หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสับปะรด

สับปะรดมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีป อเมริกาใต้ สับปะรดเป็นพืชที่ปลูกง่าย การบำรุงรักษาไม่ยากและขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดแต่ดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกสับปะรดคือ ดินร่วนปนทราย น้ำไม่ขัง และค่อนข้างเป็นกรด สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล ทนแล้งได้ดี ชอบอากาศร้อนชุ่มชื้น ปลูกครั้งเดียวเก็บผลได้ถึง 3 ปี ระยะเวลาปลูก 10 เดือนจึงจะออกผล พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2520)

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

(2) พันธุ์ขาว หรือพันธุ์สิงคโปร์ ผลเล็กหนักประมาณ 0.5-1 กิโลกรัม ก้านผลยาว ผิวเปลือกมีสีเหลืองอ่อน บางทีมีสีเขียวแซม เนื้อเป็นสีเหลือง รสหวานอมเปรี้ยว เนื้อกรอบหยาบ เสี้ยนมาก ตาลึก แกนเล็ก

(3) พันธุ์ปัตตาเวีย หรือ Smooth Cayenne หรือ กัลกัตตา ผลใหญ่มากบางผลหนักถึง 7 กิโลกรัม แต่โดยเฉลี่ยหนักประมาณ 2.5 กิโลกรัม ก้านผลสั้น เปลือกสีเขียว เมื่อแก่จัดบางชนิดเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่บางชนิดเปลือกจะมีสีเขียวเข้ม ตาตื้น แกนใหญ่ เนื้อสีเหลือง ละเอียด รสหวานฉ่ำ มีปลูกกันทั่วไป อาจมีหลายชื่อแล้วแต่ท้องที่ที่ปลูกจะเรียกกัน เช่น ปลูกในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชาวบ้านเรียกพันธุ์ตาดำ ตาแดง เหตุที่เรียกพันธุ์ตาดำและตาแดง เนื่องจากลักษณะสีของเปลือกเมื่อผลสุก พันธุ์ตาดำสีของผลจะคงเขียวเข้มอยู่เช่นเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนพันธุ์ตาแดงสีของผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองปนแดง

แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี กาญจนบุรี ลำปาง ราชบุรี ชลบุรี และระยอง

สับปะรดเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาทำเป็นผลไม้อบแห้ง ส่วนใหญ่นิยมใช้พันธุ์ปัตตาเวียเพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเหลืองสวยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ (สุรพล สมบูรณ์, 2532)

องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด

องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดจะแปรไปตามพันธุ์ พื้นที่ที่ใช้เพาะปลูก วิธีปลูกและความแก่อ่อนของสับปะรดขณะเก็บเกี่ยว องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne) ที่ผลสุกรับประทานได้ (edible quality) แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด

องค์ประกอบ	ร้อยละ (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

ที่มา : Dull (1971)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลไม้จะเปลี่ยนไปตาม metabolic activity เมื่อผลไม้แก่หรือสุกปริมาณแป้งจะลดลง เพราะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล รสหวานของผลไม้เกิดจากกลูโคส ฟรักโทส และซูโครส ซึ่งจะหวานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำตาลแต่ละชนิดอีกส่วนหนึ่งของคาร์โบไฮเดรต คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและสารพวกเพคตินที่มีอยู่ตามผนังเซลล์ ซึ่ง

ร่างกายไม่สามารถย่อยได้จึงไม่มีความสำคัญในแง่ที่ให้คุณค่าทางอาหาร แต่มีประโยชน์ต่อการขับถ่ายและสำคัญต่อลักษณะเนื้อของผลไม้ สำหรับคาร์โบไฮเดรตในสับปะรดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประเภทและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสับปะรด

ประเภทคาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ (น้ำหนักสด)
กลูโคส	1.0 - 3.2
ฟรักโทส	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

ที่มา : Dull (1971)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักการทำแห้งผลไม้

การทำให้อาหารแห้งโดยทั่วไปๆ มีจุดประสงค์หลัก เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ และนอกจากนั้นยังเป็นการลดน้ำหนักของอาหารเพื่อสะดวกต่อการขนส่งอีกด้วย (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2527)

การทำให้ผลไม้แห้งโดยการใช้ความร้อนหรือวิธีอื่น เพื่อลดปริมาณน้ำในผลไม้ ให้ต่ำลง มีผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยเฉพาะน้ำตาลมีความเข้มข้นสูง จนกระทั่งถึงจุดที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณความชื้นที่จุลินทรีย์สามารถใช้ใน การเจริญเติบโตได้นั้นจะอ้างถึงค่าของ water activity, a_w ($a_w = P/P_o$ เมื่อ P คือความดันไอของน้ำซึ่ง

ถูกจับไว้ในอาหาร และ P_o คือความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน) จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีระดับ a_w แตกต่างกัน (ตารางที่ 4) (Mossel, 1975) สำหรับผลไม้แห้งที่มีค่า a_w ประมาณ 0.65 จะสามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องใน ภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

การเลือกวิธีทำแห้งใดให้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด จะต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้นในผลไม้ องค์ประกอบที่สำคัญ ความไว (sensitivity) ต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันตลอดจนลักษณะผลิตภัณฑ์แห้งที่ต้องการ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการทำแห้งผลไม้ คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา enzymatic browning หรือ non-enzymatic browning ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์ในผลไม้กับน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugars) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล ดังนั้นในการผลิตผลไม้แห้งจึงมักมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อรักษาสีและกลิ่นของผลไม้ไว้ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังป้องกันมิให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ด้วยการใส่ซัลเฟอร์-ไดออกไซด์จะต้องคำนึงถึงการสูญเสียไประหว่างการทำให้แห้งและระหว่างการเก็บด้วย ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้แห้งที่กำหนดไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมผลไม้แห้งต้องไม่เกิน 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532;Mossel, 1975) แต่เนื่องจากมาตรฐานผลไม้แห้งของแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป ส่วนใหญ่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้แห้งที่กำหนดให้มีได้ในตลาดต่างประเทศอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าในประเทศไทย เช่น สหรัฐอเมริกากำหนดให้มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในผลไม้อบแห้ง (สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการพัฒนาการส่งออก, 2531) ดังนั้น การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตผลไม้แห้งเพื่อการส่งออก เพราะโดยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่า a_w และปริมาณน้ำในอาหารกับชนิดของจุลินทรีย์

ช่วงของค่า a_w	ชนิดของจุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้งโดยค่าต่ำสุดของช่วงที่กำหนด	ชนิดของอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงที่กำหนด
1.0 - 0.95	Gram-negative rods; bacterial spores: some yeasts	Foods 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 cake; sweetened condensed milk (approx. *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 approx. 10% water
0.65 - 0.60	Osmophilic yeasts	Dried fruits, containing 15-20% water;toffees and caramels containing approx. 8% water
0.50	Area of a_w which will not allow any microbial proliferation	Noodles etc., containing approx. 12% water spices containing approx. 10% water
0.40		Whole egg powder containing 6% water
		Biscuits, rusks, bread crusts, etc. containing
0.30		3-5% water
		Whole milk powder, containing 2-3% water.
0.20		Dried vegetables containing approx. 5 wt% water. Corn flakes.

ที่มา : Mossel (1975)

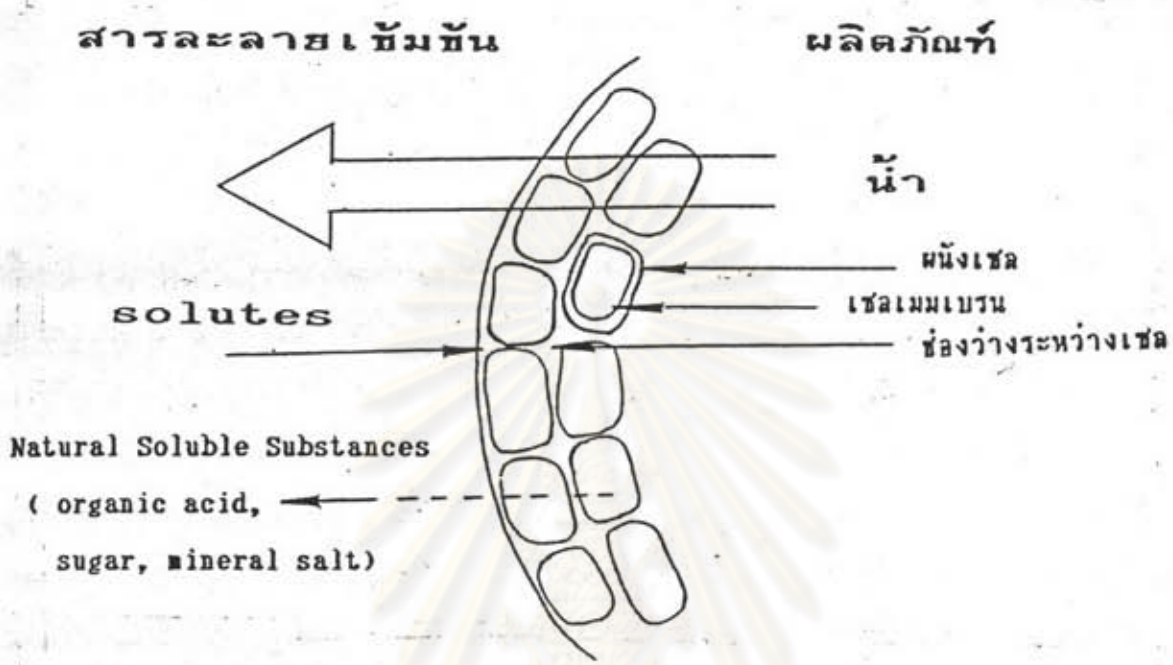
การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลไม้ที่ไวต่อความร้อน หรือผลไม้ประเภทที่มีเนื้ออ่อนนุ่ม (soft fruit) เนื่องจากโดยวิธีนี้ผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานแบบวิธีอบแห้งธรรมดา จึงช่วยลดการถูกทำลายเนื่องจากความร้อน (heat damage) ต่อกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินในผลไม้ นอกจากนี้ความเข้มข้นสูงของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำงานได้น้อยลงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนสี จึงไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือใช้เพียงเล็กน้อย ผลไม้ที่ทำแห้งโดยวิธีนี้จึงยังคงรักษากลิ่นรสและสีตามธรรมชาติไว้ได้ (Ponting *et al*,1966)

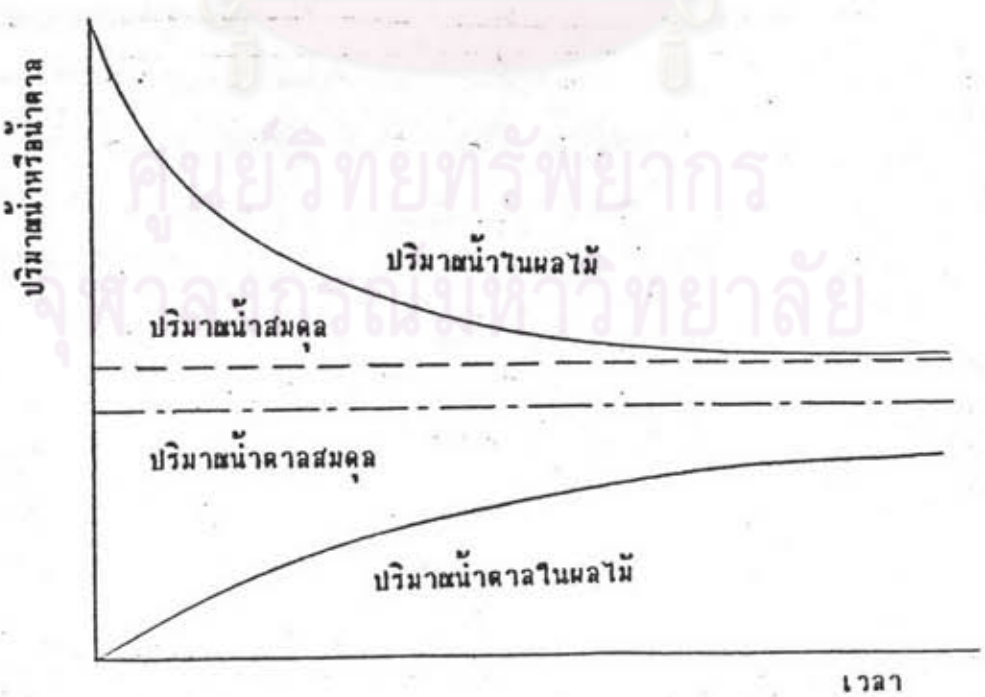
การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส คือ กระบวนการแยกน้ำออกจาก cellular material เช่น ผัก ผลไม้ โดยอาศัยหลักการของการออสโมซิส (Ray, 1960) ในการกำจัดน้ำบางส่วนจากผลไม้ก่อนนำไปอบแห้ง โดยกระบวนการออสโมซิสนี้สามารถกำจัดน้ำได้ประมาณร้อยละ 30-50 ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นผลไม้ ก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้นซึ่งมีผลให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลงและมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เพราะการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลซึ่งมีค่า water activity ต่ำกว่าจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น เนื่องจาก ความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก โดยที่เซลล์เมมเบรนของผลไม้ทำหน้าที่เป็น semipermeable membrane การไหลที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกันดังแสดงใน รูปที่ 1 (Raoult-Wack, Lafont and Guilbert, 1989) กล่าวคือ น้ำจะแพร่ออกจากผลไม้ในขณะเดียวกันน้ำตาลก็จะแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้ แต่การแพร่ของน้ำตาลจะเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสจึงอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำที่ต้องการจะดึงออกและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและในขณะที่น้ำถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการออสโมซิส กรดผลไม้บางส่วนจะถูกกำจัดออกไปด้วยเป็นผลให้ปริมาณกรดในชิ้นผลไม้ลดลง ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำตาลที่ซึมเข้าในเนื้อผลไม้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานกว่าผลไม้อบแห้งธรรมดาเหมาะสำหรับรับประทานเป็นขนมขบเคี้ยว การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไป จนกระทั่งสารละลายมี water activity สมดุลดังแสดงในรูปที่ 2 (Karel, 1975) แต่อัตราการอบแห้งของตัวอย่างผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสจะต่ำกว่าผลไม้ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากการแพร่ของตัวทำละลายเข้าไปในชิ้นผลไม้จะมีผลมากในการต้านการแพร่ออกของน้ำในชิ้นผลไม้ (Flink,

1979; Islam and Flink, 1982) จากการศึกษาของ Rahman และ Lamb (1991) ถึงผลของ solid gain ต่ออัตราการอบแห้งของสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและผ่านการออสโมซิส โดยใช้ osmotic agent ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า เมื่อออสโมซิสใน osmotic agent ที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ชิ้นสับปะรดมี solid gain เพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง เนื่องจากซูโครสซึ่งเป็นสารที่สามารถจับกับน้ำได้ดีจะแพร่เข้าไปในเนื้อสับปะรดและไปจับกับน้ำที่เหลืออยู่ในชิ้นสับปะรดหลังจากการออสโมซิส จึงทำให้เพิ่มการต้านการเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกของน้ำภายในชิ้นสับปะรด เป็นผลให้สับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสอบแห้งได้ช้ากว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะมี solid gain สูงกว่าก็อบแห้งได้ช้ากว่าที่มี solid gain ต่ำ และถึงแม้ว่าการสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสจะมีอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก็ตาม แต่การออสโมซิสก็สามารถช่วยรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของสับปะรดไว้ได้ (Ponting *et al.*, 1966) เมื่อผลไม้ผ่านการออสโมซิสด้วยเวลาที่เหมาะสม แล้วนำขึ้นมาล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมาด้วยน้ำเย็น ซับน้ำให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อไปด้วยเครื่องอบแห้งแบบธรรมดาหรือแบบสุญญากาศจนได้ความชื้นที่ต้องการ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2529; Lenart, 1987)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิส



รูปที่ 2 ความสมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

ขั้นตอนการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

คุณภาพวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องมีหลักในการกำหนดปัจจัยของคุณภาพของวัตถุดิบ และควบคุมวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้สำหรับผลไม้ ความแก่อ่อนของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง ผลไม้ที่นำมาแปรรูปเป็นผลไม้แห้งต้องมีความแก่ที่พอเหมาะ (optimum maturity) องค์ประกอบทางเคมีของผลไม้สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ความแก่อ่อนของผลไม้ได้ เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด ปริมาณความชื้นในผลไม้จะค่อยๆ ลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบที่เป็นทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและส่วนที่ไม่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น ผลไม้ที่สุกและแก่เต็มที่จะมีปริมาณน้ำตาลสูงสุด (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2521) สับปะรดที่สุกแล้วมีปริมาณน้ำตาลซึ่งวัดโดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) อยู่ในช่วง 10.8-17.5°Brix (Dull, 1971) สำหรับปริมาณกรดในผลไม้จะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น

ผลไม้ที่นำมาแปรรูปต้องผ่านการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก รวมทั้งจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนออกมาให้หมดก่อนนำมาปอกเปลือก และตัดเป็นชิ้นหรือหั่นเป็นแว่นตามความต้องการ

2. ขั้นตอนการออสโมซิส

ผลไม้ที่ผ่านการตัดเป็นชิ้นหรือหั่นเป็นแว่น ตามลักษณะที่ต้องการ เมื่อนำมาแช่ในสารละลายน้ำตาลจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น ซึ่งมีผลให้ปริมาณน้ำใน ผลไม้ลดลง และมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลซึมเข้าไป ในขั้นตอนการออสโมซิส จึงเป็นการลดปริมาณน้ำบางส่วนในผลไม้ก่อนนำไปอบแห้ง ทำได้โดยการเลือกอัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลต่อผลไม้ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่เหมาะสม แล้วแช่ชิ้นผลไม้ที่เตรียมไว้ ในสารละลายน้ำตาลที่บรรจุอยู่ใน syrup bath ที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา อาจมีการกวนสารละลายน้ำตาล

รอบๆชิ้นผลไม้เป็นบางครั้งหรือตลอดเวลา เพื่อป้องกันการเจือจางที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งจากน้ำที่ถูกกำจัดออกมาจากชิ้นผลไม้ เมื่อผลไม้ผ่านการออสโมซิสด้วยเวลาที่เหมาะสมแล้ว นำชิ้นมาล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมาด้วยน้ำเย็น ซับน้ำให้แห้งนำไปอบแห้งต่อไป ขั้นตอนการออสโมซิสที่ให้ผลดีต้องสามารถลดปริมาณน้ำในผลไม้ได้อย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำตาลซึมเข้าในเนื้อผลไม้น้อยมาก ซึ่งกระทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส เนื่องจากอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ลดลงต่อปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (water loss/solid gain ratio) สามารถใช้เป็นค่าแสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ (Raoult-Wack, Lafont and Guilbert, 1989) กล่าวคือในขั้นตอนการออสโมซิสถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูง ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะมีลักษณะของผลไม้แห้ง (dehydrated fruit) แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่าต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีลักษณะใกล้เคียงผลไม้แช่อิ่มแห้ง (semi-candied dried fruit) มากกว่า ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ

3. ขั้นตอนการอบแห้ง

ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสแล้วจะยังคงมีปริมาณน้ำสูงอยู่ จึงต้องนำมาผ่านขั้นตอนการอบแห้ง เพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของชิ้นผลไม้ ปริมาณน้ำ ความไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาต่างๆ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการอบแห้งจะต้องรักษา สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อผลไม้ในเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากระหว่างการทำให้แห้งผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงทั้งสองนี้ปรากฏให้เห็นในรูปของการเปลี่ยนสี เปลี่ยนกลิ่น และลักษณะทั่วไป ดังนี้

(1) การเกิดสีน้ำตาล ในระหว่างการทำให้แห้ง น้ำที่อยู่ภายในเนื้อผลไม้จะเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวแล้วระเหยออกไป การเคลื่อนที่ของน้ำออกมาสู่ผิวนี้อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือในรูปของไอน้ำก็ได้ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลและกรดอะมิโนออกมาสู่ผิวด้วย เมื่อการทำแห้งดำเนินต่อไปความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของผลไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและให้สีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้ การทำให้ผลไม้แห้ง ที่อุณหภูมิสูงมักจะทำให้ผลไม้มีสีเข้ม

วิธีป้องกันการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้งชิ้นผลไม้ที่ผ่านขั้นตอนการออสโมซิสแล้ว สามารถกระทำได้โดยแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สักครู่หนึ่งก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งนอกจากทำให้เกิดการซึมของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้าในเนื้อผลไม้แล้ว (Nanjundaswamy *et al.*, 1978) ยังเป็นการล้างสารละลาย น้ำตาลที่ติดมากับชิ้นผลไม้ด้วยสารซัลไฟต์สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้โปรตีนแตกออกได้ sulfonated proteins นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับน้ำตาลได้สาร hydroxy sulfonated ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้โปรตีนหรือกรดอะมิโนและน้ำตาลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (อุดมเกียรติ พรรธนประเทศ, 2531)

(2) การแตกตัวของน้ำตาล ในระหว่างการทำให้ผลไม้แห้ง น้ำตาลซูโครสที่มี อยู่ในผลไม้จะแตกตัวเป็นน้ำตาลชั้นเดียวคือ น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ที่มีกรดสูง ทำให้ผิวเหนียวเหนอะหนะ เนื่องจากน้ำตาลทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติในการดูดความชื้นไว้ได้มากกว่าน้ำตาลซูโครส (Pancoast and Junk, 1980)

(3) การสูญเสียกลิ่น ระหว่างการทำให้ผลไม้แห้ง สารให้กลิ่นบางชนิดจะระเหยออกไปทำให้ผลไม้แห้งมีกลิ่นแตกต่างไปจากผลไม้สุก

ดังนั้นการทำให้ผลไม้แห้งจึงต้องเลือกวิธีที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มี คุณภาพทั้งในด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิสมีหลายประการ ดังนี้

1. รูปร่างและขนาดของผลไม้

อิทธิพลของของขนาดและรูปร่างผลไม้นั้น จะมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนัก ถ้าพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมากขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดออสโมซิสสูงขึ้นด้วยเพราะ osmotic agent สามารถดึงน้ำออกจากชิ้นผลไม้ได้มาก เนื่องจากสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวได้มากขึ้นและยังขึ้นกับประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำด้วย เช่น ถ้าหากมีการขัดขวางของของแข็งที่ซึมเข้าไปในเนื้อของผลไม้จะทำให้มีการสูญเสียน้ำลดลง ดังเช่นมีผู้รายงาน (Lerici *et al.*, 1985) ว่าการตัดสับปะรดแบบวงแหวนจะมีการสูญเสียน้ำมากที่สุด รองลงมา เป็นแบบลูกเต๋า ซึ่งการที่การตัดแบบลูกเต๋ามีการสูญเสียน้ำน้อยในขณะที่มีค่าพื้นที่ผิวมากนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของประสิทธิภาพการซึมผ่าน (diffusion coefficient) ซึ่งเป็นผลมาจากการมีปริมาณของแข็ง (solid gain) ซึมเข้าไปในชิ้นสับปะรดในปริมาณมาก ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การตัดผลไม้แบบวงแหวน เพราะลักษณะเนื้อของสับปะรดค่อนข้างนิ่มและในการเตรียมวัตถุดิบจะมีการตัดแกนของสับปะรดออก ดังนั้นการตัดเป็นวงแหวนจะทำให้ชิ้นสับปะรดคงรูปและมีการสูญเสียน้อย

2. ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้น ทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้นได้ เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก ซึ่งแรงดันออสโมติกจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นมีค่าสูง แรงดันออสโมติกจะมีค่าสูงด้วย ดังแสดงในสมการดังนี้ (West and Todd, 1961)

$$\pi V = (g/M)RT \qquad (1)$$

เมื่อ π = ค่าแรงดันออสโมติก (atmospheres)

V = ปริมาตร (liters)

g = น้ำหนักของตัวถูกละลาย (grams)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส (0.082 liter-atmosphere)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (°A)

M = มวลโมเลกุลของตัวถูกละลาย (g/mole)

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบสารละลายน้ำตาลต่างชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกัน สารละลายของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ จะมีผลให้แรงดันมีค่าเป็นสองเท่าของสารละลายน้ำตาลไดแซคคาไรด์ เนื่องจากที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้สารละลายของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์จะมีจำนวนโมเลกุลของน้ำตาลอยู่มากกว่าเป็นจำนวนสองเท่าของสารละลาย น้ำตาลไดแซคคาไรด์ ดังนั้นชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

Lerici และคณะ (1985) ได้ให้คำจำกัดความของ osmotic agent ไว้ว่า "เป็นสารที่ใช้สำหรับเป็นตัวทำให้เกิดแรงเคลื่อนที่ออสโมซิส"

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือก osmotic agent มีดังนี้

(1) มีรสดี ทำให้ผลไม้แห้งน่ารับประทาน

(2) มีค่า water activity ต่ำ

(3) มีแรงดันออสโมซิสสูง

(4) ไม่เป็นพิษ หาง่าย และราคาถูก

Osmotic agent ที่นิยมใช้กันมากในผลไม้มี 3 ชนิด คือ

(1) น้ำตาล ในการทำ osmotic dehydration ผลของน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มี 2 ประการ คือ ประการที่ 1 จะมีผลมากในการเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่ง oxidative browning ประการที่ 2 ใช้ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยไปในระหว่างการทำแห้ง แม้ว่าจะทำภายใต้สภาวะสุญญากาศสูงๆ (Ponting, 1973)

(2) กรด การเติมกรดลงไปในสารละลายออสโมซิสนั้นมีผลในการเพิ่มอัตราการออสโมซิส เมื่อใช้ซูโครสเป็น osmotic agent ร่วมกับกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดแลคติก กรดซิตริก

กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น การที่กรดไปช่วยเพิ่มอัตราการดึงน้ำออกเป็นเพราะ กรดจะไปยับยั้งการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนของสารประกอบเพคตินในผลไม้ เช่น ในมะละกอมีสารประกอบเพคตินมาก สารนี้เมื่อเกิดเจลจะดึงเอาซูโครสเข้าไปด้วย ซึ่งจะให้อัตราการสูญเสียน้ำน้อย เพราะเจลเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ (Moy, Lau and Dollar, 1978)

(3) กลีเซอรอล ในการทำแห้งแบบออสโมซิสได้มีการใช้กลีเซอรอลเข้ามาช่วยในการทำให้ค่า water activity ลดต่ำลง Jayaraman, Ramanuja และ Nath (1977) ได้นำ กลีเซอรอลมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของ osmotic agent โดยใส่ลงไปในน้ำเชื่อม ในปริมาณ 42.33% ในการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส Ramanuja และ Jarayaman (1980) ได้กล่าวว่าเทคนิคการเตรียมอาหารที่มีความชื้นปานกลาง (intermediate moisture food) โดยใช้วิธีออสโมซิสเพื่อให้เป็นผลไม้แปรรูปพร้อมจะบริโภค (ready to eat process fruit) ควรมีความชื้นร้อยละ 20-50 โดยใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลและสารกันราได้ทดลองใช้กับกล้วย ฝรั่ง มะม่วง และสับปะรด ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำตาลเป็น osmotic agent เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายและให้รสชาติที่ดี

จากการศึกษาของ Farkas และ Lazar (1969) ในการทำแห้งชิ้นแอปเปิลหนา 1.2 เซนติเมตร ด้วยวิธีออสโมซิส โดยการแช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50-75°Brix ที่อุณหภูมิ 30-60°C พบว่า การแช่ชิ้นแอปเปิลในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70°Brix ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุดเนื่องจากสามารถลดน้ำหนักลงได้ ร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้น สำหรับสารละลายซูโครสความเข้มข้น 75°Brix จากรายงานการวิจัย (Ponting *et al.*, 1966) พบว่า มีความหนืดมากเกินไป เป็นผลให้การออสโมซิสเกิดได้น้อยลง ดังนั้นสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสำหรับใช้ในการออสโมซิสไม่ควรมีความเข้มข้นสูงกว่า 70 °Brix

จากการศึกษาของ Contreras และ Smyrl (1981) ได้ทดลองใช้ high fructose corn syrup (HFCS) เป็น osmotic agent พบว่า สามารถลดน้ำหนักลงไปถึงร้อยละ 70 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่า water activity น้อยกว่าเมื่อใช้ซูโครสและยังมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะ HFCS จะเข้าไปแทนที่น้ำในเซลล์ได้มากกว่าเนื่องจากเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Chandrasekaran and King, 1972) แต่เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแล้ว พบว่า ซูโครสจะได้รับการยอมรับมากกว่า HFCS (Bolin *et al.*, 1983)

กรุณา วงษ์กระจ่าง (2535) ศึกษาผลของการแช่ชิ้นสับปะรดรูปวงแหวนหนา 1.2 เซนติเมตร ในสารละลายน้ำตาล 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างกัน โดยใช้สารละลายกลูโคสเหลว ซึ่งมีน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ (กลูโคส 45% ฟรักโทส 40% และน้ำตาลอื่นๆ) สารละลายซูโครส (หรือไดแซคคาไรด์) และสารละลายกลูโคสซีรัป (DE 40) ที่ประกอบด้วย กลูโคส มอลโทส 15% และน้ำตาลอื่นๆ ที่มีขนาดโมเลกุลสูงเป็นส่วนใหญ่ พบว่า สับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสเหลว สารละลายซูโครส และสารละลายกลูโคสซีรัป มีค่า water loss และ solid gain สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ สารละลายเพิ่มขึ้น ผลของสารละลายน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด ในการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส พบว่า สารละลายน้ำตาลซูโครสเหมาะสมที่สุด เนื่องจากกลูโคสเหลวจะให้ solid gain สูงสุด ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสหวานและอบแห้งได้ยาก ส่วนกลูโคสซีรัปนั้นแม้ว่าจะให้ค่า solid gain ต่ำกว่าสารละลายอื่นมาก แต่ก็มีกลิ่นรสเฉพาะที่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ จึงทำให้สารละลายซูโครสเป็นสารละลายที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ที่ 65°Brix นอกจากนี้ยัง พบว่าอัตราส่วนของ water loss/solid gain ก็มีความสำคัญ เพราะจากการศึกษาที่อัตราส่วนต่างๆ กันของ water loss/solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครสต่อการยอมรับในด้านคุณภาพ พบว่า เมื่อสภาวะในการออสโมซิสที่ให้ค่าอัตราส่วนสูงขึ้นจะมีผลให้คะแนนเฉลี่ยของผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงขึ้น

จากการศึกษา ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่า ส่วนใหญ่นิยมใช้สารละลายซูโครส เนื่องจากหาได้ง่ายและให้รสชาติที่ดีสำหรับสารละลายน้ำตาลชนิดอื่นๆ ที่มีการศึกษา ได้แก่ สารละลายกลูโคส สารละลายฟรักโทส corn syrup solids solutions (Contreras and Smyrl, 1981) และ high fructose corn syrup (Bolin *et al.*, 1983) ซึ่งชนิดของน้ำตาลมีผลให้การออสโมซิสเกิดเร็วหรือช้าได้ โดยน้ำตาลชนิดที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะช่วยในการออสโมซิสเกิดได้เร็วขึ้น แต่มีผลให้น้ำตาลซึมเข้าในเนื้อผลไม้ได้มาก (Lenart and Lewicki, 1988) ในขณะที่น้ำตาลชนิดที่มีมวลโมเลกุลสูงจะซึมเข้าในเนื้อผลไม้ได้น้อยกว่า แต่ต้องใช้เวลานานกว่าในการกำจัดน้ำจากชิ้นผลไม้ สำหรับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอน เพียงแต่ต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายของน้ำตาลชนิดนั้นๆ ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่นิยมใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในช่วง 50-70 °Brix จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า น้ำหนักที่ลดลงและปริมาณน้ำที่ลดลงของผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสูงขึ้นในทุกๆ ช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส งานวิจัยนี้ศึกษาที่ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป 65°Brix

3. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส

จากการศึกษาของ Bongirwar และ Sreenivasan (1977) โดยศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการออสโมซิสกล้วยที่แช่ในสารละลายซูโครส 70°Brix เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน 4 อุณหภูมิ คือ 27, 40, 50 และ 60°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำตาลลดลงเป็นผลให้เกิดการออสโมซิสได้ดีกว่า แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 50°C เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลกระทบต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้ จากการศึกษาของ Contreras และ Smyrl (1981) พบว่า สำหรับการออสโมซิสที่อุณหภูมิสูงกว่า 45°C ควรมีการเติมกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายน้ำตาลเพื่อรักษาสีธรรมชาติของผลไม้เอาไว้ เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถทำหน้าที่เป็น reducing agent ยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ (Frank, 1983) ผลการศึกษาของ Levi, Gagel และ Juven (1983) พบว่า เมื่อแช่มะละกอในน้ำเชื่อมที่มีอุณหภูมิสูงในการทำมะละกอแห้ง จะมีอัตราการสูญเสียน้ำสูงกว่าในน้ำเชื่อมที่มีอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของน้ำเชื่อมที่เหมาะสมคือ 20-45 °C แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Lenart และLewicki (1988) พบว่า แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้เกิดการออสโมซิสได้ดีกว่าโดย ปริมาณน้ำที่ลดลงมีค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลให้ปริมาณการซึมเข้าของน้ำตาลมีค่าสูงด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป (70-90°C) ยังเป็นการลวก (Blanching) ผลไม้ไปพร้อมๆ กันด้วย จึงมีผลให้น้ำตาลซึมเข้าเนื้อผลไม้ในปริมาณสูงมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกอุณหภูมิในการออสโมซิสที่จะใช้ศึกษาคือ 50, 60 และ 70° C เพื่อที่จะหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อไป

สำหรับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ จากผลการศึกษาของ Farkas และ Lazar (1969) พบว่า การออสโมซิสชิ้นแอปเปิลที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด จากผลการศึกษา (Lenart and Lewicki, 1988) พบว่า ที่อุณหภูมิ 90°C การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในชิ้นแอปเปิลจนเข้าสู่สภาวะสมดุลใช้เวลา 1 ชั่วโมง ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 30°C ต้องใช้เวลามากกว่า 3 ชั่วโมงจึงจะทำให้เกิดสภาวะสมดุล และจากผลการศึกษาของ Ravindran (1989) พบว่า สำหรับการออสโมซิสสับปะรดรูปวงแหวนที่อุณหภูมิห้อง (28°C) การแลกเปลี่ยนมวลสารของน้ำกับน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 8 ถึง 10 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจึงค่อยดำเนินไปอย่างช้าๆ เนื่องจากเข้าสู่สภาวะสมดุล และจากงานวิจัยของกรุณา วงษ์กระจ่าง (2535) พบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่สับปะรดคือ 6-8 ชั่วโมง ที่ 70°C จะให้

ค่า water loss และ solid gain ที่เหมาะสม แต่การใช้อุณหภูมิสูงถึง 70°C และเวลานาน 8 ชั่วโมง นั้น อาจทำให้ผนังเซลล์ของสับปะรดเกิดการสูญเสียสภาพได้

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดที่นิยมศึกษาคือ อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 90°C การใช้อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งเวลาในขั้นตอนการออสโมซิสให้เร็วขึ้น แต่อาจมีผลเสียต่อสีและลักษณะเนื้อของผลไม้ได้ ในขณะที่การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ต้องใช้เวลานานกว่า แต่ก็มีข้อดีในแง่การประหยัดพลังงาน และไม่มีผลกระทบต่อลักษณะปรากฏของผลไม้ ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสใน 5, 6 และ 7 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการออสโมซิสต่อไป

4. <u>อัตราส่วนระหว่างผลไม้ : สารละลายน้ำตาล</u> (น้ำหนัก/น้ำหนัก)

จากผลการศึกษาของ Bongirwar และ Sreenivasan (1977) ซึ่งศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ : สารละลายน้ำตาลต่อการออสโมซิสด้วยอัตราส่วน 1:1 1:1.5 1:3 และ 1:4.5 พบว่า อัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนที่ผู้วิจัยทั้งสองพบว่าเหมาะสมและเลือกใช้ในการศึกษา คือ อัตราส่วน 1:1.5 ในขณะที่จากรายงานการวิจัยอื่นๆส่วนใหญ่นิยมใช้อัตราส่วน 1:4 (Moy *et al.*, 1978; Bolin *et al.*, 1983; Ravindran, 1989) โดย Hawkes และ Flink (1978) ให้เหตุผลของการใช้สารละลายน้ำตาลในปริมาณมากเกินพอ (อัตราส่วน 1:4) ว่า เพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเนื่องจากน้ำที่ถูกกำจัดจากผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วนระหว่าง ผลไม้ : สารละลายน้ำตาลเท่ากับ 1:4 ในระหว่างการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส

5. <u>การคนขณะออสโมซิส</u>

ในขณะที่เกิดการออสโมซิส ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมบริเวณรอบๆ ชิ้นผลไม้จะเจือจางลง ทำให้ประสิทธิภาพของการออสโมซิสต่ำลงด้วย Ponting และคณะ (1966) พบว่าเหตุผลที่มีการคนหรือการกวนก็เพื่อกระจายความเข้มข้นภายนอกรอบชิ้นผลไม้ ซึ่งเดิมเจือจางลงเนื่องจากน้ำในผลไม้ไหลออกมาทำให้เจือจางไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง หรือสารละลายที่

เข้มข้นกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจาง เป็นการเพิ่มอัตราการออสโมซิสให้เร็วขึ้น Bongirwar และ Sreenivasan (1977) รายงานว่าการกวนหรือการเขย่าช่วยลดเวลาในการออสโมซิส

Hawkes และ Flink (1978) ศึกษาผลของการกวนผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่ำๆการกวนมีผลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราการออสโมซิสและค่า mass transport coefficients แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและการต้านการถ่ายเทมวลก็เพิ่มขึ้นด้วย การกวนจะมีผลทำให้ค่า mass transport coefficient เพิ่มขึ้น แต่ในการวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาถึงผลของการกวนต่อการออสโมซิส เนื่องจากอุปกรณ์ไม่พร้อมสำหรับการทดลอง

6. <u>การนำสารละลายน้ำตาลเก่ากลับมาใช้ซ้ำ</u>

ในการทำผลไม้แห้งโดยวิธีออสโมซิส จะประสบปัญหาในเรื่องของสารละลายที่เหลือจากการแช่ในแต่ละครั้ง เพราะถ้ามีการเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกครั้งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้น จึงได้มีการนำเอาสารละลายน้ำตาลเก่ามาทำให้เข้มข้นอีกครั้งหนึ่ง (reconcentration) แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

จากการศึกษาของ Bolin และคณะ (1983) พบว่า ปัญหาของการทำให้ osmotic solution เข้มข้นโดยใช้ความร้อน ก็คือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือ สารละลายน้ำตาลจะมีสีเข้มขึ้นและถ้าสารละลายมีกรดสูงอัตราการเกิดสีเข้มจะเกิดเร็วกว่าสารละลายน้ำตาลที่มีกรดต่ำ การที่สารละลายน้ำตาลมีสีเข้มเนื่องจากมีการเพิ่มของ 5-hydroxymethyl furfural (5-HMF) สารประกอบนี้จะเกิดจากกลูโคสที่ถูกดึงน้ำออกด้วยกรดจากผลไม้และความร้อน กรดสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการไฮโดรไลซ์น้ำตาลโมเลกุลคู่ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ และอัตราการไฮโดรไลซ์ของซูโครสจะขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่มีอยู่ (Hoynak and Bollenback, 1966) วิธีการอื่นในการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสามารถทำได้โดยการเติมน้ำตาล ในการนำสารละลายน้ำตาลที่ใช้กับลูกแพร์ที่สไลด์เป็นแผ่นกลับมาใช้ใหม่ โดยไม่มีการกรองและทำให้ความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นเดิม คือ น้ำตาลร้อยละ 70 โดยการเติมน้ำตาลพบว่าไม่มีการเสื่อมเสียของสีและกลิ่นรสของลูกแพร์ สารละลายน้ำตาลสามารถนำมาใช้ได้ถึง 7 ครั้ง (Ponting, 1973) และในการนำสารละลายน้ำตาลที่ใช้แล้วมาทำให้เข้มข้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะทำได้ไม่เกิน 5 ครั้ง โดยที่ยังไม่มีผลต่อผลไม้ที่ใช้แม้ว่าคุณสมบัติของ osmotic solution จะ

เปลี่ยนแปลงไปบ้าง (Bolin *et al.*, 1983) ในการวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลของการนำสารละลายน้ำตาลกลับมาใช้ซ้ำโดยการเติมน้ำตาลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง

7. การใช้สารเคมีอื่นร่วมกับซูโครสไซรัปในการออสโมซิส

จากการศึกษาของ Hawkes และ Flink (1978) ซึ่งศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้สารผสมสองชนิดโดยใช้ร่วมกับซูโครส เพื่อช่วยลดต้นทุนของ osmotic agent และ/หรือ ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการออสโมซิส โดยทำการศึกษาระบบที่ประกอบด้วยซูโครสร่วมกับเกลือ มอลโตเด็กซ์ติน (maltodextrin) หรือแลคโตส พบว่า สารผสมนี้มี ประสิทธิภาพเกือบเท่าการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้นรวมเดียวกัน จากผลการศึกษาของ Moy และคณะ (1981) ได้ศึกษาถึงการใช้กรดอินทรีย์ (organic acid) ร่วมกับซูโครสในการออสโมซิสมะละกอและกล้วย พบว่า ความเป็นกรดช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ออกของน้ำในมะละกอ เนื่องจากการเปลี่ยนคุณสมบัติของเนื้อเยื่อเกิดเป็นเจลของเพคติน (pectin gelation) Lerici และคณะ (1985) ศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิสแอปเปิล พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของโซเดียมคลอไรด์มีผลให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดแต่ในขณะเดียวกันปริมาณของแข็งใน แอปเปิลก็เพิ่มขึ้นด้วย และถึงแม้ว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสในการออสโมซิสจะทำให้อัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้น แต่การใช้โซเดียมคลอไรด์ต้องจำกัดปริมาณ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีรสเค็ม (Hawkes and Flink, 1978; Lerici *et al.*, 1985) ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 %

จากผลการศึกษาของ Heng และคณะ (1990) โดยการทำการออสโมซิสมะละกอในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ในระดับต่างๆ กัน พบว่าเมื่อระดับของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ water loss เพิ่มขึ้นและในขณะเดียวกัน ก็ช่วยลด solid gain ลงด้วย ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.5 %

8. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งภายหลังการออสโมซิส

จากการศึกษาของ Nanjundaswamy และคณะ (1978) พบว่า สับปะรดชิ้นหนา 1.2 เซนติเมตร และมะละกอรูปสี่เหลี่ยม (1.2x1.2x2.5 เซนติเมตร) ที่ผ่านการออสโมซิสเพื่อลดน้ำหนักลงประมาณร้อยละ 50 แล้ว ต้องใช้เวลาในการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อลดความชื้นลงต่ำกว่า 15% และจากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะ เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม รสชาติออกหวานและยังคงกลิ่นรสของผลไม้ไว้ได้

Ponting (1973) พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งที่ผ่านการอบแห้งในตู้อบสุญญากาศหลังการออสโมซิสแล้วมีความชื้นต่ำมาก (1-3%) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 66-93°C ขึ้นกับชนิดของผลไม้ Ravindran (1989) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งสับปะรดหลังการออสโมซิสคือ อบแห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากรายงานการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งผลไม้หลังการออสโมซิสทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 60-70°C ขึ้นกับชนิดของผลไม้ สำหรับสับปะรด พบว่า มีการใช้อุณหภูมิ 70°C ทั้งในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (กรุณา วงษ์กระจ่าง, 2535; Nanjundaswamy *et al.*, 1978) และตู้อบสุญญากาศ (Ravindran, 1989)

อัตราการอบแห้งของตัวอย่างผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสจะต่ำกว่าผลไม้ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากการแพร่ของตัวทำละลายเข้าไปในชิ้นผลไม้จะมีผลมากในการต้านการแพร่ออกของน้ำในชิ้นผลไม้ (Flink, 1979; Islam and Flink, 1982) จากการศึกษาของ Rahman และ Lamb (1991) ถึงผลของ solid gain ต่ออัตราการอบแห้งของสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและผ่านการออสโมซิส โดยใช้ osmotic agent ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่าเมื่อออสโมซิสใน osmotic agent ที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ชิ้นสับปะรดมี solid gain เพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงเนื่องจากซูโครสซึ่งเป็นสารที่สามารถจับกับน้ำได้ดีจะแพร่เข้าไปในเนื้อสับปะรดและไปจับกับน้ำที่เหลืออยู่ในชิ้นสับปะรดหลังจากการออสโมซิส จึงทำให้เพิ่มการต้านการเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกของน้ำภายในชิ้นสับปะรด ทำให้สับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสอบแห้งได้ช้ากว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะมี solid gain สูงกว่าก็อบแห้งได้ช้ากว่าที่มี solid gain ต่ำแต่ถึงแม้ว่าการสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสจะมีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก็ตามการออสโมซิสก็สามารถช่วยรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของสับปะรด

ไว้ได้ (Ponting *et al.*, 1966) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกการอบแห้งสับปะรดหลังการออสโมซิสที่อุณหภูมิ 70°C ในตู้อบลมร้อนเนื่องจากเป็นการประหยัดและใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยเลือกใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ช่วงเวลา เพื่อศึกษาผลของ water loss/solid gain ratio ต่ออัตราการทำแห้ง แล้วจึงพิจารณาสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งที่ได้

9. <u>อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง</u>

ผลไม้แห้งที่เก็บไว้นานอาจมีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในเรื่องกลิ่นรส สี และลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์ ภาชนะบรรจุเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลไม้แห้ง คุณสมบัติของภาชนะบรรจุมี ดังนี้ (Smogyi and Luh, 1986)

(1) สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากความชื้น แสง ออกซิเจน ฝุ่น จุลินทรีย์ แมลง และกลิ่นแปลกปลอม

(2) มีความแข็งแรงและคงทนตลอดระยะเวลาการเก็บ การขนส่ง ตลอดจนช่วงการจำหน่าย

(3) มีขนาดรูปร่าง และลักษณะปรากฏเป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้ซื้อ

(4) องค์ประกอบของภาชนะบรรจุไม่มีผลเสียต่อผลิตภัณฑ์

(5) ราคาไม่แพง

พลาสติกเป็นภาชนะบรรจุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ข้อดีของพลาสติกคือสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตต่ำ น้ำหนักเบา ใส และมีสมบัติต่างๆ ให้เลือกใช้ตามความต้องการ แบ่งประเภทได้เป็นพลาสติกคงรูป และพลาสติกอ่อนตัวซึ่งมีการใช้งานกว้างขวางมาก เนื่องจากใช้ร่วมกับอะลูมิเนียมและกระดาษได้มีทั้งแบบชั้นเดียวและหลายชั้น ซึ่งให้สมบัติและการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น ในปัจจุบันนิยมใช้ถุงพลาสติก oriented polypropylene/ low density polyethylene (OPP/LDPE) บรรจุอาหารว่างและขนมขบเคี้ยว เป็นต้น ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, 2533)

จากการรายงานผลการศึกษาเรื่องอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง (Bongirwar and Sreenivasan, 1977) พบว่า กล้วยที่ทำแห้งด้วยการออสโมซิสสามารเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นเวลา 1 ปี ในถุงลามิเนทของ paper/polyethylene/aluminium/polyethylene การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งที่สำคัญคือการเปลี่ยนสี เนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลและ

การเกิดราซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นภาชนะบรรจุที่ควรเลือกใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งจึงต้องมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ดี สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้ภาชนะบรรจุชนิด OPP/LDPE ในการบรรจุผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้บรรจุอาหารว่างและขนมขบเคี้ยว เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีมาก นอกจากนั้นยังมีความแข็งแรงและมีความใส ความมันดีมากด้วย เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น และลักษณะปรากฏอื่นๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย