด การกวนในขณะที่ทำการสกัดจะช่วยให้การถ่ายเทมวลสารเกิดได้เร็วขึ้น

2.2.1 การถ่ายเทมวลสารในการสกัด (33,34)

การศึกษาการถ่ายเทมวลสารภายในช่องว่างของพืชสู่สารละลายทำได้ยาก เพราะเราไม่สามารถจะคาดคะเนได้ว่าช่องว่างภายในพืชที่เกิดการถ่ายเทนั้นมีรูปร่างอย่างไร ดังนั้นการพิจารณาการถ่ายเทมวลสารในการสกัดอาจคาดคะเนได้จาก การถ่ายเทมวลสารที่อยู่บนผิวของพืชเข้าสู่สารละลาย

สมมติว่าของแข็งมีของเหลวเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ อยู่รอบ ๆ ของแข็ง อัตราการถ่ายเท ขึ้นมาได้เป็นสมการอนุพันธ์ ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = \frac{K'A(C_s - C)}{b} \dots \dots \dots (2.1)$$

- A = พื้นที่ผิวสัมผัส (cm²)
- b = Effective Thickness ของชั้นฟิล์มของเหลวรอบ ๆ ของแข็ง (mm)
- C = ความเข้มข้น ของตัวถูกละลายในสารละลายเมื่อเวลา t, (g/ml)
- C_s = ความเข้มข้นของสารละลายอิ่มตัวที่สัมผัสกับของแข็ง, (g/ml)
- M = มวลของตัวถูกละลายที่ถูกถ่ายเทในเวลา t, (g)
- K' = Diffusion Coefficient (cm²/sec)

พิจารณากระบวนการทำงานเป็นครั้งคราว แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) มี V เป็น ปริมาตรของสารละลายซึ่งมีค่าดังนี้

$$dM = VdC$$

ดังนั้น

$$\frac{dC}{dt} = \frac{K'A(C_s - C)}{bV} \dots\dots\dots(2.2)$$

t เป็นเวลาที่ความเข้มข้น ของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก C₀ ถึง C ให้ b และ A เป็นค่าคงที่

$$\frac{dC}{C_s - C} = \frac{K'A}{Vb} dt$$

$$- \ln \frac{C_s - C}{C_s - C_0} = \frac{K'At}{Vb} \dots\dots\dots(2.3)$$

ถ้าใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ C₀ = 0 และ

$$1 - \frac{C}{C_s} = e^{-(K'A/bV)t}$$

$$C = C_s (1 - e^{-(K'A/bV)t}) \dots\dots\dots(2.4)$$

จากสมการ (2.4) เมื่อ ให้ค่า b,A,V, คงที่ จะเห็นได้ว่าการล้ก่ตจะขึ้นกับเวลา และ Diffusion Coefficient ซึ่งค่า Diffusion coefficient โดยปกติจะแปรตาม อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า Diffusion Coefficient ก็สูง ขึ้นด้วย

ดังนั้น ในการสกัดบางกรณีจึงใช้ความร้อนเข้าช่วย เพื่อเพิ่มค่า Diffusion Coefficient ให้อัตราการสกัดสูงขึ้น สำหรับการสกัดด้วยวิธีไฮดรอลิกจากหัวหวาน มีข้อจำกัดอยู่บ้างตรงที่อาจจะถูกทำลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 80° - 100° เซลเซียส จึงไม่นิยมการสกัดที่อุณหภูมิสูงมากนัก

2.2.2 วิธีการดำเนินการ (Method of Operation) (33,35)

การดำเนินการในระบบสกัด กระทำได้หลายวิธี เช่นแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semibatch) และแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ (Steady State-Continuous Conditions) การสกัดแบบไม่ต่อเนื่องเป็นวิธีการที่ของเหลวและของแข็งสัมผัสกันเป็นพัก ๆ ไม่ต่อเนื่อง และได้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมา 1 ชุด การสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นลักษณะของของแข็งชุดเดียว ถูกสกัดโดยของเหลวที่ไหลผ่านเข้ามาอย่างต่อเนื่อง ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาต่อเนื่องด้วย สำหรับการสกัดแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอเป็นการสกัดที่ทั้งของแข็งและของเหลวได้สัมผัสกันอย่างต่อเนื่อง ให้ผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ

2.2.3 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสกัด (34,36,37)

2.2.3.1 ขนาดอนุภาค (Particle Size) ขนาดอนุภาคถ้ามีขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลสารมีมากขึ้น และระยะทางของตัวถูกละลายที่อยู่ภายในของแข็ง จะแพร่กระจายออกสู่ตัวทำละลายได้เร็วขึ้น ดังนั้นหน้าหวานก่อนที่จะสกัดควรนำมากบดให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงก่อน

2.2.3.2 ตัวทำละลาย (Solvent) ตัวทำละลายที่ดีควรมี Polarity ที่เหมาะสมกับตัวถูกละลาย และมีความหนืด (Viscosity) ต่ำ เพื่อให้มีการไหลเวียนที่ดี โดยทั่วไปจะใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งในการสกัด ตัวทำละลายที่บริสุทธิ์ตอนเริ่มต้นจะไม่มีตัวถูกละลายอยู่เลย เมื่อทำการสกัดความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะเพิ่มมากขึ้น ๆ จนกระทั่งผลต่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและในอนุภาคของหน้าหวานที่นำมาสกัดลดน้อยลง ทำให้ตัวถูกละลายสกัดได้ลดน้อยลง ในการสกัดด้วยวิธีไฮดรอลิกปริมาณของตัวทำละลายก็มีผล ถ้าใช้ตัวทำละลายปริมาณมาก นั่นคือ อัตราส่วนตัวทำละลายกับหน้าหวาน ถ้ามีมากปริมาณการสกัดก็สูงขึ้นด้วย แต่ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการก็ย่อมมีค่าสูงไปด้วย ดังนั้นองค์ประกอบในเรื่องปริมาณตัวทำละลายก็ควรจะได้มีความเหมาะสมด้วยเช่นกัน

2.2.3.3 อุณหภูมิของตัวทำละลาย (Temperature of Solvent) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณการสกัดสูงขึ้นด้วย เนื่องจากว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมประสิทธิ์การแพร่กระจายเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวถูกละลายแพร่กระจายสู่ตัวทำละลายได้มากขึ้น ปริมาณการสกัดก็สูงขึ้นด้วย ส่วนการสกัดสตีโรไลต์จะไม่ใช้อุณหภูมิสูงมากนัก เพราะจะทำให้สตีโรไลต์ละลายตัวได้บางส่วน ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง ๆ

2.2.3.4 เวลาในการสกัด มีผลต่อการสกัด ถ้าใช้เวลาในการสกัดน้อย สารที่ต้องการสกัดก็ถูกสกัดออกมาน้อย ซึ่งยังคงมีอยู่ในหน้ำหวนไม่ได้ถูกสกัดออก ดังนั้นจะต้องใช้เวลาในการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ปริมาณการสกัดได้มากที่สุด

2.2.3.5 การกวนของของไหล (Agitation of the Fluid) การกวนตัวทำละลายเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะจะช่วยเพิ่มอัตราการสกัด เนื่องจากทำให้การเกิด Eddy Diffusion มากขึ้น และทำให้การถ่ายเทมวลสารจากผิวสัมผัสของอนุภาคไปยัง Bulk ของสารละลายได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการกวนจะทำให้อนุภาคลอยตัวเป็น Suspension และ การเกิดเป็น Suspension จะมีผลให้พื้นที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลวมีมากขึ้น การสกัดก็จะดียิ่งขึ้น

2.2.4 ปัจจัยในการเลือกตัวทำละลาย (33)

การเลือกใช้ตัวทำละลายในการสกัดผลิตภัณฑ์ธรรมชาติจากพืช มีปัจจัยที่สำคัญดังนี้

1. ความสามารถในการละลายสารที่ต้องการสกัด
2. ความปลอดภัย ต้องไม่เป็นพิษ และไม่เป็นอันตราย เช่น ไม่ติดไฟง่าย, ไม่ระเหยง่าย
3. ราคา ตัวทำละลายที่ใช้ไม่ควรมีราคาแพงเกินไป ที่สำคัญควรเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศ
4. ความสะอาด และความปลอดภัย ในการแปรรูปสารละลายสกัดที่ได้ โดยทั่วไปสารละลายสกัดจากพืช จะมีการแปรรูปก่อนนำไปใช้ เช่น ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้แห้ง เป็นผงซึ่งในกระบวนการเหล่านี้ต้องใช้ความร้อนเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจึงควรเลือกตัวทำละลายที่สะอาดในการทำให้แห้ง



2.3 การทำสารละลายให้บริสุทธิ์ (Purification of Extracted Solution) (41)

สารละลายที่สกัดได้จากหญ้าหวานจะมี pH ประมาณ 5.2 - 5.6 ที่อุณหภูมิห้อง ในการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ โดยการแยกสิ่งเจือปนออกด้วยการทำให้ตกตะกอน โดยอาศัย ปฏิกิริยาเคมี และฟิสิกส์ เรียกว่า ดีเฟเคชัน (Defecation) วิธีนี้เป็นการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ โดยใช้ปูนขาว (Lime) กับความร้อน โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้ ปูนขาวละลายตัวเป็น Ca(OH)_2 OH^- ไปทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในสารละลายที่สกัดได้ให้เป็นกลางซึ่งสามารถแยก ตะกอนออกได้ และทำให้พวกสารที่ไม่ใช่โปรตีนไฮโดรไลต์ เช่น ชี้น้ำ และยางไม้ (Wax, Gum) ทำให้ เป็นกลาง (Neutralize) จะทำให้เกิดการรวมตัวกับแคลเซียมเป็นตะกอนตกลงมา และกำจัด ตะกอนออกไป การใช้ความร้อนทำให้เกิด Dehydration เป็นเหตุให้ ชี้น้ำและยางไม้จับเป็น ตะกอนนอนกัน (Coagulation) การจับก้อนยิ่งร้อนยิ่ง Dehydrate เร็วขึ้น ตะกอนที่เกิดขึ้น เป็นเม็ดมีสารประกอบที่มีสี และมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ถูกดูดซับ (Adsorb) ไปด้วย และจะทำให้ สารละลายใสด้วย

การตกตะกอนเริ่มต้นโดยการเติมปูนขาวซึ่งมีกระบวนการซับซ้อนมากแบ่งออกได้ดังนี้

2.3.1 การตกตะกอนโดยปฏิกิริยาทางเคมี (41)

2.3.1.1 โดยการรวมระหว่าง Ca^{++} Ion กับ Anion ของกรดอินทรีย์ และกรดอินทรีย์จะได้เกลือแคลเซียมที่ละลายน้ำได้น้อยมาก เช่น $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaSO_4 , CaCO_3

2.3.1.2 โดยการรวมระหว่าง OH^- กับ Cation จะได้ Hydroxide ที่ละลายน้ำได้น้อยมาก เช่น Fe(OH)_3 , Al(OH)_3

ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ขึ้นขึ้นอยู่กับ pH, ความเข้มข้นของสาร, อุณหภูมิ และอำนาจในการละลาย (Solubility) ของตะกอนในสารละลาย

2.3.2 ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ (41)

การตกตะกอนของ Colloids ในสารละลายสกัดนั้น โดยการทำลายเสถียรภาพ ของ Colloids ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

2.3.2.1 Hydrophobic Colloids หมายถึง Colloids ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ ประจุไฟฟ้าของอนุภาคป้องกันให้อนุภาคเหล่านั้นมารวมตัวกัน จึงตกเป็นตะกอนไม่ได้ เมื่อทำสารละลายให้เป็นกลาง ประจุไฟฟ้าเหล่านี้ เช่น Fe^{3+} , Al^{3+} เกิดเป็นสารประกอบและมารวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ หมักพอที่สามารถแยกออกจากสารละลายได้โดยการกรอง Colloids ที่ไม่ชอบน้ำนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารอนินทรีย์ เช่น สารประกอบประเภท Silica, $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$ เป็นต้น

2.3.2.2 Hydrophillic Colloids หมายถึง Colloids ประเภทชอบน้ำ อนุภาคถูกห่อหุ้ม หรือถูกล้อมรอบด้วยน้ำ จึงตกตะกอนไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการไล่น้ำออก โดยการให้ความร้อนกับสารละลาย ก็จะตกตะกอน Colloids เหล่านี้ได้ Colloids ที่ชอบน้ำนี้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารอินทรีย์ เช่น Hemicellulose สารที่มีไนโตรเจน, แป้ง

2.3.2.3 Peptisation ตะกอนบางอย่างที่ตกตะกอนแล้วถ้าเปลี่ยน pH ตะกอนเหล่านี้จะเปลี่ยนกลับเป็น Colloids State ได้ ซึ่งเราเรียกว่า Peptisation ดังนั้นควรใช้ pH ที่เหมาะสมกับการใช้ Flocculant เพื่อรวมตัวให้ตะกอนตกลงมาประมาณ pH อยู่ระหว่าง 6.8 - 7.2

2.3.2.4 การดูดซับ (Adsorption) คือการจับกันหรือดูดซับของโมเลกุลหรืออนุภาคของ Colloids กับผิวของ Solid Matter ถ้าตะกอนมีพื้นที่ผิวมาก จะทำให้การ Adsorb เกิดได้มาก

2.3.3 การดูดซับ (35)

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในก๊าซและของเหลว โดยการดูดซับองค์ประกอบที่เป็นสิ่งเจือปน ที่มีอยู่ในก๊าซและของเหลวที่ต้องการแยก เช่น การกำจัดสี, กลิ่น การดูดซับเป็นการแยกส่วนผลมอยู่ในส่วน ที่ละลายในก๊าซหรือของเหลว ตัวดูดซับ (Adsorbent) จะเป็นของแข็ง ที่กระจายไปทั่วของเหลวและ เกิดการดูดซับขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัส ซึ่งเป็นสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของของแข็งและของเหลว, การดูดซับมีอยู่ 2 ชนิด

2.3.3.1 การดูดซับทางฟิสิกส์ (Physical Adsorption) หรือ Van Der Waals Adsorption คือ การดูดซับที่เกิดขึ้นในส่วนของ Porous ในของแข็ง โดยสารที่ถูกดูดซับด้วยแรงที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นแรงวันเดอวาลส์ และมีค่าน้อยมาก จึงสามารถนำตัวดูดซับ (Adsorbent) กลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยการ Regenerate เช่น ในกระบวนการฟอกสีสารละลายที่สกัดได้จากหญ้าหวานจะเกิดการดูดซับทางฟิสิกส์ ขึ้นในชั้นตะกอนฟอกสีด้วย Anion Exchange Resin Resin จะทำหน้าที่ดูดซับ (Adsorb) สารที่ทำให้เกิดสีในสารละลาย และตัว Resin ก็ยังสามารถ Regenerate กลับมาใช้ใหม่ได้อีก

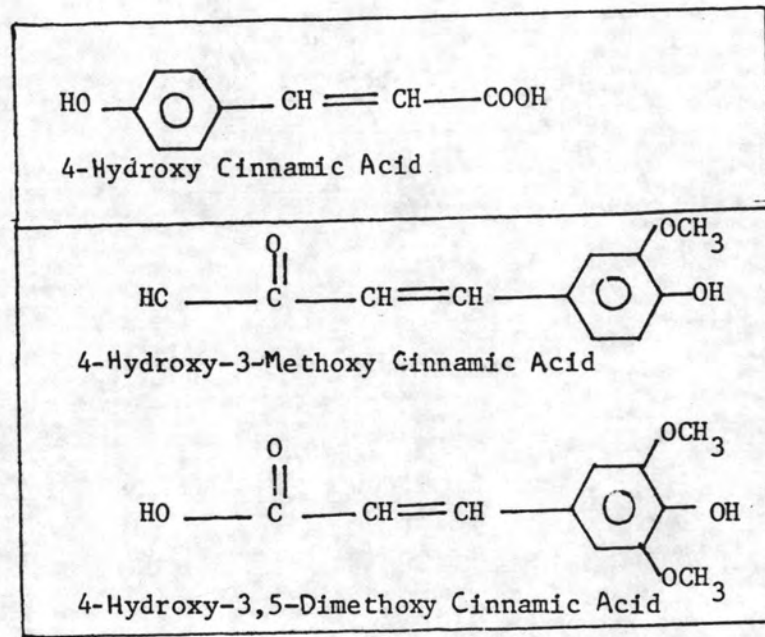
2.3.3.2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างของแข็งและสารที่ถูกดูดซับ (38) แรงในการเกิดการดูดซับทางเคมีจะมากกว่าการดูดซับทางฟิสิกส์จะไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ในกระบวนการสกัดสีวีโอไซด์จากหญ้าหวาน มีขั้นตอนการทำสารละลายให้ใสด้วยแคลเซียมฟอสเฟต และ Cationic Flocculant ตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต และ Cationic Flocculant จะทำหน้าที่ดูดซับ (Adsorb) สีและสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในสารละลายสกัด ตะกอนเหล่านี้เมื่อมีการดูดซับก็ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ไม่เหมือนกับ Resin ซึ่งเป็นการดูดซับทางฟิสิกส์ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

2.3.4 เทคนิคและการนำไปประยุกต์ (Techniques and Applications) (35,43)

เทคนิคการดำเนินการของการแลกเปลี่ยนไอออน มีหลายแบบคือ แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) แบบเป็นขั้นตอน, ฟลูอิดไดซ์, แบบส่วนทางกันอย่างต่อเนื่อง (Continuous Countercurrent) แบบที่ใช้กันมากคือ แบบการไหลซึมผ่านใน Packed-Bed (Packed-Bed Percolations)

การใช้ Ion Exchange Resin ขึ้นอยู่กับสารละลายที่ใช้ สำหรับสารละลายที่สกัดได้จากหญ้าหวาน ต้องการกำจัดสี และสิ่งเจือปนออก ในการเลือกใช้ Resin จะต้องคำนึงถึงสิ่งเจือปนที่ต้องการกำจัดออกโดยศึกษา โครงสร้างและคุณสมบัติของสิ่งเจือปนก่อนว่าเป็น Anion หรือ Cation การวิเคราะห์สำหรับสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะใช้ High Voltage Electrophoresis, (TLC) Thin Layer Chromatography เพื่อจะหา Resin ที่เหมาะสมได้

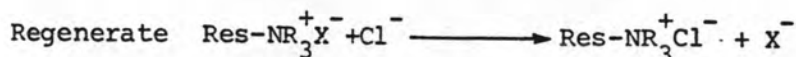
ถ้าสีของสารละลายเป็น Anion ก็ใช้ Basic Anion Exchange ถ้าสีเป็น Cation ก็ใช้ Acidic Cation Exchange แต่สีที่พบอยู่ในสารละลายที่สกัดจากหญ้าหวาน ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอยู่ในธรรมชาติ จะเป็นพวก Polyphenolic Compound ถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในอากาศหรือ Fe^{3+} จะให้สีน้ำตาลออกมาเป็นสีป่าแก่ หรือสีดำก็ได้ ที่พบมากเป็น Weak Acid เช่น



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของสารต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดสีในสารละลายที่สกัดได้ (43)

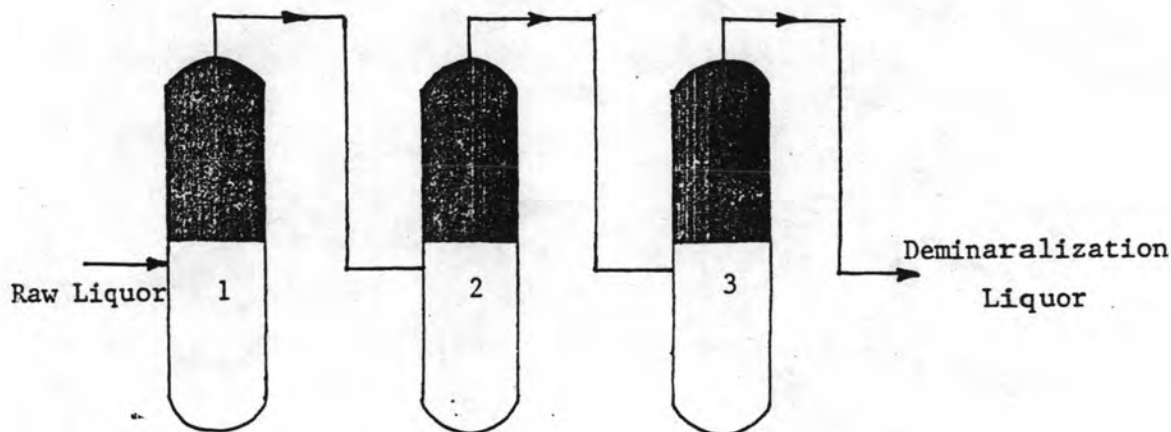
สารที่ทำให้เกิดสีจากรรรมชาติเกือบทั้งหมดเป็นพวก Weak Acid จึงจำเป็นต้องใช้ Basic Anion Exchange ซึ่งมี 2 ชนิดเป็นหลักใหญ่ คือ

2.3.4.1 Decolorization คือ การกำจัดสีสารละลายที่สกัดได้จากหญ้าหวาน ซึ่งในสารละลายจะมีสีเข้มของสิ่งเจือปน จึงต้องผ่านเข้าคอลัมน์ ที่บรรจุด้วย Strong Basic Anion Exchange (Cl⁻ form) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็น



หลังจากผ่าน Ion Exchange Resin สารละลายที่สกัดได้จะใสสะอาดมาก แต่ Specific Gravity คงเดิม pH ลดลงเล็กน้อย

2.3.4.2 Decolorization and Demineralization คือ การกำจัดสีและกำจัด Ion ต้องใช้ Resin 3 ชนิด เพื่อกำจัด, Anion และ Cation



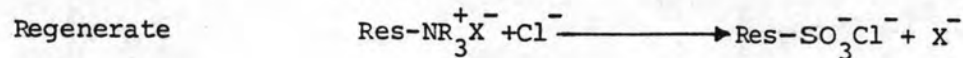
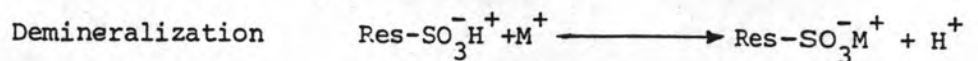
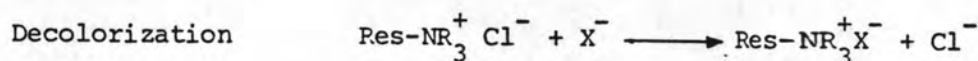
รูปที่ 2.4 แผนผังการใช้ Ion Exchange Resin

คอลัมน์ที่ 1 เป็นการกำจัดสไลซ์ Strongly Basic Anion Exchange (Cl⁻ form)

คอลัมน์ที่ 2 เพื่อกำจัด Anion (Cl⁻, NO₃⁻, PO₄⁼) ไซ้ Strongly Basic Anion Exchange (OH⁻ form)

คอลัมน์ที่ 3 เพื่อกำจัด Cation (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺.....) ไซ้ Strongly Acidic Cation Exchange (H⁺ form)

ปฏิกิริยาที่เกิด



X⁻ = Anion ที่เกิดสไลซ์ , M⁺ = Cation, A⁻ = Anion ที่เกิดเกลือ

ในการใช้ Ion Exchange Resin จะต้องผ่านสารละลายที่อุณหภูมิสูง (70° ซ) (42) แต่อย่าให้สูงเกินกว่าขีดจำกัดของ Resin แต่ละชนิด ซึ่งปกติ Resin จะต้องทนต่อความร้อนได้ดี การที่สารละลายที่ผ่าน Resin จะต้องใช้อุณหภูมิสูงก็เพราะว่าสไลซ์ละลายอยู่ในสารละลายมักจะไม่ละลายที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการใช้ Ion-Exchange ในการกำจัดสไลซ์จะไม่ไ้ผล นอกจากการให้ความร้อน จะทำให้ Viscosity ลดลงด้วย ในกรณีสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น พวก Amino Acid และ Protein สารเหล่านี้เป็นภัยอย่างร้ายแรงต่ออายุการใช้งานของ Resin เนื่องจากสไลซ์จะไปเกาะบนผิวของเม็ด Resin กำจัดออกยากเมื่อใช้นาน ๆ ผิวที่เป็น Active Function Group จะเสียบไป ดังนั้น Capacity จะลดลง

2.4 การแยกสตีวิโอไซด์ออกจากสารละลาย

การแยกสารที่ต้องการออกจากสารละลาย มีกระบวนการทำได้หลายวิธี แต่แบ่งออกเป็นวิธีใหญ่ ๆ ได้ 2 วิธีคือ

1. วิธีทางเคมี (Chemical Method)
2. วิธีทางฟิสิกส์ (Physical Method)

สำหรับการแยกสตีวิโอไซด์ออกจากสารละลายทำได้โดยการตกผลึก หรือการทำแห้งสารละลาย

2.4.1 การตกผลึกสตีวิโอไซด์ (Crystallization of Stevioside) (34)

การตกผลึกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะทางเคมีฟิสิกส์ (Physical-Chemistry) (44) โดยการแยกสตีวิโอไซด์ให้อยู่ในสถานะของแข็ง ออกจากสารละลายอิ่มตัว เป็นผลเนื่องจากความร้อนในการตกผลึก (Heat of Crystallization) ของผลึกที่แยกตัว สำหรับสตีวิโอไซด์ เมื่อตกผลึกแยกออกจากสารละลาย ก็จะไม่ ย้อนกลับไปในสารละลายใหม่

กระบวนการตกผลึกสตีวิโอไซด์ ประกอบด้วย ขั้นตอน พื้นฐาน 3 ขั้นตอน คือ (45)

1. สารละลายที่ล้นจากถ้วยหวน อยู่ในสภาพอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturation)
2. เกิดรวมตัวเป็นอนุภาคหรือนิวเคลียสของผลึก (Nuclei)
3. นิวเคลียส (Nuclei) เกิดการเจริญเติบโตมากขึ้นเป็นผลึกสตีวิโอไซด์

จำนวนนิวเคลียสที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมขนาดของผลึกได้ จึงนับได้ว่า เป็นส่วนสำคัญมากในกระบวนการตกผลึก

2.4.2 ผลึกสตีวิโอไซด์ (Crystal of Stevioside)

การตกผลึกสตีวิโอไซด์เพื่อแยกสตีวิโอไซด์ ออกจากสารละลายที่ ล้นจากถ้วยหวน ผลึกที่แยกออกมาในสถานะของแข็ง โดยทั่วไปจะมีทั้งผลึกเดี่ยว ๆ ผลึกหลาย ชนิด (Polycrystal) หรือรวมตัวกัน (Agglomerate) สำหรับผลึกสตีวิโอไซด์เป็นผลึกเดี่ยว ๆ ที่แยกออกจากสารละลาย จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสารละลายอยู่ในภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (Super Saturation Solution) ในการทำสารละลายให้อิ่มตัวยิ่งยวด(45) มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. การระเหย (Evaporation) เป็นการระเหยตัวทำละลาย หรือทำสารละลายให้เข้มข้น
2. การทำให้เย็น (Cooling) เป็นการลดอุณหภูมิของสารละลายจนถึงจุดอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturation Point)

สารละลายที่สกัดได้จากหญ้าหวาน โดยใช้ได้ออกเช่นเป็นตัวทำละลาย เมื่อระเหยและทำสารละลายให้เย็น ก็ไม่สามารถเกิดผลึกสตีวิโอไซด์ขึ้นได้ แต่เมื่อเติมเมธานอลลงในสารละลาย จะเกิดผลึกสตีวิโอไซด์เกิดขึ้น แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการตกผลึก (Reaction Crystallization) (44) การตกผลึกที่เกิดขึ้นด้วยวิธีนี้ เรียกว่า Salt-Out Crystallization (45) ซึ่งการเกิด Salt-Out เป็นวิธีที่ใช้ในกรณีสารอินทรีย์ที่ละลายใน Organic-Water จะต้องควบคุมการตกผลึก โดยการเติมน้ำหรือ Organic Solvent บางตัวลงในสารละลายเพื่อทำให้เกิด Salt-Out ของสารทำให้เกิดการตกผลึกได้ ลักษณะการเกิดผลึกสตีวิโอไซด์ในสารละลายได้ออกเช่นก็เช่นกันจะต้องเติมเมธานอลลงไป เพื่อทำให้เกิดผลึกสตีวิโอไซด์ออกมา

ผลึกสตีวิโอไซด์ ไม่สามารถเกิดเป็นผลึกได้ ถึงแม้สารละลายจะอิ่มตัวยิ่งยวดก็ตาม จะต้องเติมเมธานอล เพื่อให้เกิด Salt-Out Crystallization ทำให้ Embryo ของสตีวิโอไซด์ เจริญเติบโตเป็นนิวคลีโอไซด์ นิวคลีโอไซด์จะเติบโตเป็นผลึกสตีวิโอไซด์ต่อไป นิวคลีโอไซด์นี้เป็นแบบ Primary Nuclei คือไม่ต้องเติม Seed ไปช่วยในการตกผลึก การเกิดนิวคลีโอไซด์แบบนี้ เรียกว่า Homogeneous-Nucleation (45)

2.4.3 ผลของสิ่งเจือปนในการตกผลึกสตีวิโอไซด์ (Effect of Impurities on Crystallization of Stevioside) (44)

กลไกของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในสารละลายสกัดจะมีผลต่อปฏิกิริยาที่นิวคลีโอไซด์ โดยสิ่งเจือปนจะไปจับที่ผิวหน้าของผลึก ทำให้การเจริญเติบโตของผลึกลดน้อยลง หรือหยุดการเจริญเติบโต รูปร่างของผลึกก็เปลี่ยนไป สิ่งเจือปนเหล่านี้เรียกว่า Habit Modifiers สิ่งเจือปนที่มีอยู่ในสารละลายสกัดจากหญ้าหวานมีอยู่หลายชนิด ดังนี้คือ

2.4.3.1 ไขมันและคลอโรฟิลล์ จะมีผลต่อสารละลายสกัดในแง่สมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Property) เช่น ความหนืด, ความหนาแน่น ซึ่งทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในขั้นตอนการแพร่กระจายน้อยลง ทำให้สตีวิโอไซด์ไม่สามารถตกผลึกได้ ดังนั้นใน

กระบวนการสกัดลีสทีรีโอไซด์จึงต้องกำจัดไขมันและคลอโรฟิลล์'ออกก่อน โดยสกัดด้วยคลอโรฟอร์ม

2.4.3.2 ลีสของสารละลาย เกิดจาก Pigment ที่มีอยู่ในหญ้าหวาน ซึ่งในธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นพวก Weak Acid Anion สีที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้ลีสลีสทีรีโอไซด์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์ และถ้ามีมากอาจจะทำให้ลีสทีรีโอไซด์ไม่ตกผลึก ดังนั้นในกระบวนการจึงต้องมีหน่วยฟอกสี (Decolorization)

2.4.3.3 สิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่มีอยู่ในสารละลายซึ่งอาจจะเป็นพวกที่มี Polarity สูงกว่าลีสทีรีโอไซด์จะต้องมีการกำจัดออกเพราะสิ่งเจือปนเหล่านี้มีผลต่อปฏิกิริยาที่ยังสัมพันธ์และหรือยับยั้งการเกิดผลึกทำให้ลีสลีสทีรีโอไซด์เปลี่ยนรูปร่าง หรือเปลี่ยน Phase-Diagrame มีผลทำให้ลีสลีสมี แต่การละลายเป็นของเหลวอย่างเดี่ยว ไม่สามารถเล็ดยกรภาพในสถานะของแข็งได้

2.4.4 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้งหมายถึง การแยกน้ำหรือของเหลวชนิดอื่นที่ระเหยไต่ออกจากสารประกอบซึ่งอาจเป็นของแข็ง, กึ่งของแข็ง (Paste) หรือสารละลาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้น หรือของเหลวในระดับที่ยอมรับได้ (46)

2.4.4.1 การอบแห้งสารละลายสกัดจากหญ้าหวาน

การอบแห้งสารละลายสกัด แบ่งเป็นวิธีอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 ลักษณะได้แก่ แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) โดยใช้เครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง (Freeze Dryer) แบบต่อเนื่อง (Continuous) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง (Spray Dryer) (35)

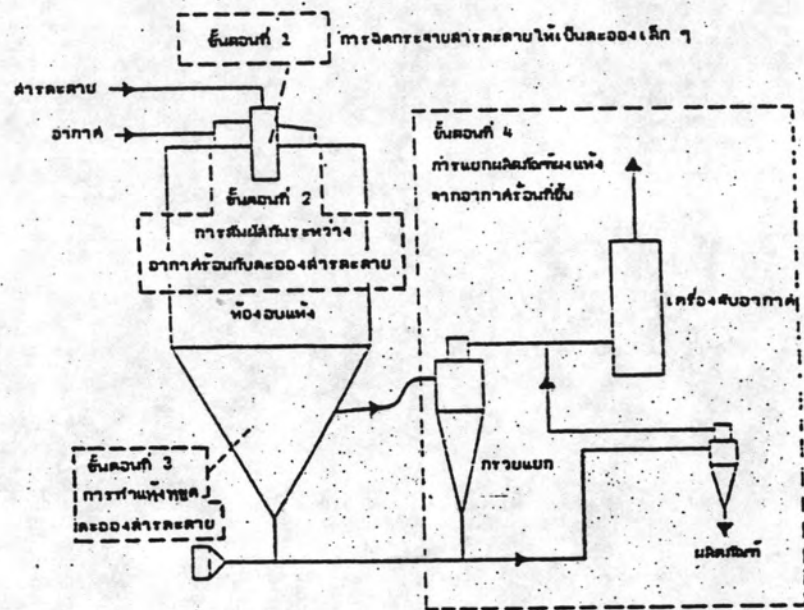
2.4.4.2 เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง (Spray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้สำหรับทำแห้งสารละลาย, สารละลายเข้มข้น (Slurries) และสารละลายเข้มข้นกึ่งของแข็ง (Paste) โดยใช้สารละลายผ่านหัวฉีด กระจายเป็นละอองเล็ก ๆ ในกระแสอากาศร้อนที่ไหลผ่านเครื่องอบแห้ง สารละลายจะระเหยอย่างรวดเร็วและแห้งก่อนถึงผนังเครื่องอบแห้ง และตกลงสู่ส่วนล่างของเครื่องอบ ซึ่งมีรูปร่างเป็นกรวย (Conical Bottom) ออกไปตามท่อเข้าเครื่องแยก (Separator) แยกผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศชื้น

2.4.4.3 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบหวัดกระจายให้เป็นผงแห้ง

การอบแห้งแบบหวัดกระจายให้เป็นผงแห้ง ประกอบด้วยการทำงานที่สำคัญ

4 ขั้นตอน (ดูรูปที่ 2.5 ประกอบ) คือ



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบหวัดกระจายให้เป็นผงแห้ง (47)

การฉีดกระจายสารละลายเล็ก ๆ (Atomization) เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก จุดประสงค์เพื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวกับมวล ทำให้อัตราการระเหยของสารละลายเล็กสูงขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์แห้งที่มีคุณสมบัติเฉพาะตามต้องการ (34, 47, 48) และการสัมผัสระหว่างอากาศร้อนกับสารละลายเล็ก ซึ่งอากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องอบแห้งได้จากเครื่องทำความร้อน 2 แบบ คือแบบทำความร้อนโดยตรง ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยใช้ก๊าซร้อนนำไปใช้โดยตรง หรือเป็นขดลวดความร้อนไฟฟ้าให้ความร้อนแก่เครื่องอบแห้งมีข้อดีที่มีการสูญเสียความร้อนน้อย อีกแบบโดยทางอ้อม ได้จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องทำความร้อน ซึ่งอาจผลิตความร้อนจากไอน้ำ หรือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก็ได้ แบบนี้ได้อากาศร้อนที่สะอาดกว่าแบบแรก ไม่มีอันตรายและสะดวกในการทำงาน การสัมผัสระหว่างอากาศร้อนกับสารละลายเล็กลักษณะการไหล และผลลัพท์ได้ 3 แบบ (46)

ก. การไหลไปทางเดียวกัน (Cocurrent Flow) เหมาะสำหรับสารละลายที่ไวต่อความร้อน เช่น สารละลายเล็กจากกลุ่มไนโตร เป็นต้น

ข. การไหลสวนทางกัน (Countercurrent Flow) วิธีนี้ความร้อนจะถูกนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด ไม่เหมาะกับสารละลายที่ไวต่อความร้อน

ค. การไหลแบบผสมกัน (Mixed Flow) วิธีนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะมีขนาดใหญ่

การเลือกใช้ลักษณะการไหล และผลลัพท์ของอากาศร้อนกับสารละลายขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการ เช่น ขนาด, ค่าความหนาแน่น และที่สำคัญคืออุณหภูมิที่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ได้ โดยไม่ทำให้คุณภาพสูญเสียไป

สำหรับการทำแห้งหยดละอองสารละลาย เมื่อหยดสารละลายสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการระเหยที่ผิวของหยดสารละลายเกิดเป็นแผ่นไอน้ำอิมัลชัน มีอุณหภูมิประมาณเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Bulb Temperature) ของอากาศร้อน การระเหยของหยดสารละลายเกิดเป็น 2 ขั้นตอน คือ อัตราการระเหยคงที่ และไม่คงที่ ขั้นตอนแรกความชื้นภายในหยดสารละลายมีอยู่มากพอที่จะแพร่กระจายไปที่ผิวจนอิมัลชัน อัตราการระเหยที่ผิวจึงคงที่ ในขั้นตอนที่ 2 เมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำลงกว่าสภาวะอิมัลชัน จะเข้าสู่จุดวิกฤต (Critical Point)

ผิวของหีบดสารละลายเริ่มแห้ง อัตราการระเหยในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจาย ความชื้น ผ่านผิวนอกที่แห้ง ความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะมากขึ้นตามเวลา อัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง (47, 49)

เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายของส่วนที่แห้งของสารละลายกลับเข้าสู่ภายในหีบด สารละลายเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่กระจายของความชื้นออกสู่ผิว ปริมาณของแข็งที่แห้งส่วนใหญ่ จึงสะสมอยู่ที่ผิว ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกึ่งผงและร่วน

การแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศร้อนมี 2 วิธีได้แก่ (47, 48, 50)

ก. การแยกภายในเครื่องอบแห้ง เป็นการแยกผลิตภัณฑ์โดยส่วนใหญ่ออกจากอากาศร้อน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กจะไหลออกจากเครื่องพร้อมกับอากาศและถูกแยกจากกันอีกครั้งเดียว เครื่องเก็บอนุภาคแบบลมหมุน (Cyclone Collector) เครื่องกรองแบบถุง (Bag Filter) หรือเครื่องจับอนุภาคแบบเปียก (Wet-Scrubber) การแยกภายในเครื่องอบ ใช้หลักแรงโน้มถ่วงโลก หรือใช้เครื่องมือกลค่าสถิติ เข้าช่วย เช่น ลำยพาน (Conveyor) คราดหรือไม้กวาด ติดตั้งบริเวณส่วนล่างของเครื่องหรือ ใช้อากาศเป็นแปรง (Air Brush) เป่าผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่อง

ข. การแยกภายนอกเครื่องอบแห้ง ผลิตภัณฑ์และอากาศจะไหลออกจากเครื่องอบพร้อมกัน มาทำการแยกภายนอกด้วยเครื่องเก็บอนุภาคแบบลมหมุน หรือเครื่องกรองแบบถุง เป็นต้น