บทที่ 4
ผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของวัตถุดิบมะพร้าว

เนื่องจาก คุณภาพของวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส อีกทั้งจากการตรวจเอกสาร พบว่ายังไม่มีการศึกษาค่าคุณภาพบางประการของเนื้อมะพร้าว เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงนำส่วนเนื้อมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของวัตถุดิบมะพร้าว แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของวัตถุดิบมะพร้าว

ค่าคุณภาพ	ปริมาณ
ปริมาณความชื้น	53.46 ± 2.45 %
ค่าความแน่นเนื้อ	1973.16 ± 299.31 กรัม
ค่าแรงตัดขาด	13116.24 ± 3419.67 กรัม
ค่าสี L*	81.55 ± 2.29
a*	1.33 ± 1.60
b*	7.42 ± 2.89
ค่าดัชนีความขาว	82.61 ± 0.72
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.99 ± 0.01
ปริมาณไขมัน	64.44 ± 2.73 % (น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณกรดไขมัน	
กรดไขมันอิ่มตัว	19.25 % (น้ำหนักแห้ง)
กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด	1.27 % (น้ำหนักแห้ง)
กรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 ตำแหน่ง	1.07 % (น้ำหนักแห้ง)
กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง	0.19 % (น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณโปรตีน	6.51 ± 0.05 % (น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณเถ้า	1.57 ± 0.13 % (น้ำหนักแห้ง)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-1 ค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของวัตถุดิบมะพร้าว (ต่อ)

ค่าคุณภาพ	ปริมาณ
ปริมาณเส้นใยอาหาร	7.56 ± 1.61 % (น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้	0.042 ± 0.003 % (น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	4.05 ± 0.98 % (น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	2.89 ± 0.86 % (น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น	ไม่พบ
ค่าเปอร์ออกไซด์	ไม่พบ
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	4.45×10^{3} CFU/ g
ปริมาณยีสต์และรา	4.00×10^{4} CFU/ g

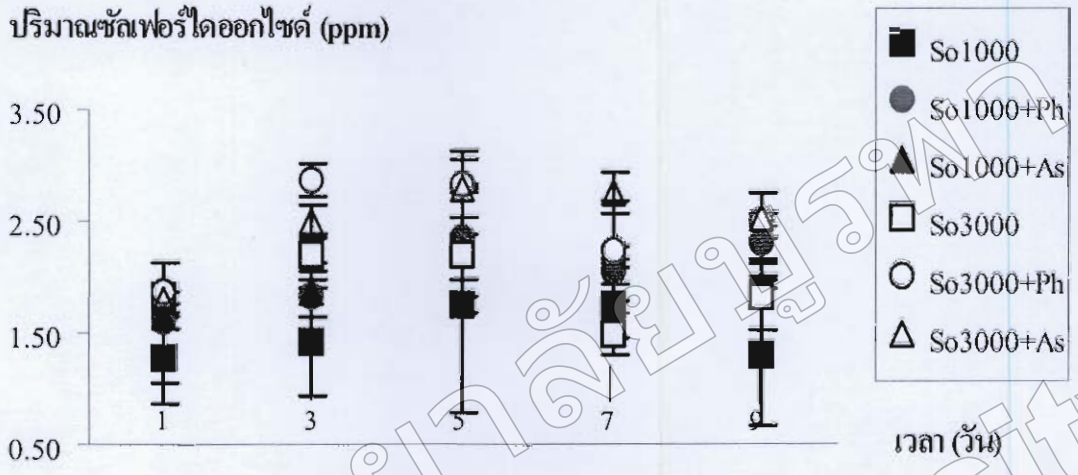
2. ผลของวิธีการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส

2.1 ผลของการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับกรดต่อคุณภาพของชิ้นมะพร้าวระหว่างรอการผลิต

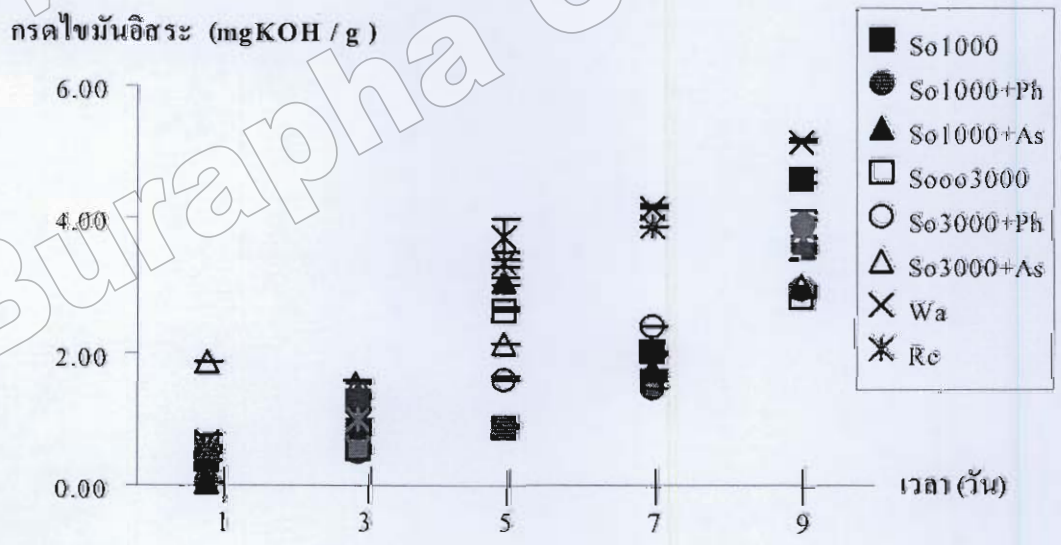
จากการทำการทดลองเบื้องต้น พบว่า เนื้อมะพร้าวที่นำมาแปรรูปนั้นไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน กล่าวคือ เนื้อมะพร้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีสีคล้ำ มีกลิ่นหืน และเกิดการเน่าเสีย จากการทดลองเบื้องต้น พบว่า ชิ้นมะพร้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น 4.41±2.26 mg KOH/ g ค่าเปอร์ออกไซด์ 32.4±0.87 mEq/ kg ค่าดัชนีความขาว 74.99±1.05 ชิ้นมะพร้าวเกิดการนิ่มเละ โดยมีค่าแรงตัดขาด 43.62 ±0.02 กรัมและสังเกตเห็นการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์และราด้วยตาเปล่า โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.3×10^{8} CFU/ g และปริมาณยีสต์และรา 7.5×10^{6} CFU/ g ทั้งนี้เนื่องจาก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของเนื้อมะพร้าวคือ น้ำ ไขมันและโปรตีนจึงเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีสาเหตุจากเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและออกซิเดชันของไขมันและการเจริญของจุลินทรีย์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549; สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549; Singh, 1994) เพื่อชะลอการเน่าเสียของเนื้อมะพร้าวระหว่างรอการผลิต งานวิจัยขั้นตอนนี้จึงศึกษาสภาวะการเก็บรักษาเนื้อมะพร้าวระหว่างรอการผลิต โดยศึกษาผลของการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ผสมร่วมกับกรดต่อคุณภาพของชิ้นมะพร้าวระหว่างรอการผลิต ซึ่งทำได้โดยแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายเปรียบเทียบกับการแช่ในน้ำกลั่นและอุณหภูมิตู้เย็น แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในชิ้นมะพร้าว ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าดัชนีความขาว ค่าแรงตัดขาด แสดงดังภาพที่ 4-1 ถึง 4-5

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยข้อมูลตัวเลขและค่าสถิติแสดงดังตารางภาคผนวกที่ ก-1 ถึง ก-5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในของชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-2 ถึง 4-3

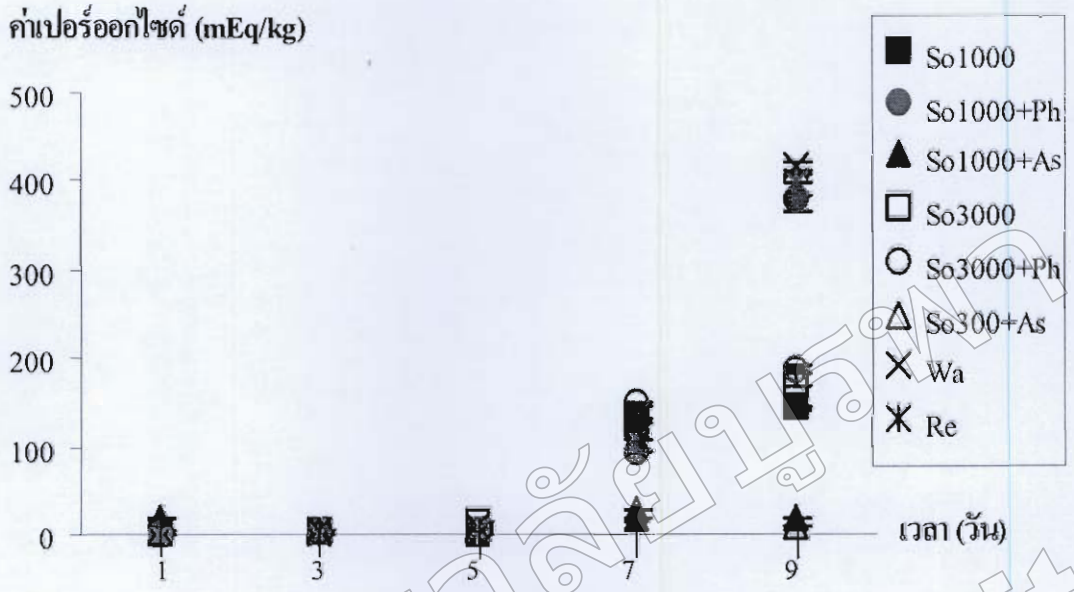


ภาพที่ 4-1 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ (So หมายถึง โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1,000 และ 3,000 หมายถึง ความเข้มข้น (ppm) Ph หมายถึง กรดฟอสฟอริก 150 ppm และ As หมายถึง กรดแอสคอร์บิค 14.5%)

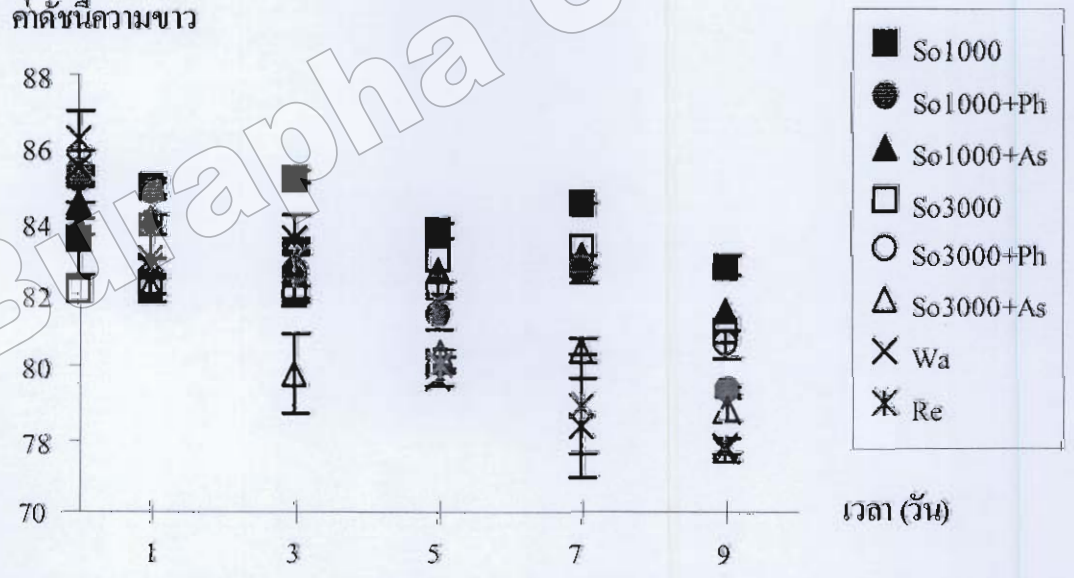


ภาพที่ 4-2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ (So หมายถึง โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1,000 และ 3,000 หมายถึง ความเข้มข้น (ppm) Ph หมายถึง กรดฟอสฟอริก 150 ppm As หมายถึง กรดแอสคอร์บิค 14.5% Wa หมายถึง น้ำกลั่นและ Rc หมายถึง อุณหภูมิตู้เย็น)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

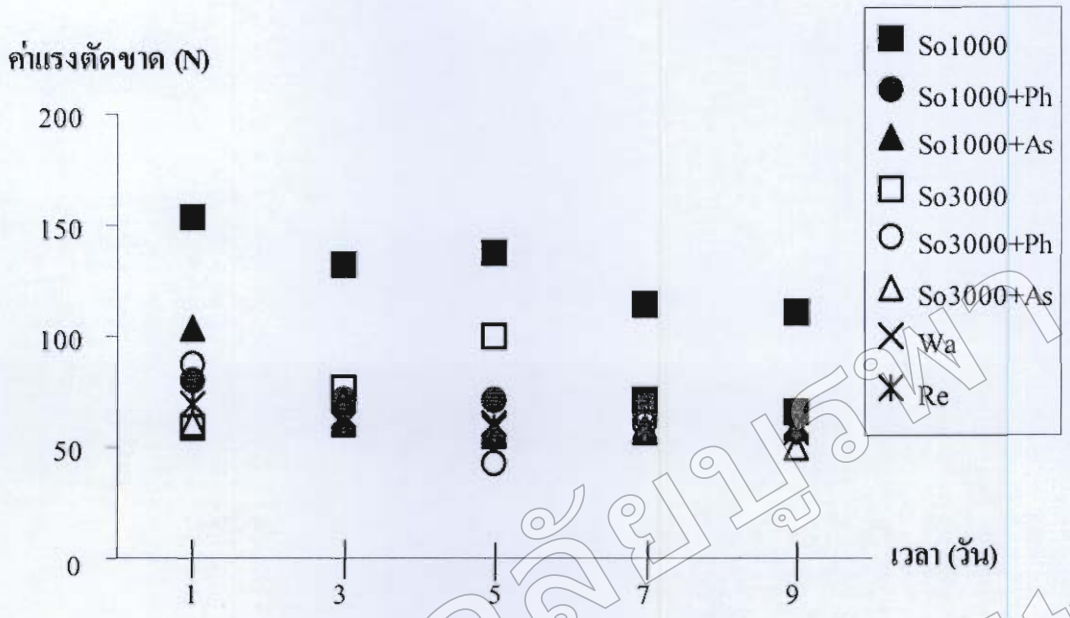


ภาพที่ 4-3 ค่าเปอร์ออกไซด์ในชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ (So หมายถึง โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1,000 และ 3,000 หมายถึง ความเข้มข้น (ppm) Ph หมายถึง กรดฟอสฟอริก 150 ppm As หมายถึง กรดแอสคอร์บิค 14.5% Wa หมายถึง น้ำกลั่นและ Re หมายถึง อุณหภูมิตู้เย็น)



ภาพที่ 4-4 ค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ (So หมายถึง โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1,000 และ 3,000 หมายถึง ความเข้มข้น (ppm) Ph หมายถึง กรดฟอสฟอริก 150 ppm As หมายถึง กรดแอสคอร์บิค 14.5% Wa หมายถึง น้ำกลั่นและ Re หมายถึง อุณหภูมิตู้เย็น)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-5 ค่าแรงตัดขาดของชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ (So หมายถึง โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1,000 และ 3,000 หมายถึง ความเข้มข้น (ppm) Ph หมายถึง กรดฟอสฟอริก 150 ppm As หมายถึง กรดแอสคอร์บิค 14.5% Wa หมายถึง น้ำกลั่นและ Re หมายถึง อุณหภูมิตู้เย็น)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/ g) ในชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ

เวลา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน							
	So1000	So1000+Ph	So1000+As	So3000	So3000+Ph	So3000+As	Wa	Re
1	4.8×10^{5}	8.7×10^{4}	0	1.5×10^{5}	7.0×10^{4}	0	5.5×10^{5}	2.5×10^{5}
3	3.9×10^{6}	1.7×10^{5}	0	7.6×10^{5}	5.0×10^{3}	0	9.8×10^{6}	1.1×10^{7}
5	6.0×10^{6}	2.9×10^{3}	1.0×10^{2}	1.0×10^{5}	1.0×10^{3}	0	2.0×10^{7}	6.7×10^{7}
7	5.0×10^{6}	1.0×10^{4}	3.9×10^{2}	1.0×10^{6}	4.0×10^{4}	1.0×10^{2}	8.3×10^{7}	1.6×10^{8}
9	5.7×10^{6}	2.0×10^{5}	2.0×10^{4}	1.3×10^{6}	2.2×10^{5}	2.0×10^{2}	1.0×10^{8}	4.6×10^{8}

So1000 และ So3000 หมายถึง แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1,000 และ 3,000 ppm ตามลำดับ

+Ph หมายถึง ร่วมกับกรดฟอสฟอริก

+As หมายถึง ร่วมกับกรดแอสคอร์บิค

Wa หมายถึง น้ำกลั่น

Re หมายถึง อุณหภูมิตู้เย็น

ตารางที่ 4-3 จำนวนยีสต์และรา (CFU/ g) ในชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เวลา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน							
	So1000	So1000+Ph	So1000+As	So3000	So3000+Ph	So3000+As	Wa	Re
1	1.5×10^{4}	1.0×10^{4}	0	5.0×10^{3}	0	0	4.7×10^{5}	3.2×10^{5}
3	2.8×10^{5}	3.5×10^{4}	0	8.2×10^{4}	3.0×10^{2}	0	3.1×10^{6}	1.0×10^{6}
5	1.0×10^{6}	2.4×10^{5}	0	2.5×10^{5}	2.0×10^{5}	0	3.7×10^{6}	1.3×10^{6}
7	2.7×10^{6}	9.6×10^{5}	1.0×10^{3}	7.2×10^{5}	8.0×10^{5}	3.2×10^{3}	8.0×10^{6}	1.9×10^{6}
9	1.0×10^{7}	7.7×10^{6}	1.5×10^{4}	1.7×10^{6}	1.4×10^{6}	1.3×10^{4}	2.0×10^{7}	2.9×10^{6}

So1000 และ So3000 หมายถึง แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1,000 และ 3,000 ppm ตามลำดับ

+Ph หมายถึง ร่วมกับกรดฟอสฟอริก

+As หมายถึง ร่วมกับกรดแอสคอร์บิค

Wa หมายถึง น้ำกลั่น

Re หมายถึง อุณหภูมิตู้เย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

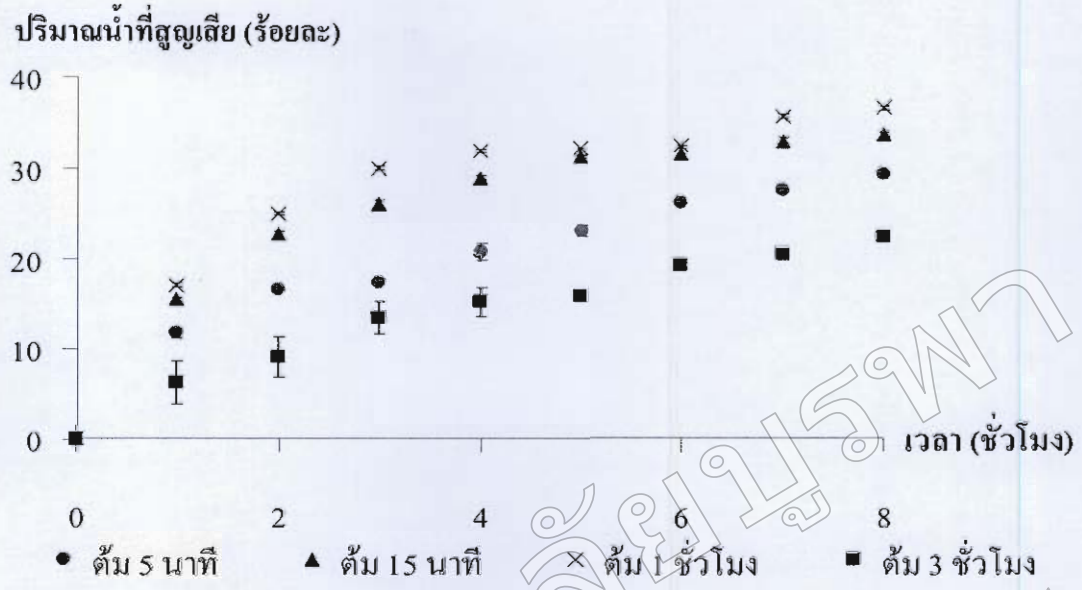
2.2 ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของชิ้นมะพร้าว

จากการนำชิ้นมะพร้าวมาเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การต้ม การใช้สภาวะสุญญากาศและการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะเปรียบเทียบกับการไม่เตรียมขั้นต้น คือ ใช้มะพร้าวสด (สิ่งทดลองควบคุม) ก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแล้ววิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและวิเคราะห์คุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความแน่นเนื้อ ค่าแรงตัดขาดและค่าดัชนีความขาว ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-29

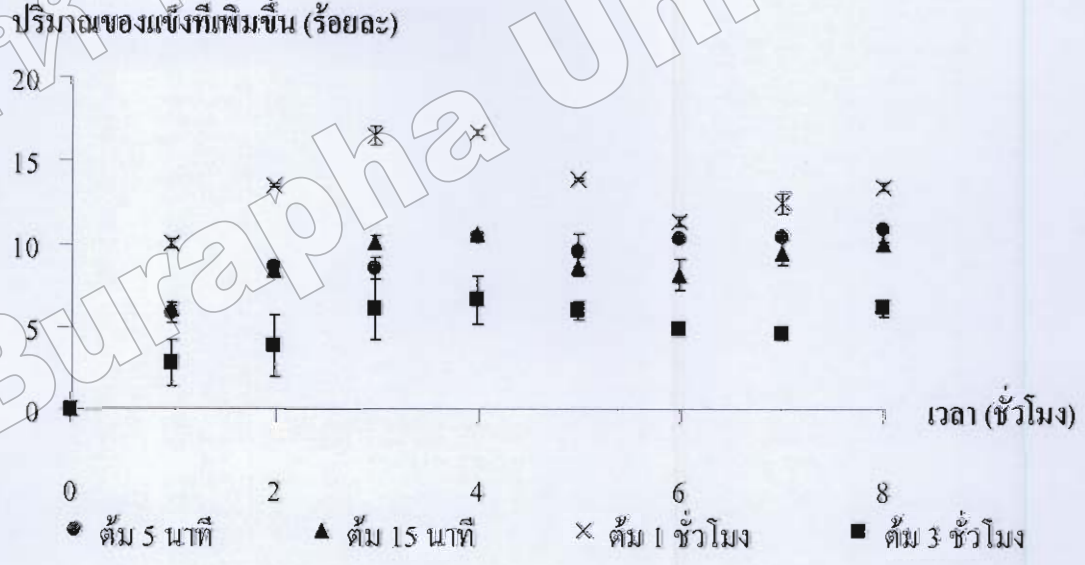
สำหรับการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้ม ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-8 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-9 ถึง 4-11 พบว่า ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการออสโมซิสนานขึ้น ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการออสโมซิส โดยที่ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการออสโมซิสช่วง 1-4 ชั่วโมง (ร้อยละ 6.31-31.86 2.80-16.72 และ 3.51-18.37 ตามลำดับ) และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วง 5-8 ชั่วโมง (ร้อยละ 15.93-36.67 6.04-13.47 และ 9.89-23.72 ตามลำดับ) โดยการต้มแบบ Short Time เวลา 15 นาที ทำให้ชิ้นะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลง (ร้อยละ 33.74 10.57 และ 23.72 ตามลำดับ) ใกล้เคียงกับการต้มแบบ Long Time เวลา 1 ชั่วโมง (ร้อยละ 36.67 16.72 และ 23.20 ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าสูงกว่าการต้ม 5 นาที และ 3 ชั่วโมง ($p\leq0.05$) สำหรับค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิส พบว่า ค่าความแน่นเนื้อ ค่าแรงตัดขาดและค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้มทุกสภาวะมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้มแบบ Short Time เวลา 5 และ 15 นาที (70.91 และ 73.10 ตามลำดับ) ที่มีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้มแบบ Long Time เวลา 1 และ 3 ชั่วโมง (67.12 และ 67.28 ตามลำดับ)

สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นด้วยการต้ม คือ การต้มแบบ Short Time เวลา 15 นาที เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการต้มแบบ Long Time เวลา 1 ชั่วโมง แต่ใช้เวลาในการต้มที่น้อยกว่า นอกจากนี้พบว่า การต้มที่สภาวะดังกล่าวทำให้ค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสมีค่าสูงกว่าทุกสิ่งทดลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

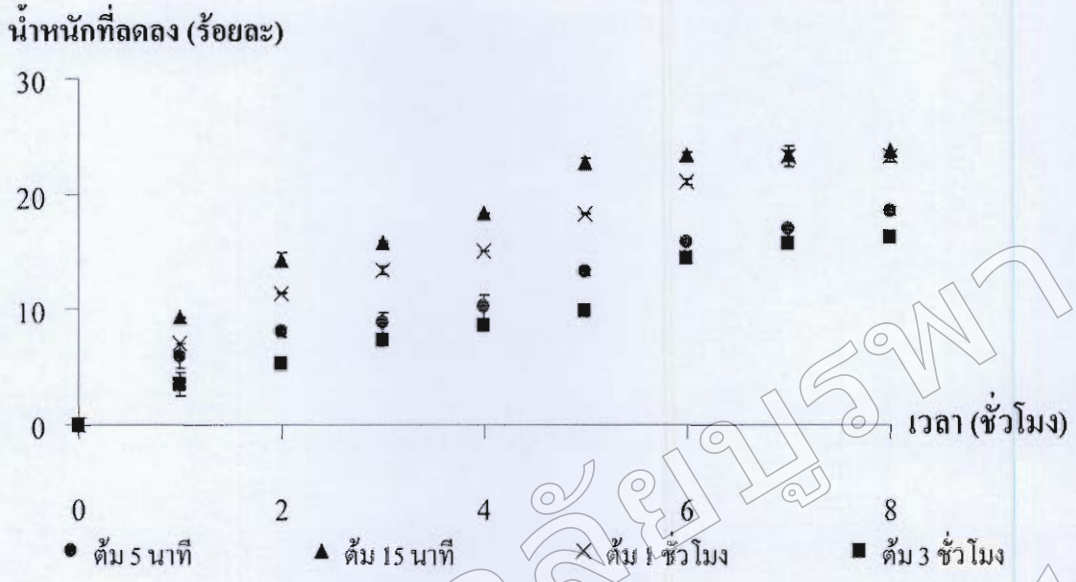


ภาพที่ 4-6 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้มระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ

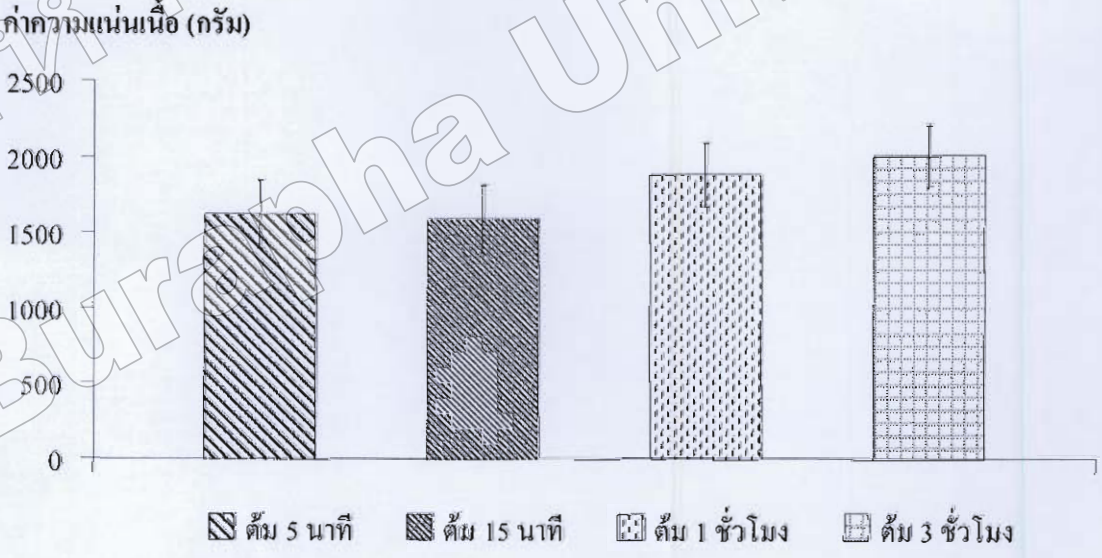


ภาพที่ 4-7 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้มระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

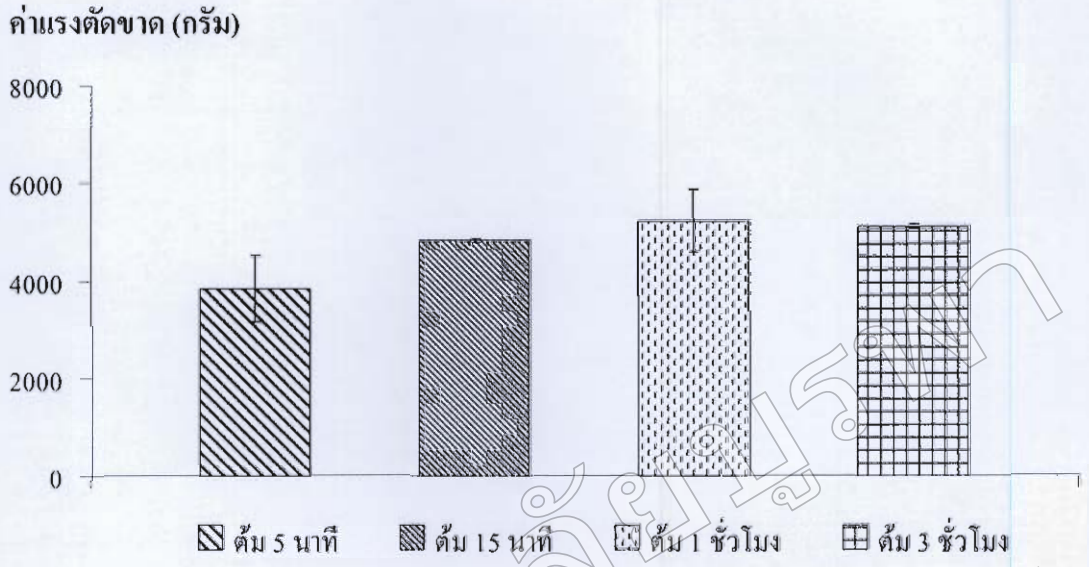


ภาพที่ 4-8 น้ำหนักที่ลดลงของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้มระหว่างการออสโมซิส ที่เวลาต่าง ๆ

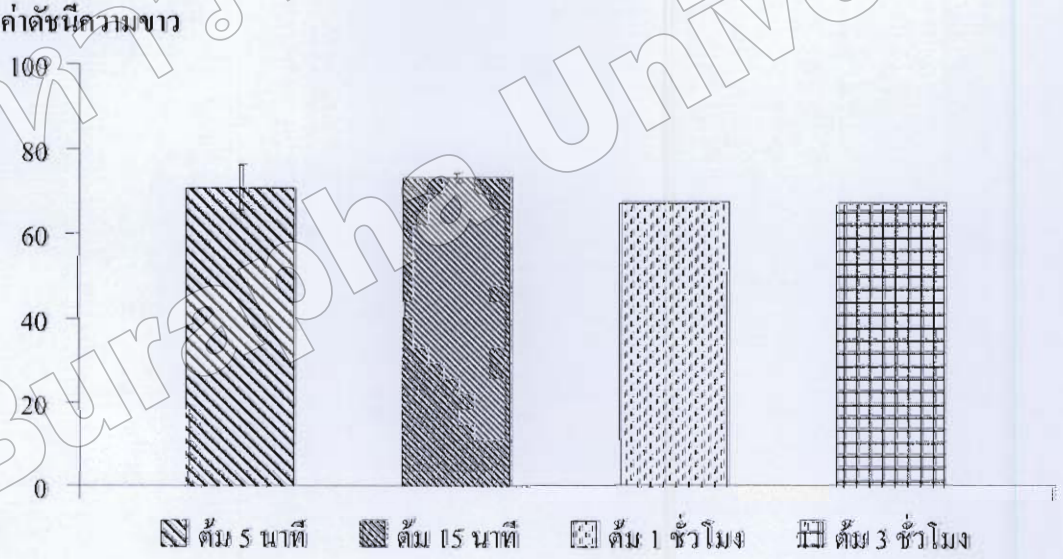


ภาพที่ 4-10 ค่าความแน่นเนื้อของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-5 ค่าแรงตัดขาดของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้ม



ภาพที่ 4-11 ค่าดัชนีความขาวของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้ม

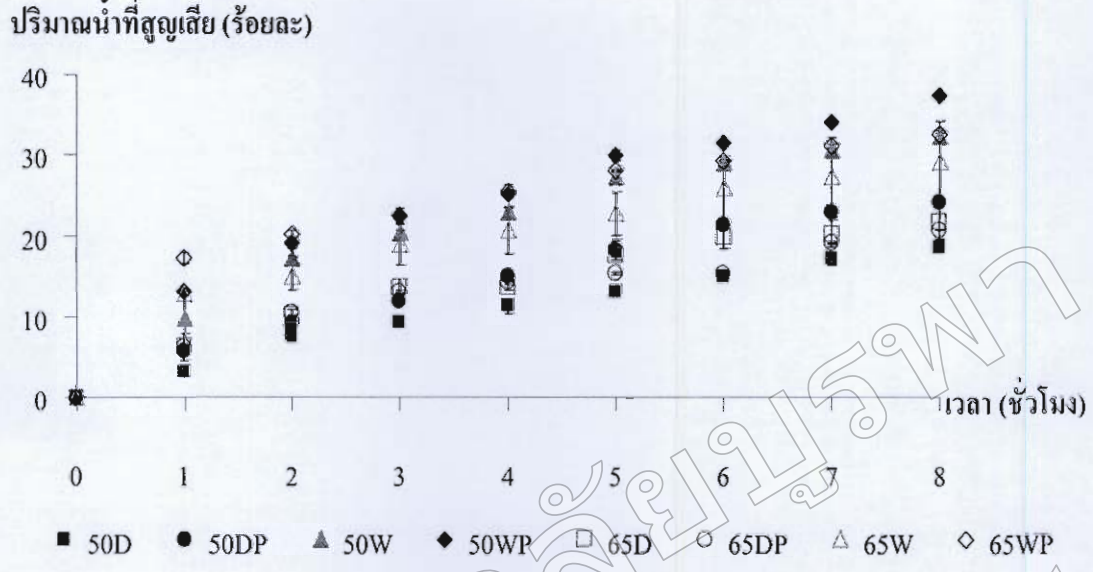
สำหรับการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการใช้สภาวะสุญญากาศ ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-12 ถึง 4-14 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-15 ถึง 4-17 พบว่า ค่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

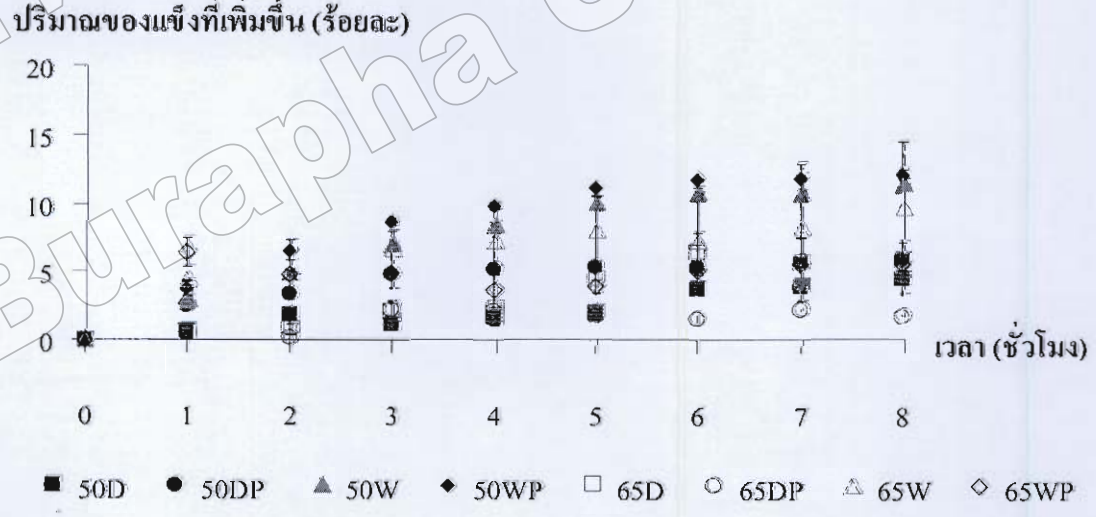
การถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการออสโมซิสนานขึ้น เช่นเดียวกับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นด้วยการต้ม ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการออสโมซิส โดยที่ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการออสโมซิสช่วง 1-4 ชั่วโมง (ร้อยละ 3.24-25.29 0.48-9.86 และ 2.58-17.42 ตามลำดับ) และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วง 5-8 ชั่วโมง (ร้อยละ 13.18-37.36 1.73-12.17 และ 11.11-25.19 ตามลำดับ) โดยการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการออสโมซิส ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 13.27-37.36 และ 3.77-12.17 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าน้ำหนักที่ลดลง (ร้อยละ 9.50-25.19) มีค่าใกล้เคียงกับการใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 65WP (ร้อยละ11.31-23.97) ตลอดระยะเวลาการออสโมซิส เมื่อพิจารณาที่เวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด สำหรับค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิส พบว่า ค่าความแน่นเนื้อและค่าแรงตัดขาดของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้สภาวะสุญญากาศทุกสภาวะมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สำหรับค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 65W และ 65WP พบว่า มีค่าดัชนีความขาวสูงที่สุด (64.39 และ 64.60 ตามลำดับ) ($p<0.05$) รองลงมาคือ การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50DP 50W 50WP และ 65D ซึ่งมีค่าดัชนีความขาวเท่ากับ 61.79 61.67 61.83 และ 60.90 ตามลำดับ

สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นด้วยวิธีการใช้สภาวะสุญญากาศ คือ การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP ทำได้โดยการแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายออสโมติกแล้วให้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์นาน 10 นาที กลับสู่สภาวะบรรยากาศนาน 10 นาทีและให้สภาวะสุญญากาศอีกครั้งนาน 10 นาที ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลง สูงกว่าทุกสิ่งทดลองและยังคงทำให้ชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสมีค่าดัชนีความขาวในระดับสูง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

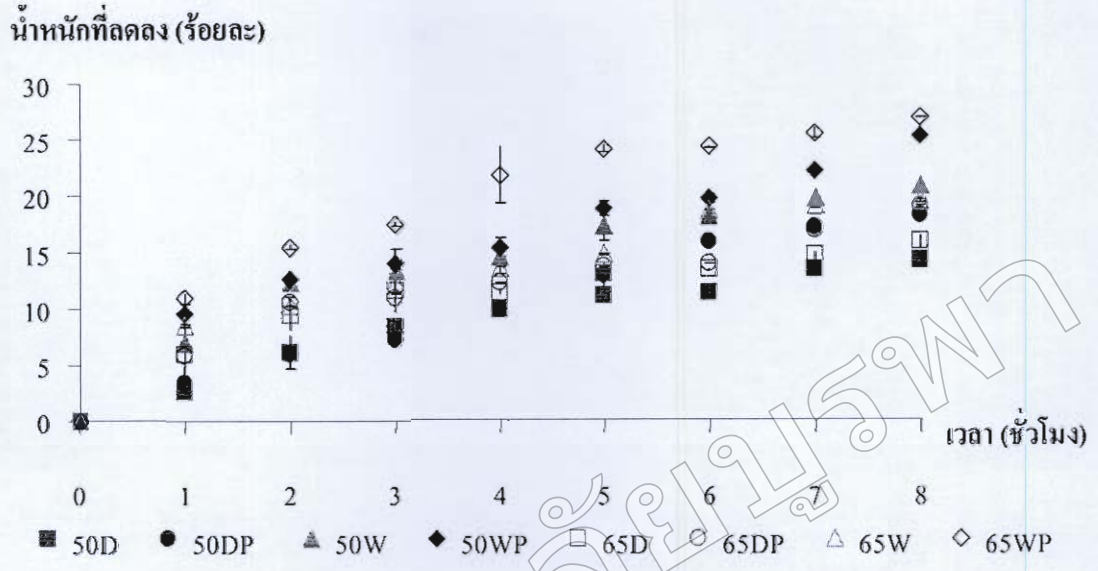


ภาพที่ 4-12 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ (50 และ 65 หมายถึง ระดับความดัน (มิลลิบาร์) D และ W หมายถึง สภาวะการใช้สุญญากาศแบบแห้งและแบบเปียก ตามลำดับ P หมายถึง การใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะ)

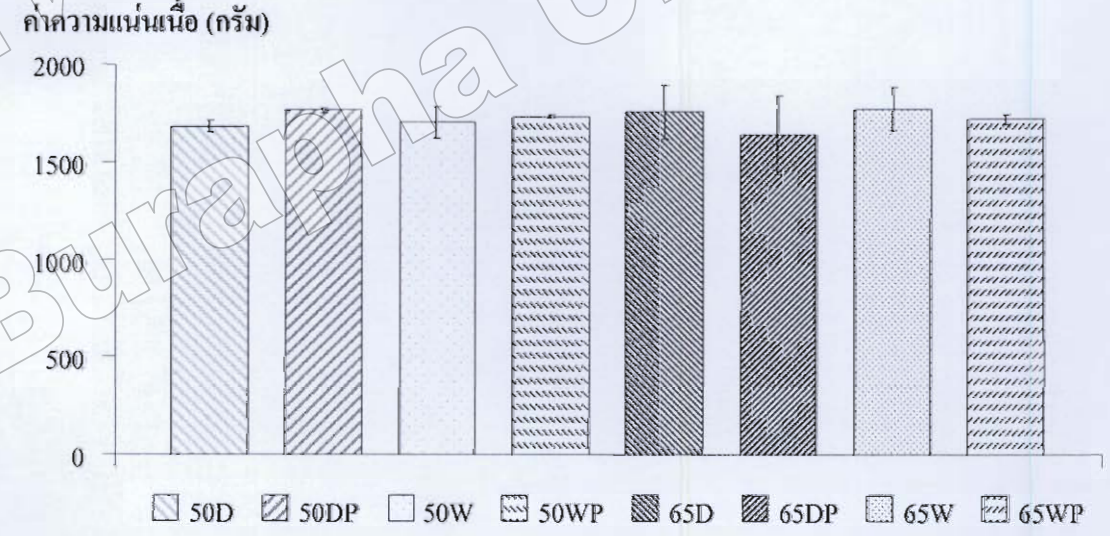


ภาพที่ 4-13 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ (50 และ 65 หมายถึง ระดับความดัน (มิลลิบาร์) D และ W หมายถึง สภาวะการใช้สุญญากาศแบบแห้งและแบบเปียก ตามลำดับ P หมายถึง การใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะ)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

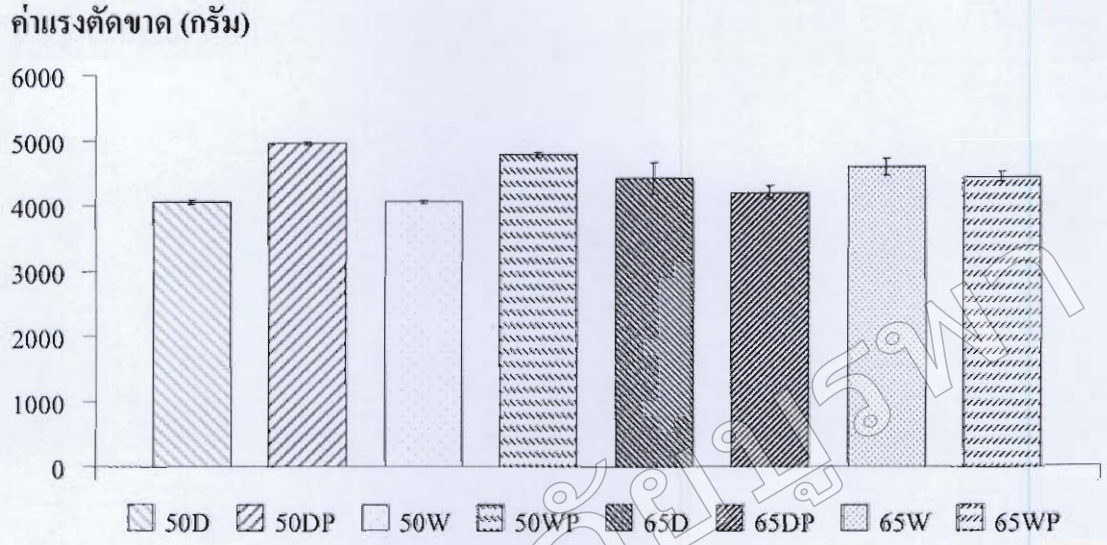


ภาพที่ 4-14 น้ำหนักที่ลดลงของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศ ระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ (50 และ 65 หมายถึง ระดับความดัน (มิลลิบาร์) D และ W หมายถึง สภาวะการใช้สุญญากาศแบบแห้งและแบบเปียก ตามลำดับ P หมายถึง การใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะ)

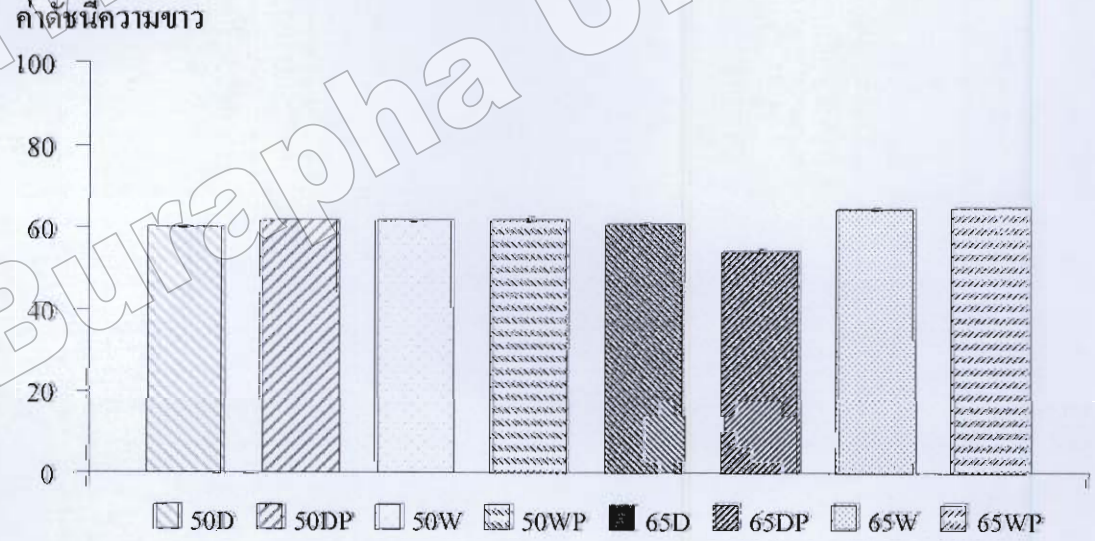


ภาพที่ 4-15 ค่าความแน่นเนื้อของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศ (50 และ 65 หมายถึง ระดับความดัน (มิลลิบาร์) D และ W หมายถึง สภาวะการใช้สุญญากาศแบบแห้งและแบบเปียก ตามลำดับ P หมายถึง การใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะ)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-16 ค่าแรงตัดขาดของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศ (50 และ 65 หมายถึง ระดับความดัน (มิลลิบาร์) D และ W หมายถึง สภาวะการใช้สุญญากาศแบบแห้งและแบบเปียก ตามลำดับ P หมายถึง การใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะ)

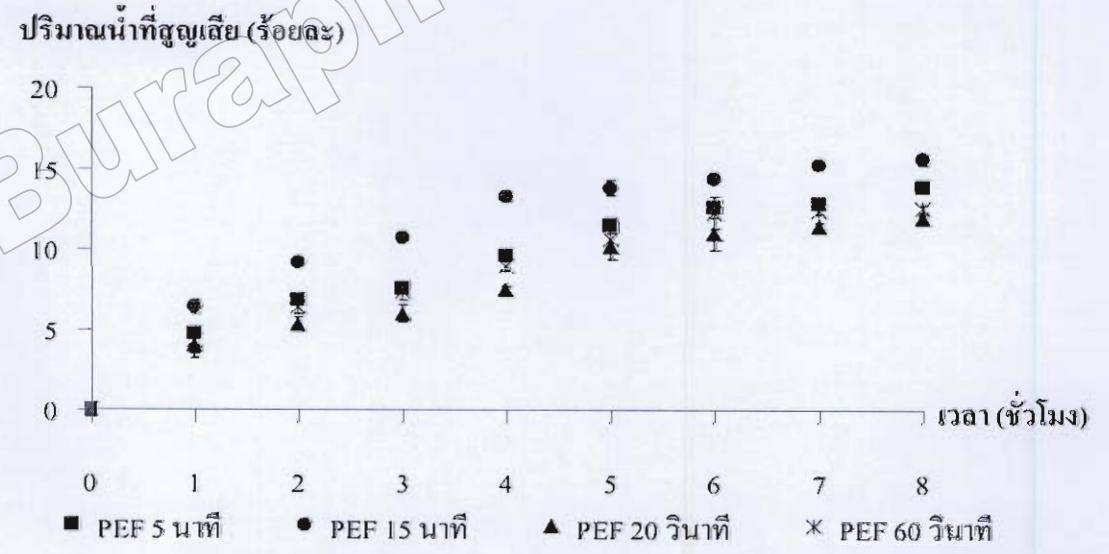


ภาพที่ 4-17 ค่าดัชนีความขาวของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศ (50 และ 65 หมายถึง ระดับความดัน (มิลลิบาร์) D และ W หมายถึง สภาวะการใช้สุญญากาศแบบแห้งและแบบเปียก ตามลำดับ P หมายถึง การใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะ)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

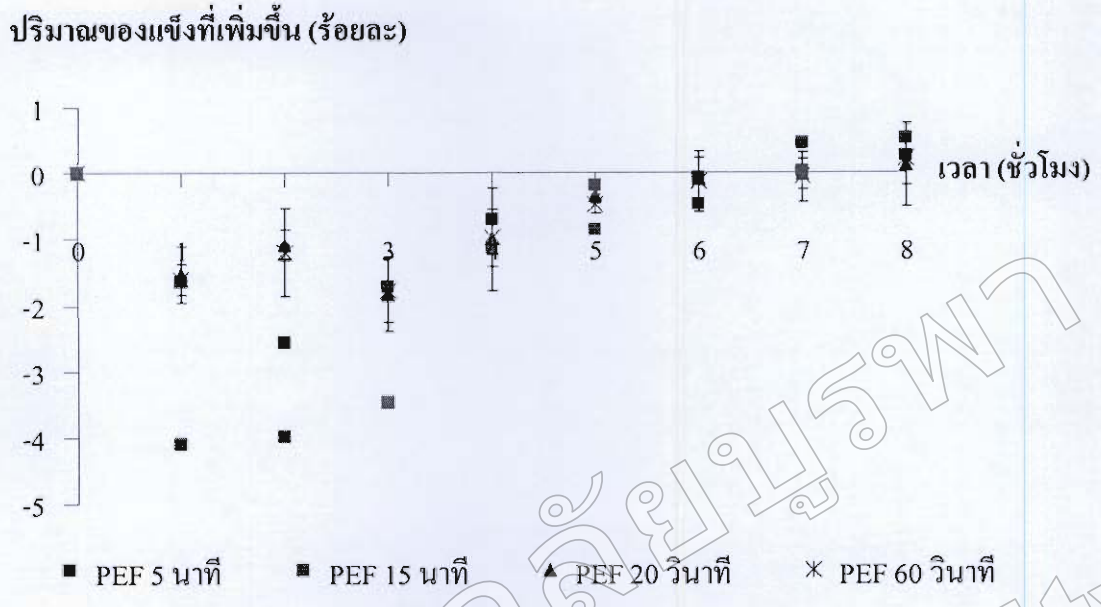
สำหรับการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-18 ถึง 4-20 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-21 ถึง 4-23 พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการออสโมซิสนานขึ้น เช่นเดียวกับการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้มและการใช้สภาวะสุญญากาศ โดยที่ปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาออสโมซิส 1-4 ชั่วโมง (ร้อยละ 4.00-13.31 และ 5.07-14.43 ตามลำดับ) และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วงเวลาออสโมซิส 5-8 ชั่วโมง (ร้อยละ 10.22-15.61 และ 10.25-15.09 ตามลำดับ) แต่ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าลดต่ำลงในช่วงเวลาออสโมซิส 1-6 ชั่วโมงซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ -4.11 ถึง -0.07 แล้วเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลาออสโมซิส 7-8 ชั่วโมงซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.03 ถึง 0.52 โดยพบว่า การใช้ PEF 15 นาที ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลง (ร้อยละ 6.41-15.61 และ 10.52-15.09 ตามลำดับ) สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) สำหรับค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิส พบว่า ค่าความแน่นเนื้อ ค่าแรงตัดขาดและค่าดัชนีความขาวของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการใช้ PEF ทุกสภาวะมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นด้วยการใช้ PEF คือ การใช้ PEF แบบ Long Time เวลา 15 นาที เนื่องจาก ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด

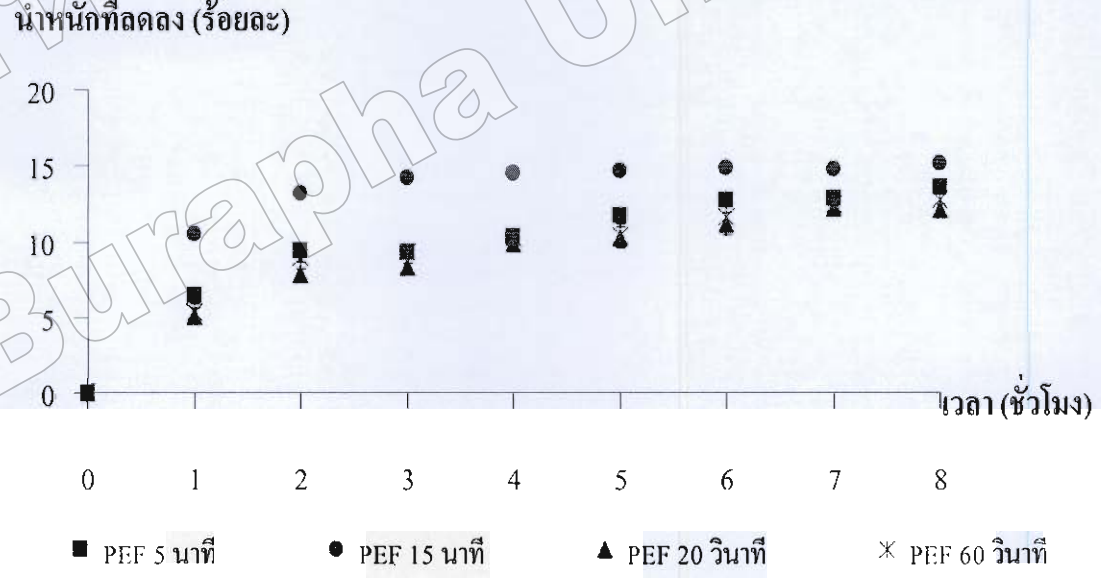


ภาพที่ 4-18 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ (PEF) ระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

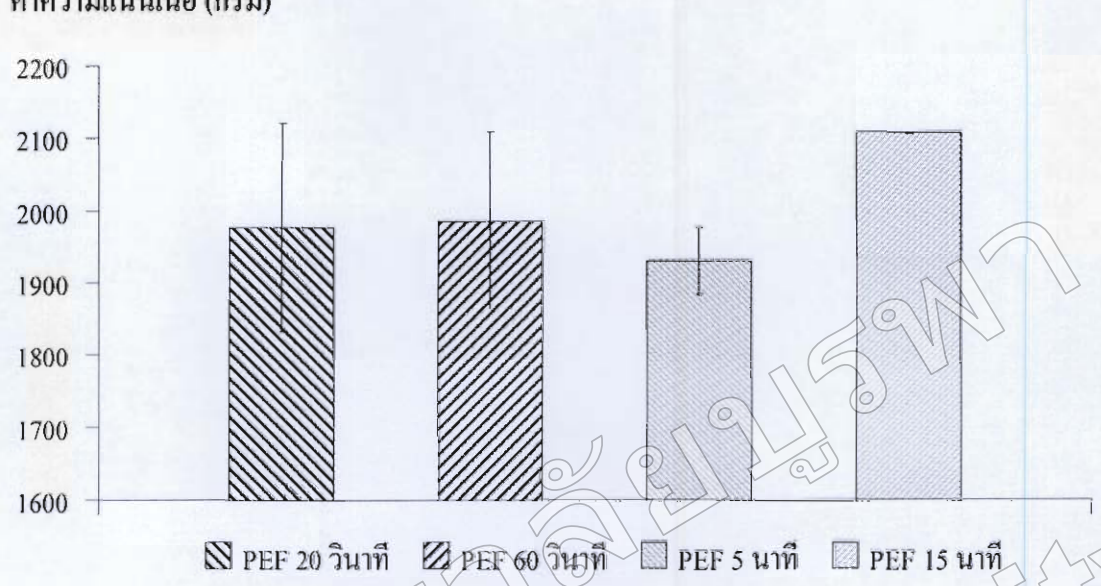


ภาพที่ 4-19 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ (PEF) ระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ

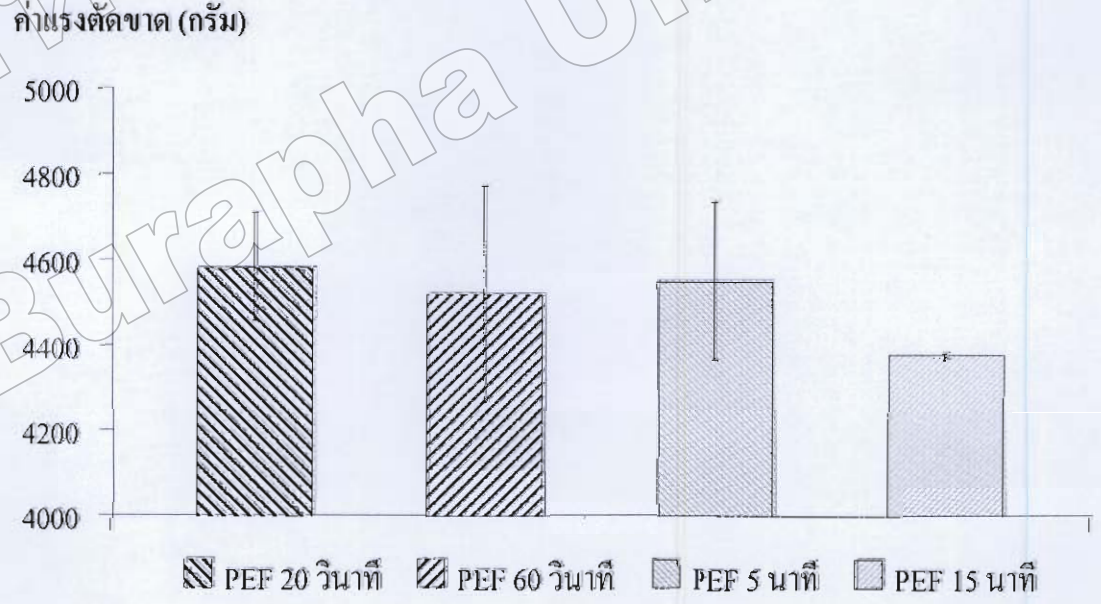


ภาพที่ 4-20 น้ำหนักที่ลดลงของมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ (PEF) ระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

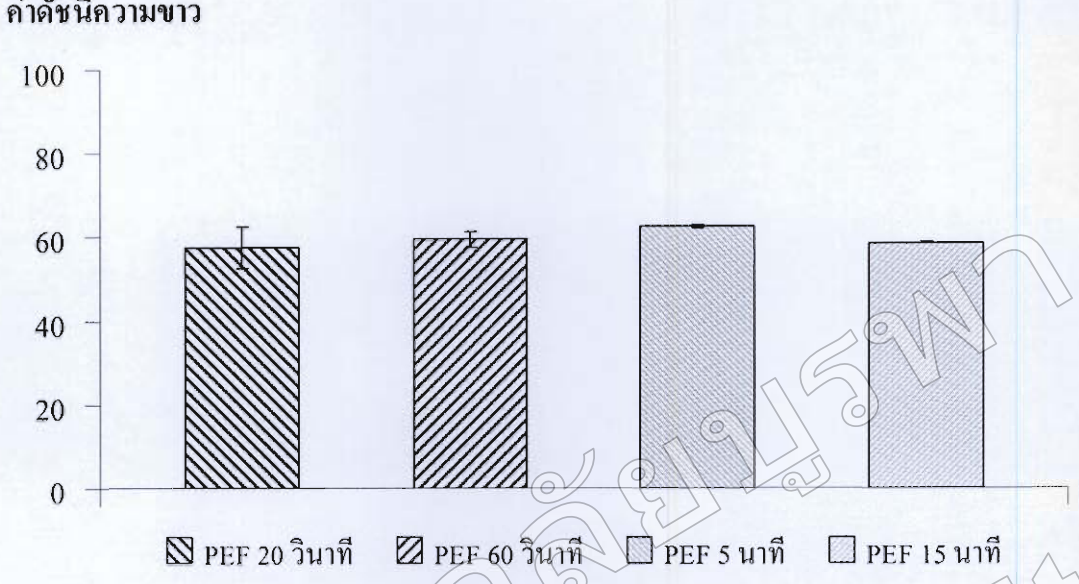


ภาพที่ 4-21 ค่าความแน่นเนื้อของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ (PEF)



ภาพที่ 4-22 ค่าแรงตัดขาดของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ (PEF)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

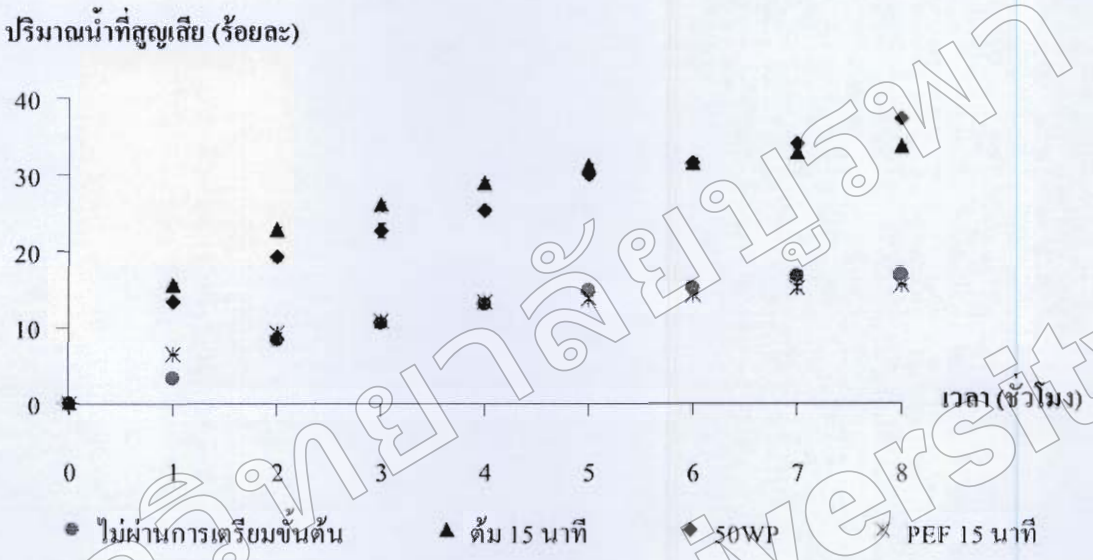


ภาพที่ 4-23 ค่าดัชนีความขาวของมะพร้าวหลังการออสโมซิสจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ (PEF)

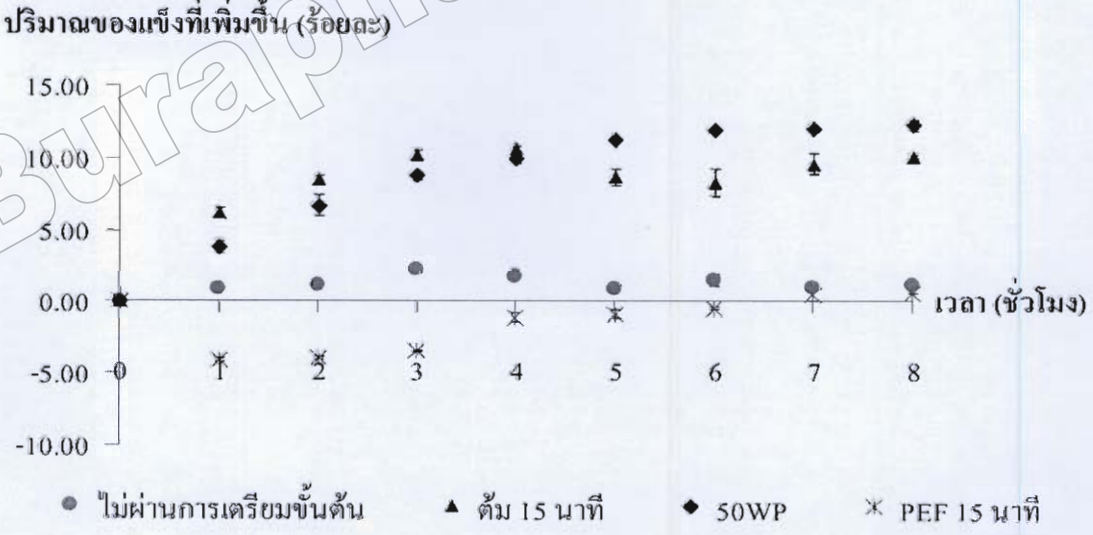
จากการพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น พบว่า สภาวะการเตรียมขั้นต้นที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี คือ การต้มแบบ Short Time เวลา 15 นาที การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP และการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะแบบ Long Time เวลา 15 นาทีและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นมะพร้าวที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารแสดงดังภาพที่ 4-24 ถึง 4-26 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-27 ถึง 4-29 ซึ่งพบว่า ตลอดการออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมงค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวจากสิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 15 นาที และ 50WP มีค่ามากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและ PEF 15 นาที ($p \leq 0.05$) โดยค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วย 50WP (ร้อยละ 13.27-37.36 3.77-12.17 และ 9.50-25.19 ตามลำดับ) มีแนวโน้มสูงกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการออสโมซิส สำหรับค่าคุณภาพของชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิส พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 15 นาทีและ 50WP มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและการใช้ PEF 15 นาที แต่มีค่าแรงตัดขาดสูงกว่า ($p \leq 0.05$) สำหรับค่าดัชนีความขาว พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการต้ม 15 นาที มีค่าดัชนีความขาวสูงที่สุด (73.11) รองลงมาคือ 50WP (61.84) ($p \leq 0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ดังนั้น สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิส คือ การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงสูงกว่าการต้ม การใช้ PEF และชิ้นมะพร้าวที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและยังคงมีค่าดัชนีความขาวในระดับสูง

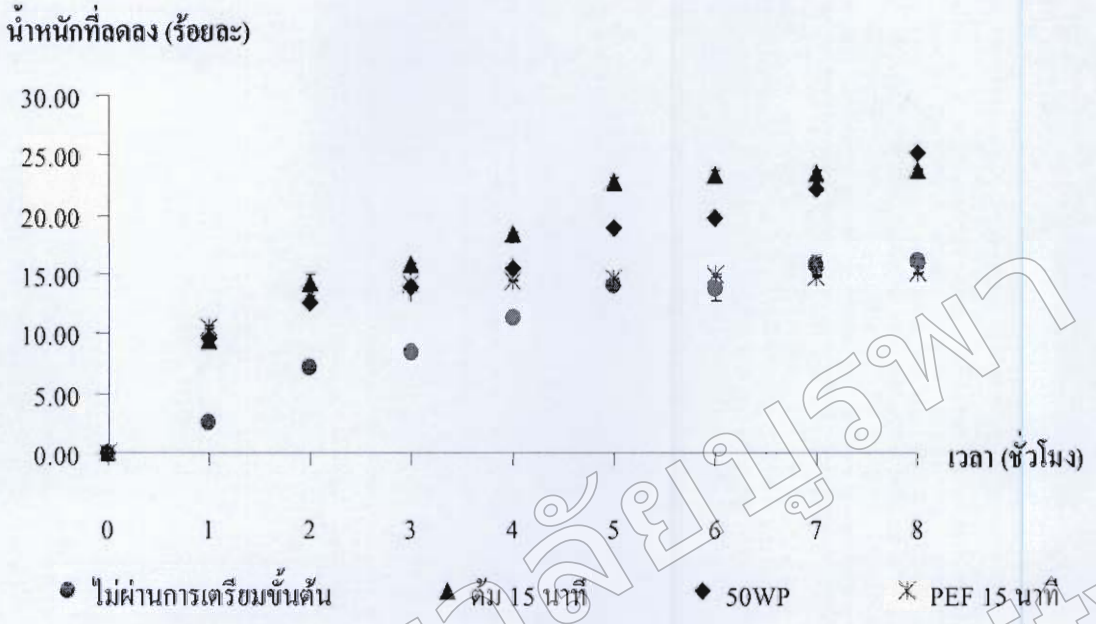


ภาพที่ 4-24 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ

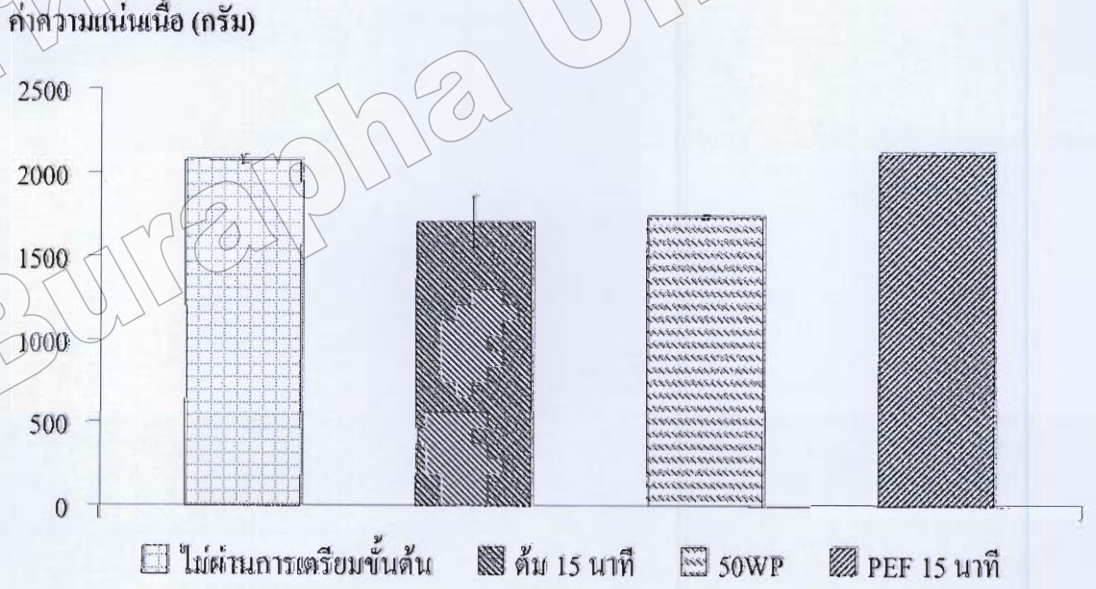


ภาพที่ 4-25 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นระหว่างการออสโมซิสที่เวลาต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

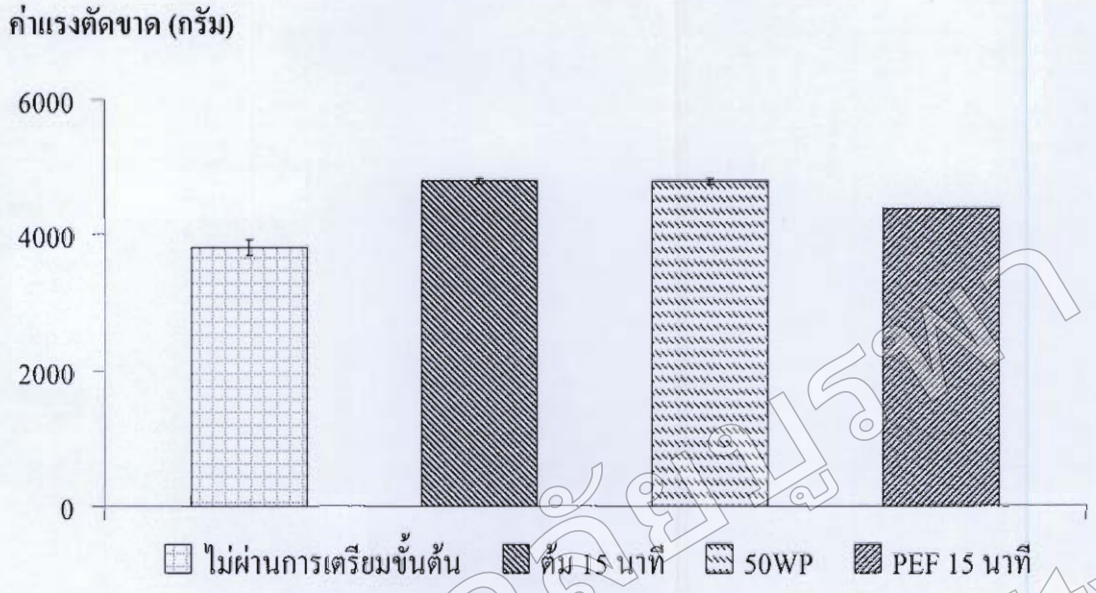


ภาพที่ 4-26 น้ำหนักที่ลดลงของมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นระหว่างการออสโมซิส ที่เวลาต่าง ๆ

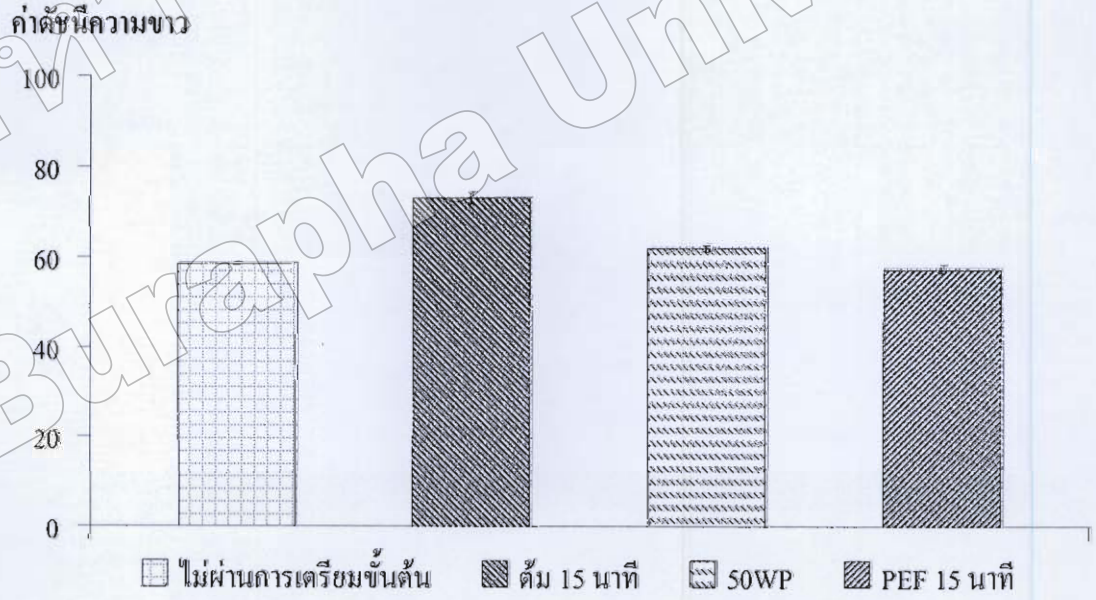


ภาพที่ 4-27 ค่าความแน่นเนื้อของมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นหลังการออสโมซิส

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-28 ค่าแรงตัดขาดของมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นหลังการออสโมซิส



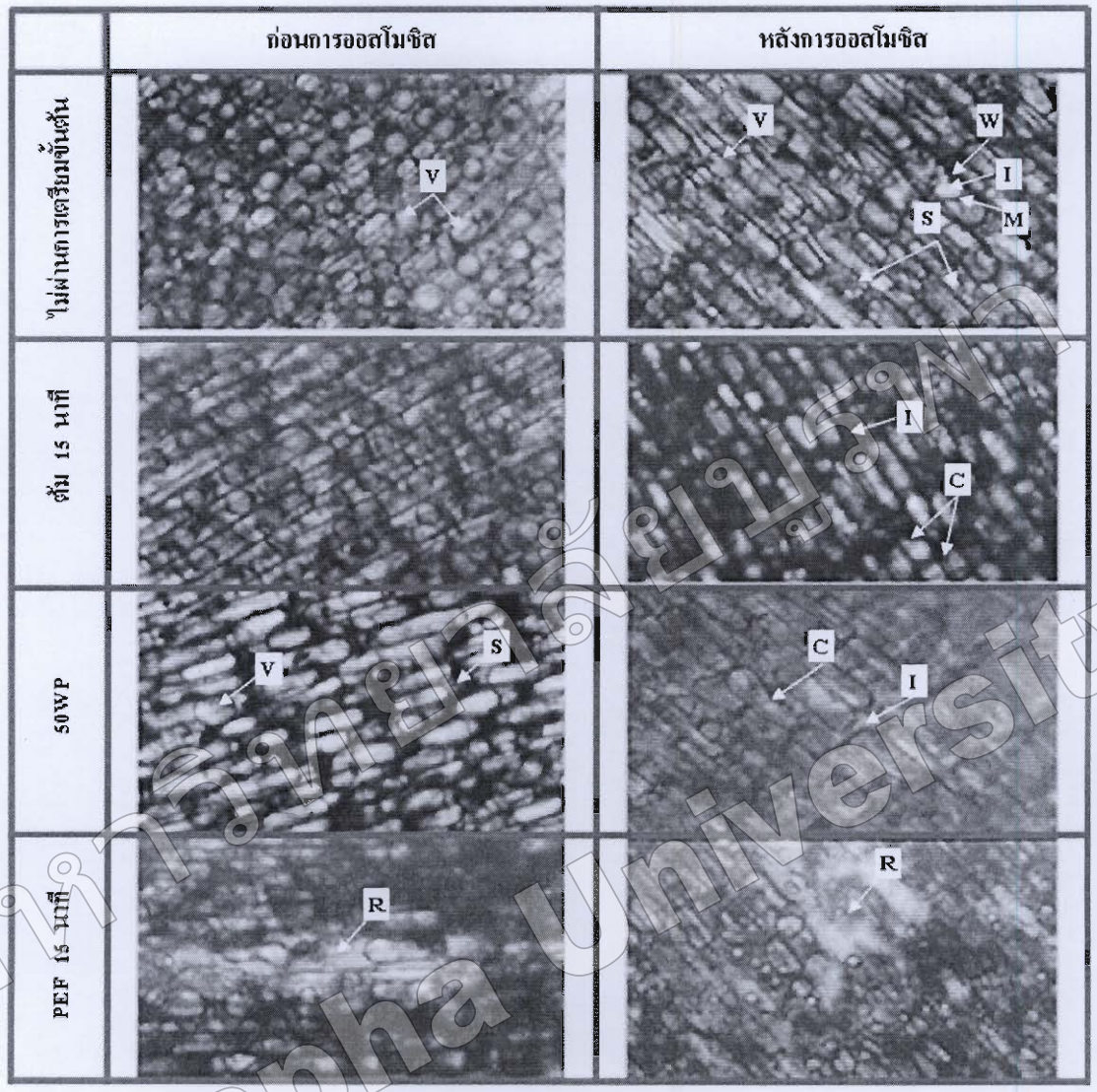
ภาพที่ 4-29 ค่าดัชนีความขาวของมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นหลังการออสโมซิส

2.3 ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อโครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

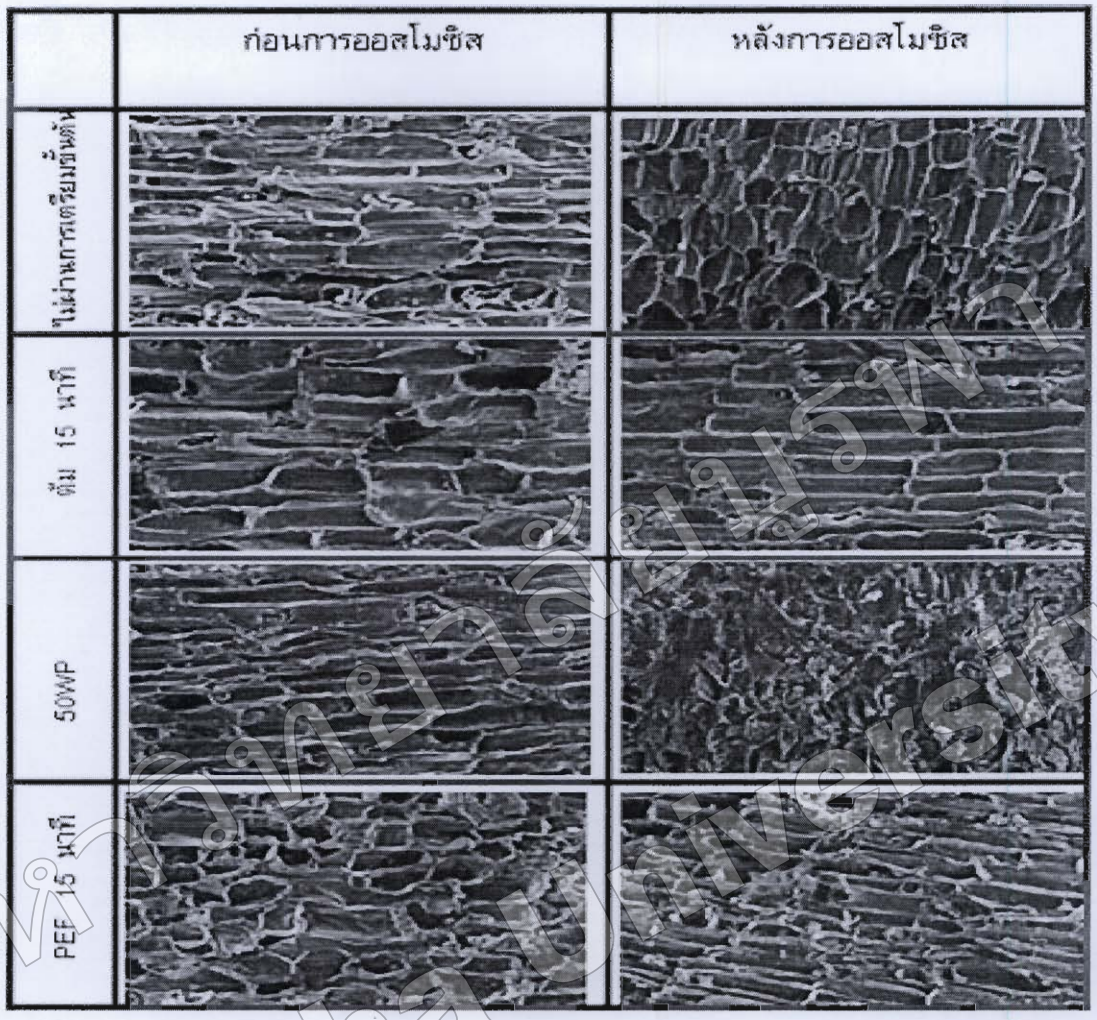
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 4-30 และ 4-31 โดยโครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าวจากกล้องจุลทรรศน์จะแสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ สำหรับโครงสร้างเซลล์ของชิ้นมะพร้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดแสดงโครงสร้างและรูปร่างเซลล์ พบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างกันทำให้ลักษณะเซลล์ของเนื้อมะพร้าวแตกต่างกันซึ่งแตกต่างจากลักษณะเซลล์มะพร้าวสด จากภาพที่ 4-30 พบว่า เซลล์มะพร้าวสดมีรูปร่างเป็นแท่ง เรียงชิดกันอย่างเป็นระเบียบและพบแวลคิวโอลขนาดใหญ่ภายในเซลล์ ขณะที่การต้ม ทำให้เซลล์ของเนื้อมะพร้าวที่ผ่านการต้มมีขนาดใหญ่ขึ้นและแวลคิวโอลในเซลล์มีขนาดใหญ่กว่าแวลคิวโอล ของเซลล์มะพร้าวสด การใช้สุญญากาศแบบ 50WP ทำให้เซลล์ของเนื้อมะพร้าวมีขนาดเล็กลง มีการเรียงตัวแน่นมากขึ้น พบแวลคิวโอลในบางเซลล์แต่มีขนาดเล็กมาก ส่วนการใช้ PEF 15 นาที ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกเป็นรู พบแวลคิวโอลในบางเซลล์ ขนาดไม่สม่ำเสมอ หลังการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า เซลล์มะพร้าวมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป โดยเซลล์ของมะพร้าวที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์มากขึ้น เซลล์ยังคงมีรูปร่างแท่ง แต่แวลคิวโอลมีขนาดใหญ่ขึ้น มะพร้าวที่ผ่านการต้ม 15 นาทีก่อนการออสโมซิส เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย รูปร่างเซลล์ไม่สม่ำเสมอ มะพร้าวที่ผ่านการใช้สุญญากาศแบบ 50WP ก่อนการออสโมซิส เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย รูปร่างเซลล์ไม่สม่ำเสมอ และมะพร้าวที่ผ่านการใช้ PEF 15 นาทีก่อนการออสโมซิส เซลล์มีการเรียงตัวกันแน่นขึ้น แวลคิวโอลมีขนาดไม่สม่ำเสมอ พบช่องว่างระหว่างเซลล์ที่เกิดการแตกเป็นรูขนาดใหญ่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



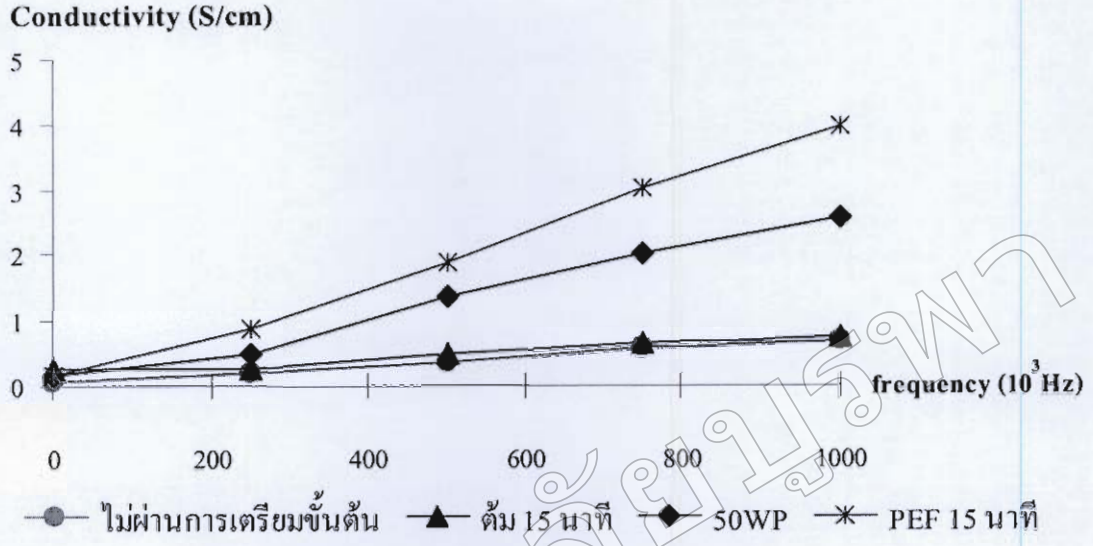
ภาพที่ 4-30 เซลล์มะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนและหลังการออสโมซิสจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 60X (V หมายถึง แวลคิวโอล S หมายถึง น้ำตาล W หมายถึง ผนังเซลล์ M หมายถึง เยื่อหุ้มเซลล์ I หมายถึง ช่องว่างระหว่างเซลล์ C หมายถึง การเว้า R หมายถึง การแตกออกของเยื่อหุ้มเซลล์)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-31 เซลล์มะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนและหลังการออสโมซิสจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 60X

ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์คำนวณจากค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่ช่วงความถี่กระแสไฟฟ้าสูง (10^6Hz) และต่ำ (10^3Hz) โดยคำนวณตามสูตรในสมการที่ 5 (บทที่ 3) พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของมะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นที่ความถี่กระแสไฟฟ้าต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-32 พบว่า ค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นมะพร้าวที่ผ่านการต้ม 15 นาที การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50WP และการใช้ PEF 15 นาที มีค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ 0.392±0.011 0.736±0.055 และ 0.970±0.027 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-32 ค่าการนำไฟฟ้าของมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นที่ช่วงความถี่กระแสไฟฟ้าต่าง ๆ

3. ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกจากชิ้นมะพร้าวแบบออสโมซิส

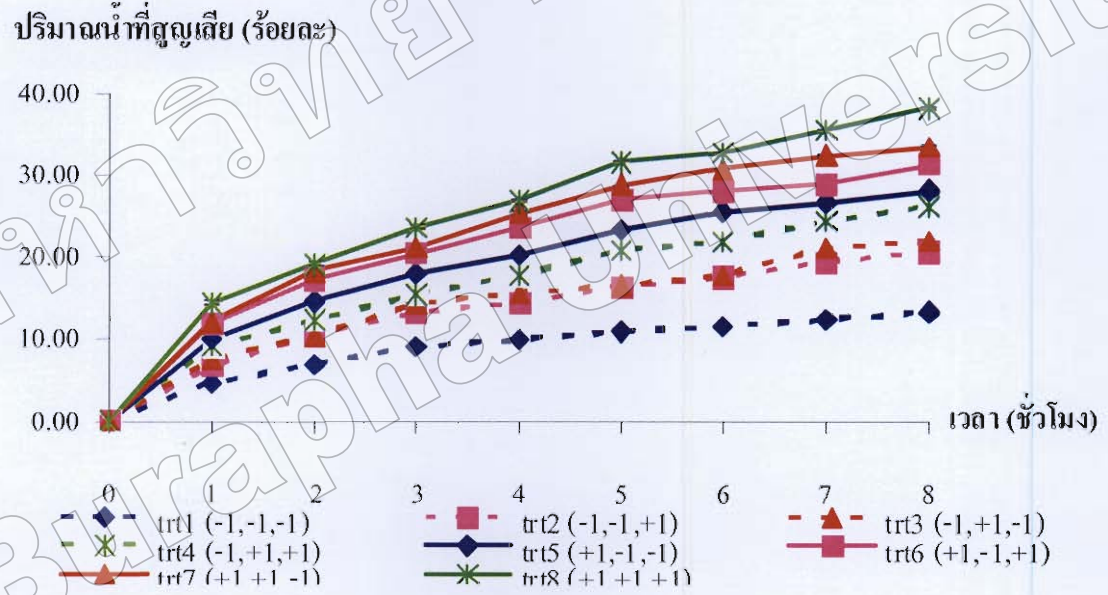
3.1 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าว

นำชิ้นมะพร้าวมาเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.2 แล้วนำมาแช่ในสารละลายออสโมติก ซึ่งเป็นสารละลายผสมของสารดูดความชื้น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส (30 (-1), 50 (+1) กรัม/ 100 กรัม) กลูโคส (0 (-1), 10 (+1) กรัม/ 100 กรัม) และซอร์บิทอล (0 (-1), 10 (+1) กรัม/ 100 กรัม) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ 2^3 Factorial แสดงชนิดของสารละลายออสโมติกดังตารางที่ 3-2

ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวระหว่างการออสโมซิสในสารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส กลูโคสและซอร์บิทอลทั้ง 8 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-33 ถึง 4-35 พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 (+1,+1,+1) คือการใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 50 กรัม กลูโคส 10 กรัมและซอร์บิทอล 10 กรัม ซึ่งเป็นระดับการใช้สารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดในระดับสูงสุด ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด คือ ร้อยละ 38.34 10.86 และ 27.48 ตามลำดับ ที่เวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง

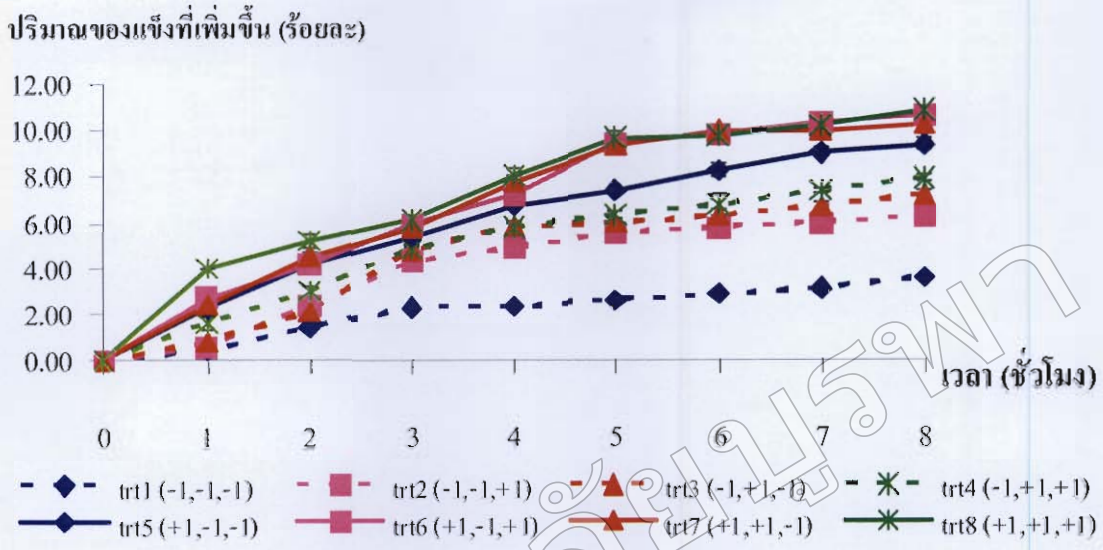
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าว พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นมีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร (ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลง) แสดงดังตารางที่ 4-9 ดังนั้น เพื่อหาระดับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสจึงทำการทดลองต่อตามข้อที่ 3.2 โดยวางแผนการทดลองแบบ CCD เพื่อแปรระดับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดให้ละเอียดมากขึ้น กล่าวคือ การวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial เป็นการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 2 ระดับ ซึ่งเป็นระดับสูงสุดและต่ำสุด แต่เมื่อจัดสิ่งทดลองแบบ CCD สามารถศึกษาระดับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดเพิ่มเป็นชนิดละ 5 ระดับ โดยใช้ช่วงสูงสุดและต่ำสุดของสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดเช่นเดิม

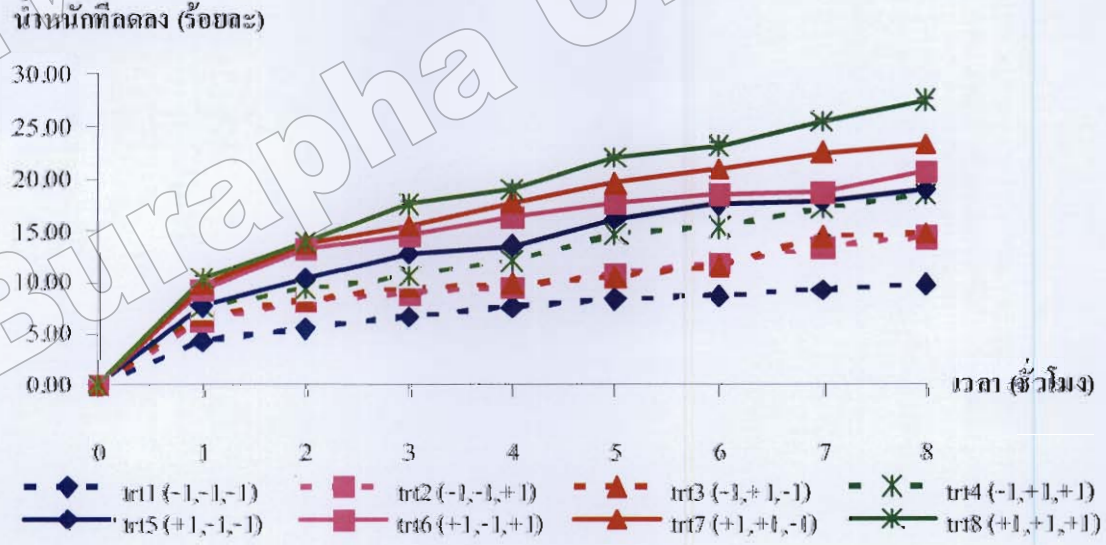


ภาพที่ 4-33 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของมะพร้าวระหว่างการออสโมซิสในสารละลายผสมของสารดูดความชื้นที่วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial (สิ่งทดลองตามค่ารหัส -1 หมายถึง ความเข้มข้นระดับต่ำสุด +1 หมายถึง ความเข้มข้นระดับสูงสุดที่ระบุตามลำดับ คือ (ซูโครส,กลูโคส,ซอร์บิทอล))

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-34 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของมะพร้าวระหว่างการออสโมซิสในสารละลายผสมของสารดูดความชื้นที่วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial (สิ่งทดลองตามค่ารหัส -1 หมายถึง ความเข้มข้นระดับต่ำสุด +1 หมายถึง ความเข้มข้นระดับสูงสุดที่ระบุตามลำดับ คือ (ซูโครส,กลูโคส,ซอร์บิทอล))



ภาพที่ 4-35 น้ำหนักที่ลดลงของมะพร้าวระหว่างการออสโมซิสในสารละลายผสมของสารดูดความชื้นที่วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial (สิ่งทดลองตามค่ารหัส -1 หมายถึง ความเข้มข้นระดับต่ำสุด +1 หมายถึง ความเข้มข้นระดับสูงสุดที่ระบุตามลำดับ คือ (ซูโครส,กลูโคส,ซอร์บิทอล))

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) น้ำหนักที่ลดลง (WR) ของมะพร้าวที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง

Source of Variance	df	WL		SG		WR	
		Mean square	p-value	Mean square	p-value	Mean square	p-value
Sucrose	1	902.949	0.000*	97.808	0.000*	406.233	0.000*
Glucose	1	261.553	0.000*	15.026	0.000*	151.202	0.000*
Sorbitol	1	144.403	0.000*	10.153	0.000*	77.904	0.000*
Sucrose × Glucose	1	1.229	0.000*	6.314	0.000*	1.984	0.000*
Sucrose × Sorbitol	1	5.180	0.000*	0.825	0.002*	1.848	0.000*
Glucose × Sorbitol	1	0.440	0.016*	2.529	0.000*	0.851	0.004*
Sucrose×Glucose×Sorbitol	1	8.366	0.000*	0.704	0.003*	4.217	0.000*
Error	16	0.60		0.057		0.074	
Total	24						

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2 ผลการศึกษาหาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าว

นำชิ้นมะพร้าวมาเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.2 นำมาแช่ในสารละลายออสโมติก ซึ่งเป็นสารละลายผสมของสารดูดความชื้น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส (30 34 40 46 และ 50 กรัม/ 100 กรัม) กลูโคส (0 2 5 8 และ 10 กรัม/ 100 กรัม) และซอร์บิทอล (0 2 5 8 และ 10 กรัม/ 100 กรัม) ตามค่ารหัส (-1.68, -1, 0, +1, 1.68) จัดสิ่งทดลองแบบ CCD ได้ 18 สิ่งทดลอง แสดงชนิดของสารละลายออสโมติกดังตารางที่ 3-3

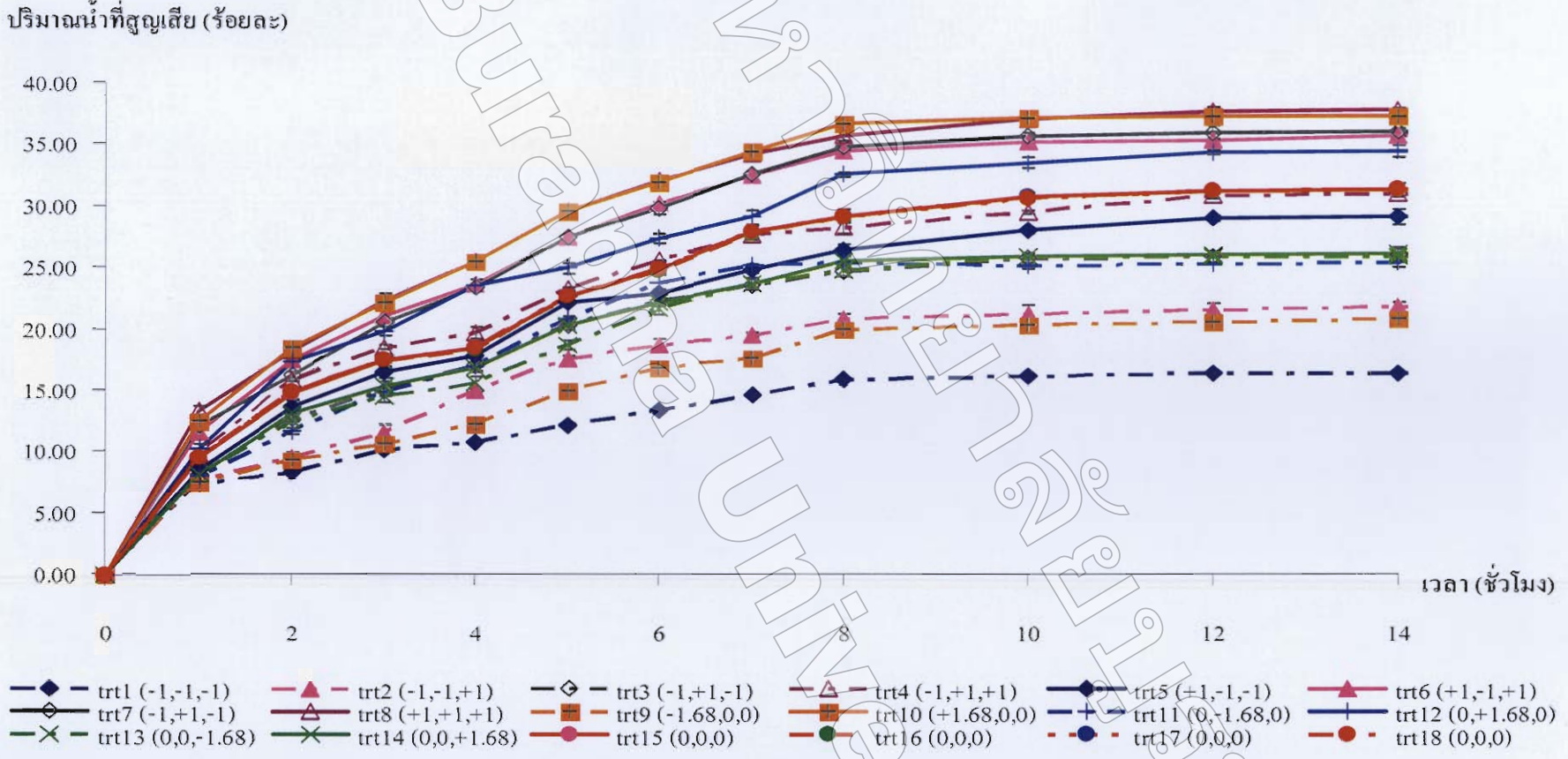
ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวระหว่างการออสโมซิส ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลง แสดงดังภาพที่ 4-36 ถึง 4-38 และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งตามสมการที่ 6 และ สมการที่ 7 ได้ผลดังตารางที่ 4-5 เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสาระระหว่างการออสโมซิส พบว่า สิ่งทดลองที่ 10 (+1.68, 0, 0) คือ การใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 50 กรัม กลูโคส 5 กรัมและซอร์บิทอล 5 กรัม และสิ่งทดลองที่ 8 (+1,+1,+1) คือ การใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

46 กรัม กลูโคส 8 กรัมและซอร์บิทอล 8 กรัม ทำให้มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงมีแนวโน้มสูงกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการออสโมซิส (ร้อยละ 12.54-37.89 และ 7.99-27.32 ตามลำดับ) ทั้งนี้พบว่า สิ่งทดลองที่ 12 (0,+1.68,0) คือ การใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 40 กรัม กลูโคส 10 กรัมและซอร์บิทอล 5 กรัม ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มสูงกว่าทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการออสโมซิส (ร้อยละ 3.10-12.30)

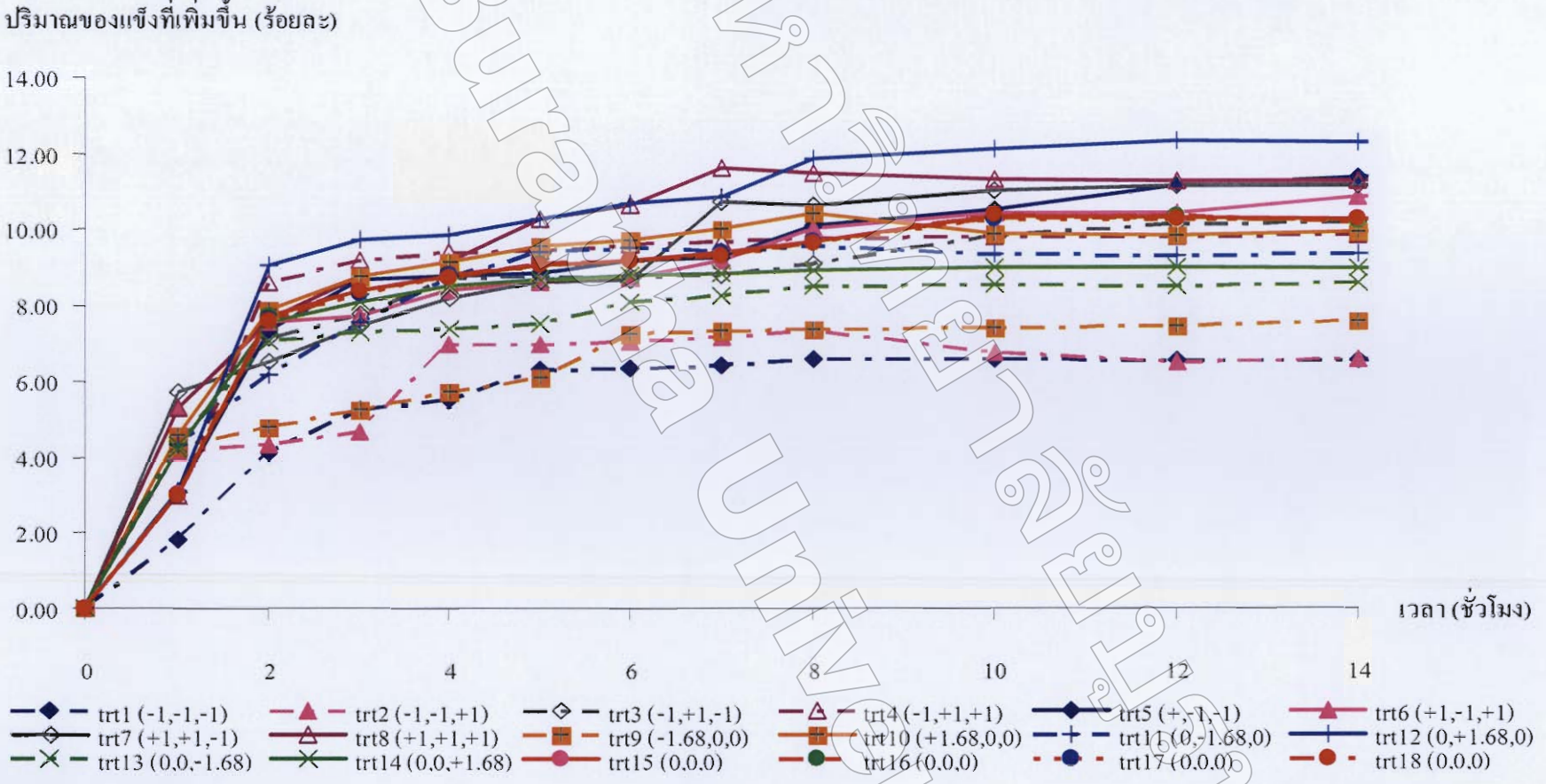
เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งมีค่าอยู่ในช่วง 4.91×10^{-10} ถึง $6.10\times10^{-10}\ m^2/s$ และ 0.11×10^{-10} ถึง $7.79\times10^{-10}\ m^2/s$ ตามลำดับ และพบว่า สิ่งทดลองที่ 14 (0,0,+1.68) คือ การใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 40 กรัม กลูโคส 5 กรัมและซอร์บิทอล 10 กรัม มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสูงที่สุด คือ $6.10\times10^{-10}\ m^2/s$ รองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 10 มีค่า $6.01\times10^{-10}\ m^2/s$ ขณะสิ่งทดลองที่ 13 (0,0,-1.68) คือ การใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 40 กรัม กลูโคส 5 กรัมและไม่ใช้ซอร์บิทอล (0 กรัม) มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งสูงที่สุดคือ $9.79\times10^{-10}\ m^2/s$ รองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 10 มีค่า $8.04\times10^{-10}\ m^2/s$ และพบว่าสิ่งทดลองที่ 14 มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งต่ำที่สุดคือ $0.11\times10^{-10}\ m^2/s$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



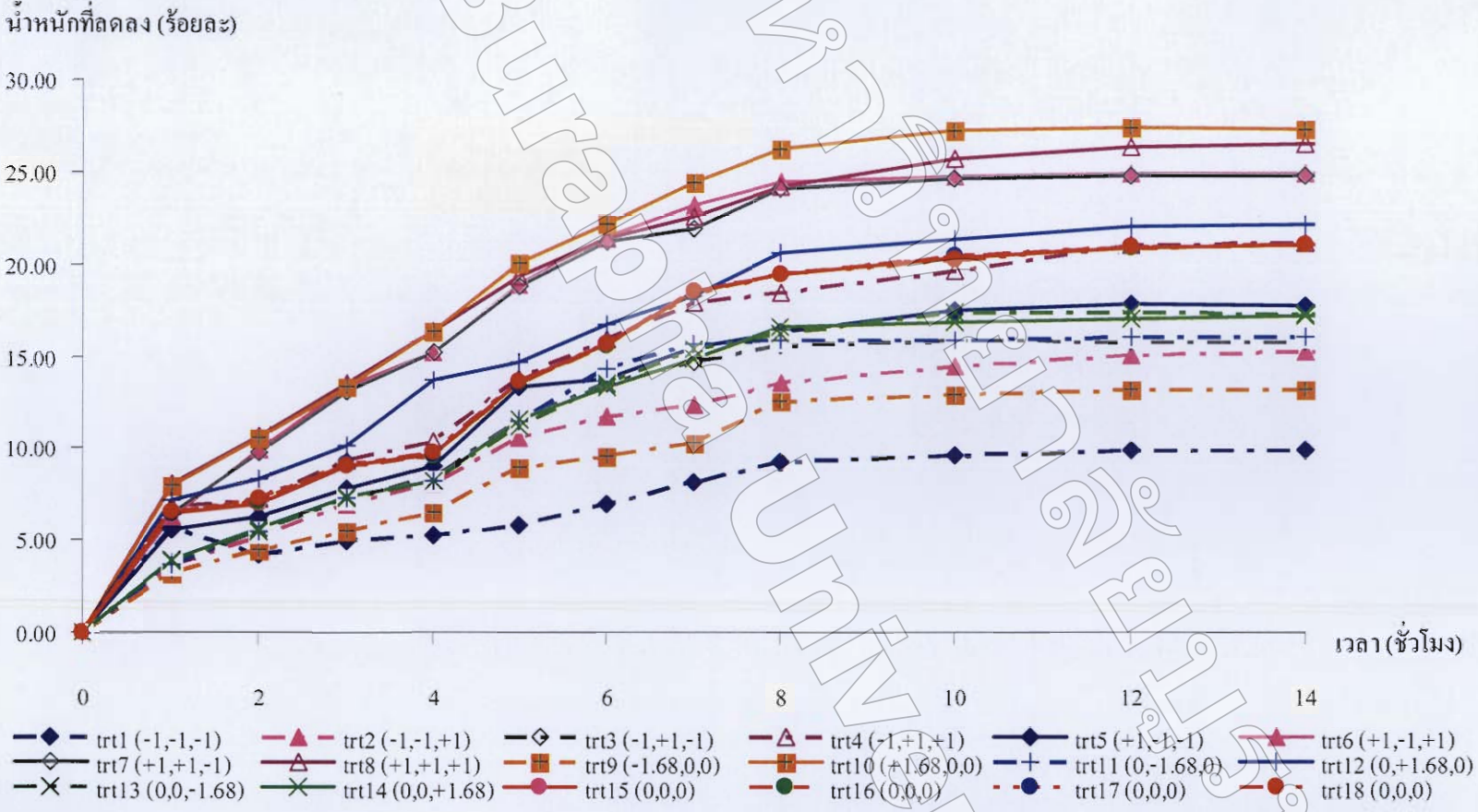
ภาพที่ 4-36 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของมะพร้าวระหว่างการออสโมซิสในสารละลายผสมของสารดูดความชื้นที่วางแผนการทดลองแบบ CCD (สิ่งทดลองตามค่ารหัสที่ระบุตามลำดับ คือ (ซูโครส,กลูโคส,ซอร์บิทอล)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-37 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของมะพร้าวระหว่างการออสโมซิสในสารละลายผสมของสารดูดความชื้นที่วางแผนการทดลองแบบ CCD (สิ่งทดลองตามค่ารหัสที่ระบุตามลำดับ คือ (ซูโครส,กลูโคส,ซอร์บิทอล)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-38 น้ำหนักที่ลดลงของมะพร้าวระหว่างการออสโมซิสในสารละลายผสมของสารดูดความชื้นที่วางแผนการทดลองแบบ CCD (สิ่งทดลองตามค่ารหัสที่ระบุตามลำดับ คือ (ซูโครส,กลูโคส,ซอร์บิทอล)

Burapha University

ตารางที่ 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) และของแข็ง (D_{es}) ของชิ้นมะพร้าวระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสารละลายผสมของสารดูดความชื้นที่วางแผนการทดลองแบบ CCD

สิ่งทดลองที่	$D_{ew}(\times 10^{-10} m^2/s)$	R^2	$D_{es}(\times 10^{-10} m^2/s)$	R^2
1	5.69	0.99	7.14	0.95
2	5.75	0.97	7.77	0.91
3	5.68	1.00	7.60	0.99
4	5.69	0.98	1.04	0.88
5	4.91	0.99	4.97	0.91
6	5.53	0.99	5.94	0.84
7	5.31	0.99	5.60	0.92
8	5.75	0.99	7.60	0.99
9	4.94	0.96	6.67	0.91
10	6.01	0.99	8.04	0.97
11	6.00	0.98	7.88	0.99
12	5.36	0.98	6.39	0.91
13	5.50	0.98	9.79	0.94
14	6.10	0.99	0.11	0.96
15	5.09	0.99	7.39	0.92
16	5.07	0.99	7.32	0.92
17	5.09	0.99	7.25	0.93
18	5.08	0.99	7.31	0.93

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.3 ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสารกับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติก

เนื่องจาก ค่าการถ่ายเทมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิสและระยะเวลาสิ้นสุดของกระบวนการออสโมซิส คือ 8 ชั่วโมง จึงสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และน้ำหนักที่ลดลงกับชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่ระยะเวลาการออสโมซิส 4 และ 8 ชั่วโมง โดยวิธีรีเกรสชัน พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยทั่วไป สมการที่นำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 (Haaland, 1989; Hu, 1999) ค่า Model Significance ซึ่งบ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และ X หากมีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึง ค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Hu, 1999) และค่า RMS ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 20 (Julian, 2004) สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสารกับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่ระยะเวลาการออสโมซิสนาน 4 และ 8 ชั่วโมงแสดงดังตารางที่ 4-6 เมื่อพิจารณาเกณฑ์ในการเลือกสมการ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้ทั้งหมดมีค่าความน่าเชื่อถือของสมการตามเกณฑ์ที่ใช้ในพิจารณาข้างต้น คือมีค่า R^2 ในช่วง 0.857–0.964 มีค่า Model Significance 0.00 และมีค่า RMS ในช่วงร้อยละ 0.82-12.72 เมื่อพิจารณารูปแบบของสมการความสัมพันธ์ พบว่า ความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอล มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงทั้งผลในเชิงเส้นตรง (Linear Effect) ผลในเชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) และผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ยกเว้น ผลในเชิงเส้นโค้งสำหรับค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียที่เวลาออสโมซิส 8 ชั่วโมง ขณะที่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นไม่ได้รับอิทธิพลจากปฏิกิริยาสัมพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสารกับความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่ระยะเวลาการออสโมซิส นาน 4 และ 8 ชั่วโมง

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	สมการรีเกรสชัน	R^2	Model Significance	RMS (%)
4	$WL = 24.307+2.174X_2+1.24X_3+0.791X_2^2-0.643X_3^2-0.661X_2X_3$	0.951	0.00	5.15
	$SG = 8.129+0.565X_2+0.34X_3+0.17X_2^2-0.298X_3^2$	0.857	0.00	12.72
	$WR = 15.036+1.608X_2+0.901X_3+0.621X_2^2-0.345X_3^2-0.734X_2X_3$	0.934	0.00	9.21
8	$WL = 35.156+2.769X_2+1.381X_3-1.365X_3^2-1.065X_2X_3$	0.958	0.00	4.38
	$SG = 10.381+0.795X_2+0.208X_3+0.357X_2^2-0.346X_3^2$	0.923	0.00	0.82
	$WR = 24.085+1.975X_2+1.173X_3-0.355X_2^2-1.02X_3^2-1.167X_2X_3$	0.942	0.00	8.98

หมายเหตุ

WL คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (ร้อยละ)

SG คือ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)

WR คือ น้ำหนักที่ลดลง (ร้อยละ)

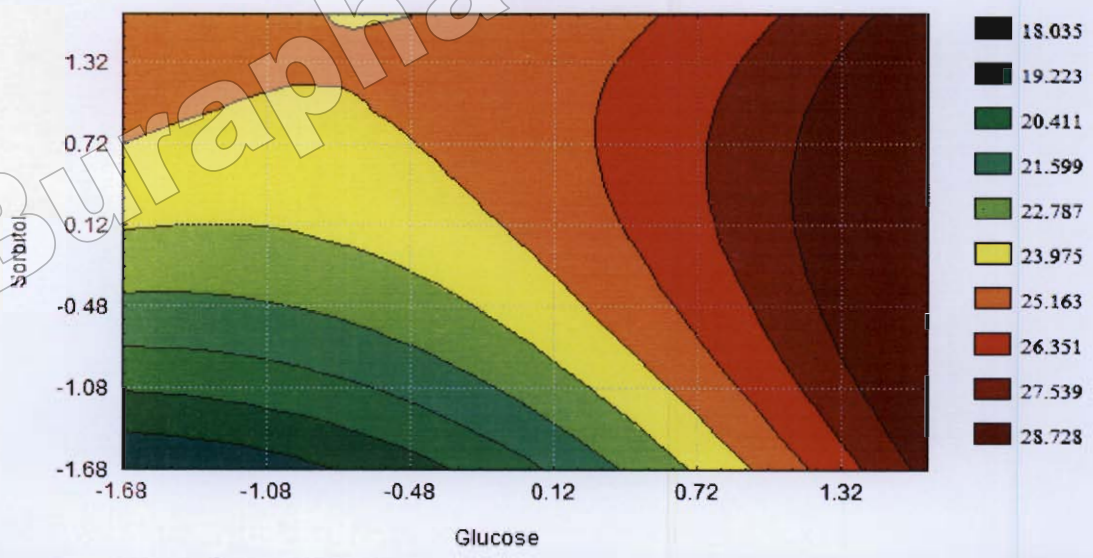
X_2 คือ ความเข้มข้นของซอร์บิทอล (ร้อยละ โดยน้ำหนัก/ น้ำหนัก)

X_3 คือ ความเข้มข้นของมอลทิทอล (ร้อยละ โดยน้ำหนัก/ น้ำหนัก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

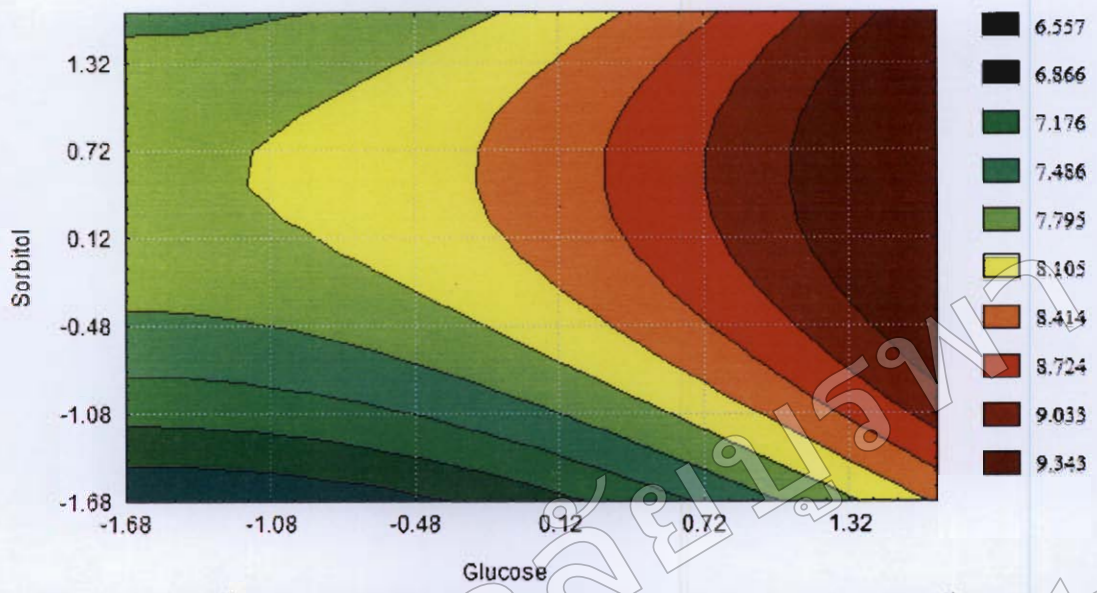
เนื่องจาก สมการที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมที่สุดในการดึงน้ำออกจากชิ้นมะพร้าวแบบออสโมซิส กราฟพื้นผิวตอบสนองที่เวลาออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 4-39 ถึง 4-41 และที่เวลาออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมงแสดงดังภาพที่ 4-42 ถึง 4-44 พบว่า การใช้กลูโคสและซอร์บิทอลในระดับสูงมีผลให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูง ซึ่งมีแนวโน้มในทางเดียวกัน

การถ่ายเทมวลสารที่ 8 ชั่วโมงมีแนวโน้มการถ่ายเทมวลสารสูงกว่าที่ 4 ชั่วโมง สำหรับ ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียที่เวลาการออสโมซิส 4 และ 8 ชั่วโมง จากภาพที่ 4-39 และ 4-42 พบว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 28.73 (กลูโคส +1.11 ถึง +1.68 ร่วมกับซอร์บิทอลทุกระดับที่ศึกษา) และร้อยละ 38.15 (กลูโคส +0.43 ถึง +1.68 ร่วมกับซอร์บิทอล -1.68 ถึง +1.35) ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นที่เวลาการออสโมซิส 4 และ 8 ชั่วโมง จากภาพที่ 4-40 และ 4-43 พบว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 9.34 (กลูโคส +1.07 ถึง +1.68 ร่วมกับซอร์บิทอล -0.86 ถึง +1.68) และร้อยละ 12.38 (กลูโคส +1.26 ถึง +1.68 ร่วมกับซอร์บิทอล -1.17 ถึง +1.68) ตามลำดับ สำหรับค่าน้ำหนักที่ลดลงที่เวลาการออสโมซิส 4 และ 8 ชั่วโมง จากภาพที่ 4-41 และ 4-44 พบว่า ค่าน้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 18.66 (กลูโคส 1.16 ถึง 1.68 ซอร์บิทอลทุกระดับที่ศึกษา) และร้อยละ 25.188 (กลูโคส +0.43 ถึง +1.68 ร่วมกับซอร์บิทอล -1.68 ถึง +1.40) ตามลำดับ

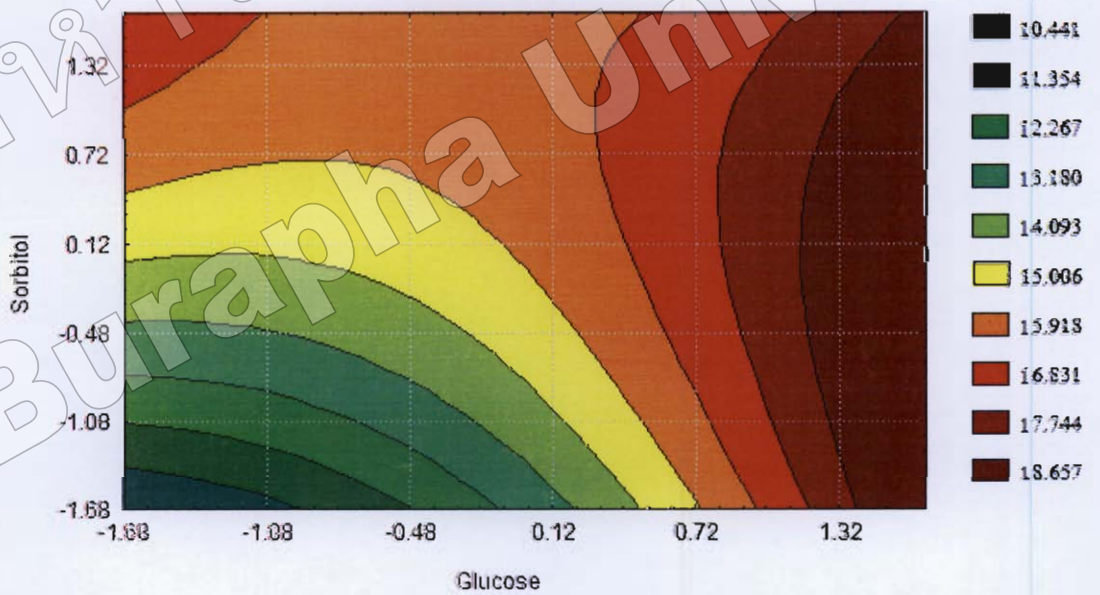


ภาพที่ 4-39 กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่สูญเสียกับความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลเมื่อใช้ซูโครสที่ระดับ 50 กรัม/ 100 กรัม (+1.68) ออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

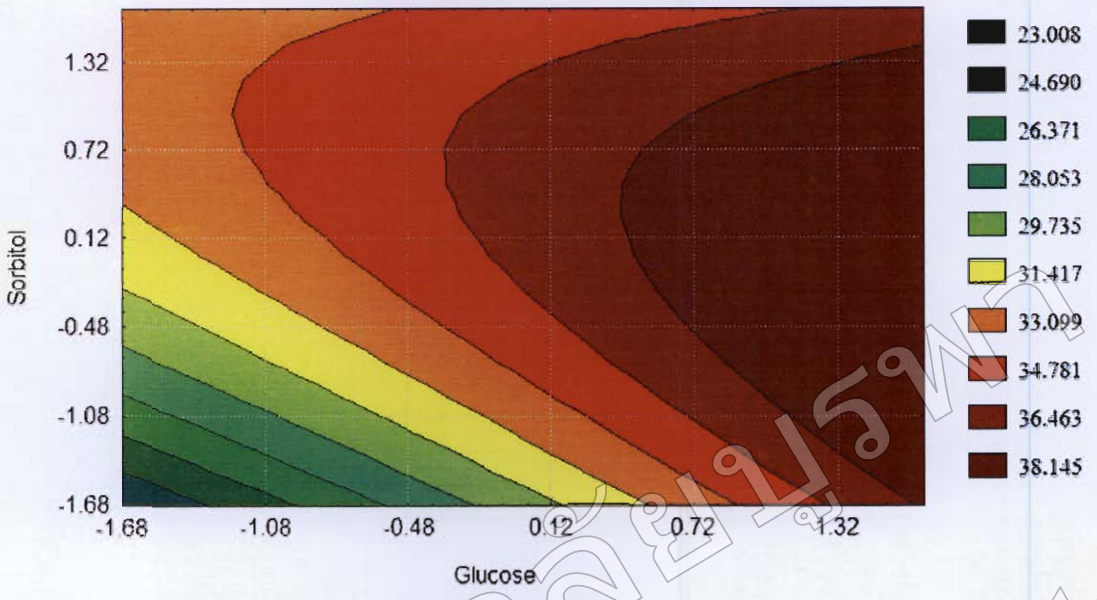


ภาพที่ 4-40 กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลเมื่อใช้ซูโครสที่ระดับ 50 กรัม/ 100 กรัม (+1.68) ออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมง

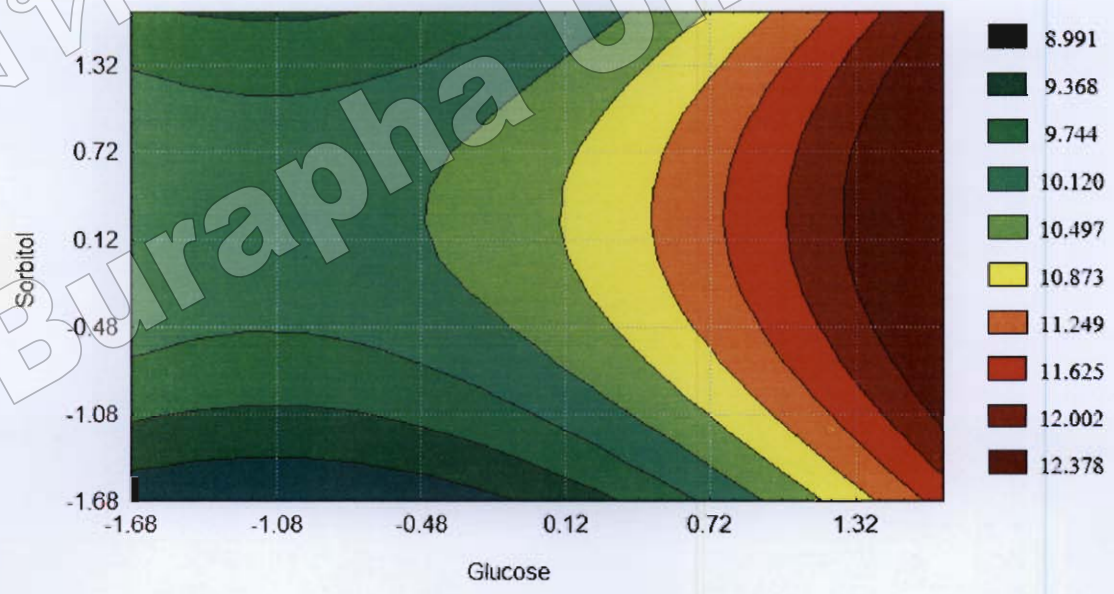


ภาพที่ 4-41 กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่ลดลงกับความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลเมื่อใช้ซูโครสที่ระดับ 50 กรัม/ 100 กรัม (+1.68) ออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

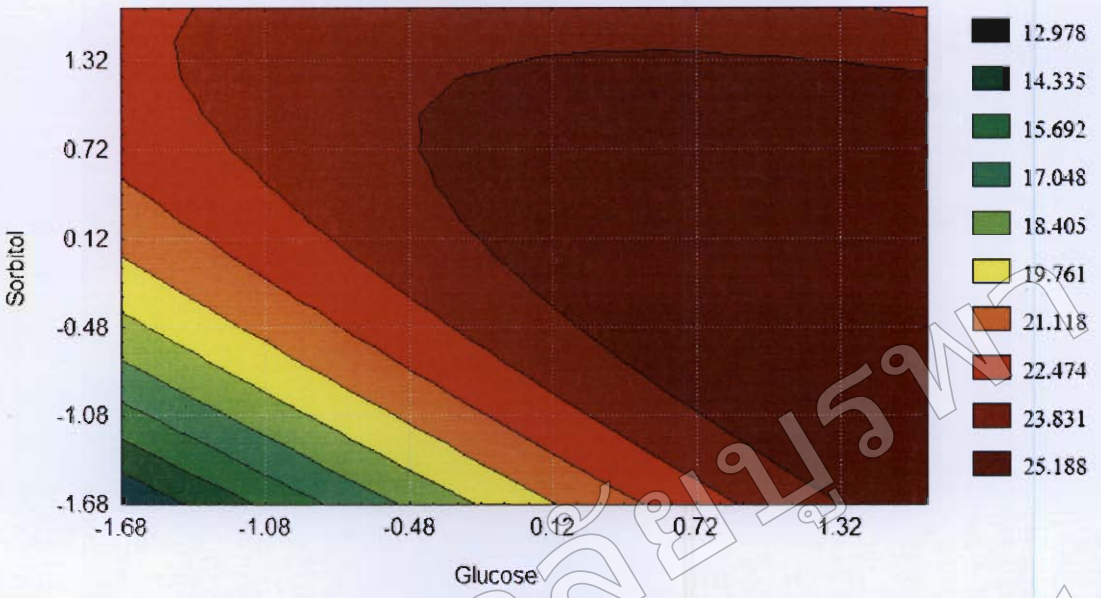


ภาพที่ 4-42 กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่สูญเสียกับความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลเมื่อใช้ซูโครสที่ระดับ 50 กรัม/ 100 กรัม (+1.68) ออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมง



ภาพที่ 4-43 กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลเมื่อใช้ซูโครสที่ระดับ 50 กรัม/ 100 กรัม (+1.68) ออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมง

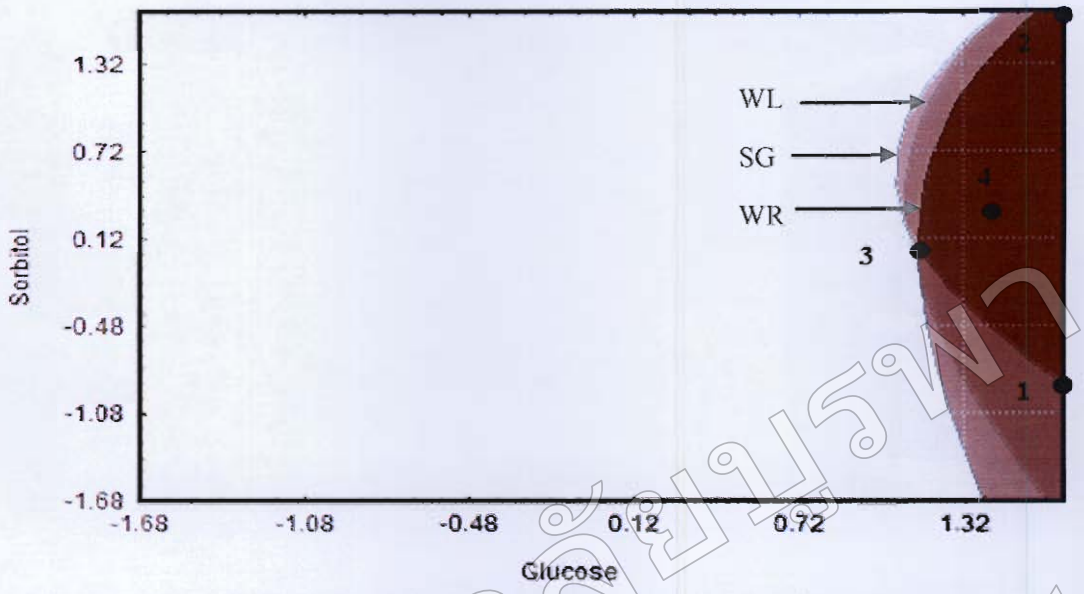
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



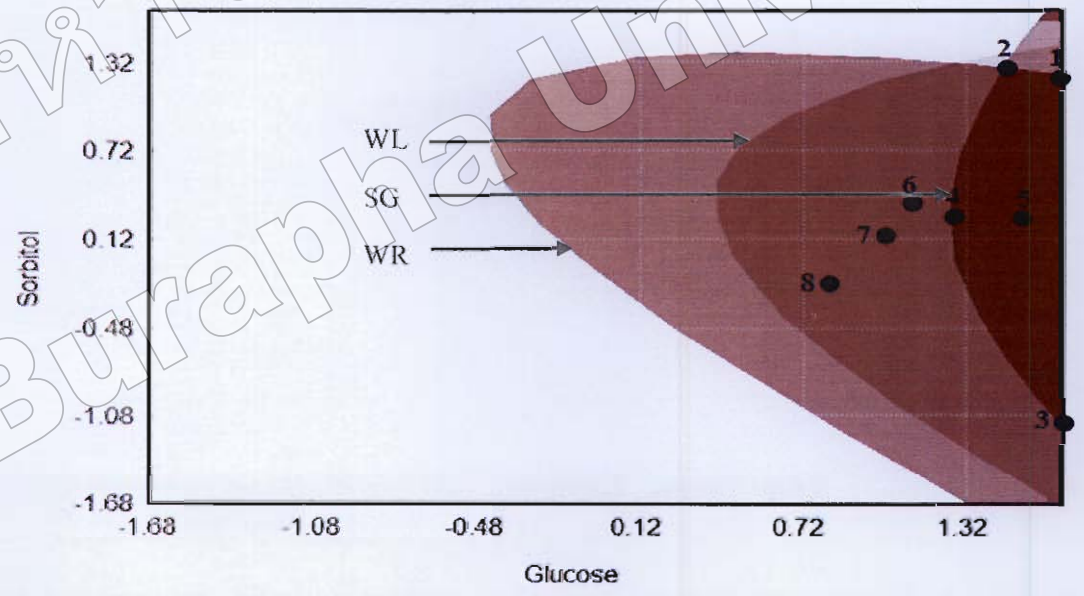
ภาพที่ 4-44 กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่ลดลงกับความเข้มข้นของกลูโคสและซอร์บิทอลเมื่อใช้ซูโครสที่ระดับ 50 กรัม/ 100 กรัม (+1.68) ออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงร่วมกันในการหาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในการออสโมซิสที่เหมาะสมที่สุด จึงใช้วิธีเลือกพื้นที่จากกราฟพื้นผิวตอบสนองที่ทำให้มีปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากกราฟ พบว่า ในการออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมงพื้นที่เลือก ได้แก่ การมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงเป็นร้อยละ 28.728 9.343 และ 18.657 ตามลำดับ สำหรับในการออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมงพื้นที่เลือก ได้แก่ การมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงเป็นร้อยละ 38.145 12.378 และ 25.188 ตามลำดับ จากนั้นนำพื้นที่ที่เลือกได้ที่ใช้เวลาในการออสโมซิสเดียวกันมาซ้อนทับกัน กำหนดให้แกนของกราฟพื้นผิวตอบสนองของแต่ละภาพมีขนาดเท่ากัน โดยที่เวลาการออสโมซิส 4 ชั่วโมงซ้อนทับกันแล้วจะได้ดังภาพที่ 4-45 และที่เวลาการออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมงซ้อนทับกันแล้วจะได้ดังภาพที่ 4-46 กำหนดสิ่งทดลองโดยเลือกจากพื้นที่ที่ซ้อนทับกันที่เวลาการออสโมซิส 4 และ 8 ชั่วโมงได้ 4 และ 8 สิ่งทดลองตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4-45 และ 4-46 และรายละเอียดชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นในตารางที่ 4-7 และ 4-8

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-45 พื้นที่การซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนองของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย WL ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น SG และน้ำหนักที่ลดลง WR สำหรับการออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมง และแสดงการเลือกสิ่งทดลองจำนวน 4 สิ่งทดลอง (1-4)



ภาพที่ 4-46 พื้นที่การซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนองของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย WL ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น SG และน้ำหนักที่ลดลง WR สำหรับการออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมง และแสดงการเลือกสิ่งทดลองจำนวน 8 สิ่งทดลอง (1-8)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-7 ชนิดและระดับความเข้มข้นสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่เลือกได้จากการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนองสำหรับการออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมง

สิ่งทดลองที่	ค่ารหัส			ค่าจริง		
	ซูโครส	กลูโคส	ซอร์บิทอล	ซูโครส	กลูโคส	ซอร์บิทอล
1	1.68	1.68	-0.87	50	10	2.61
2	1.68	1.68	1.68	50	10	10
3	1.68	1.18	0	50	8.54	5
4	1.68	1.43	0.375	50	9.29	6.125

ตารางที่ 4-8 ชนิดและระดับความเข้มข้นสารดูดความชื้นในสารละลายออสโมติกที่เลือกได้จากการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนองสำหรับการออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมง

สิ่งทดลองที่	ค่ารหัส			ค่าจริง		
	ซูโครส	กลูโคส	ซอร์บิทอล	ซูโครส	กลูโคส	ซอร์บิทอล
1	1.68	1.68	1.24	50	10	8.72
2	1.68	1.47	1.306	50	9.41	8.92
3	1.68	1.68	-1.176	50	10	1.47
4	1.68	1.269	0.252	50	8.81	5.76
5	1.68	1.515	0.252	50	9.55	5.76
6	1.68	1.169	0.304	50	8.51	5.91
7	1.68	0.917	0.125	50	7.75	5.375
8	1.68	0.695	-0.184	50	7.09	5.552

ค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นมะพร้าวที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการสมการความสัมพันธ์จากตารางที่ 4-6 เมื่อใช้สารละลายออสโมติกทั้ง 12 สิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9 พบว่า ค่าการถ่ายเทมวลสารที่ได้จากการทดลองและการทำนายมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่า RMS ต่ำกว่าร้อยละ 20 ซึ่งแสดงถึง มีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการต่ำ (Julian, 2004) โดยค่า RMS ของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงของการออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมงมีค่าในช่วงร้อยละ 3.12-7.45 8.91-10.89 และ 2.46-5.20 ตามลำดับและสำหรับการออสโมซินานส 8 ชั่วโมงมีค่า RMS ในช่วงร้อยละ 6.81-11.03 8.62-12.74 และ 3.10-15.21 ตามลำดับ ดังนั้น สมการที่ได้จึงมีความเหมาะสมที่ใช้ในการทำนายค่าการถ่ายเทมวลสาร

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงสูงจากการออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมงมา 1 สิ่งทดลองคือ สิ่งทดลองที่ 1 (+1.68, +1.68,-0.87) และเลือกสิ่งทดลองจากการออสโมซิสนาน 8 ชั่วโมงมา 3 สิ่งทดลอง คือ สิ่งทดลองที่ 3 (+1.68,+1.68,-1.176) สิ่งทดลองที่ 4 (+1.68,+1.269,+0.252) และสิ่งทดลองที่ 7 (+1.68, +0.917,+0.125) เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนการอบแห้งต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-9 ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่ลดลงที่ได้จากการทดลองและค่าทำนายจากสมการรีเกรสชันและค่า RMS ของสิ่งทดลองที่เลือกจากการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนอง

เวลาการออสโมซิส (ชั่วโมง)	สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (ร้อยละ)			ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)			น้ำหนักที่ลดลง (ร้อยละ)		
		ซูโครส	กลูโคส	ซอร์บิทอล	ค่าที่ทำนาย	ค่าจากการทดลอง	RMS (%)	ค่าที่ทำนาย	ค่าการทดลอง	RMS(%)	ค่าที่ทำนาย	ค่าจากการทดลอง	RMS(%)
4	1	1.68	1.68	-0.87	29.59	28.36 ± 0.50	4.71	9.49	8.82 ± 0.38	8.91	19.52	19.54 ± 0.52	2.46
	2	1.68	1.68	1.68	28.59	28.00 ± 0.65	3.12	10.97	9.98 ± 0.33	10.56	17.96	18.02 ± 0.66	3.41
	3	1.68	1.18	0	27.97	26.17 ± 0.65	7.40	9.03	8.43 ± 0.58	10.89	17.80	17.73 ± 0.88	4.68
	4	1.68	1.43	0.375	29.05	27.16 ± 0.66	7.45	9.45	8.68 ± 0.41	10.46	18.50	18.49 ± 0.98	5.20
8	1	1.68	1.68	1.24	37.20	34.86 ± 0.37	6.81	12.45	11.55 ± 0.39	8.62	23.86	23.31 ± 0.48	3.10
	2	1.68	1.47	1.306	36.66	33.96 ± 0.69	8.27	12.00	11.16 ± 0.35	8.31	23.77	22.80 ± 0.65	5.23
	3	1.68	1.68	-1.176	38.40	35.27 ± 0.55	9.04	12.00	11.04 ± 0.49	10.02	25.92	24.23 ± 0.53	7.33
	4	1.68	1.269	0.252	38.59	35.39 ± 0.70	9.30	12.00	11.14 ± 0.50	9.04	25.88	24.25 ± 0.89	7.79
	5	1.68	1.515	0.252	39.21	35.42 ± 0.84	11.03	12.44	11.96 ± 1.14	9.31	26.05	23.46 ± 1.87	15.21
	6	1.68	1.169	0.304	38.31	34.67 ± 0.32	10.55	11.83	10.78 ± 0.40	10.61	25.76	23.89 ± 0.55	8.21
	7	1.68	0.917	0.125	37.72	35.01 ± 0.48	7.89	11.43	10.19 ± 0.33	12.74	25.59	24.82 ± 0.69	4.17
	8	1.68	0.695	-0.184	36.92	33.93 ± 0.33	8.88	11.06	10.02 ± 0.16	10.50	25.19	23.91 ± 0.32	5.53

4. การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งชิ้นมะพร้าวหลังการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส

นำชิ้นมะพร้าวมาเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.2 แล้วแช่ในสารละลายออสโมติกตามที่เลือกได้จากข้อ 3.3 ตามเวลาที่กำหนด จากนั้นนำชิ้นมะพร้าวออกจากสารละลายออสโมติกและอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน ควบคุมความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลองแปรระดับอุณหภูมิในกระบวนการอบแห้ง 2 ระดับ คือ 65 และ 75 องศาเซลเซียส แสดงชนิดของสิ่งทดลองที่ศึกษาซึ่งแสดงรายละเอียดเวลาการออสโมซิส ชนิดสารละลายออสโมติก และอุณหภูมิการอบแห้งแสดงดังตารางที่ 4-10 อบจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายของชิ้นมะพร้าวในช่วงร้อยละ 12±1

ตารางที่ 4-10 เวลาการออสโมซิส ชนิดสารละลายออสโมติกและอุณหภูมิการอบแห้งชิ้นมะพร้าว

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิส (ชั่วโมง)	ชนิดสารละลายออสโมติก (ค่ารหัส)			อุณหภูมิการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)
		ซูโครส	กลูโคส	ซอร์บิทอล	
1	8	1.68	0.917	0.125	65
2	8	1.68	1.269	0.252	65
3	8	1.68	1.68	-1.176	65
4	4	1.68	1.68	-0.87	65
5	8	1.68	0.917	0.125	75
6	8	1.68	1.269	0.252	75
7	8	1.68	1.68	-1.176	75
8	4	1.68	1.68	-0.87	75

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งชิ้นมะพร้าวหลังการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสต่อคะแนนการทดสอบผู้บริโภคด้านความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยทดสอบความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมแสดงดังตารางที่ 4-11 พบว่า คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรสและรสชาติของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.40-7.13 ซึ่งหมายถึง ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม พบว่า สิ่ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทดลองที่ 8 ที่ใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส 50 กรัม กลูโคส 10 กรัมและซอร์บิทอล 2.61 กรัม (+1.68,+1.68,-0.87) ออสโมซิสนาน 4 ชั่วโมงและอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยได้รับคะแนนเนื้อสัมผัสเท่ากับ 6.13±1.68 ซึ่งหมายถึง ชอบเล็กน้อย และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.00±1.39 ซึ่งหมายถึง ชอบปานกลาง ดังนั้น จึงเลือกสิ่งทดลองที่ 8 เพื่อใช้ในขั้นตอนการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งต่อไป

ตารางที่ 4-11 คะแนนการทดสอบด้านความชอบของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้ง

สิ่งทดลองที่	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	7.07 ± 0.91	6.57 ± 0.68	6.97 ± 0.93	5.27^{a} ± 1.28	6.13^{ab} ± 0.78
2	7.13 ± 1.14	6.57 ± 1.07	7.07 ± 1.11	5.43^{ab} ± 1.48	6.00^{a} ± 1.14
3	7.13 ± 1.22	6.40 ± 1.07	7.00 ± 1.23	5.40^{ab} ± 1.57	6.10^{ab} ± 1.35
4	7.07 ± 1.01	6.40 ± 1.13	7.07 ± 0.94	5.57a^{b} ± 1.63	6.30ab^{c} ± 1.02
5	7.07 ± 1.17	6.63 ± 1.10	7.03 ± 1.10	5.87a^{b} ± 1.68	6.53^{bcd} ± 1.17
6	7.07 ± 1.31	6.47 ± 1.36	7.13 ± 1.25	6.03^{ab} ± 2.24	6.67^{cd} ± 1.45
7	6.97 ± 1.25	6.37 ± 1.13	7.10 ± 1.06	5.80^{ab} ± 1.94	6.60^{bcd} ± 1.19
8	7.10 ± 1.03	6.47 ± 1.07	7.07 ± 1.08	6.13^{b} ± 1.68	7.00^{d} ± 1.39

$^{a-d}$ ค่าในแนวตั้งเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้ง

จากการนำผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งที่ผลิตได้เก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ โดยบรรจุ 100 ± 5 กรัมต่อถุง และศึกษาอายุการเก็บรักษาที่สภาวะการเก็บรักษาจริง (อุณหภูมิห้อง 27±2 องศาเซลเซียส) และที่สภาวะเร่งการเสื่อมเสีย (45 และ 55องศาเซลเซียส) แล้ววิเคราะห์ค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก 7 วันเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4-12 ถึง 4-19 พบว่า ค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเก็บ 7 และ 14 วันมีค่าใกล้เคียงกัน แล้วมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เมื่อระยะการเก็บ 21-28 วัน ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่งที่ 55 องศาเซลเซียสเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เมื่อทำนายอายุการเก็บรักษาโดยใช้สมการของ Labuza (1982) ดังสมการที่ 9 และสมการที่ 10 สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาที่สภาวะการเก็บรักษาจริง (อุณหภูมิห้อง 27±2 องศาเซลเซียส) แสดงดังตารางที่ 4-20 พบว่า ค่าคุณภาพที่ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้ง คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์และคะแนนความเข้มกลิ่นหืน เนื่องจาก อายุการเก็บรักษาที่ทำนายได้จากเกณฑ์ค่าคุณภาพดังกล่าวมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าค่าคุณภาพอื่น และพบว่า สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งที่อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส ได้นาน 43 วัน

การทำนายอายุการเก็บรักษาจากค่าปริมาณกรดไขมันอิสระค่าเปอร์ออกไซด์และคะแนนความเข้มกลิ่นหืน คำนวณได้ดังนี้

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 °C เท่ากับ 21 วัน ที่อุณหภูมิ 55 °C เท่ากับ 14 วัน ดังนั้น

Q_{10} = 21/ 14 = 1.5

การทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) คำนวณได้จาก

$Q_{10}^{\Delta/10} = t_R\,(27^{\circ}C)/\,t_2\,(55^{\circ}C)$

ในที่นี้ Δ = 55-27 = 28

ดังนั้น $t_R\,(27^{\circ}C)=(1.5)^{(28/10)}\times 14 = 43.57$ วัน

นั้นคือ สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งที่อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส ได้นาน 43 วัน

การทำนายอายุการเก็บรักษาจากค่าความเข้มสีน้ำตาลและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 °C เท่ากับ 21 วัน ที่อุณหภูมิ 55 °C เท่ากับ 7 วัน ดังนั้น

Q_{10} = 21/ 7 = 3

การทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) คำนวณได้จาก

$Q_{10}^{\Delta/10} = t_R\,(27^{\circ}C)/\,t_2\,(55^{\circ}C)$

ในที่นี้ Δ = 55-27 = 28

ดังนั้น $t_R\,(27^{\circ}C)=3^{(28/10)}\times 7 = 151.72$ วัน

นั้นคือ สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งที่อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส ได้นาน 151 วัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การทำนายอายุการเก็บรักษาจากปริมาณยีสต์และรา

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 °C เท่ากับ 14 วัน ที่อุณหภูมิ 55 °C เท่ากับ 7 วัน ดังนั้น

Q_{10} = 14/ 7 = 2

การทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) คำนวณได้จาก

$Q_{10}^{\Delta/10} = t_R\,(27^{\circ}C)/\,t_2\,(55^{\circ}C)$

ในที่นี้ Δ = 55-27 = 28

ดังนั้น $t_R\,(27^{\circ}C)=2^{(28/10)}\times 7$ = 48.75 วัน

นั้นคือ สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งที่อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส ได้นาน 48 วัน

ตารางที่ 4-12 ค่าดัชนีความขาวของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	อุณหภูมิห้อง^{ns}	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
7	53.67^{a} ± 0.09	49.25^{cA} ± 0.29	50.83^{bA} ± 0.32
14	55.40^{a} ± 0.98	48.45^{bA} ± 0.12	47.78^{bB} ± 1.68
21	51.81^{a} ± 0.09	36.99^{bB} ± 0.82	35.56^{bC} ± 1.09
28	49.33^{a} ± 0.18	33.06^{bC} ± 0.31	29.27^{cD} ± 0.08

$^{a-c}$ ค่าในแนวนอนเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$^{A-D}$ ค่าในแนวตั้งเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-13 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	อุณหภูมิห้อง^{ns}	45 องศาเซลเซียส^{ns}	55 องศาเซลเซียส^{ns}
7^{ns}	0.84 ± 0.03	0.86 ± 0.03	0.86 ± 0.00
14^{ns}	0.84 ± 0.01	0.87 ± 0.03	0.89 ± 0.01
21^{ns}	0.86 ± 0.00	0.90 ± 0.00	0.93 ± 0.01
28	0.87^{b} ± 0.00	0.92^{a} ± 0.00	0.95^{a} ± 0.00

$^{a-b}$ ค่าในแนวนอนเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

^{ns} ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4-14 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (mgKOH/ g) ในผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	อุณหภูมิห้อง	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
7	0.20 ± 0.02	0.25 ± 0.02	0.27 ± 0.01
14	0.26 ± 0.03	0.60 ± 0.05	1.01 ± 0.02
21	0.30 ± 0.03	0.97 ± 0.03	1.65 ± 0.06
28	0.35 ± 0.02	1.51 ± 0.05	2.20 ± 0.02

หมายเหตุ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน คือ 3 mgKOH/ g

ตารางที่ 4-15 ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEq/ kg) ของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	อุณหภูมิห้อง	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
7	2.23 ± 0.17	2.48 ± 0.22	2.73 ± 0.33
14	2.82 ± 0.02	4.38 ± 0.10	6.86 ± 0.09
21	3.07 ± 0.21	7.80 ± 0.39	11.01 ± 0.56
28	4.02 ± 0.28	10.09 ± 0.31	14.31 ± 0.29

หมายเหตุ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน คือ 10 mEq/ kg

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-16 คะแนนความเข้มด้านกลิ่นหืนจากสเกลเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตรของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	อุณหภูมิห้อง	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
7	1.31 ± 0.26	2.08 ± 0.50	3.05 ± 0.65
14	1.64 ± 0.21	2.49 ± 0.44	3.27 ± 0.42
21	4.81 ± 0.58	6.46 ± 0.70	8.02 ± 0.46
28	6.20 ± 0.33	7.64 ± 0.68	9.09 ± 0.38

หมายเหตุ เกณฑ์กำหนด คือ 7.4 ± 0.32

ตารางที่ 4-17 คะแนนความเข้มสีน้ำตาลจากสเกลเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตรของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	อุณหภูมิห้อง	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
7	5.42 ± 0.36	6.60 ± 0.49	9.84 ± 0.55
14	5.51 ± 0.34	7.50 ± 0.27	11.01 ± 0.22
21	5.82 ± 0.45	8.33 ± 0.28	6.46 ± 0.70
28	6.23 ± 0.41	9.84 ± 0.35	13.76 ± 0.39

หมายเหตุ เกณฑ์กำหนด คือ 8.93 ± 0.29

ตารางที่ 4-18 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/ g) ของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์		
	อุณหภูมิห้อง	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
7	1.30×10^{2}	1.15×10	1.32×10
14	1.63×10^{2}	2.58×10^{2}	1.04×10^{4}
21	6.91×10^{2}	1.11×10^{3}	3.90×10^{4}
28	1.15×10^{3}	5.60×10^{4}	8.56×10^{6}

หมายเหตุ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน คือ 1×10^{4} CFU/ g

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-19 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/ g) ของผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณยีสต์และรา		
	อุณหภูมิห้อง	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
7	1.13×10	8.75	8.87
14	8.79×10	9.91×10	2.11×10^2
21	6.37×10	6.50×10^2	8.31×10^2
28	9.76×10	1.02×10^3	2.78×10^3

หมายเหตุ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน คือ 1×10^2 CFU/ g

ตารางที่ 4-20 อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งที่ที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) จากการทำนาย

คุณภาพ	อายุการเก็บรักษาจากการทำนาย (วัน)
ปริมาณกรดไขมันอิสระ	43
ค่าเปอร์ออกไซด์	43
ความเข้มกลิ่นหืน	43
ความเข้มสีน้ำตาล	151
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	151
ปริมาณยีสต์และรา	48

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University