บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสับปะรด

สับปะรดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ สับปะรดเป็นพืชที่ปลูกง่าย การบำรุงรักษาไม่ยาก และขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกสับปะรดคือ ดินร่วนปนทราย น้ำไม่ขัง และค่อนข้างเป็นกรด สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล ชอบอากาศร้อนชุ่มชื้น แต่ทนแล้งได้ดี ปลูกครั้งเดียวเก็บผลได้ถึง 3 ปี ระยะเวลาปลูก 10 เดือน จึงจะออกผล พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ (4)

(1) พันธุ์อินทรชิต หรือพันธุ์เทพรส เป็นพันธุ์พื้นเมือง ผลเล็ก น้ำหนักผลประมาณ 1 กิโลกรัม ผิวเปลือกมีสีแดงคล้ำ เนื้อสีทองหรือเหลืองจัด รสหวานจัด

(2) พันธุ์ขาว หรือพันธุ์สิงคโปร์ ผลเล็กหนักประมาณ 1/2 - 1 กิโลกรัม ก้านผลยาว ผิวเปลือกมีสีเหลืองอ่อน บางทีมีสีเขียวแซม เนื้อเป็นสีเหลือง รสหวานอมเปรี้ยว เนื้อกรอบ หยาบเสี้ยนมาก ตาลึก แกนเล็ก

(3) พันธุ์ปัตตาเวีย หรือ Smooth Cayenne หรือกัลกัตตา ผลใหญ่มาก บางผลหนักถึง 7 กิโลกรัม แต่โดยเฉลี่ยหนักประมาณ 2.5 กิโลกรัม ก้านผลสั้น เปลือกสีเขียว เมื่อแก่จัดบางชนิดเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่บางชนิดเปลือกจะมีสีเขียวเข้ม ตาตื้น แกนใหญ่ เนื้อสีเหลืองละเอียด รสหวานฉ่ำ มีปลูกกันทั่วไป อาจมีหลายชื่อแล้วแต่ท้องที่ที่ปลูกจะเรียกกัน เช่น ที่ปลูกในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชาวบ้านเรียกพันธุ์ตาด่า, ตาแดง เหตุที่เรียกพันธุ์ตาด่าและตาแดง เนื่องจากลักษณะสีของเปลือกเมื่อผลสุก พันธุ์ตาด่าสีของผลจะคงเขียวเข้มอยู่เช่นเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนพันธุ์ตาแดงสีของผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองปนแดง

แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี กาญจนบุรี ตำบางราชบุรี ชลบุรี และระยอง

สับปะรดเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาทำเป็นผลไม้อบแห้ง ส่วนใหญ่นิยมใช้พันธุ์ปัตตาเวีย เพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเหลืองสวยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ (5)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด

องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดจะแปรไปตามพันธุ์ พื้นที่ที่ใช้เพาะปลูก วิธีปลูก และความแก่อ่อนของสับปะรดขณะเก็บเกี่ยว องค์ประกอบทางเคมีของสับประรดพันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne) ที่ผลสุกรับประทานได้ (edible quality) แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด (6)

องค์ประกอบ	% (น้ำหนักสด)
ปริมาณน้ำ	81.2-86.2
ค่าความเป็นกรดในรูปของกรดซิตริก	0.6-1.62
ปริมาณน้ำตาล (°Brix)	10.8-17.5
เส้นใย	0.30-0.61
เถ้า	0.30-0.42
ไนโตรเจน	0.045-0.115

สำหรับคาร์โบไฮเดรทในสับปะรดแสดงในตารางที่ 2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรทในผลไม้จะเปลี่ยนไปตาม metabolic activity เมื่อผลไม้แก่หรือสุกจะมีปริมาณแป้งลดลง เพราะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล รสหวานของผลไม้เกิดจากกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ซึ่งจะหวานมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและปริมาณของน้ำตาลแต่ละชนิด อีกส่วนหนึ่งของคาร์โบไฮเดรทคือเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารพวกเพคตินที่มีอยู่ตามผนังเซล ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้จึงไม่มีความสำคัญในแง่ที่ให้คุณค่าทางอาหาร แต่มีประโยชน์ต่อการขับถ่ายและสำคัญต่อลักษณะเนื้อของผลไม้

ตารางที่ 2 ประเภทและปริมาณคาร์โบไฮเดรทในสับปะรด (6)

ประเภทคาร์โบไฮเดรท	% (น้ำหนักสด)
กลูโคส	1.0 - 3.2
ฟรุกโตส	0.6 - 2.3
ซูโครส	5.9 - 12.0
แป้ง (starch)	< 0.002
เซลลูโลส	0.43 - 0.54
เฮกโซแซน	0.10 - 0.15
เพนโตแซน	0.33 - 0.43
เพคติน	0.06 - 0.16

2.3 หลักการทำแห้งผลไม้

การทำให้อาหารแห้งโดยทั่ว ๆ ไป มีจุดประสงค์หลัก เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ และนอกจากนั้นยังเป็นการลดน้ำหนักของอาหารเพื่อสะดวกต่อการขนส่งด้วย (7)

การทำให้ผลไม้แห้งโดยการใช้ความร้อนหรือวิธีอื่นเพื่อลดปริมาณน้ำในผลไม้ให้ต่ำลง มีผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยเฉพาะน้ำตาลมีความเข้มข้นสูง จนกระทั่งถึงจุดที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณความชื้นที่จุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้นั้นจะอ้างถึงค่าของ water activity, a_w ($a_w = P/P_o$ เมื่อ P คือความดันไอของน้ำซึ่งถูกจับไว้ในอาหาร และ P_o คือความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน) จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีระดับ a_w แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) (8) สำหรับผลไม้แห้งที่มีค่า a_w ประมาณ 0.65 จะสามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่า A_w และปริมาณน้ำในอาหารกับชนิดของจุลินทรีย์

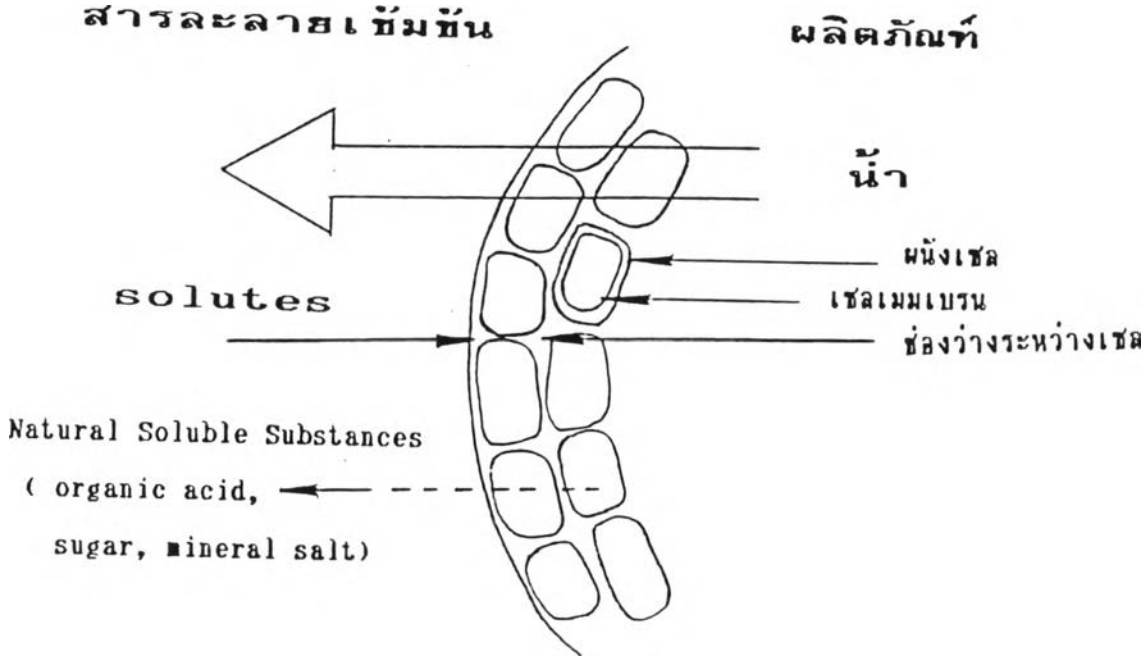
ช่วงของค่า a_w	ชนิดของจุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้งโดยค่าต่ำสุดของช่วงที่กำหนด	ชนิดของอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงที่กำหนด
1.00 - 0.95	Gram-negative rods; bacterial spores: some yeasts	Food containing 40%(w/w) sucrose or 7% (w/w) salt, e.g. many cooked sausages: bread crumbs.
0.95 - 0.91	Most cocci ; lactobacilli; vegetative cells of *Bacillaceae* ; some moulds	Foods containing 55%(w/w) sucrose or 12% NaCl, e.g. dry ham; medium age cheese
0.91 - 0.87	Most yeasts	Foods containing 65%(w/w) sucrose (i.e. saturated ; foods with 15% NaCl, e.g. salami; "old" cheese
0.87 - 0.80	Most moulds; *Staph. aureus*	Flours, rice pulses, etc. containing 15-17% water; fruit cakes ; sweetened condensed milk (*ca 0.82*)
0.80 - 0.75	Most halophilic bacteria	Foods with 26% NaCl (i.e. saturated) e.g. old genuine Hungarian salami; marzipan, containing 15-17% water; jam and marmalade
0.75 - 0.65	Xerophilic moulds	Rolled oats, containing *ca* 10% water
0.65 - 0.60	Osmophilic yeast	Dried fruits containing 15 - 20% water; toffees and caramels containing *ca* 8% water
0.50	Area of a_w which will not allow any microbial proliferation	Noodles etc., containing *ca* 12% water spices containing *ca* 10% water
0.40		Whole egg powder containing *ca* 6% water
0.30		Biscuits, rusks, bread crusts, etc. containing 3-5% water
0.20		Whole milkpowder, containing 2-3% water. Dried vegetables containing approx. 5 wt% water. Corn flakes.

การเลือกวิธีทำแห้งวิธีใดให้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิดจะต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้นในผลไม้ องค์ประกอบที่สำคัญ ความไว (sensitivity) ต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชั่น คลอดจนลักษณะผลิตภัณฑ์แห้งที่ต้องการ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการทำแห้งผลไม้ คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา enzymatic browning หรือ non-enzymatic browning ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์ในผลไม้กับน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugars) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล ดังนั้นในการผลิตผลไม้แห้งจึงมักมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อรักษาสีและกลิ่นของผลไม้ไว้ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงในขณะทำการผลิต และในขณะทำการเก็บ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังป้องกันมิให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ด้วย การใส่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องคำนึงถึงการสูญเสียไประหว่างการทำให้แห้งและระหว่างการเก็บด้วย ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้แห้งที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้งต้องไม่เกิน 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (9) แต่เนื่องจากมาตรฐานผลไม้แห้งของแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป ซึ่งส่วนใหญ่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้แห้งที่กำหนดให้มีได้ในตลาดต่างประเทศอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าในประเทศไทย เช่น สหรัฐอเมริกากำหนดไม่ให้มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในผลไม้อบแห้ง (1) ดังนั้นการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตผลไม้แห้งเพื่อการส่งออก เพราะโดยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

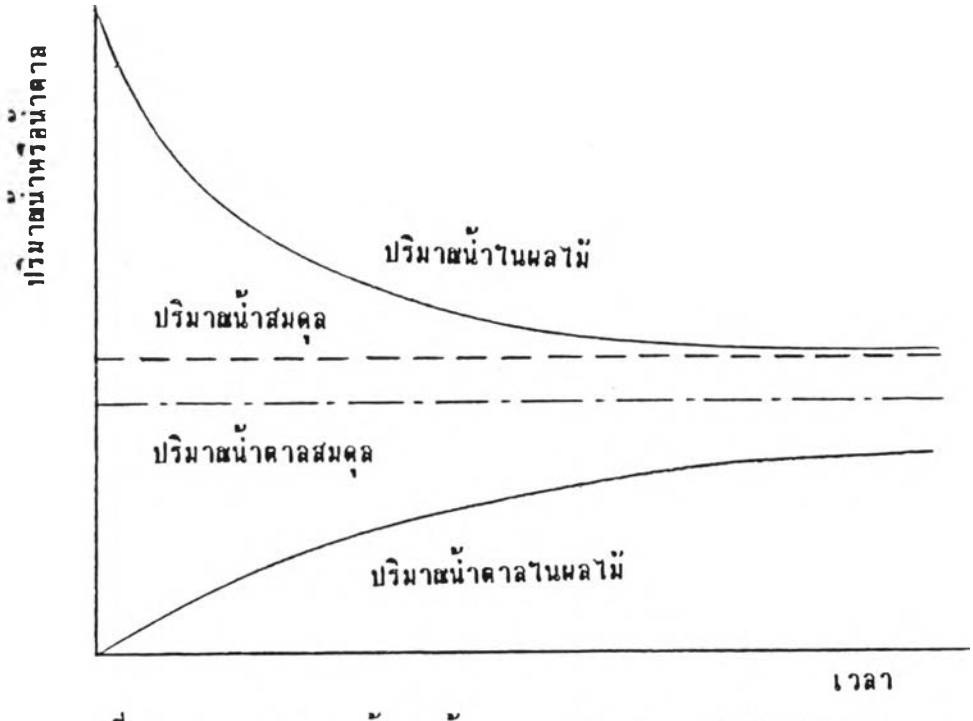
2.4 การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสำหรับการทำแห้งผลไม้ที่ไวต่อความร้อน หรือผลไม้ประเภทที่มีเนื้ออ่อนนุ่ม (soft fruit) เนื่องจากโดยวิธีนี้ผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานแบบวิธีอบแห้งธรรมดา จึงช่วยลดการถูกทำลายเนื่องจากความร้อน (heat damage) ต่อกลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินของผลไม้ นอกจากนี้ความเข้มข้นสูงของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำงานได้น้อยลงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนสี จึงไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือใช้เพียงเล็กน้อย ผลไม้ที่ทำแห้งโดยวิธีนี้จึงยังคงรักษากลิ่นรสและสีตามธรรมชาติไว้ได้ (3)

การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส อาศัยกระบวนการออสโมซิสในการกำจัดน้ำบางส่วนจากผลไม้ ก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ ด้วยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลซึ่งมีค่า water activity ต่ำกว่าจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก โดยที่เซลเมมเบรนของผลไม้ทำหน้าที่เป็น semipermeable membrane การไหลที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน (รูปที่ 1)(10) กล่าวคือ น้ำจะแพร่ออกจากผลไม้ ในขณะเดียวกันน้ำตาลก็จะแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้ แต่การแพร่ของน้ำตาลจะเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส จึงอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำที่ต้องการจะดึงออกและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และในขณะที่น้ำถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการออสโมซิส กรดผลไม้บางส่วนจะถูกกำจัดออกไปด้วย เป็นผลให้ปริมาณกรดในชิ้นผลไม้ลดลง ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำตาลที่ซึมเข้าในเนื้อผลไม้ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติหวานกว่าผลไม้อบแห้งธรรมดา เหมาะสำหรับรับประทานเป็นขนมขบเคี้ยว การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไป จนกระทั่งสารละลายมี water activity สมดุล การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำและปริมาณน้ำตาลในชิ้นผลไม้ก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุลได้แสดงไว้ใน รูปที่ 2 (11) ซึ่งจะเห็นว่าสภาวะสมดุลของน้ำเกิดได้เร็วกว่าสภาวะสมดุลของน้ำตาล แต่ถ้าหากกระบวนการเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงสภาวะสมดุลของทั้งน้ำและน้ำตาล จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะของผลไม้แช่อิ่มที่มีน้ำตาลสูงแทน หรือหากโครงสร้างผนังเซลของผลไม้ถูกทำลายไป เป็นผลให้เกิดการแพร่ของน้ำและน้ำตาลได้มากขึ้นและเข้าสู่สภาวะสมดุลอย่างรวดเร็ว ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะผลไม้แช่อิ่มเช่นกัน โดยกระบวนการออสโมซิสนี้สามารถกำจัดน้ำได้ ประมาณ 30-50% ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นผลไม้ จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อไปด้วยเครื่องอบแห้งแบบธรรมดาหรือแบบสุญญากาศจนได้ความชื้นที่ต้องการ (12,13)



รูปที่ 1 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิส



รูปที่ 2 ความสมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

2.5 ขั้นตอนการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องมีหลักในการกำหนดปัจจัยของคุณภาพของวัตถุดิบ และควบคุมวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ สำหรับผลไม้ ความแก่อ่อนของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง ผลไม้ที่นำมาแปรรูปเป็นผลไม้แห้งต้องมีความแก่ที่พอเหมาะ (optimum maturity) องค์ประกอบทางเคมีของผลไม้สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ความแก่อ่อนของผลไม้ได้ อาทิเช่น ปริมาณน้ำ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด ปริมาณน้ำในผลไม้จะค่อยๆลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบที่เป็นทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและส่วนที่ไม่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น ผลไม้ที่สุกและแก่เต็มที่จะมีปริมาณน้ำตาลสูงสุด (14) สับปะรดที่สุกแล้วมีปริมาณน้ำตาลซึ่งวัดโดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) อยู่ในช่วง 10.8-17.5 °Brix (6) สำหรับปริมาณกรดในผลไม้จะเปลี่ยนแปลงในทางที่ลดลง เมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น

ผลไม้ที่นำมาแปรรูปต้องผ่านการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก รวมทั้งจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนมาออกให้หมดก่อนนำมาปอกเปลือก และตัดเป็นชิ้น การตัดเป็นชิ้นหรือหั่นเป็นแว่น ควรใช้เครื่องในการทำเพื่อให้ได้ขนาดสม่ำเสมอตามที่ต้องการ ผลไม้บางชนิดก่อนการอบแห้งจะใช้การลวกด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำเพื่อทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในผลไม้ ซึ่งจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่ในกรณีของการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส การลวกจะเป็นการทำลาย semipermeable membrane ของผลไม้ทำให้กระบวนการออสโมซิสถูกทำลายไปด้วย (15) ดังนั้นการป้องกันการเปลี่ยนสีของผลไม้หลังการตัดเป็นชิ้น สามารถทำได้โดยแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ก่อนนำไปผ่านขั้นตอนการออสโมซิส

2.5.2 ขั้นตอนการออสโมซิส

ผลไม้ที่ผ่านการตัดเป็นชิ้น หรือหั่นเป็นแว่น ตามลักษณะที่ต้องการ เมื่อนำมาแช่ในสารละลายน้ำตาลจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น ซึ่งมีผลให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลง และมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลซึมเข้าไป ขั้นตอนการออสโมซิสจึงเป็นการลดปริมาณน้ำบางส่วนในผลไม้ก่อนนำไปอบแห้งเพื่อช่วยลดเวลาในช่วงอบแห้งให้สั้นลง ทำได้โดยการเลือกอัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลต่อผลไม้ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่เหมาะสม แล้วแช่ชิ้นผลไม้ที่เตรียมไว้ในสารละลายน้ำตาลที่บรรจุอยู่ใน syrup bath ที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา อาจมีการกวนสารละลายน้ำตาลรอบ ๆ ชิ้นผลไม้เป็นบางครั้ง หรือตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเจือจางที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งจากน้ำที่ถูกกำจัดออกมาจากชิ้นผลไม้ เมื่อผลไม้ผ่านการออสโมซิสด้วยเวลาที่เหมาะสมแล้ว นำขึ้นมาล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมาด้วยน้ำเย็น ซับน้ำให้แห้งนำไปอบแห้งต่อไป ขั้นตอนการออสโมซิสที่ให้ผลดีต้องสามารถลดปริมาณน้ำในผลไม้ได้อย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำตาลซึมเข้าในเนื้อผลไม้น้อยมาก ซึ่งกระทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส เนื่องจากอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ลดลงต่อปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (water loss/sugar gain ratio) สามารถใช้เป็นค่าแสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ (10) กล่าวคือ ในขั้นตอนการออสโมซิสที่อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูง ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะมีลักษณะของผลไม้แห้ง (dehydrated fruit) แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่าต่ำ จะได้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง มีลักษณะใกล้เคียงผลไม้แช่อิ่มแห้ง(semi-candied dried fruit) มากกว่า ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตามต้องการ

2.5.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสแล้วยังมีปริมาณน้ำสูงอยู่ จึงต้องนำมาผ่านขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ โดยวิธีอบแห้งด้วยลมร้อนหรือวิธีอบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) ซึ่งเรียกว่า osmovac อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของชิ้นผลไม้ ปริมาณน้ำ ความไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาต่าง ๆ อย่างไรก็ตามในระหว่างการอบแห้งจะต้องรักษา สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อผลไม้ให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากระหว่างการทำให้แห้งผลไม้

มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงทั้งสองนี้ปรากฏให้เห็นในรูปของการเปลี่ยนสี เปลี่ยนกลิ่น และลักษณะทั่วไป ดังนี้

(1) การเกิดสีน้ำตาล ในระหว่างการทำให้แห้งน้ำที่อยู่ภายในเนื้อผลไม้จะเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวแล้วระเหยออกไป การเคลื่อนที่ของน้ำออกมาสู่ผิวนี้อาจอยู่ในรูปของเหลว หรือในรูปของไอน้ำก็ได้ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลและกรดอะมิโนออกมาสู่ผิวด้วย เมื่อการทำให้แห้งดำเนินไปความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของผลไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและให้สีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้การทำให้ผลไม้แห้งที่อุณหภูมิสูงมักจะทำให้ผลไม้มีสีเข้ม

วิธีป้องกันการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้งชิ้นผลไม้ที่ผ่านขั้นตอนการออสโมซิสแล้ว สามารถกระทำได้ โดยแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สักครู่หนึ่งก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งนอกจากทำให้เกิดการซึมของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้าในเนื้อผลไม้แล้ว (16) ยังเป็นการล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมากับชิ้นผลไม้ด้วย สารซัลไฟท์สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้โปรตีนแตกออกได้ sulfonated proteins นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับน้ำตาลได้สาร hydroxy sulfonated ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้โปรตีน หรือกรดอะมิโนและน้ำตาล ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (17)

(2) การแตกตัวของน้ำตาล ในระหว่างการทำให้ผลไม้แห้ง น้ำตาลซูโครสที่มีอยู่ในผลไม้จะแตกตัวเป็นน้ำตาลชั้นเดียวคือ น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ที่มีกรดสูง ทำให้ผิวเหนียวเหนอะหนะ เนื่องจากน้ำตาลทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติในการดูดความชื้นไว้ได้มากกว่าน้ำตาลซูโครส (18)

(3) การสูญเสียกลิ่น ระหว่างการทำให้ผลไม้แห้ง สารให้กลิ่นบางชนิดจะระเหยออกไปทำให้ผลไม้แห้งมีกลิ่นแตกต่างไปจากผลไม้สุก

ดังนั้นการทำให้ผลไม้แห้งจึงต้องเลือกวิธีที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทั้งในด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส

การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้น ทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้นได้เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก ซึ่งแรงดันออสโมติกจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นมีค่าสูง แรงดันออสโมติกจะมีค่าสูงด้วย นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบสารละลายน้ำตาลต่างชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกัน สารละลายของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์จะมีผลให้แรงดันมีค่าเป็นสองเท่าของสารละลายน้ำตาลไดแซคคาไรด์ เนื่องจากที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้สารละลายของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์จะมีจำนวนโมเลกุลของน้ำตาลอยู่มากกว่าเป็นจำนวนสองเท่าของสารละลายน้ำตาลไดแซคคาไรด์ ดังนั้นชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

2.6.1 ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

Ravindran (19) ศึกษาผลของการแช่ชิ้นสับปะรดรูปวงแหวนหนา 1.2 เซนติเมตร ในสารละลายน้ำตาล 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างกันดังนี้ กลูโคส (40°, 50° และ 60° Brix) ซูโครส (50°, 60° และ 70° Brix) และฟรุกโตส (50°, 60° และ 70° Brix) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยการติดตามน้ำหนักสับปะรดที่ลดลง พบว่าการลดลงของน้ำหนักสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้น

Farkas และLazar (20) ศึกษาการทำแห้งชิ้นแอปเปิลหนา 1.2 เซนติเมตร ด้วยวิธีออสโมซิส โดยการแช่ในสารละลายซูโครส ความเข้มข้น 50° - 75° Brix ที่อุณหภูมิ 30°-60°C พบว่า การแช่ชิ้นแอปเปิลในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70° Brix ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุดเนื่องจากสามารถลดน้ำหนักลงได้ 50% ของน้ำหนักเริ่มต้น สำหรับสารละลายซูโครสความเข้มข้น 75° Brix จากรายงานการวิจัย (3) พบว่า มีความหนืดมากเกินไป เป็นผลให้การออสโมซิสเกิดได้น้อยลง ดังนั้นสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสำหรับใช้ในการออสโมซิสไม่ควรมีความเข้มข้นสูงกว่า 70° Brix

Heng และคณะ (21) ศึกษาผลของสารละลายน้ำตาล 2 ชนิด คือ สารละลายซูโครส และสารละลายกลูโคสซีรัป (DE 20) ความเข้มข้น 65 °Brix ต่อการทำแห้งมะละกอรูปลูกเต๋าขนาด 1.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าปริมาณน้ำที่ลดลง (water loss) ของมะละกอที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัปมีค่าสูงกว่าในสารละลายซูโครสเล็กน้อย แต่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) มีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากน้ำตาลกลูโคสซีรัปประกอบด้วย กลูโคส 2%, มอลโตส 7%, มอลโตไดรโอส 12% และแซคคาไรด์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น 79% ดังนั้นขนาดโมเลกุลที่ใหญ่จึงทำให้ยากต่อการแพร่สู่เนื้อผลไม้

จากการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่าส่วนใหญ่นิยมใช้สารละลายซูโครส เนื่องจากหาได้ง่ายและให้รสชาติดี สำหรับสารละลายน้ำตาลชนิดอื่น ๆ ที่มีการศึกษา ได้แก่ สารละลายกลูโคส สารละลายฟรุกโตส corn syrup solids solutions (22) และ high fructose corn syrup (23) ซึ่งชนิดของน้ำตาลมีผลให้การออสโมซิสเกิดเร็วหรือช้าได้ โดยน้ำตาลชนิดที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะช่วยให้การออสโมซิสเกิดได้เร็วขึ้น แต่มีผลให้น้ำตาลซึมเข้าในเนื้อผลไม้ได้มาก (24) ในขณะที่น้ำตาลชนิดที่มีมวลโมเลกุลสูงจะซึมเข้าในเนื้อผลไม้ได้น้อยกว่า แต่ต้องใช้เวลานานกว่าในการกำจัดน้ำจากชิ้นผลไม้ สำหรับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอน เพียงแต่ต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายของน้ำตาลชนิดนั้นๆ ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่นิยมใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ในช่วง 50° - 70 °Brix จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า น้ำหนักที่ลดลงและปริมาณน้ำที่ลดลงของผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสูงขึ้นในทุก ๆ ช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารละลายน้ำตาลที่ผลิตในประเทศ 3 ชนิด คือสารละลายของกลูโคสเหลว ซึ่งมีน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ (กลูโคส 45 % ฟรุกโตส 40% และน้ำตาลอื่น ๆ 15%) สารละลายของน้ำตาลซูโครส หรือน้ำตาลไดแซคคาไรด์ และสารละลายของกลูโคสซีรัป (Dextrose Equivalent , DE 40) ที่ประกอบด้วย กลูโคส มอลโตส และน้ำตาลอื่น ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลสูงเป็นส่วนใหญ่ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เลือกศึกษาอยู่ในช่วง 50 - 70 °Brix เพื่อศึกษาผลของชนิด และ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลต่อการออสโมซิส และคุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส

2.6.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส

Bongirwa และ Sreeniyanan (25) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการออสโมซิสกล้วยที่แช่ในสารละลายซูโครส 70° Brix เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน 4 อุณหภูมิ คือ 60°, 50°, 40° และ 27°C พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำตาลลดลง เป็นผลให้เกิดการออสโมซิสได้ดีกว่า แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 50°C เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลกระทบต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้ จากการศึกษาของ Contreras และ Smyrl (22) พบว่าสำหรับการออสโมซิสที่อุณหภูมิสูงกว่า 45°C ควรมีการเติมกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายน้ำตาลเพื่อรักษาสีธรรมชาติของผลไม้เอาไว้ เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถทำหน้าที่เป็น reducing agent ยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ (26) แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Lenart และ Lewicki (24) พบว่าแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้เกิดการออสโมซิสได้ดีกว่า โดยปริมาณน้ำที่ลดลงมีค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลให้ปริมาณการชิมเข้าของน้ำตาลมีค่าสูงด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป (70°- 90°C) ยังเป็นการลวก (blanching) ผลไม้ไปพร้อมๆ กันด้วย จึงมีผลให้น้ำตาลชิมเข้าในเนื้อผลไม้ในปริมาณสูงมาก

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่นิยมศึกษาคือ อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 90°C การใช้อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งเวลาในขั้นตอนการออสโมซิสให้เร็วขึ้น แต่อาจมีผลเสียต่อสีและลักษณะเนื้อของผลไม้ได้ ในขณะที่การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ต้องใช้เวลานานกว่า แต่มีข้อดีในแง่การประหยัดพลังงาน และไม่มีผลกระทบต่อลักษณะปรากฏของผลไม้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาอุณหภูมิในช่วงตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง (30 °C) - อุณหภูมิ 70°C เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการออสโมซิส และ คุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส

สำหรับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ จากรายงาน (24) พบว่า ที่อุณหภูมิ 90°C การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในชิ้นแอปเปิลจนเข้าสู่สภาวะสมดุลใช้เวลา 1 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิ 30°C ต้องใช้เวลามากกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะทำให้เกิดสภาวะสมดุลได้ Farkas และ Lazar (20) พบว่าการออสโมซิสชิ้นแอปเปิลที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด และ Ravindran (19) พบว่าสำหรับการออสโมซิสสับปะรดรูปวงแหวนที่

อุณหภูมิห้อง (28°C) การแลกเปลี่ยนมวลสารของน้ำกับน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 8 ถึง 10 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจึงค่อยดำเนินไปอย่างช้า ๆ เนื่องจากเข้าสู่สภาวะสมดุล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส ในช่วง 4 - 8 ชม. เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการออสโมซิสสับปะรดร่วมกับผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส โดยพิจารณาปริมาณน้ำที่ลดลงและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น เพื่อคัดเลือกสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส

2.6.3 อัตราส่วนระหว่างผลไม้ : สารละลายน้ำตาล (น้ำหนัก/น้ำหนัก)

Bongirwa และ Sreeniyanan (25) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ : สารละลายน้ำตาล ต่อการออสโมซิสด้วยอัตราส่วน 1:1 1:1.5 1:3 และ 1:4.5 ซึ่งพบว่าอัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนที่ผู้วิจัยทั้งสองพบว่าเหมาะสมและเลือกใช้ในการศึกษา คืออัตราส่วน 1:1.5 ในขณะที่จากรายงานการวิจัยอื่นๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้อัตราส่วน 1:4 (19,23,27) โดย Hawkes และ Flink (28) ให้เหตุผลของการใช้สารละลายน้ำตาลในปริมาณมากเกินพอ (อัตราส่วน 1:4) ว่า เพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เนื่องจากน้ำที่ถูกกำจัดจากผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้ : สารละลายน้ำตาล เท่ากับ 1:4 ในระหว่างการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส

2.6.4 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

จากการศึกษาของ Nanjundaswamy และคณะ (16) พบว่าสับปะรดชิ้นหนา 1.2 เซนติเมตร และมะละกอรูปสี่เหลี่ยม (1.2x1.2x2.5 เซนติเมตร) ที่ผ่านการออสโมซิสเพื่อลดน้ำหนักลงประมาณ 50% แล้ว ต้องใช้เวลาในการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อลดความชื้นลงต่ำกว่า 15% และจากการทดสอบการยอมรับโดยประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม รสชาติออกหวานและยังคงกลิ่นรสผลไม้ไว้ได้

Ponting (15) พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งที่ผ่านการอบแห้งในตู้อบสุญญากาศหลังการออสโมซิสแล้วมีความชื้นต่ำมาก (1-3%) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 66°-93°C ขึ้นกับชนิดของผลไม้ Ravindran (19) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งสับปะรดหลังการออสโมซิสคือ อบแห้งในตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

จากรายงานการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งผลไม้หลังการออสโมซิส ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 60°-70°C ขึ้นกับชนิดผลไม้ สำหรับสับปะรดพบว่ามีการใช้อุณหภูมิ 70°C ทั้งในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (16) และตู้อบสุญญากาศ (19) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกทดลองอบแห้งสับปะรดหลังการออสโมซิสทั้ง 2 วิธี ที่อุณหภูมิ 70°C จนได้ความชื้นต่ำกว่า 15% โดยพิจารณาการยอมรับโดยประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ได้ พร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และ คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี และ ลักษณะเนื้อ (texture) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตสับปะรดแห้งให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.7 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง

ผลไม้แห้งที่เก็บไว้นานอาจมีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในเรื่องกลิ่นรส สี และลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงเท่าที่ปรากฏประกอบด้วยการเกิดรา มีแมลง การเปลี่ยนสี และการเกิดผลึกน้ำตาล ภาชนะบรรจุเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลไม้แห้ง คุณสมบัติของภาชนะบรรจุที่ดีมีดังนี้ (29)

(1) สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากความชื้น แสง ออกซิเจน ฝุ่น จุลินทรีย์ แมลง และกลิ่นแปลกปลอม

(2) มีความแข็งแรงและคงทนตลอดระยะเวลาการเก็บ การขนส่ง ตลอดจนช่วงการจำหน่าย

(3) มีขนาดรูปร่าง และลักษณะปรากฏเป็นที่ดึงดูดความสนใจแก่ผู้ซื้อ

(4) องค์ประกอบของภาชนะบรรจุไม่มีผลเสียต่อผลิตภัณฑ์

(5) ราคาไม่แพง

พลาสติกเป็นภาชนะบรรจุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ข้อดีของพลาสติก คือ สิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตต่ำ น้ำหนักเบา ใส และมีสมบัติต่าง ๆ ให้เลือกใช้ตามความต้องการ แบ่งประเภทได้เป็นพลาสติกคงรูป และพลาสติกอ่อนตัวซึ่งมีการใช้งานกว้างขวางมาก เนื่องจากใช้ร่วมกับอลูมิเนียมและกระดาษได้ มีทั้งแบบชั้นเดียวและหลายชั้น ซึ่งให้สมบัติและการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น ในปัจจุบันนิยมใช้ถุงพลาสติก oriented prolypropylene / low density polyethylene (OPP/LDPE) บรรจุอาหารว่างและขนมอบเคี้ยว เป็นต้น (30)

จากรายงานการศึกษาเรื่องอายุการเก็บ (25) พบว่า กล้วยที่ทำแห้งด้วยการออสโมซิสสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นเวลา 1 ปี ในถุงลามิเนท (paper / polyethylene/ aluminium / polyethylene) การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งที่สำคัญคือการเปลี่ยนสี เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และการเกิดรา ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นภาชนะบรรจุที่ควรเลือกใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งจึงต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ดี อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาตัวแปร คือ ชนิด ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาในการแช่สับปะรด จึงมิได้ศึกษาผลของภาชนะบรรจุและอายุการเก็บในการวิจัยนี้

2.8 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม (optimum condition) ด้วยวิธี Response Surface Methodology

จากการศึกษารายงานวิจัย (31,32) พบว่า ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หลายประเภท ซึ่งมีหลายตัวแปรเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ได้มีการนำวิธี Response Surface Methodology (RSM) มาใช้ในการวางแผนการทดลองทำให้สามารถคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการได้ ด้วยระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากโดยวิธีนี้ผู้วิจัยสามารถศึกษาผลของตัวแปรหลายตัวที่ระดับต่างๆ ได้ในเวลาเดียวกัน ด้วยจำนวนการทดลองที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แบบแผนการทดลองแบบดั้งเดิม ซึ่งศึกษาได้เพียงทีละตัวแปร ขณะที่ตัวแปรอื่นๆ มีค่าคงที่ จึงต้องทำการทดลองจำนวนมาก และใช้เวลานาน

วิธี RSM มีหลักการและขั้นตอนโดยย่อดังนี้ (33)

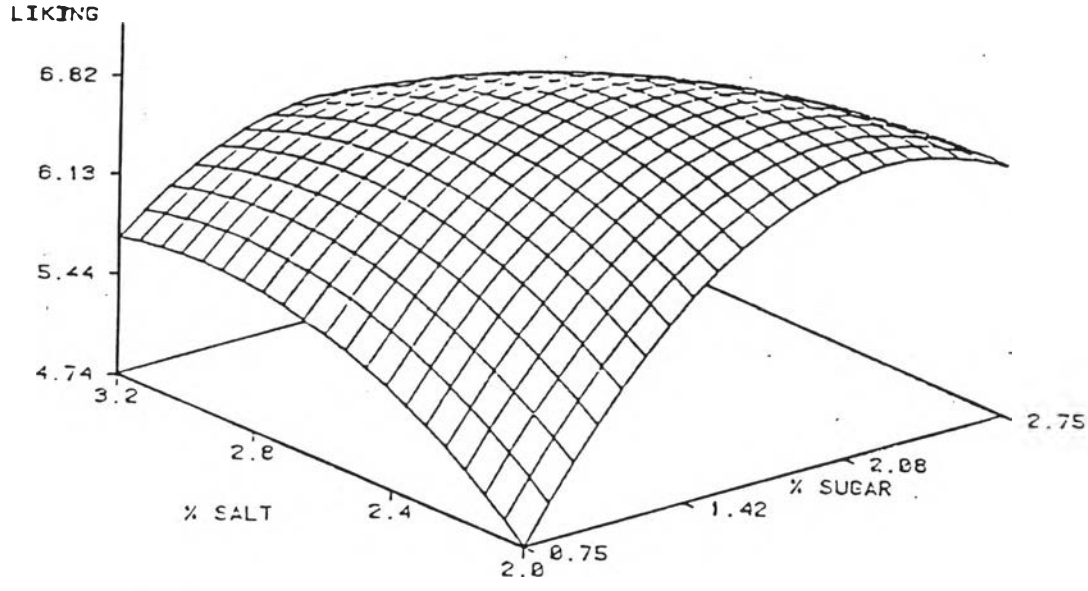
หลักการ วิธี RSM เป็นการนำข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม (appropriate experimental design) มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ multiple regression analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่าตอบสนอง (response) ต่อตัวแปร ซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ และจากสมการที่สร้างขึ้นนี้ อาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการสร้างกราฟ 3 มิติ เรียกว่า response surface plot ภายในช่วงของตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งจะแสดงระดับของตัวแปรในแนวระนาบและแสดงค่า response ในแนวแกนตั้ง (รูปที่ 3) หรือสร้างกราฟ 2 มิติ ที่เรียกว่า contour plot (รูปที่ 4) ซึ่งกราฟทั้งสอง มีประโยชน์ในการอธิบาย

(1) ผลของตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง (response)

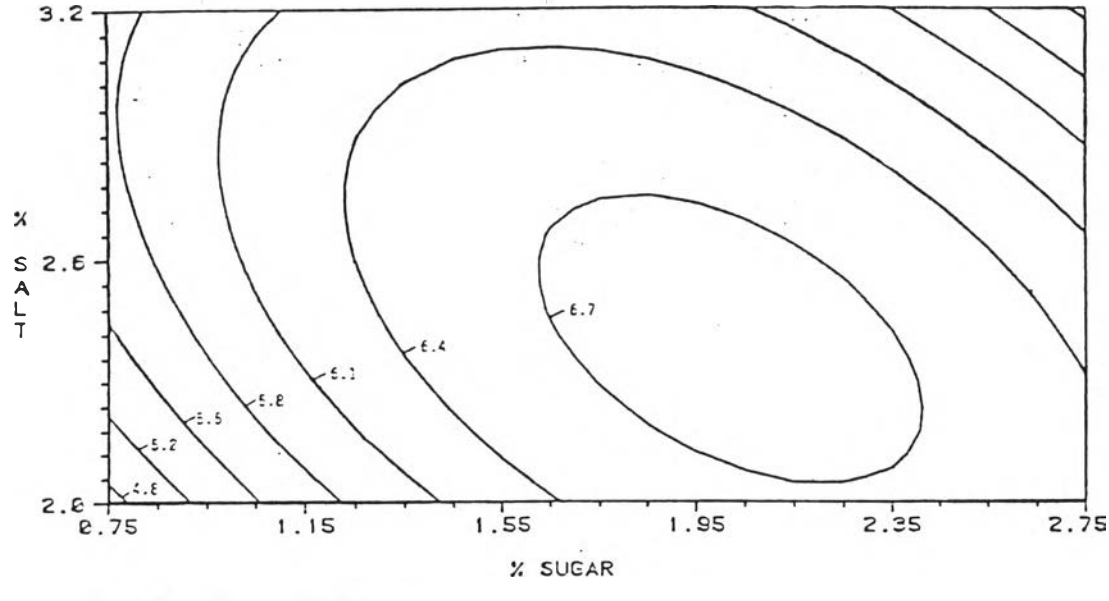
(2) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา

(3) ผลร่วมของตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง

จาก response surface plot หรือ contour plot นี้เอง ทำให้สามารถคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรในกระบวนการผลิตได้



รูปที่ 3 กราฟ 3 มิติแสดง response surface plot



รูปที่ 4 กราฟ 2 มิติ แสดง contour plot

ขั้นตอนของวิธี RSM

1) กำหนดตัวแปร (independent variable) ช่วงของตัวแปร และผลตอบสนอง (response)

ตัวแปรที่ถูกกำหนดขึ้น จะต้องมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือต่อกระบวนการผลิตซึ่งอาจเป็น ส่วนผสม (ingredient) เช่น เปอร์เซ็นต์เกลือ เปอร์เซ็นต์น้ำตาล หรือสภาวะที่ใช้ในการผลิต เช่น ระดับอุณหภูมิ เวลา เป็นต้น โดยต้องกำหนดช่วงของตัวแปรที่เหมาะสม หากช่วงของตัวแปรกว้างเกินไป บางครั้งไม่สามารถระบุสภาวะของตัวแปรที่ให้ optimum condition ได้อย่างชัดเจน จะต้องวางแผนการทดลองใหม่ โดยกำหนดช่วงของตัวแปรให้แคบลง นอกจากนี้จะต้องกำหนด response ที่ต้องการวัดซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา เช่น ในการผลิตแฮมให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยกำหนดตัวแปร คือ เปอร์เซนต์เกลือ และ เปอร์เซนต์น้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนผสมในการผลิตแฮม response ที่ต้องการวัดก็คือ คะแนนความชอบนั่นเอง โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกสภาวะของตัวแปร คือ เปอร์เซนต์เกลือ และเปอร์เซนต์น้ำตาล ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบสูงสุด

2) กำหนดแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม (appropriate experimental design)

แบบแผนการทดลองสำหรับวิธี RSM มีหลายแบบแผนด้วยกัน ซึ่งมีทั้ง complete และ fractional factorial design การเลือกใช้แบบแผนใดนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรที่ศึกษาด้วย มีแบบแผนการทดลอง 2 แบบที่สามารถใช้ทำนายผลการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการทดลองจำนวนไม่มาก ได้แก่ central composite design และ Box-Behnken design เช่น การศึกษาตัวแปร 3 ตัวแปร โดยแบ่งตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ จะประกอบไปด้วยการทดลองจำนวน 17 และ 15 การทดลอง สำหรับ central composite design และ Box-Behnken ตามลำดับ ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก. (34) ดังนั้นการเลือกแบบใดแบบหนึ่งมาใช้ในการทดลองจะช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างดี

3) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ด้วยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม มาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา โดยวิธี multiple regression ในรูปสมการกำลังสอง รูปแบบของสมการที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ คือ สมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังนี้ (34)

$$Y = B_o + \sum_i B_i X_i + \sum_{i<j} \sum B_{ij} X_i X_j + \sum_i B_{ii} X_i^2$$

เนื่องจากสามารถอธิบายผลของตัวแปรต่อค่าตอบสนอง (linear effect) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (interaction)และผลร่วมของตัวแปรต่อค่าตอบสนองได้ จากสมการดังกล่าว เมื่อได้ตัวแปรที่มีผลต่อ response อย่างมีนัยสำคัญแล้ว จะสามารถสร้างกราฟ contour plot โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปได้ contour plot เป็นอนุกรมของเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ซึ่งแสดงสภาวะตัวแปรซึ่งให้ค่า response คงที่ มีหลายรูปแบบขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับค่า response ดังนั้นจาก contour plot ที่ได้ ทำให้สามารถเลือกสภาวะของตัวแปรที่ให้ค่า response ตามต้องการได้

Henika (31) ได้นำวิธี RSM มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้า ซึ่งมีตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต 3 ตัวแปร คือ pH (5.6-6.2) อุณหภูมิ (140° - 160°C) และสารปรุงแต่ง (0 - 0.2 %) โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าให้มีการละลายน้ำดีขึ้น มี wettability time ลดลงและคะแนนการยอมรับในด้านรสชาติสูงขึ้น โดยการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม และนำผลการทดลองที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับตัวแปร ในรูปสมการกำลังสองพบว่าตัวแปรมีผลต่อ response อย่างมีนัยสำคัญ และได้สร้าง contour plot ขึ้นจากสมการดังกล่าวเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเช้าให้มีคุณภาพตามที่ต้องการ

Henselman และคณะ (32)ได้นำวิธี RSM มาใช้ในการสร้างสูตรขนมปังโปรตีนสูง เพื่อพัฒนาให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและให้มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 20% (โปรตีนที่เติม = 12%) โดยแปรแหล่งโปรตีน 3 ชนิดๆ ละ 3 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยการทดลอง 15 การทดลอง

จาก contour plot ที่สร้างขึ้น ทำให้ทราบว่า สูตรที่มีการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองชนิดเดียวในปริมาณสูง ทำให้เกิดกลิ่นรสซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยังสามารถคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด ในการผลิตจาก contour plot ที่สร้างขึ้นด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้นำวิธี RSM มาใช้ในการคัดเลือกสภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมด้วยการนำแผนการทดลองแบบ Box Behnken (34) ซึ่งประกอบด้วยจำนวนการทดลอง 15 การทดลอง สำหรับการศึกษาตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาในการแช่ มาใช้ในงานวิจัยเพื่อคัดเลือกสภาวะที่ใช้ในการแช่สับปะรด ซึ่งให้ค่า water loss สูงที่สุด ประกอบกับค่า solid gain ต่ำ และจากการศึกษารายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าสมการที่นิยมใช้กันมากที่สุด สำหรับวิธี RSM (34) นี้คือ สมการโพลีโนเมียลกำลังสอง (full second-order polynomial model) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำมาใช้ในการสร้าง contour plot มีหลายโปรแกรมด้วยกัน (35) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกสมการโพลีโนเมียลกำลังสองมาใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss และ solid gain และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATGRAPHICS ในการสร้าง contour plot.