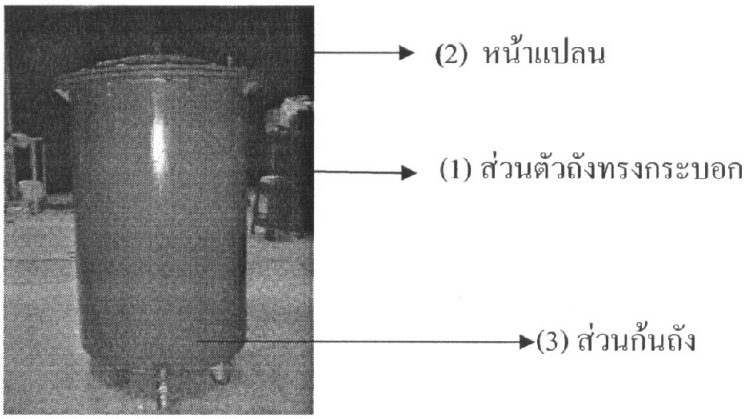
ผลและวิจารณ์

1. ผลการออกแบบถังความดัน

จากข้อกำหนดในการออกแบบดังที่กล่าวมาแล้วในวิธีการดำเนินการวิจัย รูปแบบของถังความดันมีลักษณะ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ภาพของถังความดันขนาด 200 ลิตร

ส่วนที่ (1) คือส่วนทรงกระบอก ส่วนที่ (2) คือส่วนฝาถังหรือหน้าแปลน และส่วนที่ (3) คือส่วนก้นถัง

ในการออกแบบและสร้างถังความดันเลือกใช้วัสดุเหล็กคาร์บอน E001 กำหนดถังความดันที่ออกแบบขนาด 200 ลิตร ที่มีความเค้นที่ σ_1 และ σ_2 ค่าความเค้นคราก = 340 MPa

ค่าประสิทธิภาพรอยต่อเชื่อม (E) = 0.5
ค่ากัดกร่อน (C.A.) = 0.16
ทรงกระบอกมีรัศมีภายใน (r) = 300 (mm),
ความดันออกแบบ (P) = 7 kg/mm^2 และ
(t) = ความหนาออกแบบของผนังภาชนะความดัน (mm)

1. ความหนาของส่วนทรงกระบอก $t = \dfrac{Pr}{2SE + 0.4P}$

$$= \frac{\{7 * 10^{5}\} * 0.3}{2 * \{340 * 10^{6}\}\{0.5\} + 0.4\{7 * 10^{5}\}} = 6.2 \text{ mm.}$$

เลือกใช้ที่มีความหนา 6.35 mm.

และตรวจสอบความดันสูงสุด $P = \dfrac{SEt}{R - 0.4t} = \dfrac{2 * \{340 * 10^{6}\} * \{6.2 * 10^{-4}\}}{0.3 - 0.4 * \{6.2 * 10^{-4}\}}$

$$= 0.703 \text{ MPa}$$

จะเห็นว่าาความดันใช้งานจริง มีค่าน้อยกว่าความดันสูงสุด ดังนั้นค่าความหนาที่ออกแบบ สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย และสามารถตรวจสอบความเค้นภายในทรงกระบอกในแนวรัศมี

ความเค้นตามแนวยาว $\sigma_1 = \dfrac{PD}{4t}$

$$= \frac{\{7 * 10^{5}\} * 0.3}{4 * \{6.2 * 10^{-4}\}} = 169.35 \text{ MPa}$$

ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง $\sigma_2 = \dfrac{PD}{2t}$

$$= \frac{\{7 * 10^{5}\} * 0.3}{2 * \{6.2 * 10^{-4}\}} = 338.71 \text{ MPa}$$

พบว่า σ_1 และ σ_2 มีค่าไม่เกินค่าความเค้นคราก 340 MPa จึงสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ความหนาของรอยเชื่อม ภาชนะความดันทรงกระบอก $t = \dfrac{Pr}{\eta S_d} = 5$ mm.

ดังนั้นรอยเชื่อมต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 5 mm เมื่อประสิทธิภาพของรอยเชื่อม = 0.5 mm.

2. ผลการออกแบบหน้าแปลนและสลักเกลียว

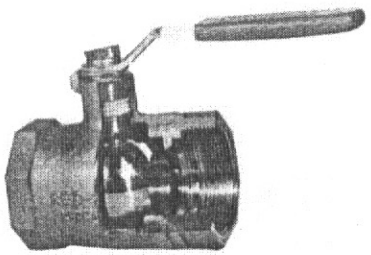
เนื่องจากถังความดันต้องมีการเจาะรูสำหรับติดเกจวัดความดัน วาล์วนิรภัย และวาล์วเปิด-ปิด ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบหน้าแปลนและเลือกซีล (seal) สำหรับภาชนะความดันเลือกใช้ซีลยาง (rubber seal) ซึ่งเป็นซีลที่สามารถรับแรงดันได้สูงd = 700 มิลลิเมตร สามารถคำนวณหาความหนาของหน้าแปลนได้

$$t = d\sqrt{0.13P/SE} = 8.09 \text{ mm}$$

จึงเลือกใช้ความหนาหน้าแปลนที่ 10 mm.

3. ผลการเลือกใช้วาล์ว

เนื่องจากในการทดลองการดอง, ปรุงรส และแช่อิ่มฝรั่งต้องมีการปรับความดันตั้งแต่ 0-5 บาร์ จึงต้องมีการใช้วาล์วในการควบคุมการเปิด-ปิดอากาศอัด ดังนั้น ใช้เปิด-ปิด การไหลและบังคับการไหล ใช้สำหรับงานที่ต้องการเปิด-ปิด อย่างรวดเร็ว ง่ายต่อการบำรุงรักษา การไหลผ่านวาล์วที่ตรงออกไปทำให้มีความดันลดเกิดขึ้นน้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้วาล์วแบบบอลวาล์ว (ball valve) ดังแสดงในภาพที่ 15

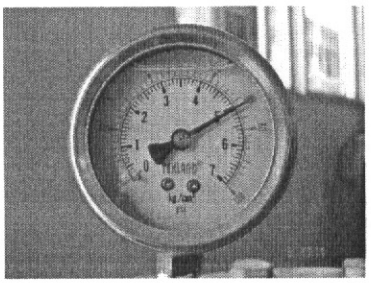


ภาพที่ 15 บอลวาล์ว ที่เลือกใช้เพื่อเป็นวาล์วควบคุมการเปิด-ปิด และควบคุมอัตราการไหล

ที่มา: ตระการ (2544)

เพื่อป้องกันความดันไม่ให้สูงเกินความต้องการขณะทำการทดลองจึงต้องใช้วาล์วระบายความดัน (relief valve) ขณะทำการทดลองกำหนดให้มีการทดลองที่ความดัน ในระดับต่างๆ เช่น ที่ความดัน 1, 2, 3, 4 และ 5 บาร์ จึงต้องมีมาตรวัดความดัน (Pressure gage) เพื่อความสะดวกในการ

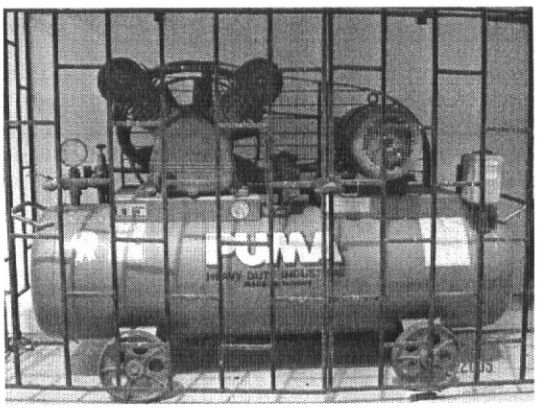
ทำงาน โดยติดตั้งบริเวณฝาถัง เพื่อตรวจสอบระดับความดันให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา โดยเลือกใช้มาตรวัดความดันขนาด 7 บาร์ จำนวน 1 อัน ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 มาตรวัดความดัน (Pressure Gage)

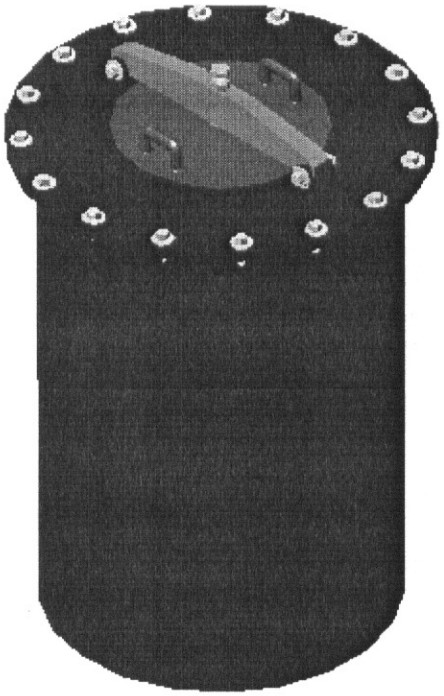
4. การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศ

เนื่องจากอากาศอัดที่ใช้งานทดลองการดอง, ปรุงรส และแช่อิ่มฝรั่งนั้นมีสภาวะคงที่ และค่าไม่มากจึงสามารถใช้เครื่องอัดอากาศดังแสดงในภาพที่ 17

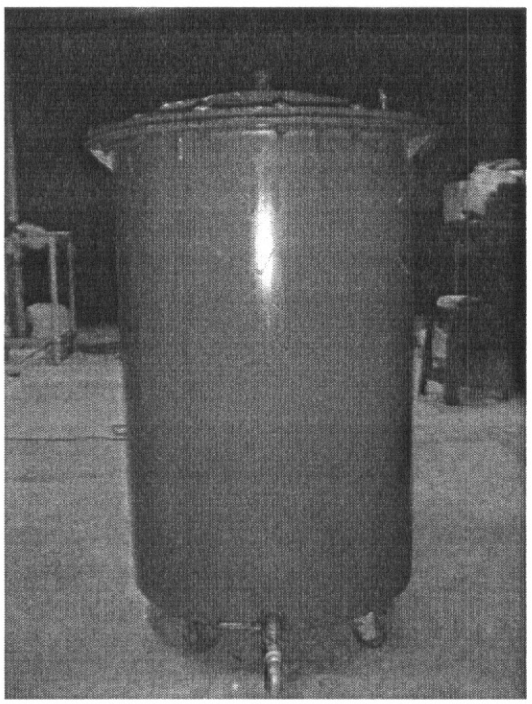


ภาพที่ 17 เครื่องอัดอากาศที่ใช้งาน

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบถังความดันและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดแล้ว ได้ดำเนินการเขียนแบบทางวิศวกรรมดังแสดงในภาพที่ 18 รายละเอียดของแบบได้จัดแสดงไว้ในภาคผนวก ก และทำการสร้างถังความดัน ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 18 ถังความดันที่ออกแบบ



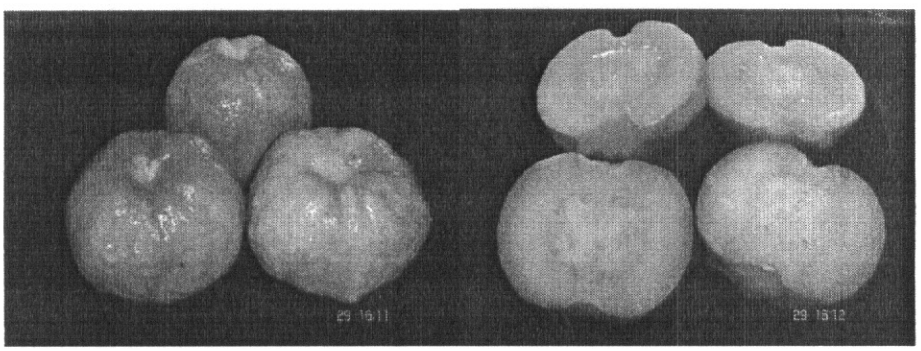
ภาพที่ 19 ถังความดันขนาด 200 ลิตร

2. ผลการศึกษาคุณภาพบางประการของฝรั่งสด ฝรั่งดอง ฝรั่งปรุงรส และฝรั่งแช่อิ่ม ด้วยวิธีปกติ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น ความต้านทานแรงกด วิตามินซี ของฝรั่งสด ฝรั่งดอง ฝรั่งปรุงรส และ ฝรั่งแช่อิ่ม ด้วยวิธีปกติ

ตัวอย่าง	ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ความต้านทานแรงกด (นิวตัน)	วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)
ฝรั่งสด	0.00	1.98	88.68	20.07	108
ฝรั่งดอง	5.19	2.10	76.41	33.59	77.53
ฝรั่งปรุงรส	1.23	1.29	77.48	24.19	67.74
ฝรั่งแช่อิ่ม	0.00	1.90	86.23	25.84	70.18

ปริมาณกรดและปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้ในฝรั่งสด ฝรั่งดอง ฝรั่งปรุงรส และฝรั่งแช่อิ่ม เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมของฝรั่งและความชื้นเป็นองค์ประกอบของเซลล์ ปริมาณกรดและความชื้นที่วิเคราะห์ได้ในฝรั่งสด เท่ากับร้อยละ 1.98, 88.68 ใน ฝรั่งดอง เท่ากับร้อยละ 2.10, 76.41 โดยน้ำหนัก ฝรั่งปรุงรส เท่ากับร้อยละ 1.29, 77.48 โดยน้ำหนัก และ ฝรั่งแช่อิ่มเท่ากับร้อยละ 1.90, 86.23 โดยน้ำหนัก ฝรั่งสดมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด เนื่องจากฝรั่งสดไม่ผ่านกระบวนการที่เกิดการสูญเสียวิตามินซี ฝรั่งสดความต้านทานแรงกดสูงสุด ฝรั่งดองมีความต้านทานแรงกดมากกว่าฝรั่งแช่อิ่มและฝรั่งปรุงรสตามลำดับ เนื่องจากภายในเซลล์มีน้ำและของเหลวอยู่มากทำให้เซลล์มีลักษณะเต่ง (Salunkhe และ Kadam, 1998)



ภาพที่ 20 ลักษณะภายในและภายนอกของฝรั่งสด

3. ผลการศึกษาวิธีการทำฝรั่งดอง ฝรั่งแช่อิ่ม และฝรั่งปรุงรสโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก และความดันบรรยากาศ

1. ผลการศึกษาผลของความดัน

1.1 ผลการศึกษาผลของความดันของฝรั่งดอง

การผลิตฝรั่งดองโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก ผลการวิเคราะห์ฝรั่งที่ได้จากการดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 300 กิโลปาสคาล มีปริมาณเกลือเข้าสู่จุดสมดุลโดยใช้เวลาในการดอง 6 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 400 กิโลปาสคาล ใช้เวลาในการดอง 5 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ใช้เวลาในการดอง 4 ชั่วโมง และสภาวะความดันบรรยากาศ (ไม่อัดความดัน) ใช้เวลาในการดอง 48 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าการดองภายใต้ความดันสูงสามารถทำให้อัตราการแพร่ของเกลือเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้เร็วกว่าความดันต่ำ ส่วนปริมาณกรดและความชื้นจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเกลือมากขึ้น ดังผลในตารางที่ 5

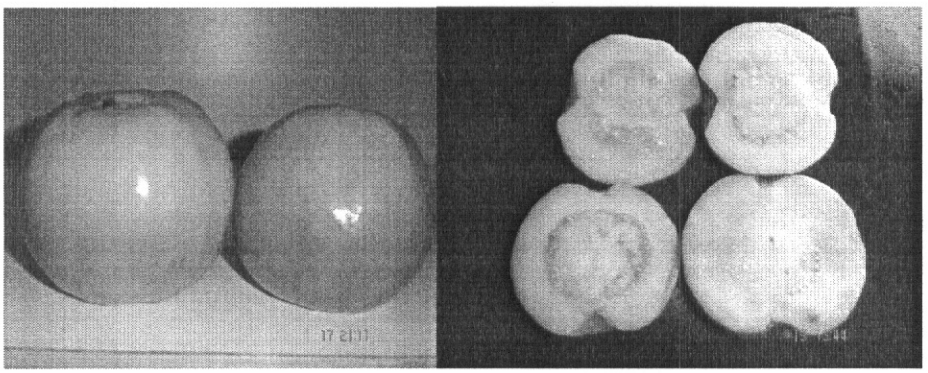
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และความต้านทานแรงกดของฝรั่งดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ ที่เวลา 6, 5, 4 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ความต้านทานแรงกด (นิวตัน)
300	6	5.18	2.12	80.10	43.39
400	5	5.13	1.91	85.90	44.76
500	4	5.18	2.12	80.60	31.09
ความดันบรรยากาศ	48	5.19	2.10	76.41	33.59

การเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือและการลดลงของปริมาณกรด เกิดจากการปรับสมดุลของเกลือและกรดภายในและภายนอกเซลล์ให้มีปริมาณเท่ากัน เมื่อพิจารณาปริมาณกรด

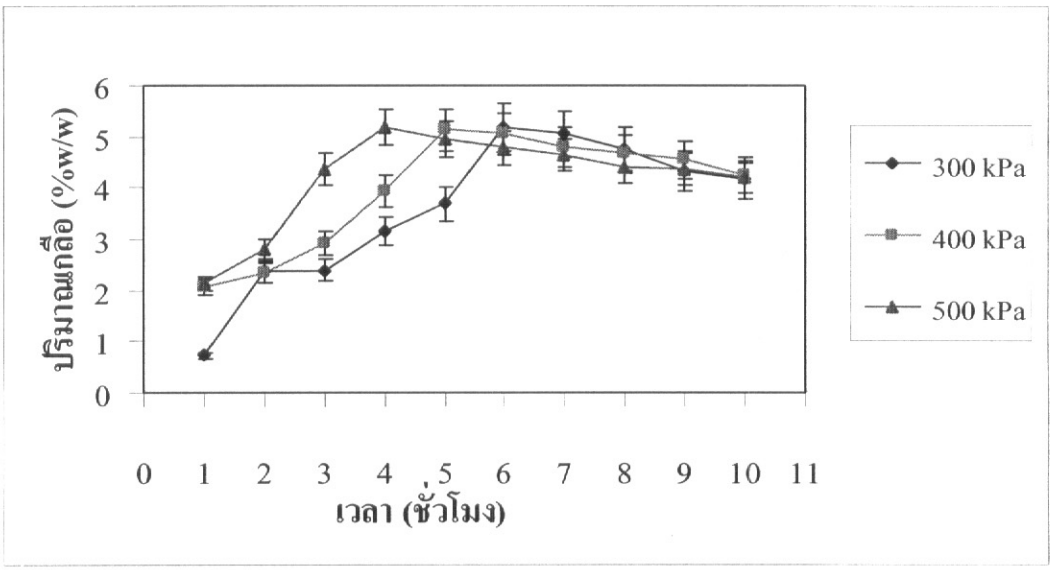
พบว่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำดองที่มากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกรดในเนื้อผลไม้ลดลง (ฟอง จันทร์, 2543) การแพร่ของเกลือจากน้ำดองเข้าสู่ฝรั่งอาศัยกลไกที่เรียกว่า passive transport คือการแพร่ของตัวถูกละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อย (Damell *et.al.*, 1986) ความชื้นก็จะลดลงเกิดจากความเข้มข้นภายนอกเซลล์มากกว่าความเข้มข้นภายในเซลล์ ทำให้น้ำภายในไหลออกภายนอกเซลล์ และเกิดจากเกลือแพร่เข้าไปในเนื้อ จะไปลดความชื้นโดยจับกับน้ำอิสระภายในเซลล์ (มณฑาทิพย์, 2545) ค่าความต้านทานแรงกดจะมีค่ามากขึ้นตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น

การดองฝรั่งภายใต้สภาวะความดันสูงนั้นสามารถช่วยให้การแพร่ของเกลือเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้ดีขึ้น พบว่าที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่เวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณเกลือสามารถแพร่เข้าสู่เนื้อฝรั่งได้มากที่สุด (ภาพที่ 21) เนื่องจากที่ระดับความดันนี้ทำให้อัตราการแพร่ของเกลือมีมากขึ้น เพราะความดันมีผลให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย ความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านจึงมีมากขึ้น ส่วนปริมาณกรด และความชื้นจะลดลงตามปริมาณเกลือ



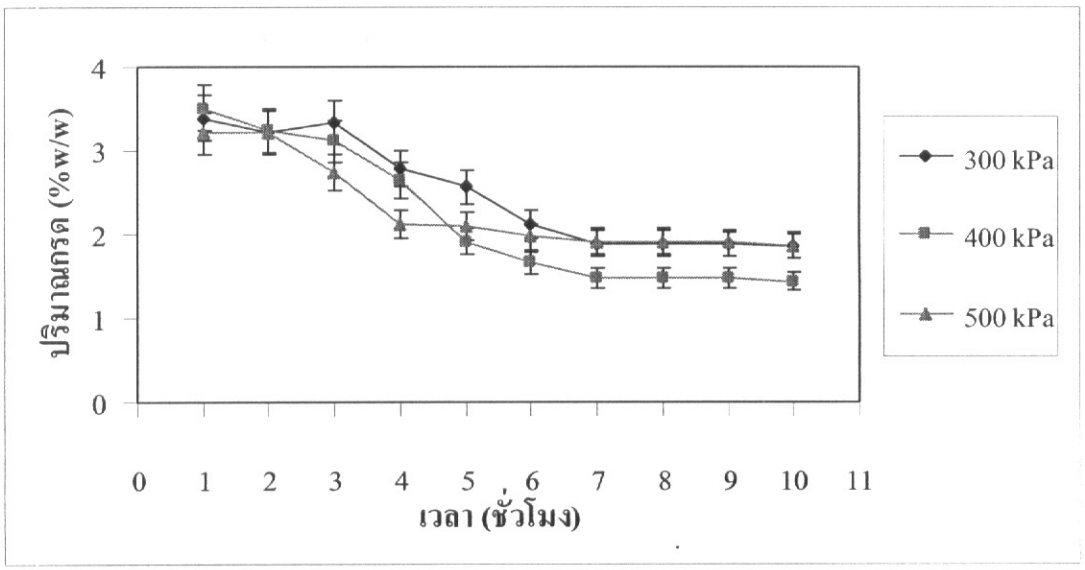
ภาพที่ 21 ฝรั่งดองที่ดองภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

จากการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นในเนื้อฝรั่ง จะแปรผันกับจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อถึงจุดสมดุลของกระบวนการออสโมซีส ดังภาพที่ 22



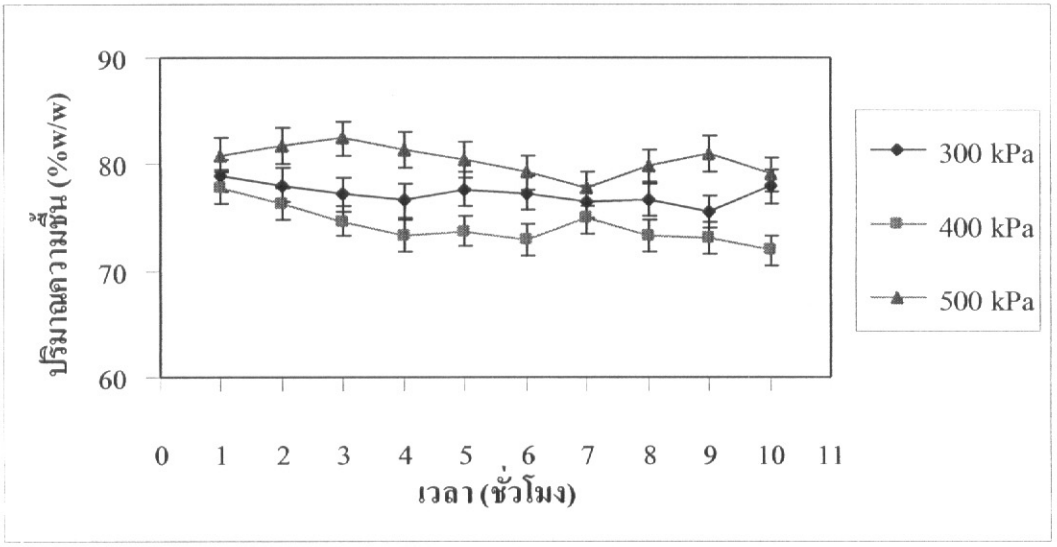
ภาพที่ 22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนักในเนื้อฝรั่งในแต่ละชั่วโมง ที่ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดที่ลดลงในเนื้อฝรั่ง จะแปรผันกันกับปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าความดันทำให้อัตราแพร่ของเกลือมีมากขึ้น ทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย ความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านจึงมีมากขึ้น ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกรดที่ความเข้มข้นร้อยละเกลือ10 โดยน้ำหนักในเนื้อฝรั่งในแต่ละชั่วโมง ที่ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นในเนื้อฝรั่ง จะส่งผลกับปริมาณความชื้น เนื่องจากว่าความดันทำให้อัตราแพร่ของเกลือมีมากขึ้น โดยผ่านกระบวนการออสโมซีส ที่น้ำเกลือทำการแพร่จากความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเคาวามชื้นที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในเนื้อฝรั่งในแต่ละชั่วโมง ที่ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

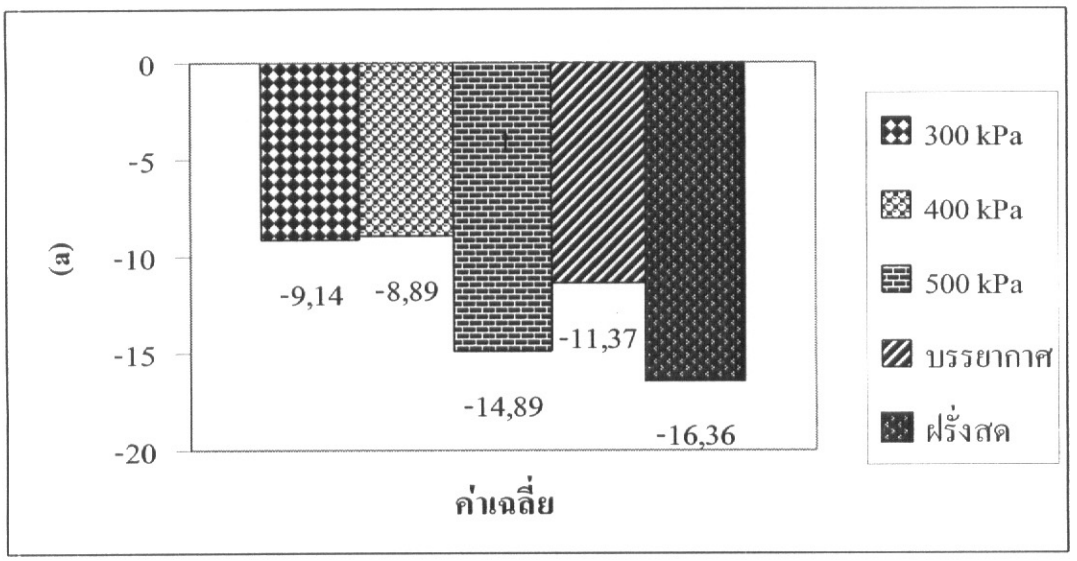
จากการนำฝรั่งดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาที่ปริมาณเกลือเข้าสู่จุดสมดุล การดองแบบปกติ ใช้เวลา 48 ชั่วโมง และภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล ใช้เวลา 6, 5, 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ไปวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ของฝรั่งดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 6, 5, 4 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

ความดัน (กิโลปาสคาล)	วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)
300	59.32
400	64.92
500	75.73
ความดันบรรยากาศ	66.53

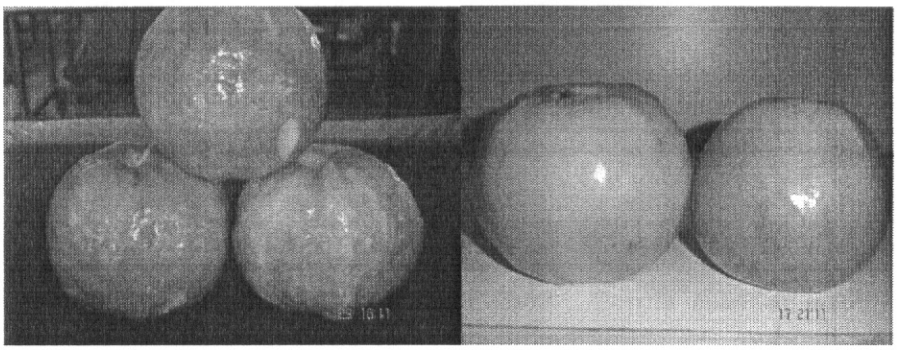
ปริมาณวิตามินซีเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อชีวิต เพราะเป็นตัวช่วยให้ร่างกายสามารถปฏิบัติงานได้ตามปกติ เพราะวิตามินซีช่วยในการป้องกันการเกิดโรคลักปิดลักเปิด ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดเหงือกบวม พรุน ฟันร่วง โลหิตจาง ดังนั้นร่างกายของเราต้องการวิตามินซี เพื่อนำไปใช้ดำรงชีวิตตามปกติ พบว่าร่างกายมีความต้องการวิตามินซี วันละ 60-90 มิลลิกรัม นักโภชนาการประมาณว่าฝรั่งจะมีวิตามินซี ประมาณ 100-250 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร (ชัชวดี, 2545) จากการดองภายใต้ความดันสูง และระยะเวลาสั้น จะทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการใช้ความดันต่ำและระยะเวลานาน เนื่องมาจากวิตามินซีเป็นวิตามินที่สามารถละลายน้ำได้ ปริมาณการสูญเสียน้ำออกจากผลทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากฝรั่งทำให้มีการสูญเสียกรด ascorbic มากขึ้น (จริงแท้, 2544)

จากการศึกษาคุณภาพของสีจากการนำฝรั่งดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 มาดองภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 6, 5, 4 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟแสดงค่าความเข้มสีของฝรั่งดองที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล สภาวะความดันบรรยากาศ และฝรั่งสด

สีของฝรั่งดองจะเป็นสีเขียวอ่อนเนื่องจากคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวในฝรั่งถูกทำลายด้วยกรดที่ผลิตขึ้นจากจุลินทรีย์ ทำให้อะตอมของแมกนีเซียมหลุดออกไปจากหัวโมเลกุล ได้สาร pheophytin ซึ่งยังคงมีสีเขียวอยู่โดยสีเขียวของคลอโรฟิลล์จะหมดไปก็ต่อเมื่อ pheophytin ถูกทำลายลง การสูญเสียสีเขียวของฝรั่งเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการปรากฏขึ้นของสีเหลืองและสีแดง ซึ่งเป็นสารสีอีกประเภทหนึ่งคือ คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างไปจากคลอโรฟิลล์ (สายชล, 2528 และ จริงแท้, 2544) ฝรั่งสดจึงมีสารคลอโรฟิลล์มากกว่าฝรั่งดองที่ผ่านกระบวนการผลิต ดังภาพที่ 25



(ก) (ข)

ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบคุณภาพสีของฝรั่งสดและฝรั่งดอง
(ก) สีของฝรั่งสด (ข) สีของฝรั่งดอง

1.2 ผลการศึกษาผลของความดันของฝรั่งปรุงรส

การผลิตฝรั่งปรุงรสโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก ผลการวิเคราะห์ฝรั่งที่ได้จากการปรุงรส ภายใต้ความดัน 300 กิโลปาสคาล มีปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลเข้าสู่จุดอิ่มตัว ใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 400 กิโลปาสคาลใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาลใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และสภาวะความดันบรรยากาศ ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการปรุงรสฝรั่งภายใต้ความดันสูงสามารถทำให้อัตราการแพร่ของเกลือและน้ำตาลเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้เร็วกว่าความดันต่ำ ส่วนปริมาณกรดจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเกลือและน้ำตาลมากขึ้น ดังผลในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความหวาน ความต้านทานแรงกด ของฝรั่งปรุงรส ภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 6, 4, 3 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความหวาน (บริกซ์)	ความต้านทานแรงกด (นิวตัน)
300	6	1.24	1.33	23.54	29.28
400	4	1.25	1.32	23.51	31.76
500	3	1.26	1.32.	23.54	25.33
ความดันบรรยากาศ	24	1.23	1.29	23.52	24.19

เกลือและปริมาณความหวานมีปริมาณเพิ่มขึ้นส่วนปริมาณกรดจะมีการลดลง เกิดจากการปรับสมดุลเพื่อให้ปริมาณภายในและภายนอกเซลล์มีปริมาณที่เท่ากัน การแพร่ของเกลือและน้ำตาลจากน้ำดองเข้าสู่ฝรั่งอาศัยกลไกที่เรียกว่า passive transport คือการแพร่ของตัวถูกละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อย (Damell *et.al.*, 1986) ค่าความต้านทานแรงกดจะมีค่ามากขึ้นตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น

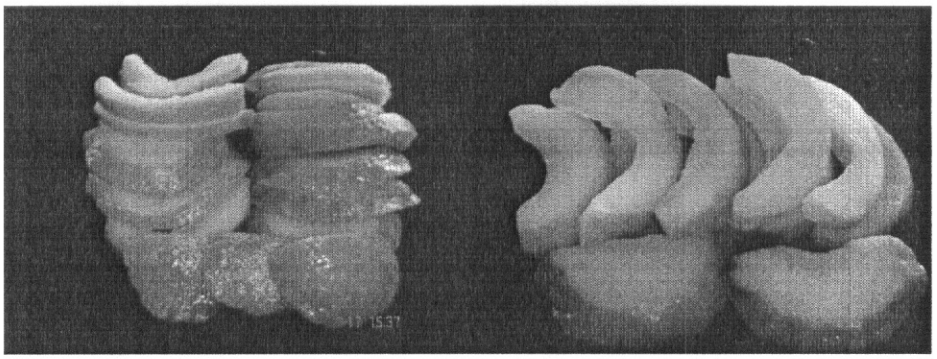
จากการนำฝรั่งปรุงรส ที่ภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 6, 5, 4 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ไปวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ของฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 6, 4, 3 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

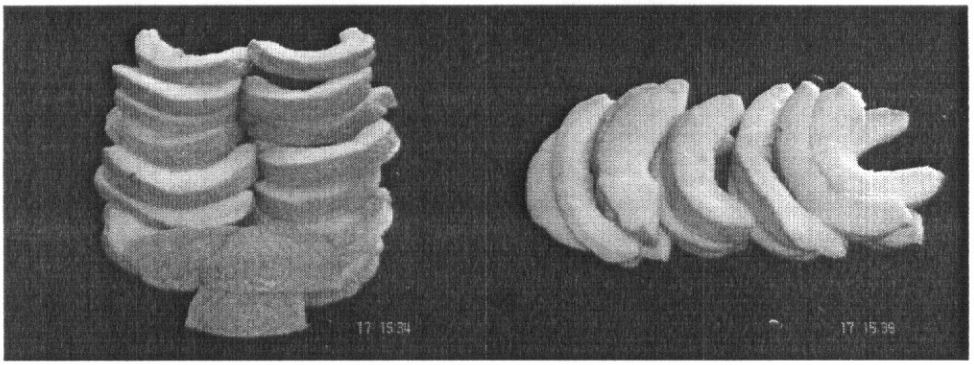
ความดัน (กิโลปาสคาล)	วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)
300	79.07
400	89.59
500	80.36
ความดันบรรยากาศ	67.74

วิตามินซีจัดเป็นวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสร้างวิตามินซีเองได้ จึงได้มาจากการรับประทานผักและผลไม้ที่มีวิตามินซีอยู่ วิตามินซียังสามารถช่วยพัฒนาเชาว์ปัญญา สามารถแก้ไขพฤติกรรม และสามารถป้องกันโรคหอบหืดได้ (ปาริชาติ และคณะ 2540) ปริมาณวิตามินซีที่ร่างกายต้องการเพื่อนำไปใช้ดำรงชีวิต ร่างกายต้องการวิตามินซี วันละ 60-90 มิลลิกรัม นักโภชนาการประมาณว่าฝรั่งจะมีวิตามินซี ประมาณ 100-250 มิลลิกรัม/100มิลลิลิตร (ชัชวดี, 2545) การสูญเสียน้ำออกจากผลฝรั่งทำให้ฝรั่งมีการสูญเสียกรด ascorbic มากขึ้น (จริงแท้, 2544) ดังนั้นการใช้ระยะเวลานานก็จะส่งผลให้ฝรั่งปรุงรสมีการสูญเสียกรด ascorbic มากขึ้นด้วย

ฝรั่งปรุงรสภายใต้สภาวะความดันสูงนั้นสามารถช่วยให้การแพร่ของเกลือและน้ำตาลเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้มาก และดีกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ (ภาพที่ 26 และ ภาพที่ 27) พบว่าที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล ปริมาณเกลือ ปริมาณความหวานสามารถแพร่เข้าสู่เนื้อฝรั่งได้มากที่สุดที่ระยะเวลาเท่ากัน เมื่อเทียบกับที่ระดับความดัน 300, 400 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ ที่ระดับความดัน 500 กิโลปาสคาล นี้ทำให้อัตราการแพร่ของเกลือและน้ำตาลมีมากขึ้น เนื่องจากความดันมีผลทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย สามารถในการยอมให้สารซึมผ่านจึงมีมากขึ้น และที่ความดันบรรยากาศการแพร่ของเกลือและน้ำตาลเกิดขึ้นได้ช้า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหี่ยว

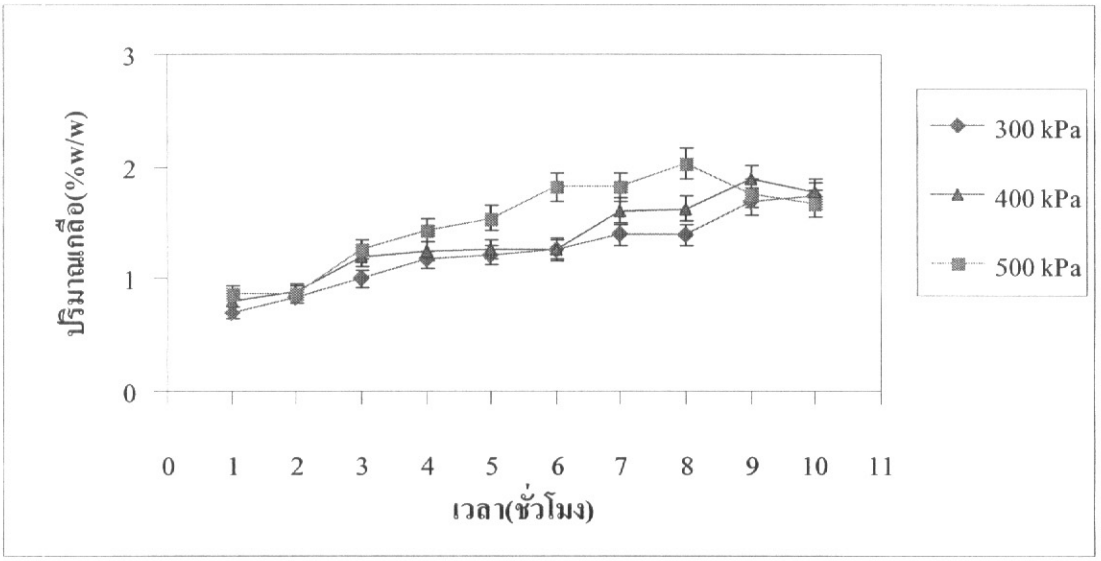


ภาพที่ 26 ลักษณะทางกายภาพของฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

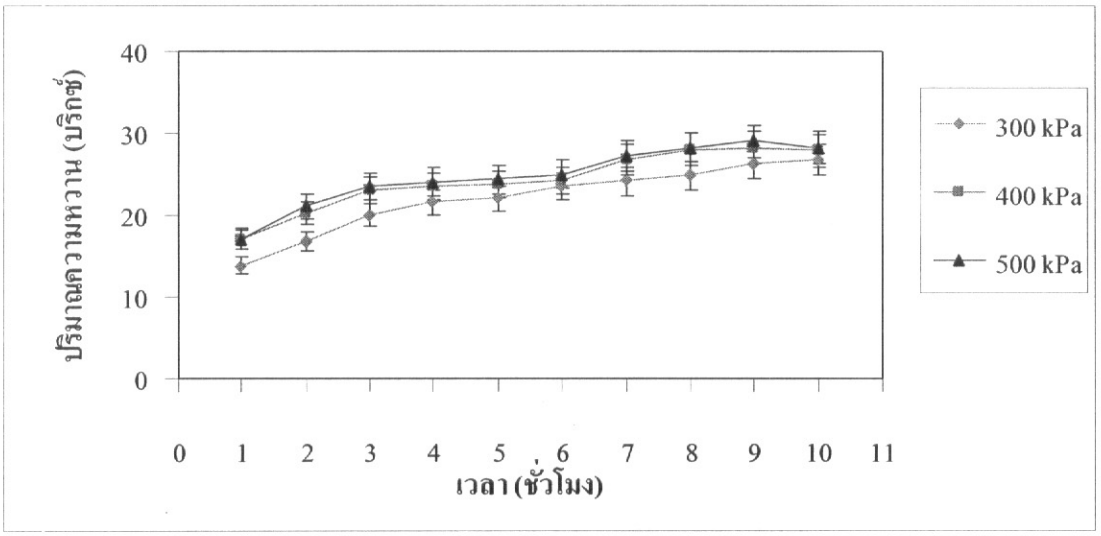


ภาพที่ 27 ลักษณะทางกายภาพของฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือและน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในเนื้อฝรั่งจะแปรผันกับปริมาณกรดที่ลดลง เนื่องจากว่าความดันสูงทำให้อัตราการแพร่ของเกลือและน้ำตาลเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้ดีกว่าความดันต่ำ เพราะความดันสูงส่งผลทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย ความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านจึงมีมากขึ้น ปริมาณเกลือและปริมาณความหวานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทดลอง ดังภาพที่ 28 และ ภาพที่ 29

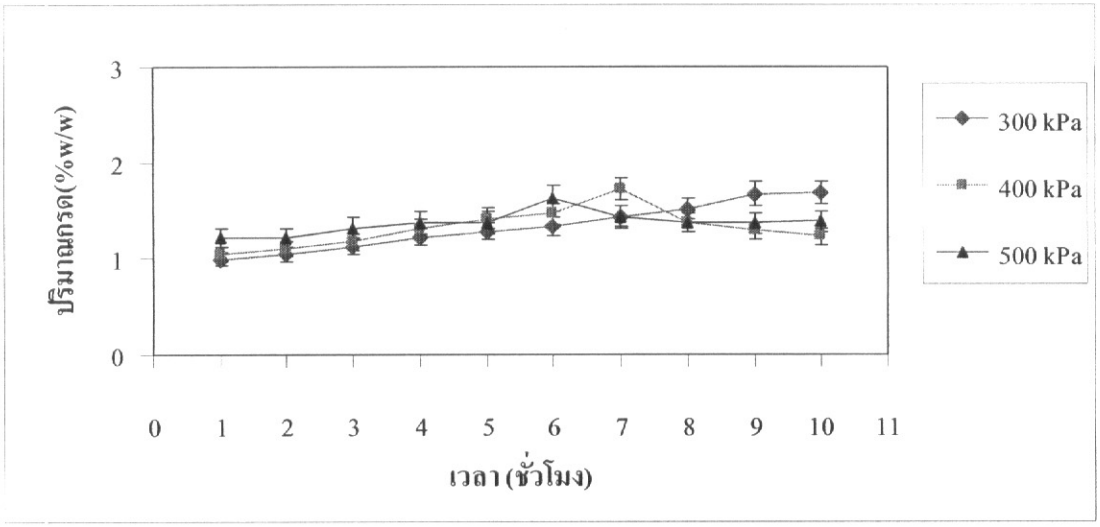


ภาพที่ 28 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือในเนื้อฝรั่งปรุงรสในแต่ละชั่วโมง ภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล



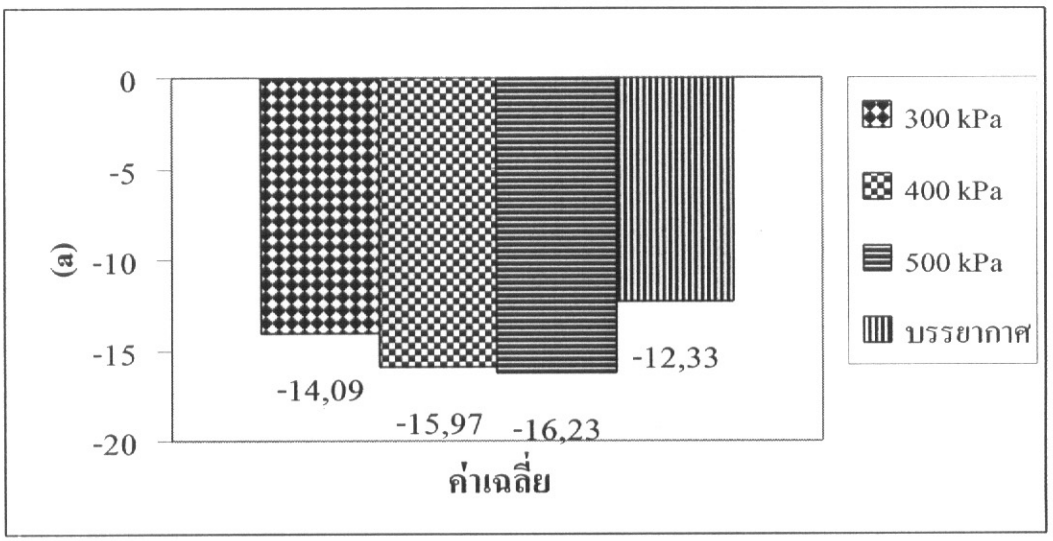
ภาพที่ 29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความหวานในเนื้อฝรั่งปรุงรสในแต่ละชั่วโมง ภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือและน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในเนื้อฝรั่ง จะส่งผลทำให้ปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นและลดลงตามความเข้มข้นของปริมาณเกลือและปริมาณความหวานที่ซึมเข้าสู่เนื้อฝรั่ง ดังภาพที่ 30



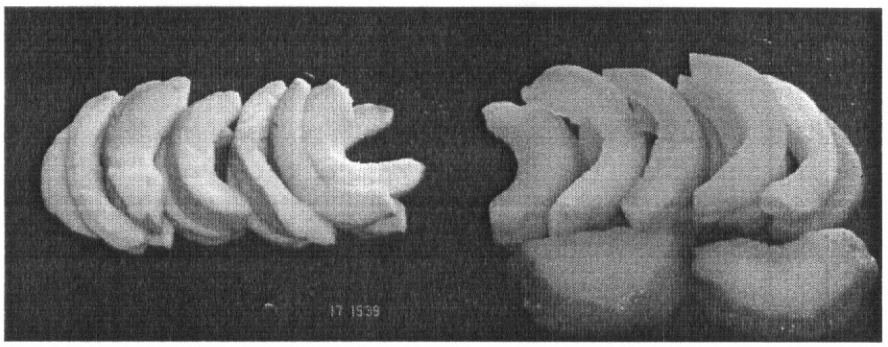
ภาพที่ 30 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในเนื้อฝรั่งปรุงรสในแต่ละชั่วโมง ภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

จากการศึกษาคุณภาพของสีของฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 6, 4, 3 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ผลการวิเคราะห์ คุณภาพสี ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 กราฟแสดงค่าความเข้มสีของฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ

การสูญเสียสีเขียวของฝรั่งเกิดจากสารคลอโรฟิลล์ถูกทำลายด้วยกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของฝรั่งปรุงรส (เอกสารปฏิบัติการงานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) จึงมีผลทำให้สีของฝรั่งสดมีสารสีเขียวชัดเจนกว่าฝรั่งปรุงรสที่ผ่านกระบวนการผลิต ดังภาพที่ 32



(a) (b)

ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบคุณภาพสีของฝรั่งปรุงรสที่สภาวะความดันปกติ (a) และที่ ความดัน 500 กิโลปาสคาล (b)

1.3 ผลการศึกษาผลของความดันของฝรั่งแช่อิ่ม

จากการศึกษาการแช่อิ่มฝรั่งภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ ที่ระดับความเข้มข้น 50, 60 และ 70 บริกซ์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความหวาน ปริมาณกรด ความต้านทานแรงกด และวิตามินซี เป็นเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง ดังตารางที่ 9 ตารางที่ 10 และตารางที่ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ปริมารความหวาน ปริมาณกรด ความต้านทานแรงกด วิตามินซี ที่ความเข้มข้น 50 บริกซ์ ภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 12, 10, 8 ชั่วโมง และ 15 วัน ตามลำดับ

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความหวาน(บริกซ์)	ความต้านทานแรงกด(นิวตัน)	วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)
300	12	1.76	33.19	21.65	69.20
400	10	1.75	33.38	29.89	77.26
500	8	1.65	33.29	25.58	78.01
ความดันบรรยากาศ	360	1.70	33.20	23.77	72.63

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความหวาน ปริมาณกรด ความต้านทานแรงกด วิตามินซี ที่ความเข้มข้น 60 บริกซ์ ภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 11, 9, 8 ชั่วโมง และ 15 วัน ตามลำดับ

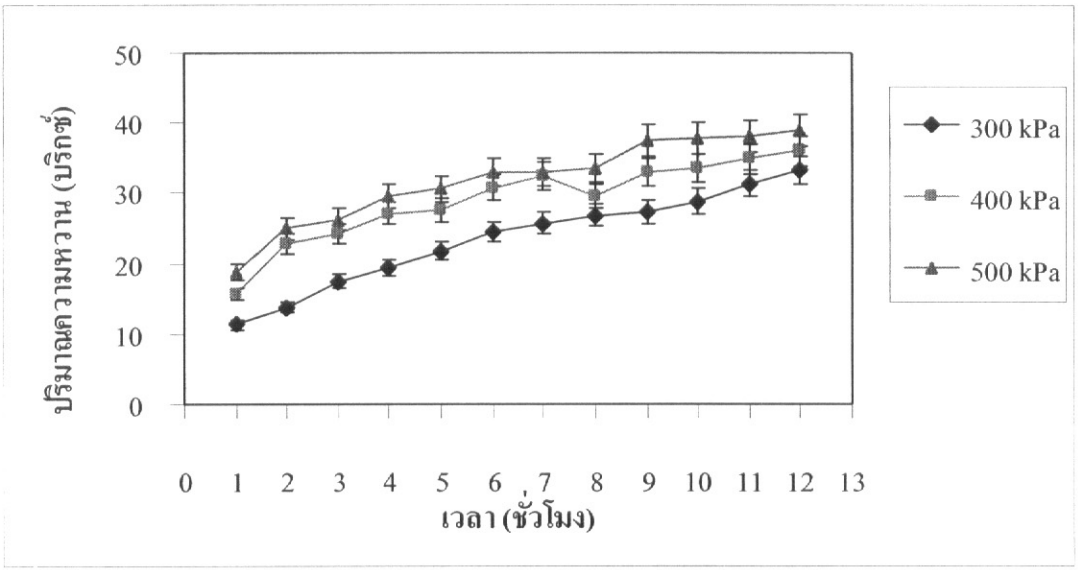
ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความหวาน(บริกซ์)	ความต้านทานแรงกด(นิวตัน)	วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)
300	11	1.53	33.20	22.70	64.26
400	9	1.55	33.53	21.65	71.09
500	8	1.51	34.96	22.35	76.87
ความดันบรรยากาศ	360	1.49	33.20	23.84	75.08

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความหวาน ปริมาณกรด ความต้านทานแรงกด วิตามินซี ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ ภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 8, 8, 6 ชั่วโมง และ 15 วัน ตามลำดับ

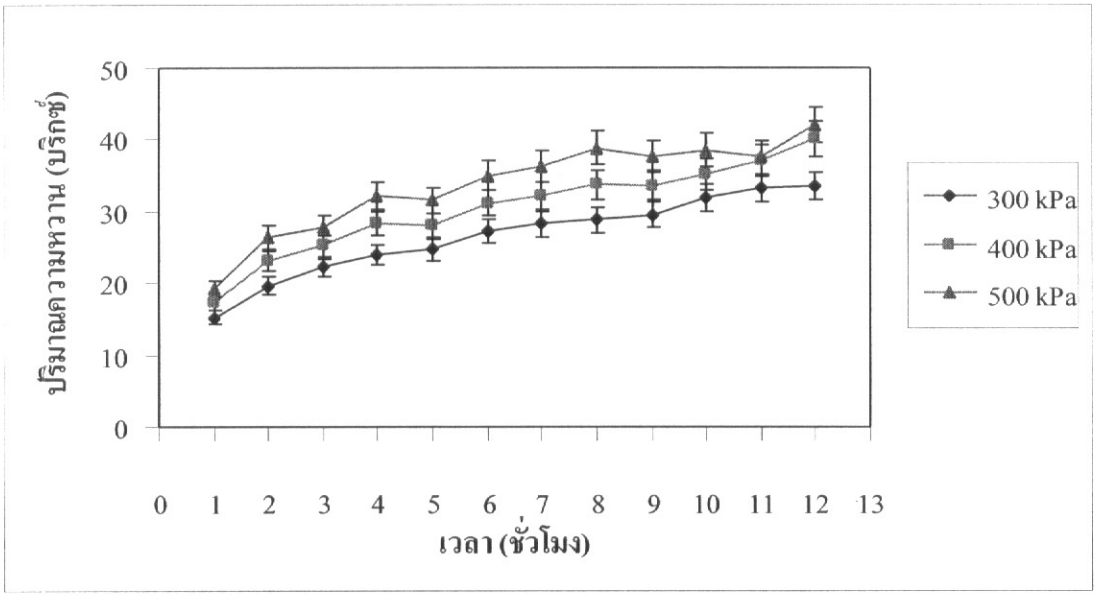
ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความหวาน(บริกซ์)	ความต้านทานแรงกด (นิวตัน)	วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)
300	11	1.8	33.38	27.25	74.13
400	9	1.88	33.33	29.58	83.43
500	8	1.89	34.16	28.77	79.15
ความดันบรรยากาศ	360	1.9	33.20	25.84	70.18

จากผลการทดลองจากตารางการแช่อิ่มที่ความเข้มข้นและระดับความดันสูง จะทำให้ปริมาณน้ำตาลซึมเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นและระดับความดันต่ำ เนื่องจากน้ำตาลจะช่วยดึงน้ำออกจากผักและผลไม้ ขณะเดียวกันน้ำตาลก็จะซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้แทนอณูของน้ำจนอิ่มตัว และส่งผลให้ผักและผลไม้นั้นมีรสหวานมากขึ้น (การถนอมผลิตผลทางการเกษตร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2549)

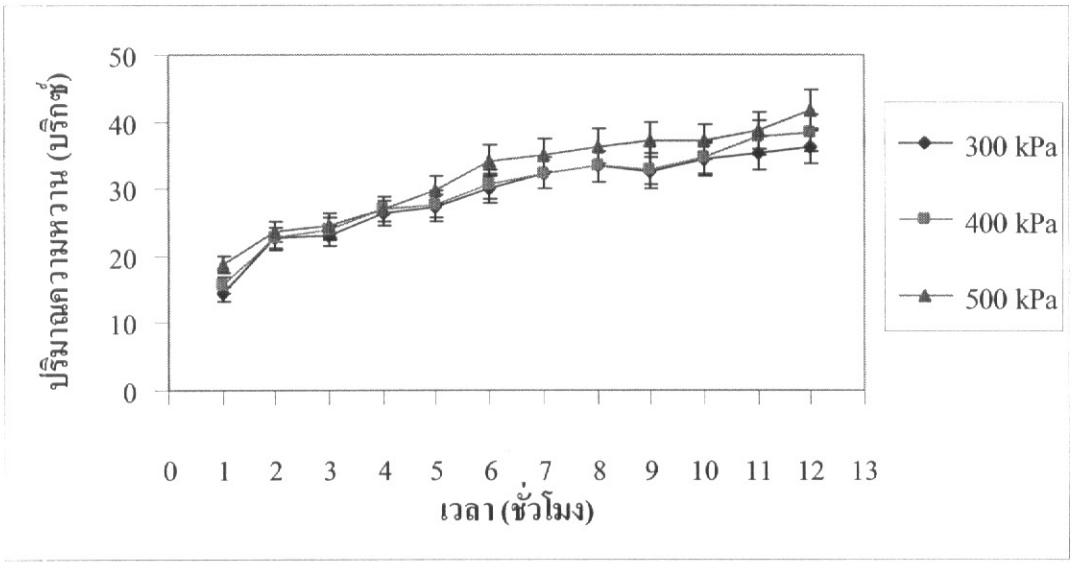
จากการทดลองที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ความเข้มข้น 50, 60 และ 70 บริกซ์ การแช่อิ่มฝรั่งภายใต้สภาวะความดันสูงนั้น สามารถช่วยให้การแพร่ของน้ำตาลเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้ดีกว่าการแช่อิ่มที่ความดัน 300, 400 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ (ดังภาพที่ 33, 34 และ 35) ซึ่งในการแช่อิ่มแบบปกติต้องอุ่นน้ำเชื่อมในการแช่อิ่ม เป็นการเสียเวลา ถ้ามีการนำความดันไฮโดรสแตติกมาใช้ในกระบวนการผลิตจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตฝรั่งแช่อิ่มได้



ภาพที่ 33 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความหวานในเนื้อฝรั่งแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 50 บริกซ์ ภายใต้สภาวะความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล



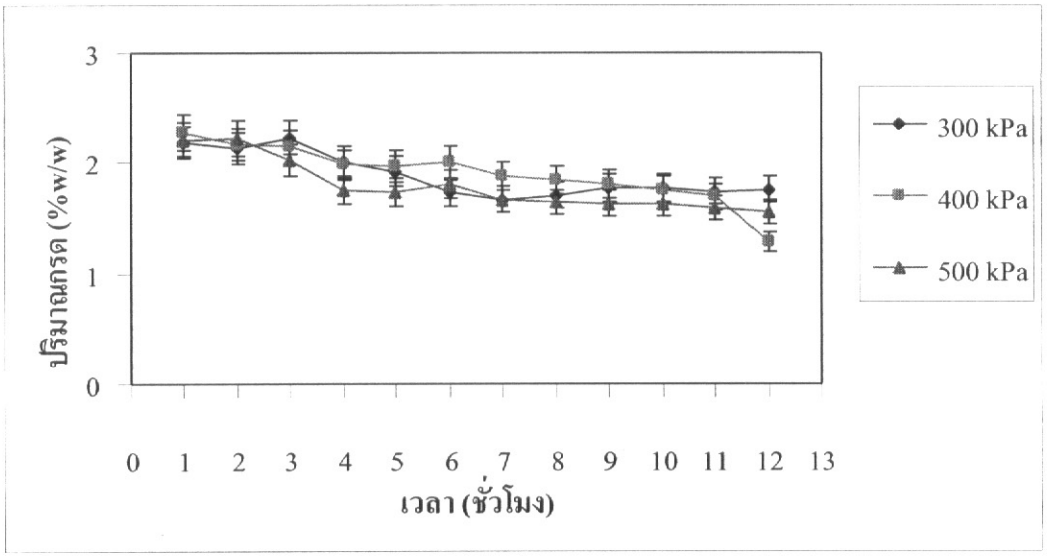
ภาพที่ 34 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความหวานในเนื้อฝรั่งแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 60 บริกซ์ ภายใต้สภาวะความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล



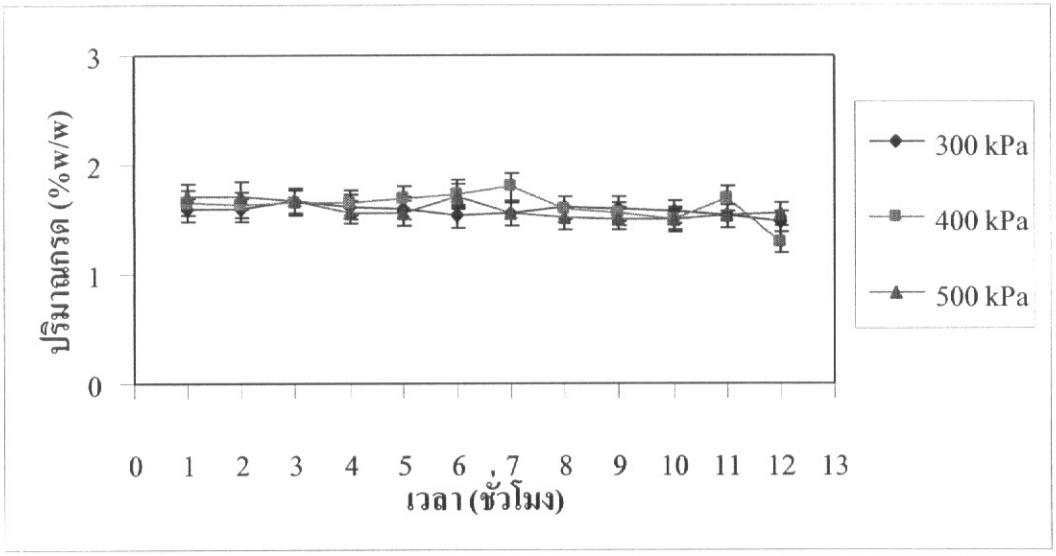
ภาพที่ 35 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความหวานในเนื้อฝรั่งแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ ภายใต้สภาวะความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

จากการแช่อิ่มฝรั่งทำให้ทราบว่าปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่ม เนื่องจากว่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นที่ทำการแช่อิ่มภายใต้ความดันทำให้ผนังเซลล์แตกและยอมให้มีการซึมผ่านของปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณของกรดเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อถึงจุดสมดุลของกระบวนการออสโมซีส (มณฑาทิพย์, 2545)

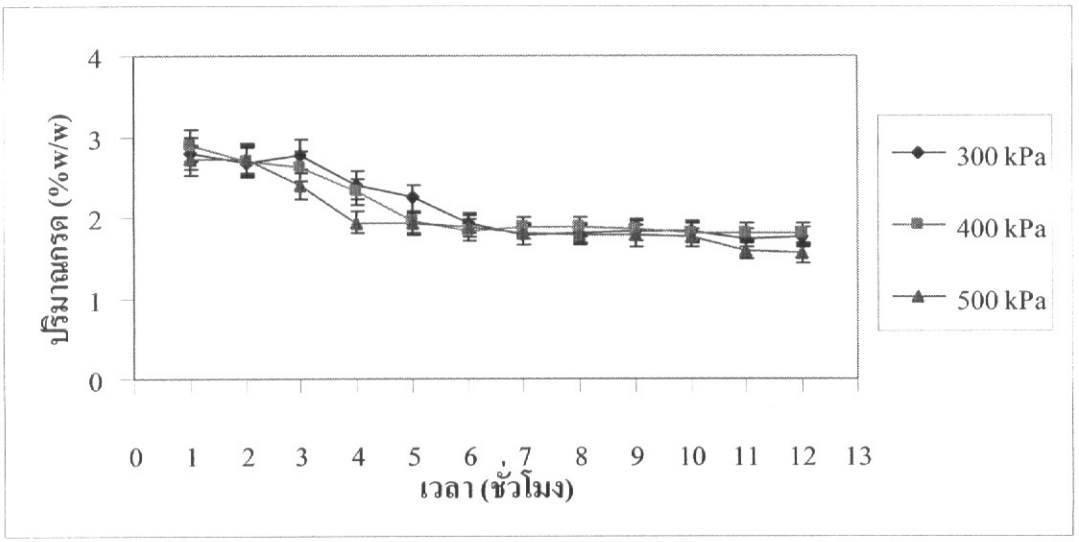
จากภาพที่ 36, 37 และ 38 ฝรั่งแช่อิ่มที่ความเข้มข้น50, 60 และ 70 บริกซ์ ตามลำดับ ภายใต้สภาวะความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล ปริมาณกรดจะเพิ่มตามระยะเวลาที่ทำการแช่อิ่มและจะลดลงเมื่อถึงจุดสมดุล จากภาพทำให้ทราบว่าที่ความเข้มข้น 50, 60 และ 70 บริกซ์ ความสมดุลของกรดอยู่ที่ระดับของความดัน ถ้าระดับของความดันสูงจะส่งผลทำให้เกิดความสมดุลที่กรดเร็วกว่าความดันต่ำ และความเข้มข้นของปริมาณน้ำตาลก็มีผลทำให้เกิดความสมดุลกรดเร็วขึ้นเช่นกัน(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2549)



ภาพที่ 36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในเนื้อฝรั่งแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 50 บริกซ์ ภายใต้สภาวะความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

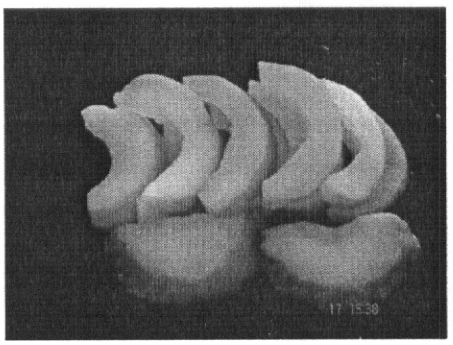


ภาพที่ 37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในเนื้อฝรั่งแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 60 บริกซ์ ภายใต้สภาวะความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

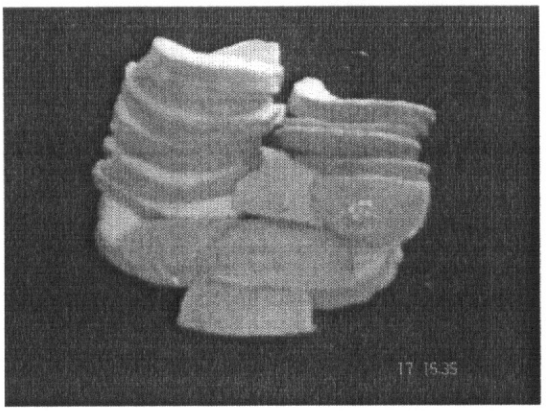


รูปที่ 38 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในเนื้อฝรั่งแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ ภายใต้สภาวะความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล

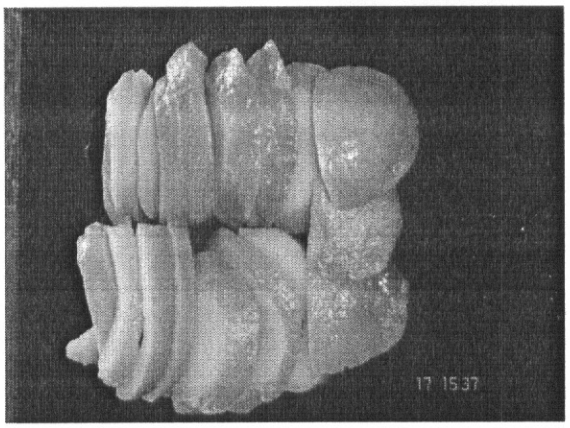
ฝรั่งแช่อิ่มภายใต้สภาวะความดันสูงนั้นสามารถช่วยให้การแพร่ของน้ำตาลเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้มากกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ (ภาพที่ 39, 40 และ 41) พบว่าที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ระดับความเข้มข้น 50, 60 และ 70 บริกซ์ ปริมาณความหวานสามารถแพร่เข้าสู่เนื้อฝรั่งได้มากที่สุด ที่ระดับความดันนี้ทำให้อัตราการแพร่ของน้ำตาลมีมากขึ้น เนื่องจากความดันมีผลให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย สามารถในการยอมให้สารซึมผ่านจึงมีมากขึ้นส่งผลให้คุณภาพของสีและความต้านทานแรงกดของฝรั่งแช่อิ่มที่ความดันสูงและความเข้มข้นสูงดีกว่าที่ความดันต่ำและความเข้มข้นต่ำ



ภาพที่ 39 ลักษณะทางกายภาพของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ความเข้มข้น 50 บริกซ์ ใช้ระยะเวลา 8 ชั่วโมง

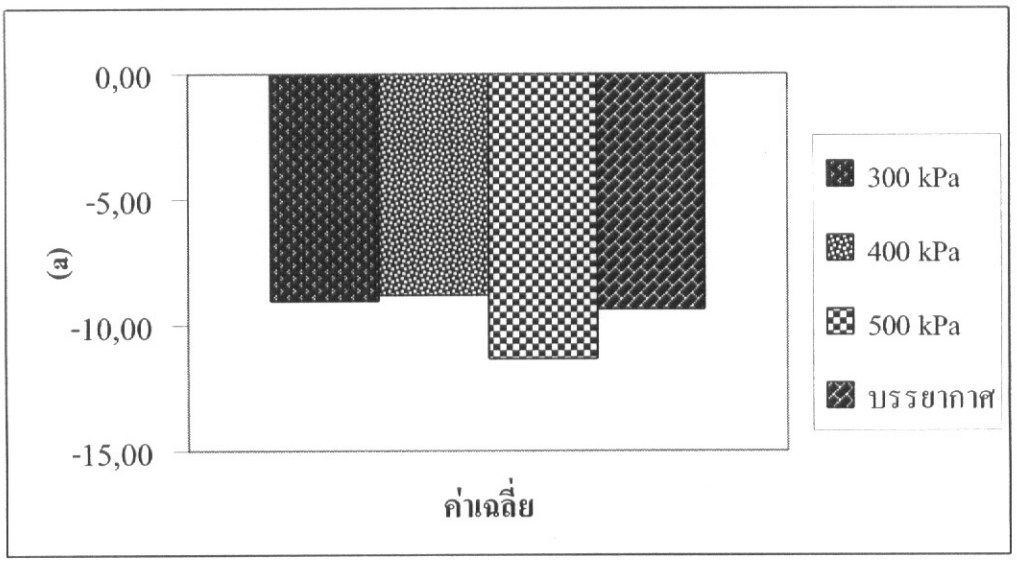


ภาพที่ 40 ลักษณะทางกายภาพของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ความเข้มข้น 60 บริกซ์ใช้ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



ภาพที่ 41 ลักษณะทางกายภาพของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

จากการศึกษาคุณภาพของสีของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 8, 8, 6 ชั่วโมง และ 15 วัน ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพสีดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 กราฟแสดงค่าความเข้มสีของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 300, 400, 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์

การสูญเสียสีเขียวของฝรั่งเกิดจากสารคลอโรฟิลล์ถูกทำลายไป เนื่องมาจากปริมาณกรดที่เกิดจากการแช่อิ่มเป็นตัวทำลายคลอโรฟิลล์ เพราะสีเขียวจะถูกทำลายไปแล้วจะกลายเป็นสีเหลืองอ่อน การที่สีของฝรั่งแช่อิ่มที่ใช้ระยะเวลา 15 วัน จะมีสีเขียวหรือสารคลอโรฟิลล์น้อยกว่าการแช่อิ่มที่ระดับความดันสูง เนื่องมาจากว่าระยะเวลาที่ทำจะส่งผลให้ความสดของสีเขียวมีน้อยลงอย่างชัดเจน (เอกสารปฏิบัติการงานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว, 2546)

2. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของฝรั่งดอง

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตฝรั่งดองโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1–10 ชั่วโมง ดังผลในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น ของฝรั่งดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 1-10 ชั่วโมง

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (น้ำหนักโดยน้ำหนัก
1	2.13[a]	3.20	80.89
2	2.80[a]	3.22	81.74
3	4.3[b]	2.74	82.44
4	5.18[b]	2.12	81.36
5	4.94[b]	2.09	80.44
6	4.78[b]	1.97	79.27
7	4.64[b]	1.91	77.77
8	4.41[b]	1.91	79.83
9	4.36[b]	1.90	80.98
10	4.20[b]	1.85	79.09

ตัวอักษร a, b ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างตามวิธี DMRT

ปริมาณเกลือในเนื้อฝรั่งจะเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 1- 4 และจะลดลงในชั่วโมงที่ 5- 10 เนื่องจากการใช้ความดันสูงและระยะเวลานานจะมีอากาศอยู่ภายในทำให้ฝรั่งมีลักษณะเต่งหรือบวม และมีการแพร่ของน้ำเข้าสู่ฝรั่งได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rastogi *et al.*, 2000 ซึ่งพบว่าการใช้ความดันในกระบวนการ osmotic dehydration ของสับปะรดสามารถทำให้เกิดการ rehydration ได้ ในขณะเดียวกันประสิทธิภาพการแพร่ของตัวถูกละลายจะมีค่าลดลง และลักษณะการบวมของเนื้อเนื่องจากอากาศที่เกิดขึ้นในผล ซึ่งการหมักที่มีความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมและมีจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติกจึงทำให้มีกรดแลคติก และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในระยะแรกของการหมัก ดังนั้นก๊าซที่เกิดขึ้นถูกกดด้วยแรงดันที่มีในถังความดันทำให้เกิดอากาศในผลฝรั่ง จึงส่งผลทำให้น้ำในเนื้อฝรั่งถูกทดแทนด้วยความเข้มข้นของเกลือและเกิดการอิ่มตัวในจุดสมดุล (แก้วกานต์, 2548)

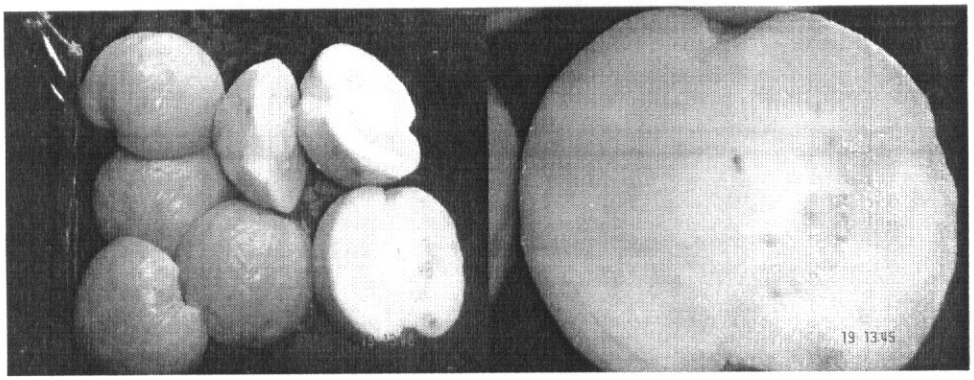
ฝรั่งดองที่ดองโดยใช้ความดันบรรยากาศ (ไม่อัดความดัน) จะมีปริมาณเกลือในผลฝรั่งดองเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงแรกจนถึงชั่วโมงที่ 48 แล้วก็จะมีปริมาณลดลงเช่นเดียวกัน แต่จะมีปริมาณการแพร่ของเกลือน้อยกว่าและใช้ระยะเวลามากกว่าการใช้ความดันที่ดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก การดองฝรั่งโดยการใช้ความดันที่ 500 กิโลปาสคาล จะใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมงจึงจะมีปริมาณเกลือร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก หรือมีปริมาณเกลือใกล้เคียงกับการดองฝรั่งดองแบบปกติ 48 ชั่วโมง

ดังนั้นเพื่อให้ได้ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีใกล้เคียงกับฝรั่งดองแบบปกติ 2 วันมากที่สุด พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และความแน่นเนื้อของฝรั่งดองที่ดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ระดับความดัน 500 กิปาสคาล ใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมงมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากว่าผลการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพใกล้เคียงกับการดองแบบปกติมากที่สุด ดังตารางที่ 12 ถ้าใช้ระยะเวลาในการดองนานจนเกินไปก็จะทำให้ผนังเซลล์เกิดการแตกและบวม ทำให้อณุภาคของเกลือไปแทนที่น้ำลดลง เนื่องจากว่าน้ำจะแพร่ได้ดีกว่าเกลือ ดังนั้นการแพร่ของเกลือเข้าสู่เนื้อฝรั่งช้าจึงทำให้เกิดการเหี่ยวของเซลล์ ดังรูปที่ 43

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และความต้านทานแรงกดของฝรั่งดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 4 และ 48 ชั่วโมง

ความดัน (กิโลปาสคาล)	ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ความต้านทานแรงกด (นิวตัน)
500	5.18	2.12	80.60	31.09
ความดันบรรยากาศ	5.19	2.10	76.41	33.59

จากผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 13 พบว่า ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และความต้านทานแรงกด ของฝรั่งดองแบบปกติและที่ใช้ความดันที่ 500 กิโลปาสคาล มีค่าที่ได้ใกล้เคียงกันโดยที่ปริมาณกรดมีค่าร้อยละ 2.10 และ2.12 และปริมาณเกลือมีค่าร้อยละ 5.19 และ 5.18 ตามลำดับ



ภาพที่ 43 ลักษณะภายในและภายนอกฝรั่งดองที่ดองภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 ชั่วโมงขึ้นไป

2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของฝรั่งปรุงรส

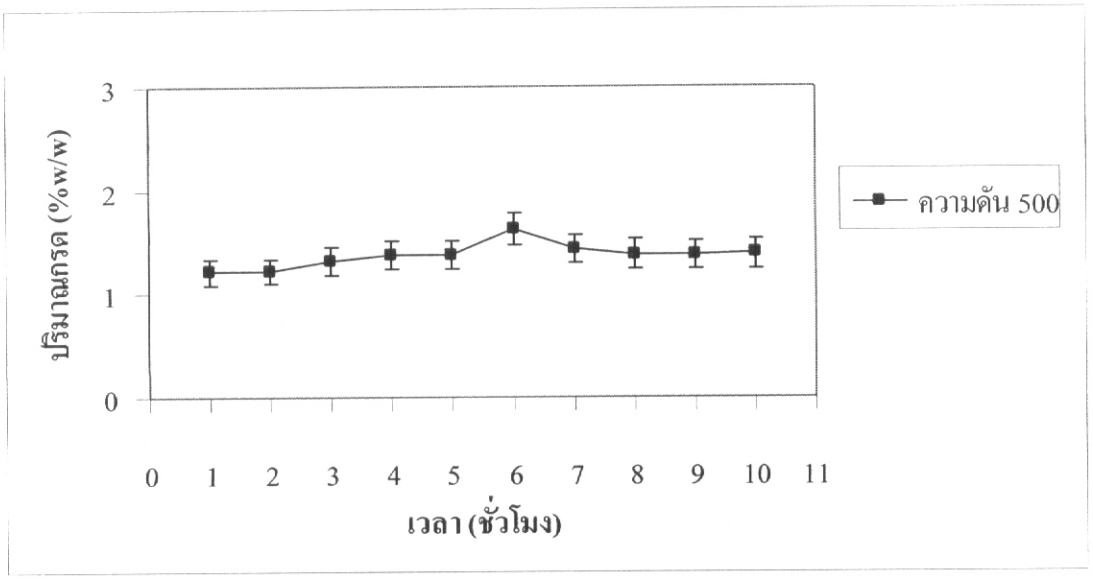
การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตฝรั่งปรุงรสโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติคที่ระดับความดันที่เหมาะสม ภายใต้ความดันที่ 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ได้ผลการวิเคราะห์ดังผลในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ปริมาณกรด ปริมาณความหวาน ของฝรั่งปรุงรส ที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 1-10 ชั่วโมง

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความหวาน (บริกซ์)
1	0.88^{a}	1.21	17.08^{f}
2	0.87^{a}	1.22	21.06^{g}
3	1.26^{b}	1.32	23.54^{h}
4	$1.44^{b, c}$	1.38	24.04^{i}
5	$1.54^{c, d}$	1.38	24.37^{j}
6	$1.82^{d, e}$	1.63	25.00^{k}
7	$1.82^{d, e}$	1.43	27.20^{l}
8	2.03^{e}	1.38	28.09^{m}
9	$1.76^{d, e}$	1.37	28.96^{n}
10	$1.67^{c, d}$	1.38	28.24^{m}

ตัวอักษร a, b, c, d, e ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างตามวิธี DMRT

ปริมาณเกลือในเนื้อฝรั่งจะเพิ่มขึ้นจาก ชั่วโมงที่ 1-8 และจะลดลงในชั่วโมงที่ 9-10 ส่วนปริมาณน้ำตาลในเนื้อฝรั่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากการใช้ความดันสูงและระยะเวลานานจะทำให้ฝรั่งมีลักษณะเต่งหรือบวมแตก การแพร่ของเกลือและน้ำตาลก็จะลดลงตามลักษณะทางกายภาพของเซลล์ (จริงแท้, 2548) ซึ่งการแพร่ของเกลือและน้ำตาลที่เข้าสู่เนื้อฝรั่งจะอาศัยกลไกที่เรียกว่า passive transport คือการแพร่ของตัวถูกละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อย (Damell *et.al.*, 1986) ส่วนปริมาณกรดก็จะลดลงตามสัดส่วนของความเข้มข้นของเกลือและน้ำตาลที่ซึมเข้าสู่เนื้อฝรั่ง



ภาพที่ 44 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในเนื้อฝรั่งปรุงรสในแต่ละชั่วโมง ภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล

จากภาพปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 1- 6 และลดลงที่ชั่วโมงที่ 7 ทำให้ทราบว่าในชั่วโมงที่ 6 คือ จุดสมดุลของกรด เนื่องมาจากว่าปริมาณเกลือและน้ำตาลมีผลทำให้ปริมาณกรดลดลงและความดันสูงระยะเวลานานก็ส่งผลทำให้ผนังเซลล์แตกการซึมของเกลือและน้ำตาลลดลงปริมาณกรดก็ลดลงตาม

2.3 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของฝรั่งแช่อิ่ม

การศึกษาระยะเวลาและความเข้มข้น(บริกซ์) ที่เหมาะสมในการผลิตฝรั่งแช่อิ่ม โดยใช้ความดันไฮโดรสแตติคที่ระดับความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ ได้ทำการวิเคราะห์ผลของ ปริมาณความหวาน ปริมาณกรด และปริมาณความชื้น ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความหวาน ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น ของฝรั่งแช่อิ่มที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 1-12 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความหวาน (บริกซ์)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)
1	18.73[a]	2.71	77.77
2	23.65[b]	2.72	79.27
3	24.52[c]	2.39	79.83
4	27.09[d]	1.94	80.44
5	29.90[e]	1.91	80.89
6	34.16[f]	1.89	81.74
7	34.94[g]	1.79	80.98
8	36.28[h]	1.78	81.36
9	37.23[i]	1.77	82.44
10	37.11[i]	1.74	83.09
11	38.79[j]	1.59	83.47
12	41.86[k]	1.55	84.96

ตัวอักษร a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างตามวิธี DMRT

จากผลการทดลองจากตารางการแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์และระดับความดัน 500 กิโลปาสคาล ปริมาณกรดและปริมาณน้ำตาลจะแปรผกผันกัน เนื้อฝรั่งมีปริมาณความหวานมากปริมาณกรดก็จะลดลง จากตารางทำให้ทราบว่า ชั่วโมงที่ 3 ปริมาณกรดจะลดลง เนื่องจากปริมาณความหวานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณความชื้นจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณความหวานที่ซึมเข้าสู่เนื้อฝรั่งถ้าปริมาณความหวานมากปริมาณความชื้นก็จะสูงตามไปด้วย (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2548) การแช่อิ่มแบบใช้ความดันที่ 500 กิโลปาสคาล จะใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมงในการแช่อิ่มและมีผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีใกล้เคียงกับการแช่อิ่มแบบปกติ (ไม่ใช้ความดัน) ที่ใช้ระยะเวลา 15 วัน ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความหวาน ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และความต้านทานแรงกดของฝรั่งแช่อิ่ม ภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 6 และ 360 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์

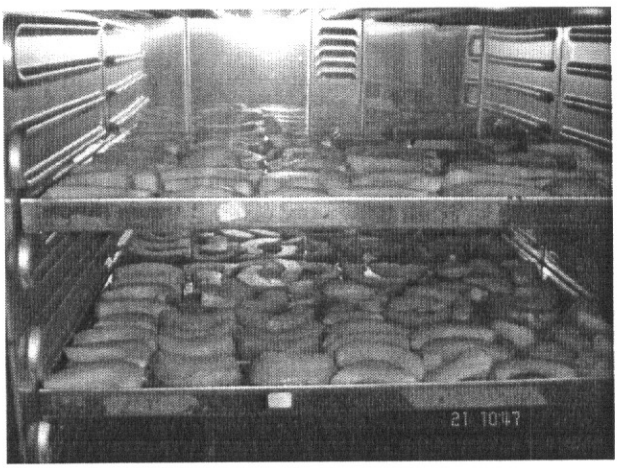
ความดัน (กิโลปาสคาล)	ปริมาณความหวาน(บริกซ์)	ปริมาณกรด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ความต้านทานแรงกด (นิวตัน)
500	34.16	1.89	81.74	28.77
ความดันบรรยากาศ	33.20	1.90	86.23	25.84

จากผลตารางที่ 16 ที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ การแช่อิ่มฝรั่งภายใต้สภาวะความดันสูงนั้น สามารถช่วยให้การแพร่ของน้ำตาลซึมเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นและระดับความดันต่ำ เนื่องจากน้ำตาลจะช่วยดึงน้ำออกจากผลไม้ ขณะเดียวกันน้ำตาลก็จะซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของผลไม้แทนอณูของน้ำจนอิ่มตัว และส่งผลให้ผลไม้นั้นมีรสหวานมากขึ้น (การถนอมผลิตผลทางการเกษตร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2548) ซึ่งในการแช่อิ่มแบบปกติต้องอุ่นน้ำเชื่อม จึงเป็นการเสียเวลา ถ้ามีการนำความดันไฮโดรสแตติกมาใช้ในการผลิตจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตฝรั่งแช่อิ่มได้

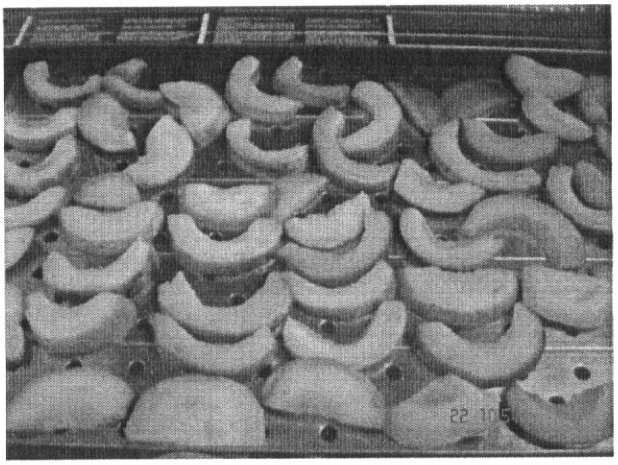
4. ผลการศึกษาวิธีการทำฝรั่งแช่อิ่มอบแห้งและฝรั่งปรุงรสอบแห้ง

4.1. ผลการศึกษาการทำฝรั่งปรุงรสอบแห้ง

จากการผลิตฝรั่งปรุงรสโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก ภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตผลที่ได้จากการปรุงรสนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียล พบว่าฝรั่งปรุงรสที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล อบแห้งต้องใช้ระยะเวลา 14 ชั่วโมงในการอบแห้ง เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 16-18 ของน้ำหนัก ดังภาพที่ 45 และภาพที่ 46



ภาพที่ 45 ฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่เวลา 3 ชั่วโมง ก่อนการอบแห้ง

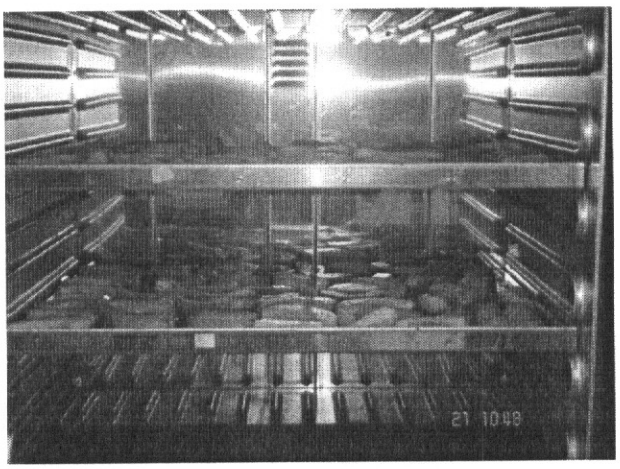


ภาพที่ 46 ฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียล ใช้เวลาในการอบแห้ง 14 ชั่วโมง

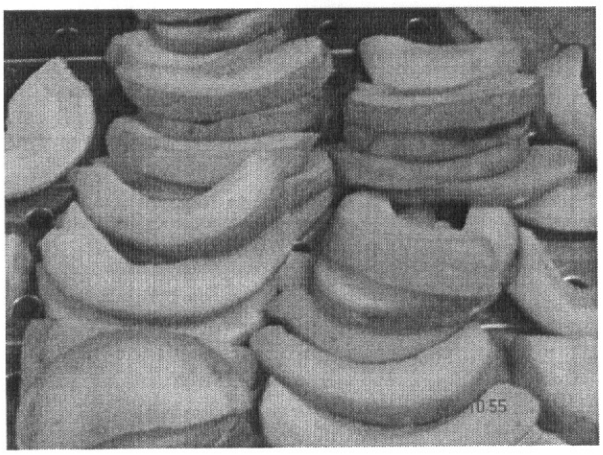
จากการอบแห้งด้วยตู้ลมร้อนแบบตู้หรือแบบถาด ตู้อบบุด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนมีถาดสำหรับวางวัสดุที่จะทำการอบแห้ง ความร้อนจะกระจายภายในตู้โดยมีแผงที่ช่วยในการไหลเวียนของลมร้อนหรือพัดลม (เทวรัตน์, 2551) การใช้ตู้อบในการอบแห้งผลไม้จะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ คุณภาพของสี กลิ่น และรสชาติจะดีกว่าเนื่องมาจากว่าใช้ระยะเวลาน้อยในการอบ

4.2 ผลการศึกษาการทำฝรั่งแช่อิ่มอบแห้ง

จากการผลิตฝรั่งแช่อิ่มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก ภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และสภาวะความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 15 วัน ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ และนำผลิตผลที่ได้จากการแช่อิ่มนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียล พบว่าฝรั่งแช่อิ่มที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล อบแห้งต้องใช้ระยะเวลา 16-18 ชั่วโมงในการอบแห้ง เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 16-18 ของน้ำหนัก ดังภาพที่ 47 และภาพที่ 48 ตามลำดับ



ภาพที่ 47 ฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล เวลา 6 ชั่วโมงที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ ก่อนการอบแห้ง



ภาพที่ 48 ฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ใช้ระยะเวลา 16-18 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 70 บริกซ์ หลังการอบแห้ง

การใช้ตู้อบในการอบแห้งผลไม้จะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ระยะเวลาในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับปริมาณความหวานที่ซึมเข้าสู่เนื้อฝรั่ง ถ้าปริมาณความหวานมากก็ต้องใช้ระยะเวลานานในการอบแห้ง (พรรณราย, 2530) ลักษณะทางกายภาพ สี กลิ่น และรสชาติจะดีกว่าการอบแห้งแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากการใช้ระยะเวลานานในการอบ จะทำให้ผิวของฝรั่งเหี่ยวและสีของฝรั่งซีดลง

5. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Regression

5.1 แบบแผนการทดลอง Regression ของฝรั่งดอง

การวิเคราะห์สมการการถดถอยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัว วัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด
2. ใช้ความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้มาประมาณค่า หรือพยากรณ์ค่าในอนาคต

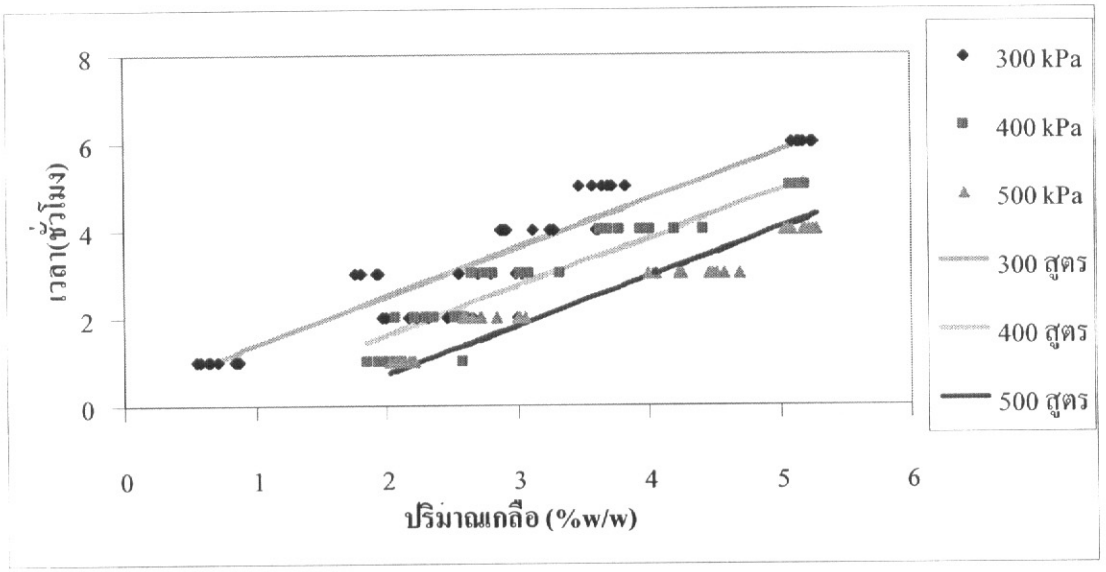
สมการในการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการดอง

$$Time = (-8.86*10^{-3})*P+1.103*S+2.937 \qquad (13)$$

P = ความดัน (กิโลปาสคาล)

S = ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)

Time = ระยะเวลาในการดอง



ภาพที่ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือกับเวลาของฝรั่งดอง

จากภาพที่ 49 ทราบว่าจากการวิเคราะห์กราฟ ทำให้เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์สมการทำการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัวแปรคือ ปริมาณเกลือและความดันที่ 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล ทำให้ทราบว่าปริมาณเกลือมีความสัมพันธ์กันกับความดันเมื่อความดันมากขึ้นปริมาณเกลือจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะส่งผลให้การใช้ระยะเวลาน้อยลง

5.2 แบบแผนการทดลอง Regression ของฝรั่งปรุงรส

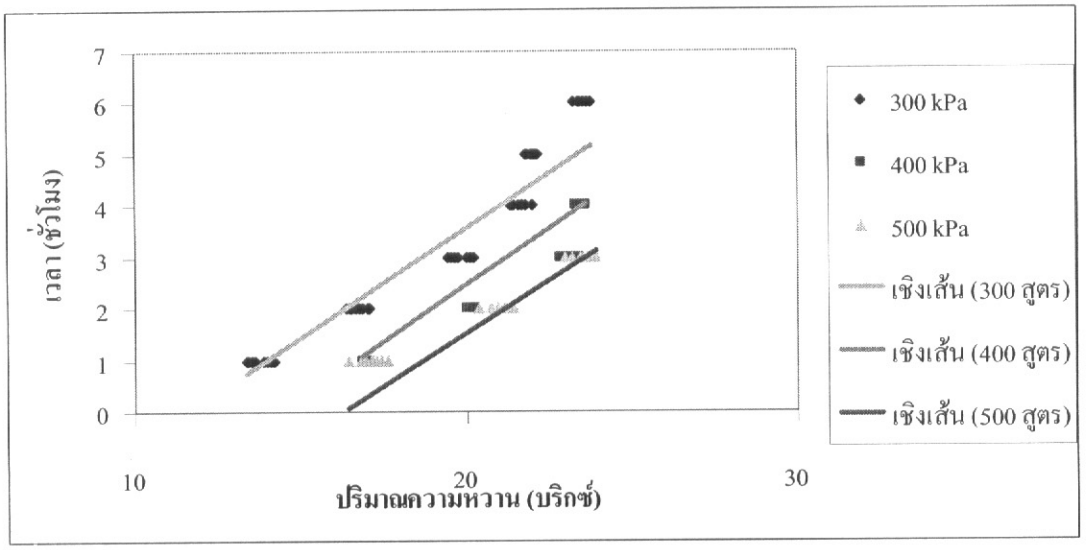
$$Time = (-9.35*10^{-3})*P+1.941*Salt+0.308*sugar-1.842 \quad (14)$$

P = ความดัน (กิโลปาสคาล)

Salt = ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)

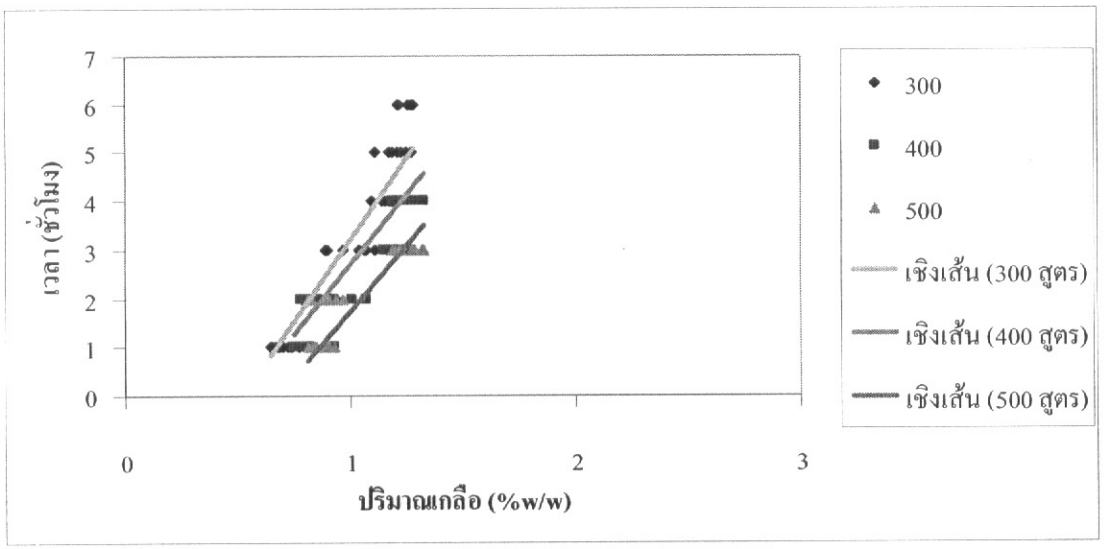
Sugar = ปริมาณความหวาน (บริกซ์)

Time = ระยะเวลาในการทำฝรั่งปรุงรส



ภาพที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณความหวาน (บริกซ์) กับเวลาจากการทดลองของฝรั่งปรุง

จากกราฟที่ 50 การวิเคราะห์สมการทำการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัวแปร คือปริมาณความหวานและความดันที่ 300, 400 และ500 กิโลปาสคาล พบว่า ปริมาณความหวานมีความสัมพันธ์กันกับระดับความดัน คือระดับความดันสูงปริมาณความหวานยิ่งสูงขึ้น และส่งผลทำให้ระยะเวลาลดลง



ภาพที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ที่ปริมาณเกลือ (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) กับเวลาจากการทดลองของฝรั่งปรุง

จากภาพที่ 51 การวิเคราะห์สมการทำการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัวแปร คือปริมาณเกลือและความดันที่ 300, 400 และ500 กิโลปาสคาล พบว่า ปริมาณเกลือมีความสัมพันธ์กันกับระดับความดัน คือระดับความดันสูงปริมาณเกลือยิ่งสูงขึ้น และส่งผลทำให้ระยะเวลาลดลง

5.3 แบบแผนการทดลอง Regression ของฝรั่งแช่อิ่ม

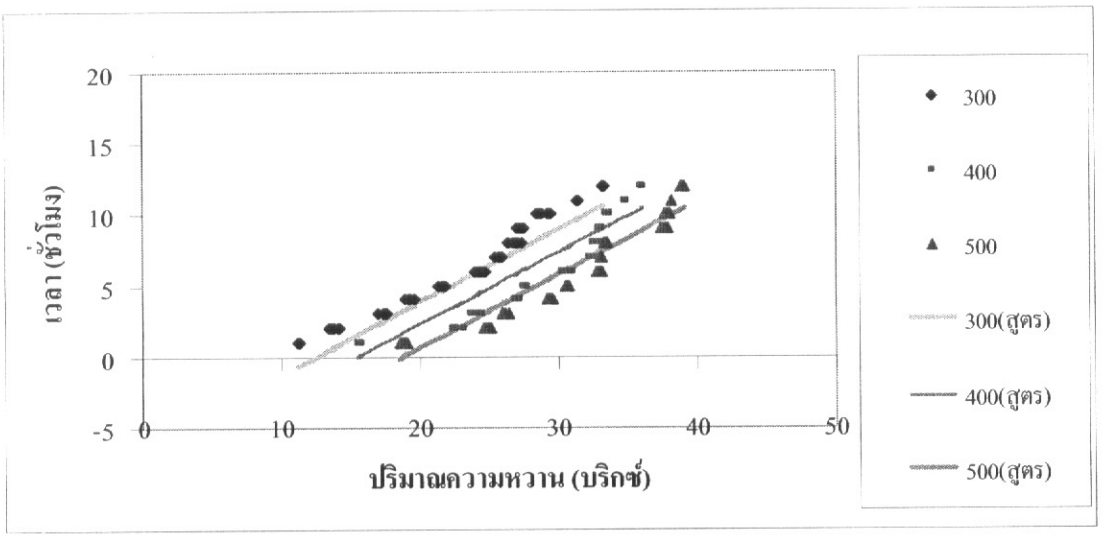
$$Time = (-1.58)*(10^{-2})*P+(0.512*Sugar)+(-5.56)*(10^{-2})*Brix)+1.096 \qquad (15)$$

P = ความดัน (กิโลปาสคาล)

Sugar = ปริมาณความหวาน (บริกซ์)

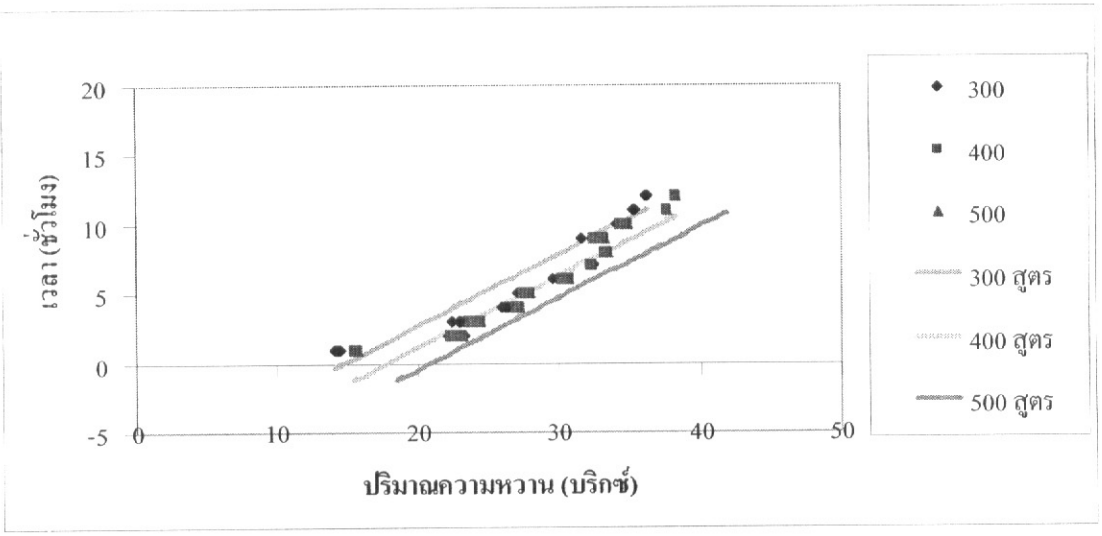
Brix = ระดับความเข้มข้น

Time = ระยะเวลาในการทำฝรั่งแช่อิ่ม



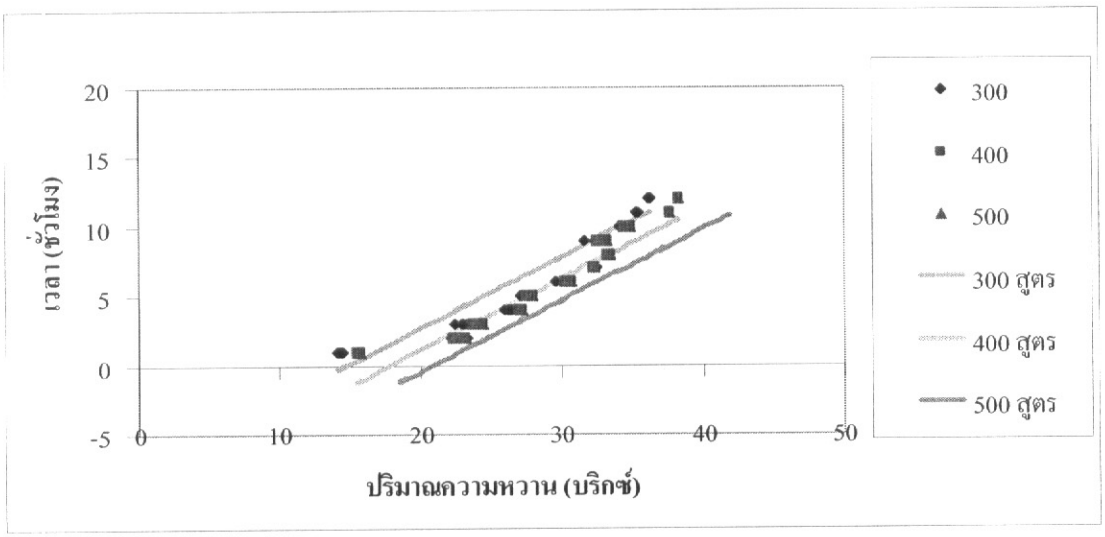
ภาพที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณความหวานของฝรั่งแช่อิ่ม ที่ระดับความเข้มข้น 50 บริกซ์

จากภาพที่ 52 การวิเคราะห์สมการทำการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัวแปรคือ 2 ปริมาณความหวาน (บริกซ์) และที่ระดับความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล จากกราฟทำให้ทราบว่าที่ระดับความดันมีความสัมพันธ์กับปริมาณความหวาน คือระดับความดันสูงปริมาณความหวานจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันระยะเวลาก็จะลดลง



ภาพที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณความหวานของฝรั่งแช่อิ่ม ที่ระดับความเข้มข้น 60 บริกซ์

จากภาพที่ 53 การวิเคราะห์สมการทำการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัวแปรคือ ปริมาณความหวาน (บริกซ์) และที่ระดับความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล พบว่าปริมาณน้ำตาลและแปรผันตรงกับระดับความดัน คือระดับความดันสูงปริมาณน้ำตาลก็จะเพิ่มขึ้น และระยะเวลาจะแปรผกผันกับระดับความดัน



ภาพที่ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณความหวานของฝรั่งแช่อิ่ม ที่ระดับความเข้มข้น 70 บริกซ์

ความเข้มข้น 70 บริกซ์

จากการวิเคราะห์กราฟที่ 54 ทราบว่าความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร คือ ความเข้มข้น, ระดับความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล ตัวแปรทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลกระทบต่ออีกตัวแปรหนึ่ง

6. ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling Test

6.1. ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฝรั่งดอง

จากการผลิตฝรั่งดองโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก ด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 300 กิโลปาสคาล โดยใช้เวลาในการดอง 6 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 400 กิโลปาสคาล ใช้เวลาในการดอง 5 ชั่วโมง และภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล ใช้เวลาในการดอง 4 ชั่วโมง ได้ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการดองภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล มีความชอบของกลิ่น สี รส และความแน่นเนื้อมากที่สุด ดังผลในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling Test ของฝรั่งดองด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 6, 5 และ 4 ชั่วโมง

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ประเภททดสอบ				ความชอบรวม
		กลิ่น	สี	รส	ความแน่นเนื้อ	
300	6	7	6	7	6.	6
400	5	8	8	8	7	7
500	4	8	8	9	8	8

6.2. ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฝรั่งปรุงรส

การผลิตฝรั่งปรุงรสโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฝรั่งที่ได้จากการปรุงรส ภายใต้ความดัน 300 กิโลปาสคาล ใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 400 กิโลปาสคาลใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง และภายใต้ความดัน 500 กิโล

ปาสคาล ใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าการปรุงรสฝรั่งภายใต้ความดันสูงสามารถทำให้อัตราการแพร่ของเกลือและน้ำตาลเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้เร็ว และยังสามารถถนอมความสดของสี ความแน่นเนื้อได้ดีกว่าที่ระดับความดันต่ำ ดังผลในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling Test ของฝรั่งปรุงรสภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 6, 4 และ 3 ชั่วโมง

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ประเภททดสอบ				ความชอบรวม
		กลิ่น	สี	รส	ความแน่นเนื้อ	
300	6	8	7	7	7	8
400	4	7	6	7	6	6
500	3	8	8	9	8	8

6.3. ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฝรั่งแช่อิ่ม

จากการศึกษาการแช่อิ่มฝรั่งภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล ที่ระดับความเข้มข้น 50, 60 และ 70 บริกซ์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฝรั่งแช่อิ่ม เป็นเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง ดังตารางที่ 19 ตารางที่ 20 และตารางที่ 21 ตามลำดับ

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling Test ของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 12, 10 และ 8 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 50 บริกซ์

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ประเภททดสอบ				ความชอบรวม
		กลิ่น	สี	รส	ความแน่นเนื้อ	
300	12	7	6	7	7	7
400	10	6	8	7	8	7
500	8	8	8	8	8	8

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling Test ของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 11, 9 และ 8 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 60 บริกซ์

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ประเภททดสอบ				ความชอบรวม
		กลิ่น	สี	รส	ความแน่นเนื้อ	
300	11	6	7	8	7	7
400	9	7	6	7	7	7
500	8	8	7	7	8	8

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling Test ของฝรั่งแช่อิ่มภายใต้ความดัน 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 8, 8 และ 6 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 70 บริกซ์

ความดัน (กิโลปาสคาล)	เวลา (ชั่วโมง)	ประเภททดสอบ				ความชอบรวม
		กลิ่น	สี	รส	ความแน่นเนื้อ	
300	8	7	6	7	7	7
400	8	7	8	7	8	8
500	6	9	8	8	8	8

จากตารางที่ 19, 20 และ21 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฝรั่งแช่อิ่มที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล ที่ระดับความเข้มข้น 50, 60 และ70 บริกซ์ จะมีความชอบของกลิ่น สี รส และความแน่นเนื้อ มากกว่าที่ความดัน 300 และ 400 กิโลปาสคาล ทุกระดับความเข้มข้น เนื่องจากว่าความดันสูงจะทำให้ปริมาณน้ำตาลซึมเข้าสู่เนื้อฝรั่งได้ดีกว่าที่ความดันต่ำ ในขณะเดียวกันที่ระดับความเข้มข้น 70 บริกซ์ มีความชอบของกลิ่น สี รส และความแน่นเนื้อ มากกว่าที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 60 บริกซ์ โดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าในการผลิต

7. ผลการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ถังความดันไฮโดรสแตติกที่ออกแบบมีขนาด 200 ลิตร จากการทดสอบโดยใช้แรงงานปฏิบัติการ 1 คน สามารถผลิตฝรั่งดอง ฝรั่งปรุงรส และฝรั่งแช่อิ่ม ได้ประมาณ 80 - 100 กิโลกรัม สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและระยะเวลาคืนทุน ได้ดังนี้

7.1 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทำฝรั่ง แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ ค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายผันแปร

$$AC = FC + VC$$

โดยที่ AC คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทำฝรั่ง (บาท)

FC คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

VC คือ ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)

7.1.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่กำหนด ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้เครื่องจักร ประกอบด้วย ดอกเบี้ยจากการลงทุนสร้างเครื่องจักร และค่าเสื่อม

มูลค่าซากเครื่อง $= (P-L)/N$

$= \{27,500-(0.1*27,500)\}/10 = 2,750$ บาท

ราคาค่าเสื่อมราคา $= (27,500-2,750)/100 = 2,475$ บาท

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน $= (P+L)i/2$

$= (27,500+2,475)/2*0.75$

$= 1,124$ บาท

โดยที่ P คือ ราคาสร้างถังความดันไฮโดรสแตติก (=27,500บาท)
L คือ ราคาหรือมูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน (=0.1×P บาท)
N คือ อายุการใช้งานของถังความดันไฮโดรสแตติก (10 ปี)
i คือ อัตราดอกเบี้ย (7.50%ต่อปี)

รวมค่าใช้จ่ายคงที่ (FC) = 2,475 + 1,124 = 3,599 บาทต่อปี

7.1.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้งาน ประกอบด้วย ค่าบำรุงรักษา ค่าจ้างแรงงาน และค่าซ่อมแซม

เครื่องจักรกลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวมีอายุการใช้งาน 10 ปี จะมีค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมประมาณ 120% ของราคาเครื่อง

ค่าบำรุงรักษา = (P*120)/100

= (27,500*120)/100 = 33,000 บาทต่อปี = 9.041 บาทต่อวัน

ค่าบำรุงรักษาและค่าซ่อมแซม คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 9.00 บาท ในระยะเวลา 1 ปีทำงาน 200 วัน

ค่าบำรุงรักษา = 9.00 x 200 = 1,800 บาทต่อปี

อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 194 บาท ทำงาน 1 คน (ค่าแรงงานขั้นต่ำ กรุงเทพและปริมณฑล 1 มกราคม 2551 กระทรวงแรงงาน)

ค่าจ้างแรงงาน = 1 x 194 x 200 = 38,800 บาทต่อปี

ดังนั้น

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC) = 3,599+ 40,600

= 44,199 บาทต่อปี

7.2 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

กำหนดให้ค่าจ้างถังความดันไฮโดรสแตติกเท่ากับ 1 บาทต่อกิโลกรัม ใน 1 ปี ใช้งานถังความดันทำงาน 200 วัน ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมงดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 120,000 กิโลกรัมต่อปี

$$BEP = FC/(p\text{-}VC)$$

ดังนั้น

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{3,599.0625}{1-(44,199.0625/120,000)} = 5,694.72 \text{ กิโลกรัมต่อปี}$$

โดยที่ BEP คือ จุดคุ้มทุน (กิโลกรัมต่อปี)
FC คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาทต่อปี)
VC คือ ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อปี)
p คือ ราคาขายต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)

7.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

จากรายได้ค่ารับจ้างใช้ถังความดันไฮโดรสแตติกเท่ากับ 1 บาทต่อกิโลกรัม ใน 1 ปี ใช้งานถังความดันทำงาน 200 วัน วันละ 12 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 60,000 บาทต่อปี

$$PBP = CF0 / YCF$$

$$YCF = R\text{-}AC$$

โดยที่ PBP คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
CF0 คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างถังความดันไฮโดรสแตติก (บาท)

YCF คือ กำไร (บาทต่อปี)

R คือ รายได้ (บาทต่อปี)

AC คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทำผลิตภัณฑ์

ดังนั้น

กำไร = 60,000-44,199 = 15,800 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 27,500/15,800 = 17 เดือน