บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดที่ใช้ในงานวิจัย

เนื่องจากโครงสร้างของผนังเซลของผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามความสุกของผลไม้ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการออสโมซิส ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำ °Brix และ ค่าความเป็นกรดของสับปะรดที่นำมาใช้ในการทดลอง เพื่อเป็นการตรวจสอบความสุกของสับปะรดที่ได้คัดเลือกมาโดยการสังเกตสีของเปลือก ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นเครื่องบ่งชี้ความแก่อ่อนของผลไม้ได้ จากผลการทดลองในตารางที่ 6 พบว่า ปริมาณน้ำ และ °Brix ของสับปะรด มีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ที่ได้รายงานไว้ (6) สำหรับสับปะรดสุก ส่วนค่าความเป็นกรดมีค่าต่ำกว่ามาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในงานวิจัยนี้วิเคราะห์สับปะรดเฉพาะส่วนที่หั่นเป็นวงแหวนแล้วเท่านั้น ไม่ได้วิเคราะห์สับปะรดในส่วนที่กินได้ทั้งผล

5.2 ผลของชนิด ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลา ต่อการลดปริมาณน้ำ และการเพิ่มปริมาณน้ำตาลของสับปะรดในขั้นตอนการออสโมซิส

จากการนำค่า water loss และ solid gain ที่ได้จากการทดลองมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาโดยวิธี multiple regression ในรูปของสมการกำลังสอง พบว่า ค่า coefficient of determination (R^2) มีค่าสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 0.97 ยกเว้นจากสมการความสัมพันธ์ของค่า solid gain สำหรับสารละลายกลูโคสซีรัปเท่านั้นที่มีค่า R^2 = 0.70 สาเหตุที่ R^2 ต่ำกว่าค่าอื่นๆนั้น อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง ซึ่งเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน อาทิเช่น ความไม่สม่ำเสมอของความสุกของผลไม้ ความหนาของชิ้นผลไม้ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ได้นำสมการดังกล่าวมาใช้ด้วย แม้ว่าจะมีค่า R^2 ต่ำกว่าค่าอื่น

เนื่องจากพบว่า มีรายงานการวิจัยหลายเรื่อง ซึ่งศึกษาผลของตัวแปรด้วยวิธี response surface methodology และได้สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R^2 ต่ำ (39) เช่นกัน นอกจากนี้เพื่อให้สามารถที่จะสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss และ solid gain เพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่อค่าดังกล่าว เช่นเดียวกับการศึกษาในสารละลายซูโครส และกลูโคสเหลว ดังนั้นจึงได้ใช้สมการทั้งหมดในการคำนวณ ค่า water loss และ solid gain เพื่อสร้าง contour plot แสดงผลของชนิด ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลา ต่อค่าทั้งสอง เพื่อใช้ในการคัดเลือกสภาวะตัวแปรที่ให้ค่า water loss สูงสุดประกอบกับค่า solid gain ต่ำ สำหรับสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด ดังนี้

สารละลายน้ำตาลซูโครส

จาก contour plot (รูปที่ 13) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (50° - 70°Brix) อุณหภูมิ (30° - 70°C) และ เวลา 4, 6, 8 ชั่วโมง กับค่า water loss ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส จากการพิจารณาผลของความเข้มข้น พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการแช่คงที่ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น จะมีผลให้ค่า water loss สูงขึ้นตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน จากการพิจารณาผลของอุณหภูมิ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและเวลาในการแช่คงที่ จะพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้น มีผลให้ water loss มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แต่สำหรับผลของเวลาพบว่าไม่เป็นเช่นนั้น กล่าวคือ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและอุณหภูมิคงที่ จะเห็นว่า water loss มีค่าสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 4 ชั่วโมง เป็น 6 ชั่วโมง แล้วกลับลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 8 ชั่วโมง ดังผลการทดลองในตารางที่ 13 จะเห็นว่า water loss ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง มีค่า 41.8, 44.3 และ 42.6 ตามลำดับ ในกรณีนี้อาจอธิบายได้ว่า การแช่สับปะรดในสารละลายซูโครสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้เกิดสภาวะสมดุลของสารละลายขึ้น ดังนั้นเวลาที่เพิ่มขึ้นจึงไม่มีผลต่อ ค่า water loss อีกต่อไป ส่วนสาเหตุที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 8 ชั่วโมง water loss กลับมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากน้ำในสับปะรดบางส่วนถูกจับไว้โดยน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งน้ำตาลสองชนิดนี้มีความสามารถในการจับน้ำไว้ได้ดี (hygroscopicity) โดยปกติเนื้อสับปะรดก็มีน้ำตาลสองชนิดนี้อยู่แล้ว แต่ในปริมาณไม่สูงนัก เมื่อการออสโมซิสดำเนินไป จะมีผลให้น้ำตาลซูโครสแพร่เข้าไปในเนื้อสับปะรด แล้วอาจเกิดการแตกตัวบางส่วนให้กลูโคสและฟรุกโตส โดยที่อุณหภูมิและกรด

ที่มีอยู่ในผลไม้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการแตกตัวของซูโครสนี้ทำให้เนื้อสับปะรดมีน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ในปริมาณสูงขึ้น จึงสามารถจับน้ำบางส่วนเอาไว้เป็นผลให้ water loss มีค่าลดลง

จาก contour plot (รูปที่ 14) แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษากับค่า solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส พบว่าที่เวลาในการแช่ 4 ชั่วโมง ในช่วงความเข้มข้นและอุณหภูมิต่ำๆนั้น ค่า solid gain ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกระทั่งความเข้มข้นมากกว่า 55 °Brix และอุณหภูมิสูงกว่า 45°C ขึ้นไปจึงจะมีผลให้ solid gain มีการเปลี่ยนแปลงในทางที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม จะพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสมีค่าสูง (58°-70°B) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วง 30°-40°C เกือบจะไม่มีผลต่อค่า solid gain เลย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่สารละลายน้ำตาลเข้มข้นมีความหนืดมาก อุณหภูมิ 30°-40°C จึงไม่สูงพอที่จะช่วยลดความหนืดได้ เป็นผลให้การออสโมซิสเกิดได้น้อยกว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับเวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง แสดงค่า solid gain ในทำนองเดียวกันกับเวลา 4 ชั่วโมง และเนื่องจากสภาวะสมดุลของน้ำ และสภาวะสมดุลของตัวถูกละลาย ไม่ใช่สภาวะเดียวกัน ดังรูปที่ 2 ดังนั้นเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 6 ชั่วโมงจึงยังมีผลให้ solid gain มีค่าสูงขึ้น แม้ว่าจะเกิดสภาวะสมดุลของน้ำแล้วก็ตาม สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้ solid gain มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการแช่สับปะรดที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน มีผลให้ผนังเซลของสับปะรดสูญเสียสมบัติของ semipermeable membrane ไปบ้าง ทำให้น้ำตาลแพร่เข้าสู่เนื้อสับปะรดได้ง่ายขึ้น

จากการซ้อนกราฟ ดังรูปที่ 19 พบว่าการแช่สับปะรดในสารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 65 °Brix อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่า water loss สูงสุด 42 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด และ มีค่า solid gain 21 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด นอกจากสภาวะที่กล่าวมายังมีอีกหลายสภาวะที่ให้ water loss สูงสุดค่าเดียวกันนี้ ซึ่งอ่านค่าได้จากเส้นกราฟ (42 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด) เช่น ความเข้มข้น 70 °Brix อุณหภูมิ 61°C และ ความเข้มข้น 68°Brix อุณหภูมิ 64°C เป็นต้น แต่จากการพิจารณาผลของอุณหภูมิร่วมกับผลของ solid gain แล้ว พบว่าสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้ค่า solid gain ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ โดยที่ได้ศึกษาแล้วว่า อุณหภูมิ 70°C ไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดอย่างมีนัยสำคัญ

สารละลายน้ำตาลกลูโคสซีรัป

จาก contour plot (รูปที่ 15) พบว่า water loss มีค่าแปรผันตามความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาในการแช่ เวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 6 ชั่วโมง เป็น 8 ชั่วโมง ยังคงมีผลให้ water loss มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากสารละลายน้ำตาลซูโครสที่กล่าวมาแล้ว แสดงว่าสภาวะสมดุลของน้ำยังไม่เกิดขึ้น หรือกล่าวได้ว่าการแช่สับปะรดในสารละลายกลูโคสซีรัป เพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลต้องใช้เวลานานกว่า เนื่องจากสารละลายกลูโคสซีรัป ประกอบด้วยน้ำตาลที่มีขนาดน้ำตาลโมเลกุลสูงมากกว่า จึงย่อมมีแรงดันออสโมซิสต่ำกว่าสารละลายซูโครส และกลูโคสเหลว เป็นผลให้การออสโมซิสเกิดได้ช้ากว่า จึงใช้เวลานานกว่าดังปรากฏในผลการทดลอง

จาก contour plot (รูปที่ 16) พบว่าผลของตัวแปรต่อค่า solid gain แตกต่างจากสารละลายอื่น คือ contour plot มีลักษณะเป็นวงรีซ้อนกันอยู่ วงรีแต่ละเส้นแสดงสภาวะของตัวแปรซึ่งให้ solid gain ค่าเดียวกัน ในลักษณะดังกล่าวนี้ เมื่อพิจารณาตามเส้นกราฟ เริ่มที่ความเข้มข้นจากแนวที่ลากผ่านจุดกึ่งกลางของวงรีซึ่งมีค่าประมาณ 58 ° Brix (รูป 16b) จะเห็นว่าสามารถได้ค่า solid gain เท่ากัน โดยการเพิ่มความเข้มข้นและเพิ่มอุณหภูมิ หรือลดความเข้มข้นและเพิ่มอุณหภูมิ แต่ในขณะเดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิจาก 60 °C เป็นต้นไป อาจใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลน้อยลงได้ เพื่อให้ได้ค่าคงที่ของ solid gain ซึ่งแตกต่างจากสารละลายซูโครสและกลูโคสเหลว ซึ่งสภาวะที่ให้ solid gain ค่าเดียวกันนั้น จะพบเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และความเข้มข้นลดลงตามลำดับ นั่นคือสำหรับสารละลายกลูโคสซีรัป ทั้งความเข้มข้นและอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ solid gain อย่างมีรูปแบบเฉพาะ สำหรับผลของอุณหภูมิต่อค่า solid gain นี้ มีรายงานการวิจัยของ Lenart และ Lewicki (24) สรุปไว้ว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่า solid gain สำหรับสารละลายกลูโคสซีรัป โดยได้อธิบายว่าการออสโมซิสในสารละลายกลูโคสซีรัปนั้น กระบวนการจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิว (surface) ของผลไม้เท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่กลูโคสซีรัปมีน้ำตาลขนาดโมเลกุลใหญ่อยู่มาก ทำให้ยากต่อการแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้ สำหรับในผลการทดลองนี้พบว่า เมื่อความเข้มข้นคงที่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 30 - 50°C ทำให้ solid gain มีค่าลดลง และช่วงอุณหภูมิ 50 - 60°C มีผลต่อ solid gain เพียงเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิสูงกว่า 60°C ขึ้นไป การเพิ่มอุณหภูมิ มีผลให้ solid gain เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความหนืดของสารละลายกลูโคสซีรัปลดลง

ในขณะเดียวกันอาจทำให้มีการสูญเสียสมบัติ semipermeable membrane ของผลไม้ จึงเป็นผลให้ solid gain มีค่าสูงขึ้น แต่สำหรับความเข้มข้นนั้นพบว่า ที่ทุกช่วงเวลาในการแช่ ที่อุณหภูมิคงที่ ความเข้มข้นจาก 58 °Brix ขึ้นไปมีผลให้ solid gain เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นในช่วงต่ำกว่า 58 °Brix มีผลให้ solid gain ลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจอธิบายได้ โดยการพิจารณาร่วมกับค่า water loss (รูปที่ 15) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นช่วง 58 °Brix ขึ้นไป มีผลต่อค่า water loss ไม่มากนัก ในขณะที่ช่วงต่ำลงมา ความเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง water loss มากกว่า แสดงว่าน้ำที่ถูกกำจัดออกมาในช่วงความเข้มข้นไม่สูงนักนั้น มีผลให้สารละลายกลูโคสซีรัปเจือจางลง จึงอาจทำให้ solid gain มีค่าลดลงได้ ส่วนน้ำที่ถูกกำจัดออกมาในช่วงสภาวะความเข้มข้นมากกว่า 58 °Brix อาจไม่มีผลให้เกิดการเจือจางของสารละลายน้ำตาล จึงยังมีผลให้ค่า solid gain เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้นจากการซ้อนกราฟรูปที่ 20 พบว่า การแช่สับปะรดในสารละลายน้ำตาลกลูโคสซีรัปความเข้มข้น 61°Brix อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นผลให้มี water loss สูงสุด 44 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด และ มี solid gain 10 กรัม ของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด ซึ่งเป็นสภาวะเหมาะสมที่สุดในการแช่สับปะรด เนื่องจากมีค่า water loss สูง และ solid gain ต่ำสุด

เมื่อเปรียบเทียบ ค่า solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป กับสารละลายอื่นๆ (ตารางที่ 13) พบว่า มีค่าต่ำกว่ามาก ซึ่งเป็นผลจากขนาดโมเลกุลของน้ำตาลที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้ยากต่อการแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้ สารละลายน้ำตาลกลูโคสซีรัปจึงน่าจะเหมาะสำหรับใช้ในการแช่สับปะรดก่อนการอบแห้ง แต่จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัส พบว่าสับปะรดที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวเกินไป และมีกลิ่นรสแปลกปลอม ดังนั้นการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสและกลูโคสซีรัปในการแช่ผลไม้ก่อนการอบแห้งน่าจะเป็นวิธีที่ดีกว่า เพราะจะช่วยลดปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นและอาจช่วยลดกลิ่นแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ จึงน่าจะมีการศึกษาในเรื่องดังกล่าวอีกต่อไป

สารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลว

จาก contour plot (รูปที่ 17) พบว่า water loss มีค่าแปรผันตามอุณหภูมิ เมื่อความเข้มข้นและเวลาคงที่ แต่จะแปรผันตามความเข้มข้นเฉพาะช่วง 50°-66°Brix เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นสูงกว่าช่วงนี้ กลับมีผลให้ water loss ลดลงเล็กน้อย จึงอาจกล่าวได้ว่าสารละลายกลูโคสเหลวที่เหมาะสำหรับการแช่สับปะรดไม่ควรเข้มข้นเกิน 66 °Brix สำหรับผลของเวลาพบว่า มีผลในทำนองเดียวกันกับสารละลายซูโครส กล่าวคือ เวลาในการแช่ 8 ชั่วโมง มีผลให้ water loss มีค่าต่ำกว่าที่เวลา 6 ชั่วโมง (ตารางที่ 13) แสดงว่า การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นในช่วง 6 ชั่วโมง ทำให้เกิดสภาวะสมดุลของน้ำ ดังนั้นเวลาที่เพิ่มขึ้น จึงไม่มีผลต่อค่า water loss แต่สาเหตุที่ทำให้ค่า water loss ลดลงที่เวลา 8 ชั่วโมง อาจเนื่องจากน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำตาลกลูโคสเหลวแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้ แล้วทำการจับน้ำบางส่วนไว้ ทำให้ water loss มีค่าลดลง

จาก contour plot (รูปที่ 18) พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะโค้งสูงสุด อยู่ในช่วง 38° - 40°C ดังนั้นเมื่อความเข้มข้น และเวลาในการแช่คงที่ solid gain จึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเฉพาะช่วง 40°-70°C ส่วนในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 40°C นั้น การเพิ่มอุณหภูมิกลับมีผลให้ solid gain ลดลงเล็กน้อยในทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการแช่ นอกจากนี้พบว่าเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 6 ชั่วโมง ยังมีผลให้ solid gain มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าจะเกิดสภาวะสมดุลของน้ำแล้วก็ตาม ซึ่งอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับสารละลายซูโครส ดังนั้นจากการซ้อนกราฟ ดังรูปที่ 21 พบว่าการแช่สับปะรดในสารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลว ความเข้มข้น 62 °Brix อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่า water loss สูงสุด 44 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด และมีค่า solid gain 26 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการคัดเลือก เพราะที่สภาวะอื่นๆ ให้ water loss ค่าเดียวกัน แต่ solid gain สูงกว่า อาทิเช่น ความเข้มข้น 66 °Brix อุณหภูมิ 66 °C และความเข้มข้น 68 °Brix อุณหภูมิ 68°C ซึ่งให้ค่า solid gain 27 และ 28 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบ ค่า water loss สูงสุดจากการแช่สับปะรดในสารละลายซูโครส และกลูโคสเหลว จะเห็นว่าที่อุณหภูมิเดียวกัน (70°C) และเวลาในการแช่ 6 ชั่วโมงเท่ากัน สารละลายกลูโคสเหลวให้ค่า water loss สูงกว่า แม้ว่าความเข้มข้นที่ใช้จะต่ำกว่าก็ตาม ทั้งนี้อธิบายได้ว่าสารละลายกลูโคสเหลวมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ จึงทำให้เกิดการออสโมซิสได้ดีกว่า ในขณะเดียวกัน ขนาดโมเลกุลที่เล็กของน้ำตาลกลูโคสเหลวก็สามารถแพร่เข้าสู่เนื้อผลไม้ได้ง่ายกว่า จึงเป็นผลให้มีค่า solid gain สูงกว่าด้วย

5.3 ผลของสภาวะการอบแห้ง

5.3.1 ผลการหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

จากผลการหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำกว่า 15% พบว่าสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด ทั้งในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ สาเหตุเกิดจากการที่น้ำตาลซูโครสมารวมตัวกันอยู่ที่ผิวแล้วเกิดการตกผลึก ทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำออกสู่ภายนอก นอกจากนี้ พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง เนื่องจากในสภาพสุญญากาศมีความแตกต่างระหว่าง ความดันไอของน้ำในสภาพแวดล้อมกับความดันไอของน้ำในสับปะรด สูงกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน เป็นผลให้น้ำที่อยู่ในภายในเนื้อสับปะรดสามารถเคลื่อนออกไปสู่ภายนอกได้เร็วกว่าเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน

5.3.2 ผลการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลต่างชนิดกันแล้วอบด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ พบว่าสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส มีผลให้คะแนนเฉลี่ยของลักษณะทั่วไป กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 21) โดยสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสได้รับการยอมรับมากที่สุด (ตารางที่ 20) เนื่องจากสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายกลูโคสเหลว มีลักษณะ

ภายนอกเปียกชื้นเล็กน้อย และมีรสชาติหวานเกินไปจากการที่มีน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ด้วย ซึ่งฟรุกโตสเป็นน้ำตาลที่มีความหวานสูงสุด ส่วนสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัปมีลักษณะภายนอกเปียกชื้นเล็กน้อย มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว และมีกลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลจากกลูโคสซีรัปที่ใช้มีกลิ่นรสเฉพาะตัว เป็นผลให้ผู้ทดสอบรู้สึกถึงกลิ่นรสแปลกปลอมนั้นได้ สำหรับสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นข้อดีของการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส เนื่องจากชิ้นผลไม้แช่อยู่ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้น ทำให้เนื้อผลไม้ไม่สัมผัสกับอากาศหรือออกซิเจน จึงไม่เกิดการเปลี่ยนสี เนื่องจากปฏิกิริยา enzymatic browning ซึ่งต้องมีออกซิเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

นอกจากนี้ พบว่า สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อการยอมรับในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

5.3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

จากการอบแห้งสับปะรดหลังการแช่ในสารละลายน้ำตาลต่างชนิด ด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่มีปริมาณน้ำ 14% (ด้วยการอ่านค่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจากกราฟการอบแห้ง) พบว่าเฉพาะสับปะรดในสารละลายซูโครสที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเท่านั้นที่มีปริมาณน้ำ 14% (ตารางที่ 22) ส่วนสับปะรดแห้งที่สภาวะอื่นๆ มีปริมาณน้ำต่ำกว่า อยู่ในช่วง 10-12% ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ความไม่สม่ำเสมอของความสุกของผลไม้ ความหนาของชิ้นผลไม้ ซึ่งอาจมีผลต่อการออสโมซิสที่เกิดขึ้น และย่อมมีผลต่อการอบแห้งด้วยเช่นกัน นอกจากนี้อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองในการหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วย

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง พบว่า สับปะรดในสารละลายกลูโคสซีรัปมีปริมาณน้ำตาลต่ำสุด ซึ่งเป็นผลจากการมี solid gain ต่ำกว่า เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า สับปะรดในสารละลายซูโครสทั้งที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ มีปริมาณน้ำตาลใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกันกับสารละลายกลูโคสซีรัป ส่วนสับปะรดในสารละลายกลูโคสเหลวนั้น พบว่า สับปะรดแห้งที่อบด้วยตู้อบสุญญากาศมีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าที่อบด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งอาจเนื่องมาจากในระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ น้ำตาลส่วนหนึ่งได้เคลื่อนมาอยู่ที่ผิวนอก และติดค้างอยู่ที่ตะแกรง เป็นผลให้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลได้น้อยกว่าที่เป็นจริง

5.3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ของสับปะรดแห้งด้วยเครื่อง Instron โดยใช้หัวเจาะ (probe) ขนาด 7/16 นิ้ว เพื่อวัดค่า puncture force หรือแรงที่ต้องใช้เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป (force/deformation) (ตารางที่ 23) พบว่า สับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส และกลูโคสซีรับมีค่าดังกล่าวสูงกว่าสับปะรดในสารละลายกลูโคสเหลว ซึ่งค่านี้สามารถใช้แสดงถึงลักษณะ case hardening ที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้ง (40) ดังนั้น สับปะรดในสารละลายซูโครสจึงมีค่านี้สูง เนื่องจากมีผิวนอกที่ค่อนข้างแห้งและแข็งกว่า จากการเกิด case hardening ระหว่างการอบแห้ง ส่วนสับปะรดในสารละลายกลูโคสซีรับ แม้ว่าไม่ได้มีลักษณะ case hardening เกิดขึ้น แต่เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว จึงเป็นผลให้มีค่า force/deformation สูงด้วยเช่นกัน โดยสับปะรดที่อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ มีค่าดังกล่าวสูงกว่าจากการที่มีความชื้นต่ำกว่านั่นเอง

สำหรับผลการวัดสี ด้วยเครื่องวัดสี ACS ตารางที่ 24 และ 25 พบว่า สภาวะการอบแห้งมีผลต่อค่า L^* b^* และ c^* อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า L^* , b^*, c^* ของสับปะรดที่อบด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าสูงกว่า สับปะรดที่อบด้วยตู้อบสุญญากาศแสดงว่า การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลจาก การมีความชื้นต่ำเกินไป ซึ่งความชื้นในช่วงนั้น อาจมีผลให้ ปฏิกิริยา non-enzymatic browning มีอัตราสูงขึ้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มกว่า แต่เมื่อทำการทดสอบการยอมรับโดยประสาทสัมผัสผู้ทดสอบยอมรับสีของผลิตภัณฑ์นั้น โดยไม่มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญ

5.4 ผลของ water loss/solid gain ratio ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ต่อการยอมรับในด้านคุณภาพ

จากการวิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดหลังการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่สภาวะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนาย (ตารางที่ 26) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่สภาวะความเข้มข้น 60°Brix อุณหภูมิ 62°C และที่สภาวะความเข้มข้น 54°Brix อุณหภูมิ 53°C ซึ่ง solid gain มีค่าสูงกว่าค่าที่ทำนาย จึงมีผลให้ค่าอัตราส่วนของ water loss/solid gain ต่ำกว่าค่าทำนาย อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบการยอมรับ

ทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 28) พบว่า ลักษณะทั่วไปของสับปะรดแห้งทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สับปะรดแห้งที่มีค่าอัตราส่วนต่ำกว่า คือ 2.2 และ 2.4 (ค่าทำนาย) มีคะแนนเฉลี่ยของสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส แตกต่างจากสับปะรดแห้งที่มีค่าอัตราส่วน 2.6, 2.7 และ 2.8 (ค่าทำนาย) อย่างมีนัยสำคัญ โดยสับปะรดที่มีค่าอัตราส่วนสูงทั้ง 3 ตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ สีอยู่ในเกณฑ์ของ "สีเหลืองปกติของสับปะรดแห้ง" กลิ่นรสอยู่ในเกณฑ์ของ"ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม และมีกลิ่นรสสับปะรดตามธรรมชาติ" และคะแนนเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ของ "ลักษณะปกติของสับปะรดแห้ง ไม่นุ่มหรือเหนียวเกินไป" สำหรับความชอบ พบว่า สับปะรดแห้งที่มีค่าอัตราส่วน 2.7 และ 2.8 มีคะแนนเฉลี่ยความชอบสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ของ "ชอบปานกลาง - ชอบมาก" ในขณะที่สับปะรดแห้งที่มีอัตราส่วน 2.6 มีคะแนนต่ำกว่า อยู่ในเกณฑ์ของ "ชอบเล็กน้อย - ชอบปานกลาง" อย่างไรก็ตาม อาจกล่าวได้ว่า สับปะรดแห้งทั้ง 3 ตัวอย่างที่แช่ในสารละลายซูโครส ด้วยสภาวะที่ให้อัตราส่วน 2.6, 2.7 และ 2.8 ไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากอัตราส่วนของ water loss /solid gain มีค่าใกล้เคียงกันมาก ทั้งจากค่าทำนายและค่าที่ได้จากการทดลอง

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสับปะรดแห้งให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงมี 3 สภาวะด้วยกัน คือ การแช่สับปะรดในสารละลายซูโครส 58°Brix อุณหภูมิ 59°C หรือแช่ในสารละลายซูโครส 56°Brix อุณหภูมิ 56°C หรือในสารละลายซูโครส 54°Brix อุณหภูมิ 53°C สภาวะใดสภาวะหนึ่ง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

นอกจากนี้ในการวิจัยยังได้ทดลองอบแห้งสับปะรดสดด้วยตู้อบลมร้อน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส พบว่าการอบแห้งสับปะรดสดเพื่อให้ได้ความชื้นประมาณ 10 % ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 13 ชั่วโมง และสับปะรดอบแห้งที่ได้มีสีเหลืองคล้ำเล็กน้อย และมีลักษณะภายนอกเหี่ยวย่นอย่างเห็นได้ชัดเจน สำหรับกลิ่นรสพบว่าสับปะรดอบแห้งธรรมดามีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยว เมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดแห้งที่ใช้วิธีออสโมซิสซึ่งมีรสชาติหวานกว่าและยังคงมีกลิ่นรสสับปะรดตามธรรมชาติ