อุตสาหกรรมกลูโคสซีรัป (Glucose syrup)

สุวัฒน์ ลิ้มสุวรรณ

การบริโภคอาหารนั้นมิใช่เพียงเพื่อต้องการคุณค่าทางอาหารเท่านั้น แต่รสชาติที่ได้รับยังสนองความต้องการบางประการของเราอีกด้วย ดังนั้นความเปรี้ยว หวาน เค็ม มัน จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปรุงแต่งรสชาติของอาหาร สารให้ความหวานที่เราใช้อยู่มากมายหลายชนิดที่ใช้กันอยู่เป็นประจำคือ น้ำตาลทราย (sucrose) นอกจากนี้ยังมีสารให้ความหวานที่ใช้กันมากในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อคุณภาพสินค้าและลดต้นทุนการผลิต นั่นคือ กลูโคสซีรัป

กลูโคสซีรัป ผลิตขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดยนักเคมีชาวเยอรมัน ด้วยการนำแป้งมาต้มกับสารละลายเจือจางของกรดซัลฟุริก จะได้สารละลายเข้มข้นที่มีรสหวาน

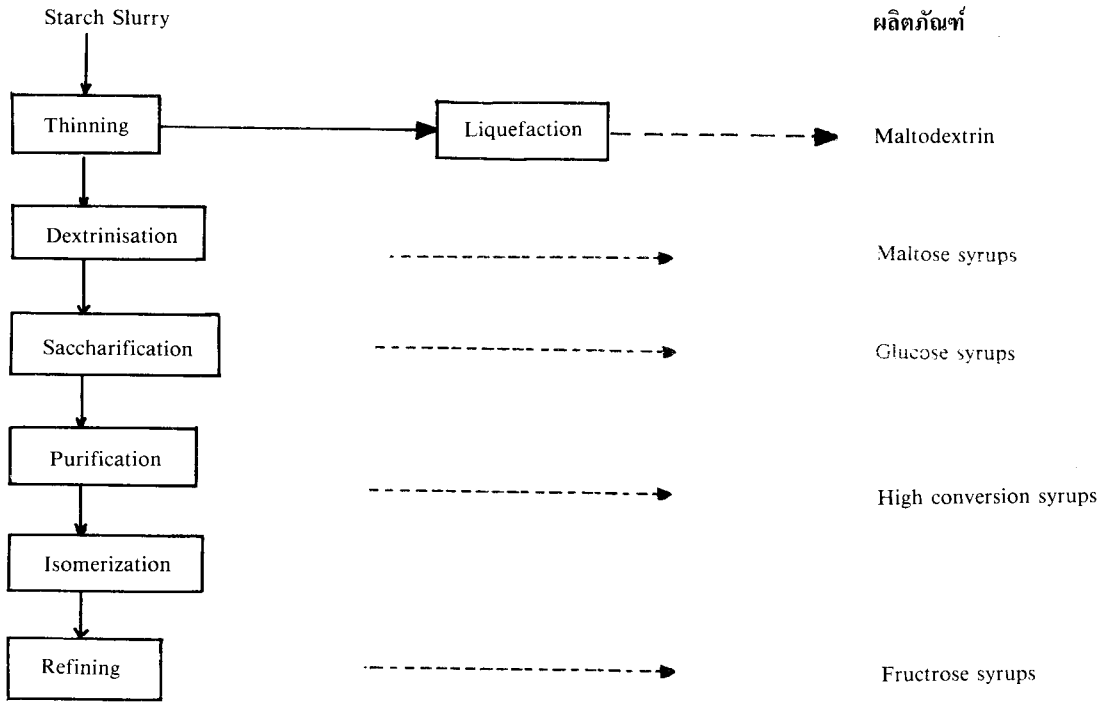
องค์การตลาดร่วมยุโรป ให้คำจำกัดความของกลูโคสซีรัปว่า คือ สารละลายเข้มข้นของกลูโคส (glucose) มอลโตส (maltose) และโพลิเมอร์ (polymers) ชนิดต่าง ๆ ของกลูโคสที่ได้จากการนำแป้งมาทำการย่อยสลายแบบย่อยสลายบางส่วน (partial hydrolysis)

Codex ให้คำจำกัดความว่า เป็นสารละลายเข้มข้นของน้ำตาลที่มีคุณค่าทางอาหาร (nutritive saccharides) ที่ได้จากแป้ง

ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 เริ่มมีการผลิตกลูโคสซีรัป ในเชิงอุตสาหกรรมขึ้น ด้วยการไฮโดรไลซิสแห้งด้วยกรดอนินทรีย์ เช่น กรดไฮโดรคลอริก หรือ กรดซัลฟุริก กรดอินทรีย์ เช่น กรดออกซาลิก (oxalic acid) แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ กรดไฮโดรคลอริก อุตสาหกรรมนี้แพร่หลายมากในอเมริกา เนื่องจากมีวัตถุดิบคือ แป้งข้าวโพดมาก สำหรับประเทศไทยมีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมมาประมาณ 30 ปี โดยใช้วัตถุดิบคือแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับการทำ partial hydrolysis นั้น ความมากน้อยของการถูกย่อยสลายจะติดตามได้ด้วยการวัดค่าสมมูลย์เดกโตรส (Dextrose equivalant, DE) ซึ่งก็คือ ค่าปริมาณของน้ำตาลรีดิวซิง (คิดในรูปของเดกโตรส) ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ต่อ ปริมาณสารที่แห้ง (dry matter basis) ซึ่งค่า DE สูง แสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายไปมาก (มีน้ำตาลรีดิวซิงมาก) แต่มิได้หมายความว่ามี glucose มากเสมอไป

ขบวนการผลิตกลูโคสซีรัปในอุตสาหกรรม มีแผนภูมิคร่าว ๆ ดังนี้



พิจารณาแผนภูมิข้างต้น จะเห็นว่าใน อุตสาหกรรมกลูโคสซีรัปจริง ๆ อาจแบ่งชนิดของผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดตามตารางที่ 1 ซึ่ง แสดงองค์ประกอบชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มี อยู่ในแต่ละผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1

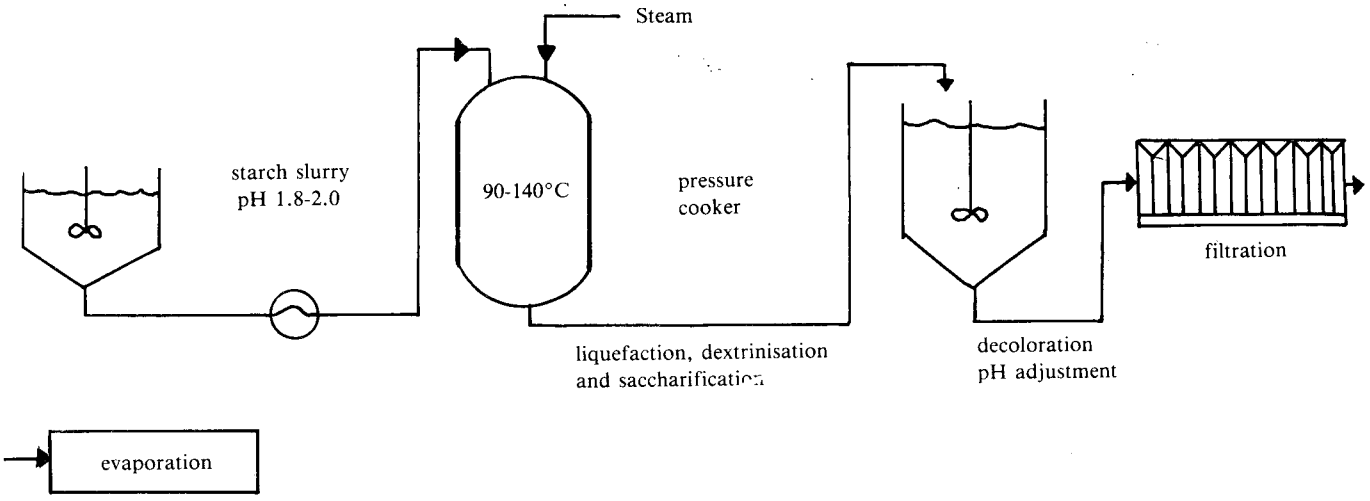
	Maltodextrin	Maltose	Syrup	High conversion syrup	Dextrose or Glucose syrup
	อ	อ	ก	อ	อ
DE	20	42	42-43	65	95-97
Dextrose (%)	0.8	6	19	34	95-98
Maltose (%)	5.5	45	14	47	1.5-2.0
Maltotetraose (%)	11.0	12	12	3	
Maltotetraose (%)		3	10	2	
Maltopentaose (%)	82.7	2	8	1.5	
Maltohexaose (%)		2	7	1.0	
Higher sugars (%)		30	30	11.5	

หมายเหตุ อ หมายถึงผลิตโดยวิธีไฮโดรไลซิส มีเอนไซม์ (enzyme) เป็นคะตะลิสท์ (catalyst)

ก หมายถึง ผลิตโดยวิธีไฮโดรไลซิส มีกรด เป็นคะตะลิสท์

DE = Dextrose equivalent

ตัวอย่างขบวนการผลิตโดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด มีแผนภูมิดังนี้



เริ่มแรกจะผสมแป้งกับน้ำ โดยใช้เนื้อแป้งแห้งประมาณ 30-40% คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จะได้ starch slurry ปรับ pH ให้ได้ค่า 1.8-2.0 แล้วปั๊มเข้าสู่หม้ออบความดัน (pressure cooker) ให้ความร้อนที่ 90°ซ. ประมาณ 20-30 นาที (จะเกิดขบวนการ liquefaction) สารละลายจะใส ความหนืดจะลดลง ต่อจากนั้นอบภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 120-140°ซ. แป้งจะถูกย่อยลงไปเรื่อย ๆ ขึ้นกับเวลาที่ใช้ (จะเกิดขบวนการ dextrinisation และ saccharification) ถ้าต้องการผลิตภัณฑ์เป็น maltodextrin ซึ่งมีค่า DE ประมาณ 20 เวลาที่ใช้จะสั้น แต่ถ้าต้องการ maltose syrup ซึ่งมีค่า DE ประมาณ 40 เวลาที่ใช้จะนานขึ้น (เวลาที่ใช้จะไม่เกิน 20 นาที) เมื่อได้ DE ตามต้องการแล้ว ทำการดูดสีด้วยคาร์บอนกัมมันต์ ปรับ pH ตามต้องการแล้วกรอง ผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจต้องแยกเอาเกลือออกจากสารละลายด้วย ion exchange resins ก่อนแล้วจึงระเหยน้ำออกภายใต้ความดันต่ำจนได้ความหนืดตามต้องการ

สำหรับการผลิต dextrose syrup ซึ่งมีค่า DE สูง (DE > 90) ด้วยขบวนการที่ใช้กรดจะได้สารละลายที่มีสีเข้มมาก เนื่องจากภายใต้สภาวะที่ pH ต่ำ อุณหภูมิสูงจะเกิดสารมีสีขึ้นมาก อีกทั้งกรณีการผลิต maltodextrin นั้น แป้งอาจถูกย่อยสลายไม่หมด หรือมีการกลับมารวมตัวกันใหม่ (retrogradation) ทำให้ maltodextrin ที่ได้คืนสภาพเร็วคือเกิดขุ่นขาวขึ้น ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพสาขาเอนไซม์ จนสามารถเตรียมเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่มี

ประสิทธิภาพสูงด้วยราคาที่จะผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ปัญหาต่าง ๆ ข้างต้นจึงสามารถแก้ได้โดยอาศัยข้อดีของเอนไซม์ ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาเคมีการย่อยสลายเฉพาะเจาะจง สภาวะที่ใช้ไม่ว่าจะเป็น pH หรืออุณหภูมิ ไม่รุนแรงเท่ากรด ปฏิกิริยาการเกิดสีก็ลดน้องลง มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น โดยต้นทุนไม่สูงกว่ากรดเท่าใดนัก ดังนั้นในปัจจุบันขบวนการผลิตกลูโคสซีรัปจึงเปลี่ยนมาใช้เอนไซม์มากขึ้น จึงจะขอกล่าวขบวนการผลิตโดยใช้เอนไซม์มาพอสังเขปดังนี้

การผลิตกลูโคสซีรัปในอุตสาหกรรม

เริ่มต้นจาก starch slurry นำมาปรับ pH ให้อยู่ในช่วง pH 6.4-7.0 แล้วเลือกใส่เอนไซม์พวก α -amylase เอนไซม์นี้มีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดที่ทนต่อความร้อนได้น้อยกว่า ได้จากแบคทีเรียพวก Bacillus subtilis กับชนิดที่ทนความร้อนได้มากกว่า ได้จากแบคทีเรียพวก Bacillus licheniformis การเลือกใช้ชนิดใดขึ้นกับชนิดของแป้งที่เป็นวัตถุดิบและขบวนการผลิตว่าออกแบบมาเช่นไร เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้เฉพาะเจาะจงในการไฮโดรไลซ์ α -1, 4-glucosidic linkage ในแป้ง ถ้าใช้ B.subtilis α -amylase เมื่อให้ความร้อนที่ 85°ซ. เป็นเวลาประมาณ 30 นาที จะได้ hydrolysate มีค่า DE ประมาณ 12 (เป็นขั้นตอน liquefaction) ถ้าทำจนได้ DE $\geqslant$ 20 จะเกิดขั้นตอน dextrinisation ด้วย โดยใช้เวลานานขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น maltodextrin ถ้าใช้ B.licheniformis α -amylase ให้ความร้อน 105-110°ซ. ประมาณ 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วเป็น 95°ซ. รักษาไว้ที่อุณหภูมินี้จนได้ DE ตามต้องการ

การเตรียม maltose syrup นำ hydrolysate ที่มี DE 15-20 จากขั้นตอนข้างต้นมาทำ saccharification ด้วย α-amylase ที่ได้จากพวก Aspergillus oryzae (เฉพาะเจาะจงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี % maltose สูง) สภาวะที่เหมาะสมที่ pH = 5 ควบคุมอุณหภูมิ 50-55° ซ. เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จนได้ DE ตามต้องการ

การเตรียม dextrose syrup นำ hydrolysate ที่มี DE 15-20 จากขั้นตอนข้างต้นมาทำ saccharification ด้วยเอนไซม์ amyloglucosidase ที่ได้จากพวก Aspergillus niger (เอนไซม์นี้ไฮโดรไลซ์ได้ทั้ง α -1, 4-glucosidic และ α -1, 6-glucosidic linkage) สภาวะที่เหมาะสม pH = 4.5 ควบคุมอุณหภูมิ = 60°ซ. เป็นเวลา 48-96 ชั่วโมง จนได้ DE สูงสุด = 98 ทำขั้นตอนต่อไปทันที ทิ้งไว้ DE จะลดลง

สำหรับการใช้กลูโคสซีรัปในอุตสาหกรรมจะขอยกตัวอย่างที่สำคัญดังต่อไปนี้

ในอุตสาหกรรมลูกกวาด ลูกกวาดที่ปรากฏแก่สายตาจะมีสถานะเป็นของแข็ง (solid) แต่ความจริงแล้วเป็น supercooled non-crystalline liquid (glassy state) มีปริมาณของแข็งอยู่ 97% ถ้าใช้สารให้ความหวานเพียงน้ำตาลทราย (sucrose) ตัวเดียว เมื่อเก็บไว้จะเกิดการตกผลึกของ sucrose นอกจากนี้ลูกกวาดยังดูดซับความชื้นจากอากาศอยู่ตลอดเวลาจะทำให้เกิดชั้นบาง ๆ ที่มีความเข้มข้นลดลง (น้ำเพิ่มขึ้น) ทำให้ sucrose ตกผลึกออกมาได้อีกด้วย แล้วจะแพร่กระจายเข้าไปยังเนื้อในลูกกวาดจะขุ่น แต่เมื่อใส่ maltose syrup จะสามารถยับยั้งขบวนการตกผลึกของ sucrose ได้ และ maltose syrup ที่ได้จากขบวนการที่ใช้เอนไซม์ (พิจารณาตารางที่ 1) จะมีปริมาณ glucose ต่ำ maltose สูงกว่าขบวนการที่ใช้กรด คุณสมบัติที่ดีของ maltose คือ ดูดความชื้นน้อยกว่า glucose ดังนั้น maltose syrup จากขบวนการที่ใช้เอนไซม์เหมาะสมในการผลิตลูกกวาดมากกว่า

ในอุตสาหกรรมไอศครีม การเติมกลูโคสซีรัปลงไปจะช่วยปรับปรุงให้ไอศครีมละลายช้าลงได้ และปรับสภาพความนุ่มลิ้นได้ตามต้องการ ชนิดของกลูโคสซีรัปที่ใช้ DE ตั้งแต่ 29 ถึง 90 ขึ้นกับคุณสมบัติของไอศครีมที่ต้องการ

ในอุตสาหกรรมครีมเทียมปรุงแต่งเครื่องดื่มชนิดร้อน (coffee whitener) จะนำ maltodextrin (DE 20-25) ผสมกับน้ำมันพืช เติมกลิ่นและสี แล้วฉีดออกมาเป็นผงแห้ง สัดส่วนของ maltodextrin ในครีมเทียมประมาณ 40-60%

ในอุตสาหกรรมถนอมอาหาร ใช้กลูโคสซีรัปที่มีค่า DE = 63 ผสมร่วมกับน้ำตาลทราย จะทำให้ osmotic pressure สูงขึ้นกว่าใช้น้ำตาลทรายอย่างเดียว ช่วยหยุดยั้งการทำลายอาหารจากจุลินทรีย์ อีกทั้งป้องกันการตกผลึกของ sucrose และรสชาติที่ได้ไม่หวานเกินไป

ในประเทศไทยนอกจากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ขนมพื้นบ้านบางชนิดก็มีการใส่กลูโคสซีรัปด้วย ที่ขายตามตลาดทั่วไปมีค่า DE 40-50 รู้จักกันในชื่อแบะแซ นอกจากนี้น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลปึก ที่นำน้ำหวานจากมะพร้าวมาเคี่ยวก็ต้องใส่แบะแซ เพื่อให้อยู่ในสภาพกึ่งแข็ง หรือแข็งเป็นก้อน ที่อุณหภูมิห้อง ตามต้องการ

จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมกลูโคสซีรัปสามารถเปลี่ยนแป้งซึ่งเป็นสินค้ามูลค่าต่ำ ไปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงขึ้น นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นได้หลากหลาย ยังมีผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ได้จากการนำกลูโคสซีรัปไปทำปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้สารให้ความหวานอื่น ๆ นำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางอีก เช่น นำกลูโคสซีรัปที่มี DE สูงถึง 98 ไปทำ isomerization ด้วยเอนไซม์ isomerase ได้ fructose syrup ที่มีความหวานเทียบเท่าน้ำตาลทราย ใช้ในอุตสาหกรรมพวกเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ (soft drink) หรือ การนำกลูโคสซีรัปไปทำ hydrogenation ได้เป็น hydrogenated glucose syrup ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น ยาสีฟัน อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยาสูบ ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมกลูโคสซีรัปทุกโรงงาน ได้พยายามพัฒนาขบวนการผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยีชีวภาพจากเอนไซม์มากขึ้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น หลากหลายขึ้น อันอาจจะลดการนำเข้าวัตถุดิบประเภทนี้จากต่างประเทศ และคาดว่าในอนาคตอาจมีการส่งออกเพิ่มมากขึ้นแทน

เอกสารอ้างอิง

1. Dziedzic SZ. and Kearsley MW., **Glucose Syrups : Science and Technology**, London : Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1984.
2. Godfrey T. and Reichelt J., **Industrial Enzymology : The Application of Enzymes in Industry**, New York, N.Y. : Nature Press, 1983.