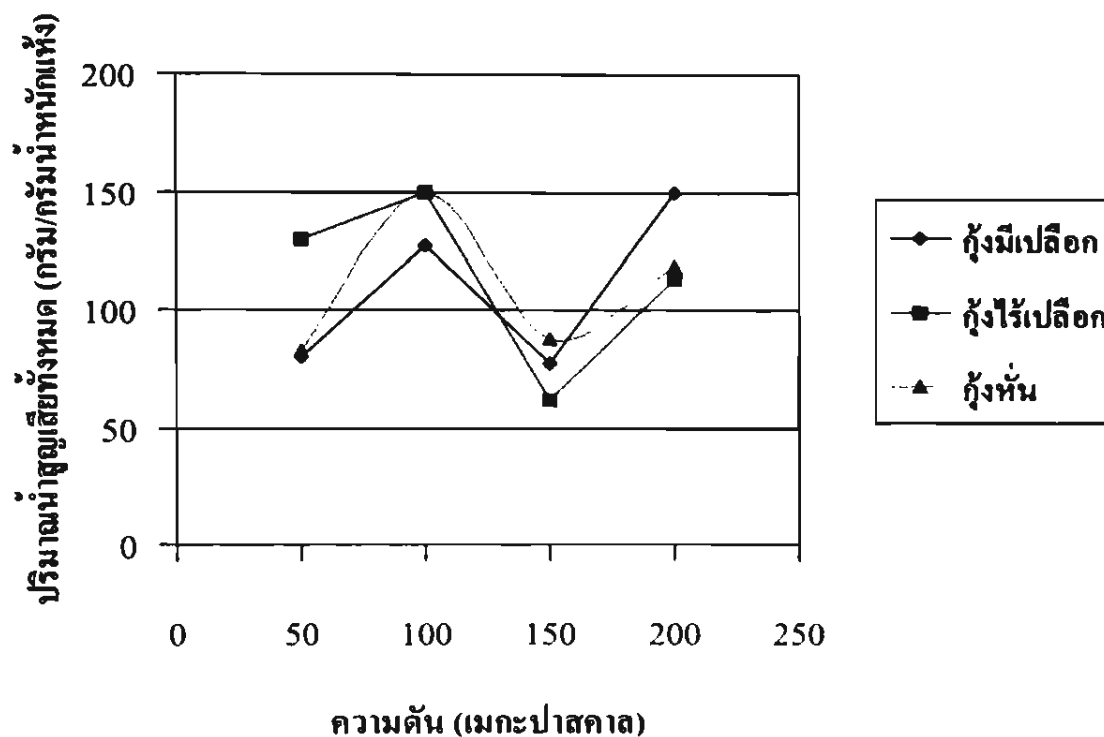


ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสูญเสีย (drip loss) ของการละลายด้วยความดันสูง โดยใช้เวลาในการละลาย 10 นาที

ความดัน	ปริมาณน้ำสูญเสีย		
	หลังการละลาย (กรัม / 100 กรัม DM)	หลังการต้ม (กรัม / 100 กรัม DM)	ปริมาณรวม (กรัม / 100 กรัม DM)
กึ่งมีเปลือก			
500 bar	25.7204	54.1185	79.8389
1000 bar	37.5241	89.1981	126.7222
1500 bar	18.4342	58.9020	77.3362
2000 bar	38.3511	111.5450	149.8961
กึ่งไร้เปลือก			
500 bar	36.9058	93.0089	129.9147
1000 bar	35.8411	113.4216	149.2627
1500 bar	11.9659	50.2002	62.1661
2000 bar	24.6431	88.2131	112.8562
กึ่งหั่นเป็นชิ้น ขนาด 1x1x1 cm ³			
500 bar	18.3414	64.5653	82.9062
1000 bar	29.4902	119.9915	149.4817
1500 bar	2.4540	85.5722	88.0262
2000 bar	21.6839	96.1709	117.8548

นำค่าตารางที่ 4.8 มาวาดกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.3



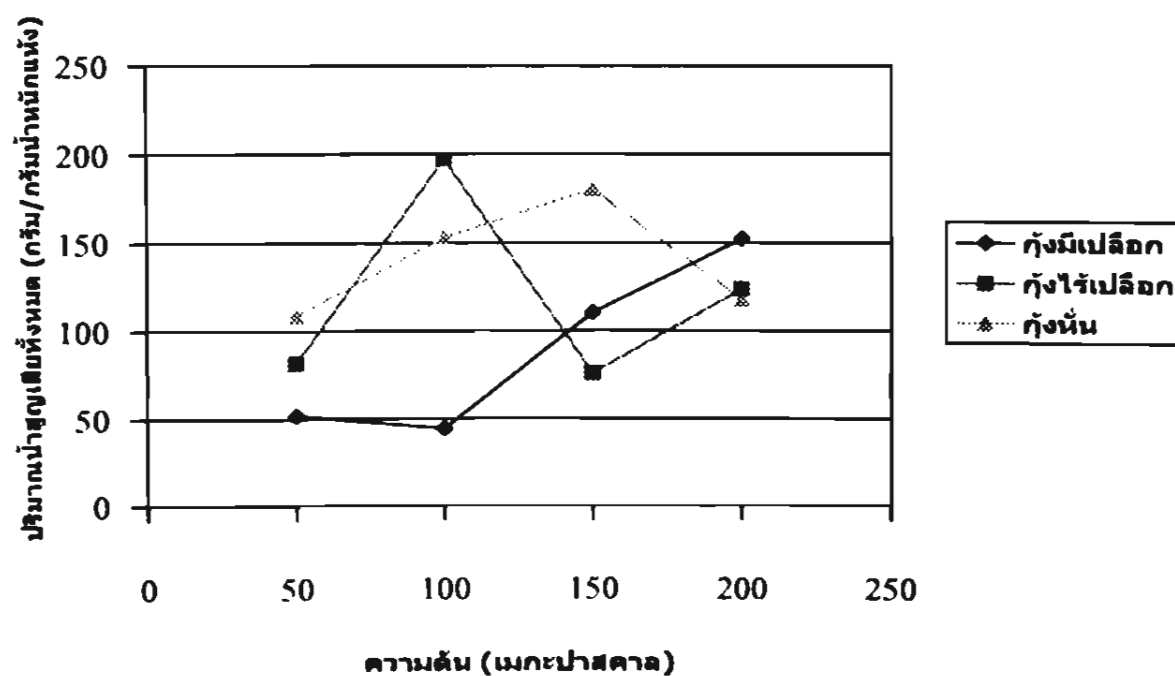
รูปที่ 4.3 แสดงค่าปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมด (Total drip loss) ที่ความดันต่างๆ โดยใช้เวลาการละลาย เท่ากันที่ 10 นาที

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสูญเสีย (drip loss) ของการละลายด้วยความดันสูง โดยใช้เวลา ในการละลาย 5 นาที

ความดัน	ปริมาณน้ำสูญเสีย		
	หลังการละลาย (กรัม / 100 กรัม DM)	หลังการต้ม (กรัม / 100 กรัม DM)	ปริมาณรวม (กรัม / 100 กรัม DM)
กุ้งมีเปลือก			
500 bar	8.3027	43.4333	51.7360
1000 bar	3.3553	41.0580	44.4133
1500 bar	29.6441	80.5202	110.1644
2000 bar	54.9164	97.4535	152.3699

กึ่งไร้เปลือก			
500 bar	22.0615	59.5845	81.6460
1000 bar	38.9268	158.3031	197.2299
1500 bar	17.2752	58.5481	75.8233
2000 bar	32.0158	91.7652	123.7810
กึ่งหั่นเป็นชิ้น ขนาด 1x1x1 cm ³			
500 bar	37.7829	70.9118	108.6947
1000 bar	44.8276	108.2716	153.0992
1500 bar	47.5143	132.8327	180.3470
2000 bar	21.6839	96.1709	117.8548

นำตารางที่ 4.9 มาวาดกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.4

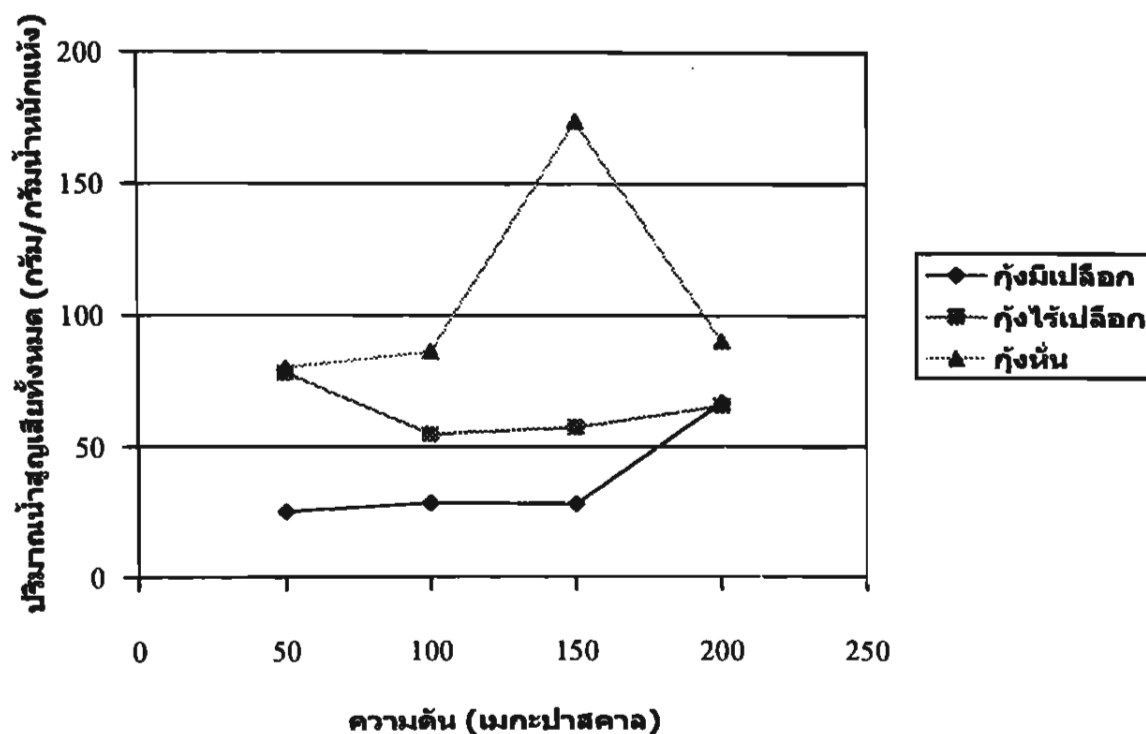


รูปที่ 4.4 แสดงค่าปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมด (Total drip loss) ที่ความดันต่างๆ โดยใช้เวลาการละลาย เท่ากันที่ 5 นาที

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสูญเสีย (drip loss) ของการละลายด้วยความดันสูง โดยใช้เวลาในการละลาย 4 นาที

ความดัน	ปริมาณน้ำสูญเสีย		
	หลังการละลาย (กรัม / 100 กรัม DM)	หลังการต้ม (กรัม / 100 กรัม DM)	ปริมาณรวม (กรัม / 100 กรัม DM)
กุ้งมีเปลือก			
500 bar	6.3316	18.6295	24.9611
1000 bar	1.8736	26.3509	28.2245
1500 bar	11.1234	16.6720	27.7954
2000 bar	18.9331	47.8092	66.7423
กุ้งไรเปลือก			
500 bar	24.9306	53.0414	77.9720
1000 bar	21.7991	32.8106	54.6097
1500 bar	20.3964	36.8139	57.2103
2000 bar	23.9419	41.5818	65.5237
กุ้งหั่นเป็นชิ้น ขนาด 1x1x1 cm³			
500 bar	14.3363	65.7522	80.0885
1000 bar	25.8850	60.1327	86.0177
1500 bar	60.2434	113.5177	173.7611
2000 bar	34.8230	55.1327	89.9557

นำตารางที่ 4.10 มาวาดกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.5



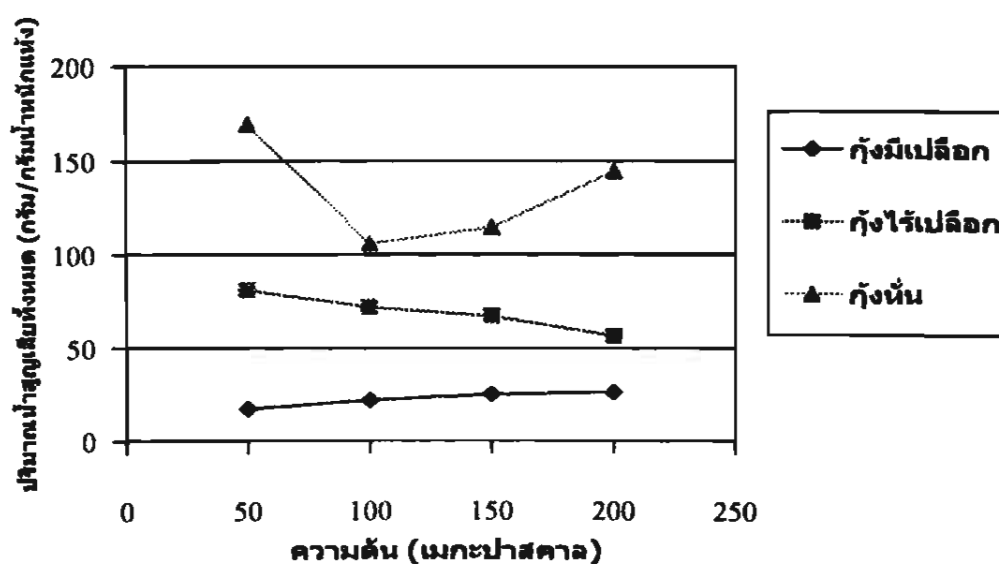
รูปที่ 4.5 แสดงค่าปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมด (Total drip loss) ที่ความดันต่างๆ โดยใช้เวลาการละลาย เท่ากันที่ 4 นาที

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสูญเสีย (drip loss) ของการละลายด้วยความดันสูง โดยใช้เวลา ในการละลาย 3 นาที

ความดัน	ปริมาณน้ำสูญเสีย		
	หลังการละลาย (กรัม / 100 กรัม DM)	หลังการต้ม (กรัม / 100 กรัม DM)	ปริมาณรวม (กรัม / 100 กรัม DM)
กุ่มมีเปลือก			
500 bar	2.0093	15.3588	17.3681
1000 bar	4.5667	17.2101	21.7768
1500 bar	5.3347	19.5585	24.8932
2000 bar	4.9246	21.1918	26.1164

กึ่งไร้เปลือก			
500 bar	16.5003	64.4134	80.9137
1000 bar	16.2908	55.3256	71.6164
1500 bar	16.8168	49.9440	66.7608
2000 bar	15.3801	40.9049	56.2850
กึ่งหั่นเป็นชิ้น ขนาด 1x1x1 cm ³			
500 bar	49.4027	119.8230	169.2257
1000 bar	41.8584	63.8496	105.7080
1500 bar	22.8540	91.5044	114.3584
2000 bar	54.5133	89.8230	144.3363

นำตารางที่ 4.11 มาวาดกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.6

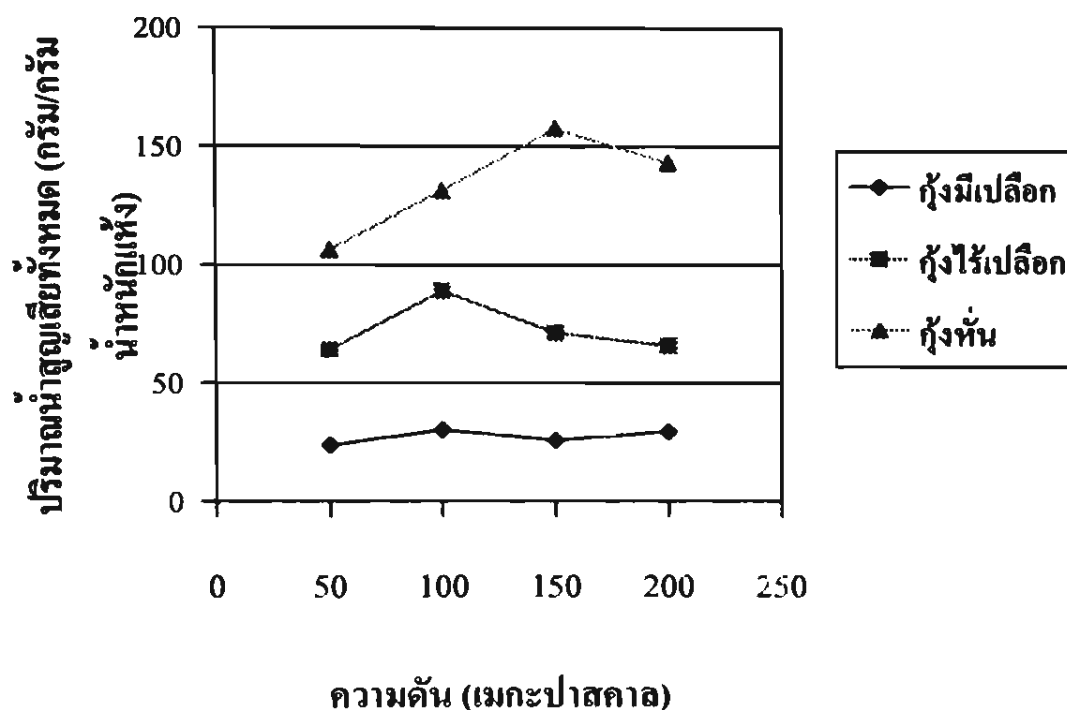


รูปที่ 4.6 แสดงค่าปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมด (Total drip loss) ที่ความดันต่างๆ โดยใช้เวลาการละลาย เท่ากันที่ 3 นาที

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสูญเสีย (drip loss) ของการละลายด้วยความดันสูง โดยใช้เวลาในการละลาย 2 นาที

ความดัน	ปริมาณน้ำสูญเสีย		
	หลังการละลาย (กรัม / 100 กรัม DM)	หลังการต้ม (กรัม / 100 กรัม DM)	ปริมาณรวม (กรัม / 100 กรัม DM)
กึ่งมีเปลือก			
500 bar	1.2762	22.5741	23.8503
1000 bar	2.7400	27.5333	30.2733
1500 bar	3.6904	22.1054	25.7958
2000 bar	4.9493	24.6328	29.5821
กึ่งไร้เปลือก			
500 bar	15.1610	48.8433	64.0043
1000 bar	18.1951	70.5937	88.7888
1500 bar	22.9533	48.0641	71.0174
2000 bar	16.7779	48.9846	65.7625
กึ่งหั่นเป็นชิ้น ขนาด 1x1x1 cm ³			
500 bar	37.8540	68.2743	106.1283
1000 bar	33.6947	97.3009	130.9956
1500 bar	57.3230	100.3319	157.6549
2000 bar	35.5088	107.6106	143.1194

นำตารางที่ 4.12 มาวาดกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงค่าปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมด (Total drip loss) ที่ความดันต่างๆ โดยใช้เวลาการละลาย เท่ากันที่ 2 นาที

4.4 ผลการทดลองปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss)

4.6.1 ผลการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (dry matter)

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (dry matter) ของกุ้งขนาดต่างๆ

ลักษณะตัวอย่างกุ้ง	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (dry matter, กรัม)
กุ้งไม่ลอกเปลือกขนาด 14 ซม.	3.4126
กุ้งลอกเปลือกขนาด 9 ซม.	1.8007
กุ้งหัวเป็นชิ้นขนาด 1 ซม.	0.5120

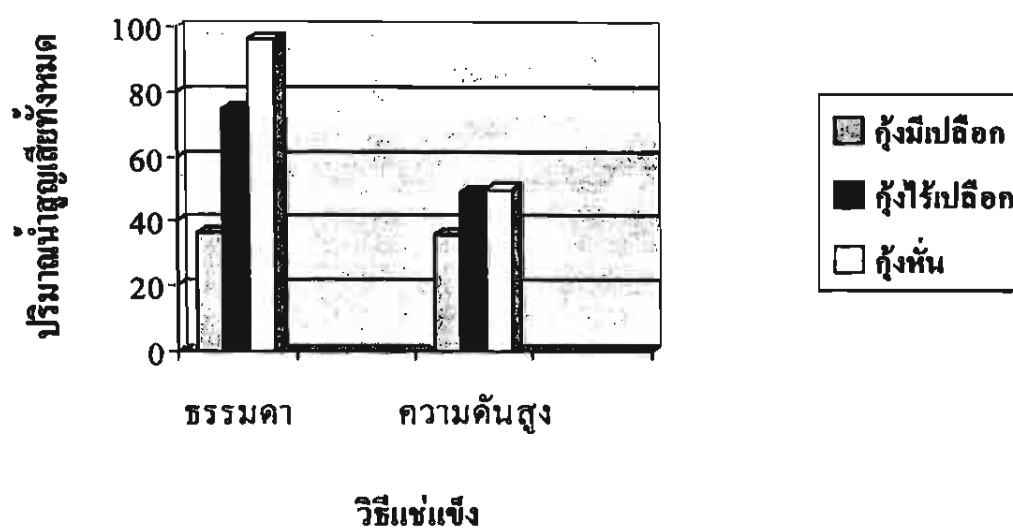
4.6.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำสูญเสียของกุ้งที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงเทียบกับกุ้งที่แช่แข็งด้วยวิธีธรรมดา

ตัวอย่างที่แช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2000 บาร์ และตัวอย่างที่แช่แข็งด้วยวิธีธรรมดาที่ -20 องศาเซลเซียส จะถูกนำมาละลายด้วยวิธีดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเวลา 30 นาที ได้ผลดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการละลายของกุ้งที่แช่แข็งด้วยวิธีธรรมดาเทียบกับกุ้งที่แช่แข็งด้วยความดันสูง แล้วนำมาละลายด้วยวิธีดั้งเดิม ที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

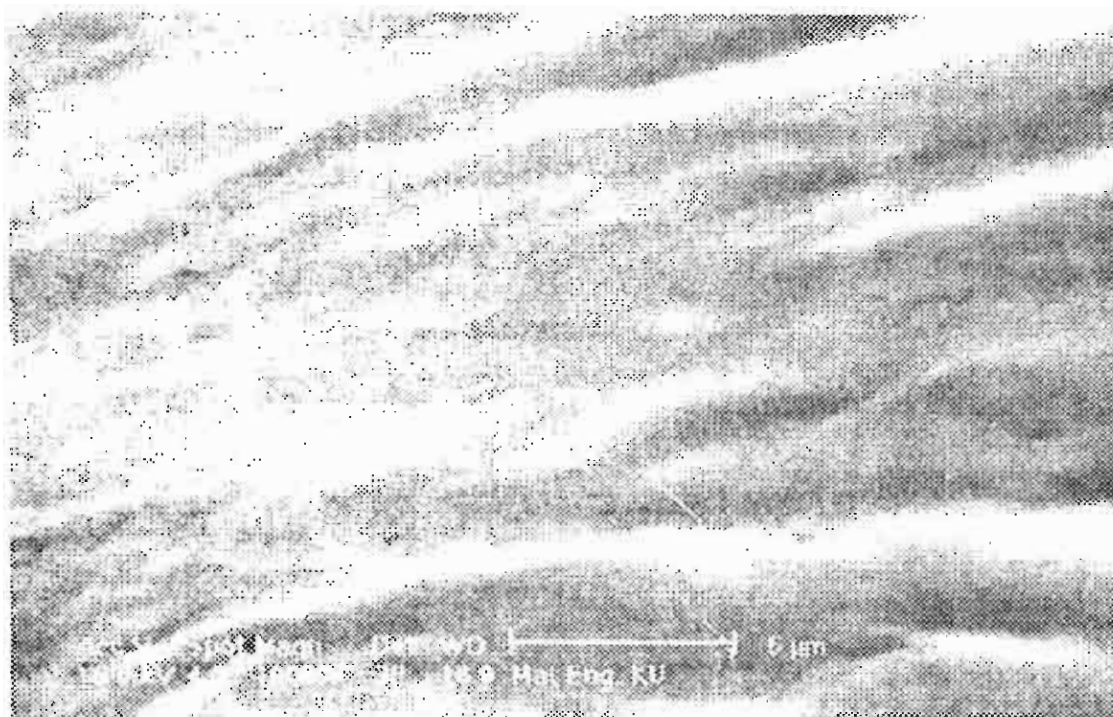
วิธีการแช่แข็ง	ปริมาณน้ำสูญเสีย		
	หลังการละลาย (กรัม / 100 กรัม DM)	หลังการต้ม (กรัม / 100 กรัม DM)	ปริมาณรวม (กรัม / 100 กรัม DM)
วิธีธรรมดา			
มีเปลือก	6.9566	29.7017	36.6583
ไร้เปลือก	7.6526	67.1794	74.8320
หั่นขนาด1x1x1 cm ³	5.9570	90.0586	96.0156
วิธีความดันสูง			
มีเปลือก	7.3229	28.4599	35.7828
ไร้เปลือก	8.0413	40.8452	48.8865
หั่นขนาด1x1x1 cm ³	6.9063	43.1055	50.0118

นำตารางที่ 4.14 มาวาดกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.17

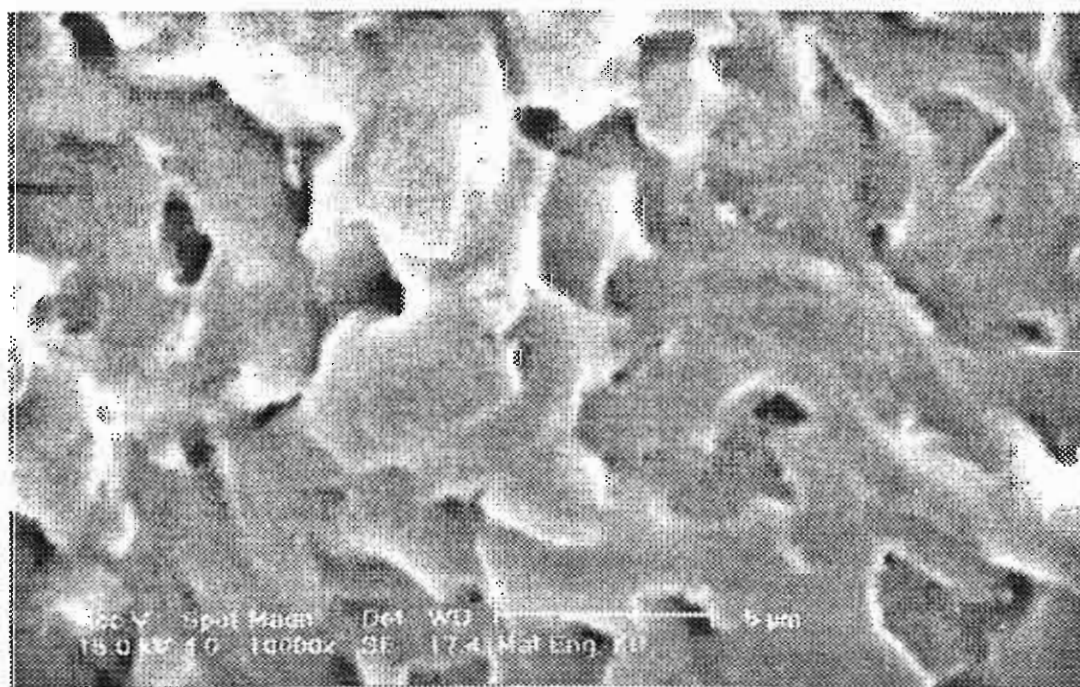


รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมดของการแช่แข็งแบบธรรมดาและแบบความดันสูง

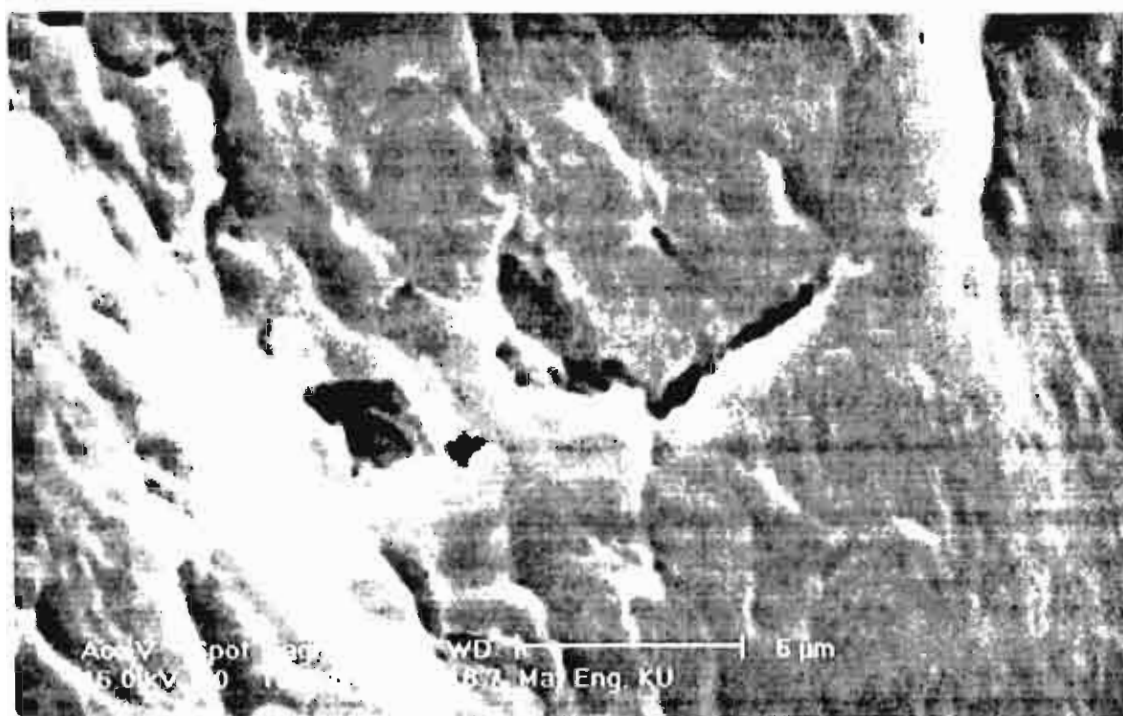
4.5 ผลการส่องกล้องด้วย SEM (Scanning Electron Microscopes)



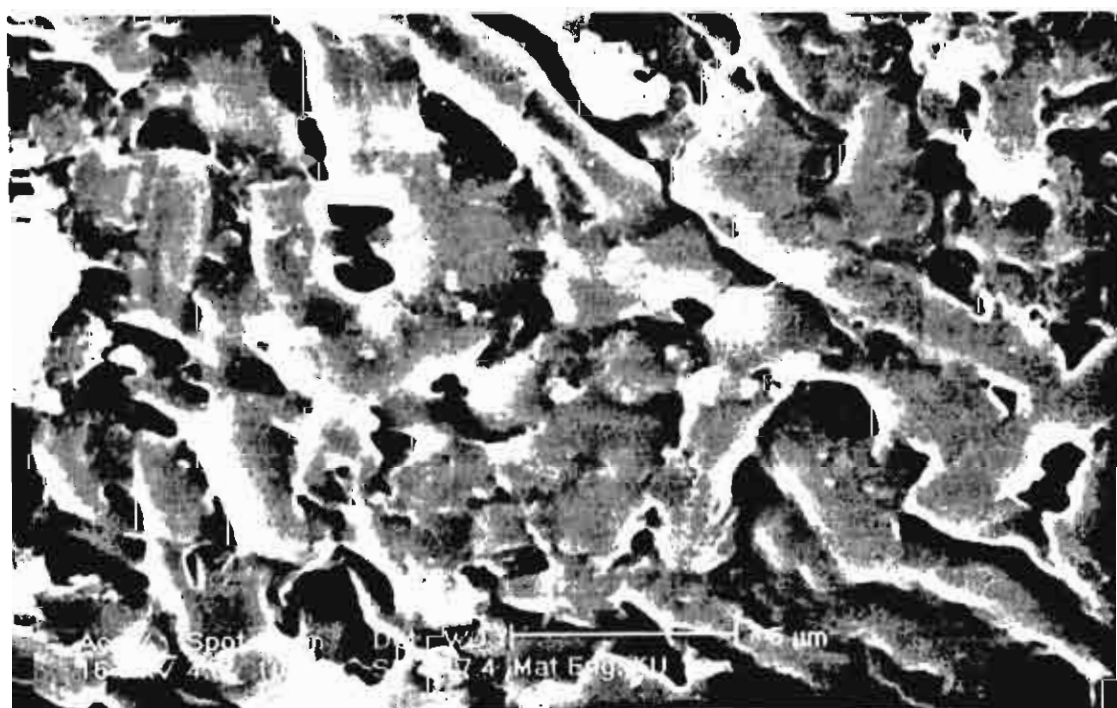
รูปที่ 4.1๙ แสดงโครงสร้างของกึ่งมีเปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูง ขนาดกำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 4.2๐ แสดงโครงสร้างของกึ่งมีเปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยวิธีธรรมดาขนาดกำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 4.20 แสดงโครงสร้างของกึ่งไร้เปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงขนาดกำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้างของกึ่งไร้เปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยวิธีธรรมดาขนาดกำลังขยาย 10,000 เท่า

บทที่ 5

อภิปรายผล

5.1 การทดลองการแช่แข็งวิธีธรรมดา และการละลายด้วยวิธีดั้งเดิม

1. ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) ของกึ่งกูลาคำทั้งสามแบบ คือกึ่งทั้งตัว กึ่งปอกเปลือก และกึ่งหั่นเป็นชิ้น พบว่าที่เวลาการละลายต่างๆกันคือ 15 30 และ 45 นาที พบว่ามีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) ไม่เท่ากันโดยที่เวลาการละลาย 15 นาทีมีค่า drip loss น้อยที่สุด ทั้งนี้ในการทดลองแต่ละครั้งใช้เวลาแช่แข็งไม่เท่ากัน อีกทั้งกึ่งในการทดลองแต่ละครั้งบ้างก็ผ่านการแช่แข็งมาก่อน ดังนั้นปริมาณน้ำส่วนหนึ่งในตัวกึ่งจะหายไปปริมาณหนึ่ง และกึ่งที่ซื้อมาแต่ละครั้ง แม้ว่าจะซื้อจากแหล่งเดิม แต่ความพรุนในโครงสร้างกึ่งแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณหาค่า drip loss ย่อมมีความคลาดเคลื่อน
2. ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) ของกึ่งกูลาคำทั้งสามแบบ คือกึ่งทั้งตัว กึ่งปอกเปลือก และกึ่งหั่นเป็นชิ้น พบว่ากึ่งหั่นเป็นชิ้นมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) มากที่สุดที่เวลาการละลายต่างๆกัน ทั้งนี้ในการหั่นกึ่งแต่ละครั้งอาจทำลายโครงสร้างเซลล์บริเวณที่หั่นของกึ่ง และกึ่งที่หั่นเป็นชิ้นมีพื้นที่สัมผัสมากที่สุด
3. การหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) พบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการต้มมีค่ามากกว่าหลังการละลายในทุกๆเวลาการละลาย เนื่องจากการต้มเป็นวิธีนำน้ำออกจากตัวกึ่งโดยใช้ความร้อน ทั้งนี้ในการต้มแต่ละครั้ง แม้จะกำหนดเวลาในการต้มเท่ากันคือ 5 นาที แต่บางครั้งกึ่งมีเปลือกสุกไม่ทั่วตัว เนื่องจากอุณหภูมิอากาศทำให้ต้องใช้เวลาในการต้มมากขึ้นอีก ซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน

จากการทดลองการแช่แข็ง และการละลายด้วยวิธีดั้งเดิม จะสังเกตได้ว่าเปลือกกึ่งจะช่วยลดการสูญเสียได้ และกึ่งเป็นชิ้นจะมีปริมาณการสูญเสียน้ำมากกว่ากึ่งแบบอื่น และปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) หลังการต้มมีค่ามากกว่าหลังการละลาย

5.2 การทดลองการแช่แข็งด้วยวิธีธรรมดา แล้วละลายที่ความดันสูง

1. ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) ของกึ่งกุลาดำทั้งสามแบบ คือกึ่งทั้งตัว กึ่งปอกเปลือก และกึ่งหั่นเป็นชิ้นที่ผ่านการละลายด้วยความดันสูงมีค่ามากกว่าการละลายวิธีดั้งเดิม ค่าที่ได้นี้ไม่ตรงตามทฤษฎีทั้งนี้เนื่องจากในการนำกึ่งเข้าละลายด้วยความดันสูง พบว่ามีซิลิโคนรั่วซึมเข้าถุง ทำให้ค่าปริมาณน้ำสูญเสียไม่สามารถคำนวณได้ ซึ่งการรั่วซึมอาจมาจากการปิดผนึกที่ไม่ดีพอ หรือความคมของตัวหัวกึ่งทำให้ถุงพลาสติกมีจุดรั่วซึม
2. เวลาที่ใช้ในการละลายแต่ละครั้งมีการใช้เวลาเกินจริงเนื่องจาก เวลาที่ใช้ในการเพิ่มความดัน เวลาในการหมุนฝาเปิดและหมุนฝาปิด

5.3 เครื่องถนอมอาหารด้วยความดันสูง

1. ถังทนความดันสูง

- 1.1 เนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตถังทนความดันสูงนั้น จะต้องไม่เป็นอันตรายต่ออาหาร จึงเลือกใช้สแตนเลสสตีล (stainless steel 316)
- 1.2 การป้องกันความดันรั่วออกจึงต้องทำให้ขอบถังทนความดันสูงจะต้องมีความสามารถในการทนแรงดันมาก ดังนั้นจึงต้องออกแบบถังให้มีความหนาเป็นพิเศษโดยฉนวนที่ใช้เป็นชนิด PU Foam
- 1.3 ฝาปิดด้านบน และด้านล่างของถังทนความดันสูง จะต้องเป็นวัสดุที่ทนแรงดัน จึงต้องทำการออกแบบฝาให้หนาและมีน้ำหนักมาก

2. การให้ความเย็นกับระบบ

การเลือกสารหล่อเย็น จะต้องเลือกสารที่มีจุดเยือกแข็งต่ำเนื่องจากต้องการทดลอง การแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และในการละลายต้องใช้ฮีทอูณหภูมิหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องเลือกสารที่มีจุดระเหยสูง และจุดเยือกแข็งต่ำ ในครั้งแรกจึงเลือก เอทิลีนไกลคอล แต่เมื่อทดลองแช่แข็งพบว่าความเย็นไม่ถูกนำพามาที่ถังความดันสูง แต่เกิดเกล็ดน้ำแข็งที่ถังใส่เอทิลีนไกลคอล จึงเปลี่ยนมาใช้ไนโตรเจนเหลว

3. การให้ความดันกับระบบ

การเลือกของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางผ่านความดัน จะต้องเป็นของเหลวที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเมื่อทำการทดลองทั้งการแช่แข็ง และการละลาย ในที่นี้จึงเลือกใช้น้ำมันซิลิโคน เนื่องจากมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการแช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) รวมทั้งมีจุดเดือดสูงกว่า

อุณหภูมิที่ใช้ในการละลายแต่เมื่อทำการป้อนไนโตรเจนเหลวเข้ามาและอัดความดันถึง 1,000 บาร์ พบว่าประเก็นชนิดซูเปอร์อินแดก และน้ำมันซิลิโคนเป็นไข ซึ่งอาจเนื่องมาจากประเก็นทนความเย็นจัดของไนโตรเจนเหลวไม่ได้ จึงทำการเปลี่ยนประเก็นไปเป็นแบบทองเหลือง พบว่าทองเหลืองมีส่วนทำให้ถึงทนความดันสูงมีรอยขีดข่วน หากให้ประเก็นทองเหลืองไปนานๆ อาจจำให้ถึงยังเป็นร่องลึกมากขึ้น จึงเปลี่ยนประเก็นเป็นทองแดง เนื่องจากทองแดงมีความยืดหยุ่นมากกว่า

5.4 การทดสอบเครื่องถนอมอาหารความดันสูง

5.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าความดันมีผลต่ออุณหภูมิ เมื่อความดันเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มตาม โดยการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งพบว่าค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งที่ความดันจาก 0 ถึง 50 เมกะปาสกาล พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 11-12 องศาเซลเซียส ส่วนความดันตั้งแต่ 50 ถึง 150 เมกะปาสกาล พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 5-6 องศาเซลเซียส ส่วนที่ความดันจาก 150 ถึง 200 เมกะปาสกาล พบว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 องศาเซลเซียสเท่านั้น

5.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับเวลา

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการให้ความเย็นจนอุณหภูมิกายในเป็น -20 องศาเซลเซียสใช้เวลาทั้งหมด 2 ชั่วโมง 15 นาที ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาค่อนข้างลดลงเป็นแบบเชิงเส้นตรง คือในช่วง 60 นาทีแรก อุณหภูมิลดลงประมาณ 5-6 องศาเซลเซียส ในช่วง 60 นาทีถัดมาอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 7-8 องศาเซลเซียส

5.4.3 ผลการแช่แข็งแบบธรรมดาและแบบความดันสูง

จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.17 แสดงปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมดของการแช่แข็งแบบธรรมดาและแบบความดันสูง แล้วนำมาละลายวิธีดั้งเดิม แล้วนำไปต้มที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมดของการแช่แข็งความดันสูง มีค่าน้อยกว่าการแช่แข็งแบบธรรมดา แสดงให้เห็นว่าการแช่แข็งด้วยความดันสูง ช่วยลดปริมาณน้ำสูญเสียได้

5.5 ผลการส่องกล้องด้วย SEM (Scanning Electron Microscopes)

ในรูปที่ 4.18 - 4.19 แสดงโครงสร้างภายในเนื้อกุ้งแบบมีเปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงเทียบกับผ่านการแช่แข็งด้วยวิธีดั้งเดิม พบว่าโครงสร้างของกุ้งที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูง ลักษณะเนื้อกุ้งจะแน่น และหากเทียบกับกุ้งไร้เปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยวิธีดั้งเดิมพบว่า โครงสร้างกุ้งแบบมีเปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงจะถูกทำลายน้อยกว่า

ในสรุปที่ 4.20 - 4.21 แสดงโครงสร้างภายในเนื้อกึ่งแบบไร้เปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงเทียบกับผ่านการแช่แข็งด้วยวิธีธรรมดา พบว่าโครงสร้างของกึ่งที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงมีการถูกทำลายด้วยเล็กน้อย แต่หากเทียบกับกึ่งไร้เปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยวิธีธรรมดาพบว่าโครงสร้างกึ่งแบบไร้เปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงจะถูกทำลายน้อยกว่า

ในรูปที่ 4.18 - 4.20 แสดงโครงสร้างภายในเนื้อกึ่งแบบมีเปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูงเทียบกับโครงสร้างภายในเนื้อกึ่งแบบไร้เปลือกที่ผ่านการแช่แข็งด้วยความดันสูง พบว่าเปลือกสามารถช่วยลดการถูกทำลายของเซลล์ได้

ทั้งนี้กึ่งหั่นเป็นชิ้นไม่ได้นำมาส่องกล้องด้วย เนื่องจากกึ่งที่หั่นแล้วมีความชุ่มมาก ทำให้ไม่สามารถเตรียมตัวอย่างเพื่อส่องกล้องได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. การถนอมกุ้งในช่วงกระบวนการละลาย พบว่าเวลาที่ใช้ในการละลายมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) เริ่มแรกเมื่อเริ่มทำการละลาย เนื้อกุ้งแช่แข็งแต่ละจุดจะมีอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งถ้าทำให้อุณหภูมิภายในตัวกุ้งมีอุณหภูมิเท่ากับภายนอกได้เร็ว ผิวบอกละลายของเนื้อกุ้งจะถูกทำลายน้อยลง และส่งผลให้เนื้อกุ้งมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) ลดลงด้วย ซึ่งแสดงว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการละลายลดลง ปริมาณน้ำที่สูญเสียจะมีค่าลดลง และเนื้อกุ้งมีคุณภาพดีกว่ากุ้งที่มีค่า drip loss มากกว่า
2. ผลการละลายด้วยวิธีดั้งเดิมพบว่า เวลาที่ใช้ในการละลาย 15 นาที มีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) น้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการละลาย 30 และ 45 นาที และกุ้งมีเปลือกจะมีค่า drip loss น้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าเปลือกกุ้งช่วยลดการสูญเสียน้ำในระหว่างการแช่แข็ง และการละลายได้ และกุ้งขนาดใหญ่จะมีค่า drip loss น้อยกว่ากุ้งขนาดเล็ก
3. ผลการแช่แข็งกุ้งด้วยความดันสูงแล้วละลายด้วยวิธีดั้งเดิมพบว่า มีปริมาณน้ำสูญเสีย (drip loss) น้อยกว่าการแช่แข็งด้วยวิธีธรรมดาแล้วละลายด้วยวิธีดั้งเดิม
4. ผลการละลายด้วยความดันสูงพบว่า การละลายด้วยความดันสูงช่วยลดเวลาในการละลายลง ซึ่งการใช้เวลาในการละลายน้อย จะมีผลให้คุณภาพของอาหารเสื่อมลงน้อยกว่าการละลายด้วยวิธีดั้งเดิม

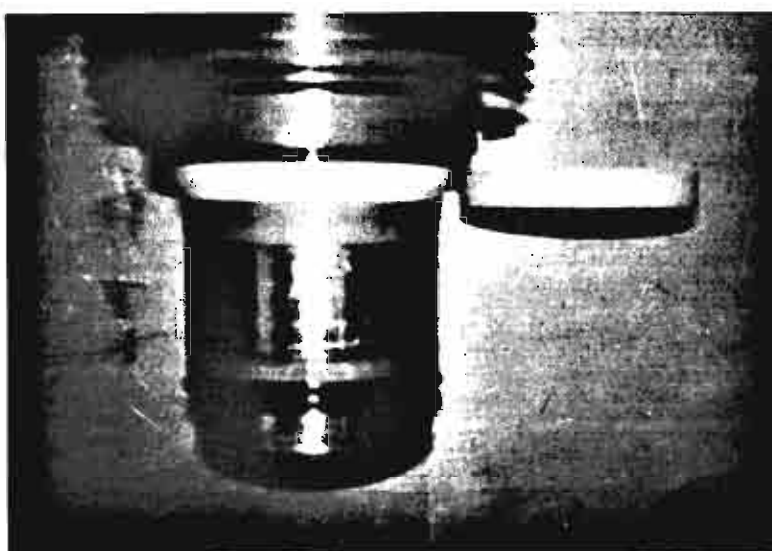
ผลการแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลวพร้อมทั้งเพิ่มความดันถึง 2000 บาร์พบว่าทั้งเซลล์ของกุ้งแบบมีเปลือกและไร้เปลือกจะถูกทำลายน้อยกว่าการแช่แข็งด้วยวิธีธรรมดา แสดงให้เห็นว่าการแช่แข็งด้วยความดันสูงช่วยรักษาเนื้อเยื่อของอาหาร และอาหารที่ผ่านกระบวนการความดันสูงจะมีคุณภาพที่ดีกว่า

6.2 ปัญหาที่พบระหว่างการทดลอง

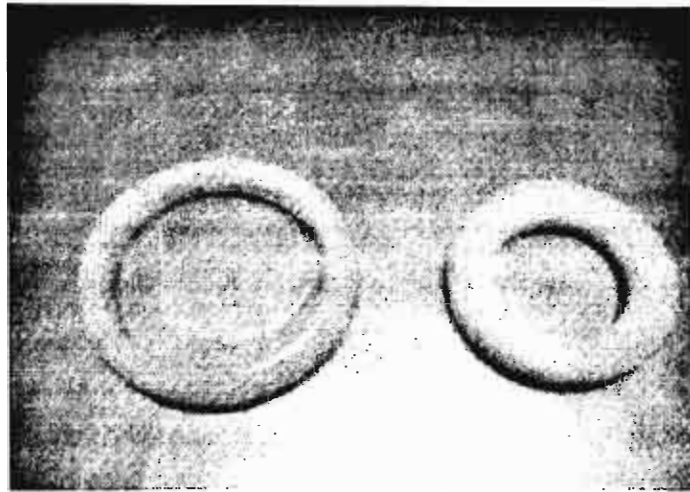
ปัญหาที่พบหลังการละลายด้วยความดันสูง

หลังการทดสอบการละลายเสร็จแล้ว ลองอัดความดันขึ้นอีกครั้ง พบว่าเกิดซิลิโคนรั่วที่ฝา ปิดถึงความดันตรงช่องที่ใส่เทอร์มอคัปเปิล นำประแจและไขควงมาขันน็อตให้แน่น หลังจากนั้น พบว่ายังเกิดการรั่วเช่นเดิม มีขั้นตอนแก้ไขดังทนความดันดังนี้

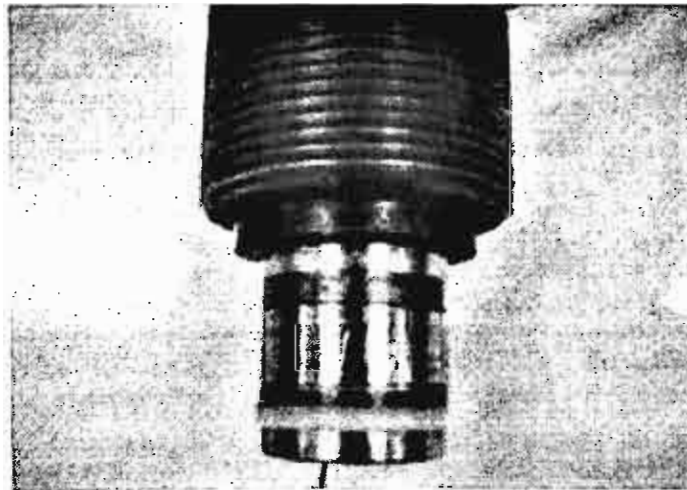
1. ทำการเปิดฝาดู เพื่อตรวจสอบภายใน พบว่าประเก็นที่ทำจากซูเปอร์ลีนมีการขยายตัว ออก จึงทำการเปลี่ยนเป็นประเก็นเป็นวัสดุชนิดเดิมอีกครั้ง พบว่าประเก็นชนิดซูเปอร์ ลีนทนความดันได้สูงสุด 1500 บาร์
2. ทำการเปลี่ยนประเก็นเป็นชนิดทองเหลือง พบว่ายังเกิดการรั่วอยู่ตรงช่วงข้อต่อของวาล์ว ปลดความดัน จึงใช้เทปกาวพันให้แน่นขึ้น แล้วใช้ประแจกับไขควงขันให้แน่น
3. ทำการอัดความดันถึง 1000 บาร์แล้วหยุด เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ภายใน พบว่ารอบๆถังมีรอยขีด ข่วน จากนั้นอัดความดันจนถึง 2000 บาร์ พบว่าไม่รั่ว
4. กลึงประเก็นชนิดทองแดง เนื่องจากทองแดงมีความยืดหยุ่นกว่าทองเหลือง



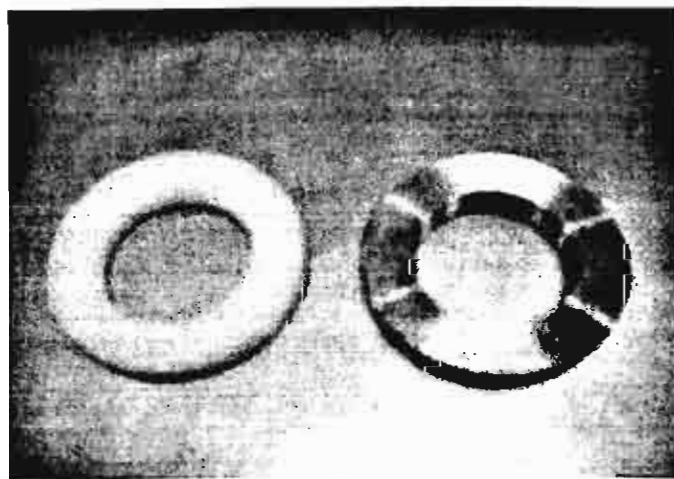
รูปที่ 6.1 แสดงฝาดังความดันสูงพร้อมประเก็นที่ขยายตัว



รูปที่ 6.2 แสดงประเก็นรูปเปอร์ลินที่ขยายตัวเทียบกับปกติ



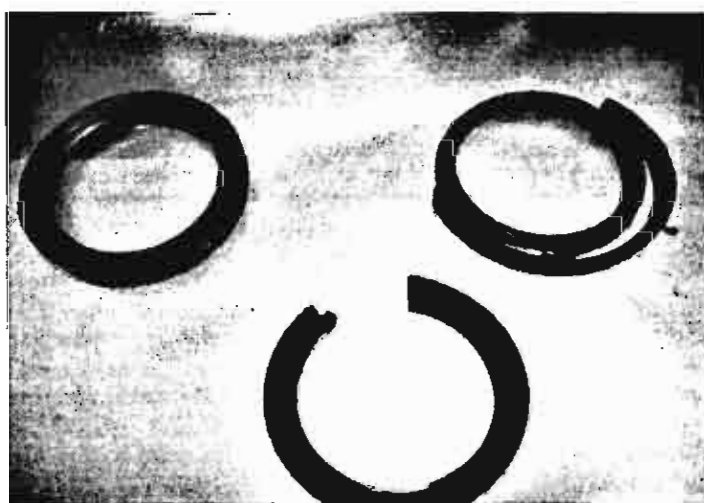
รูปที่ 6.3 ประเก็นชนิดทองเหลือง



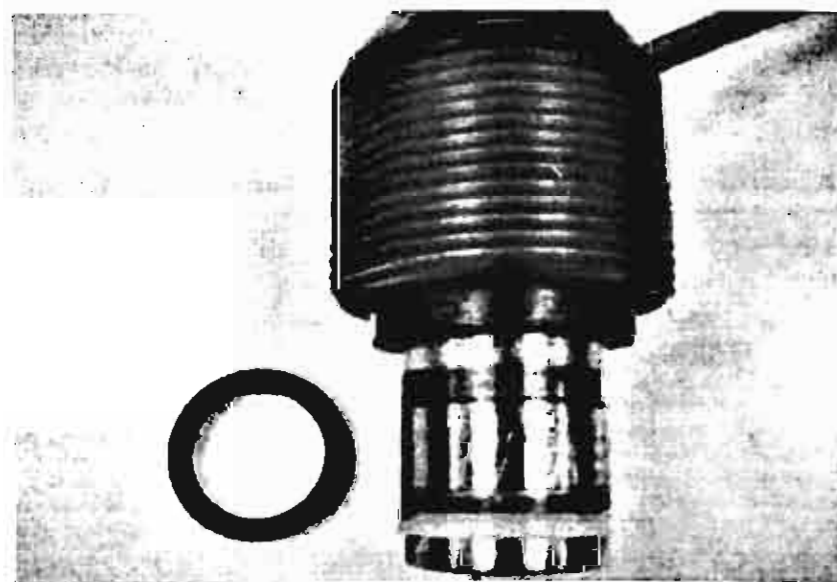
รูปที่ 6.4 ประเก็นชนิดทองแดง

ปัญหาระหว่างการทดสอบการให้ความเย็น

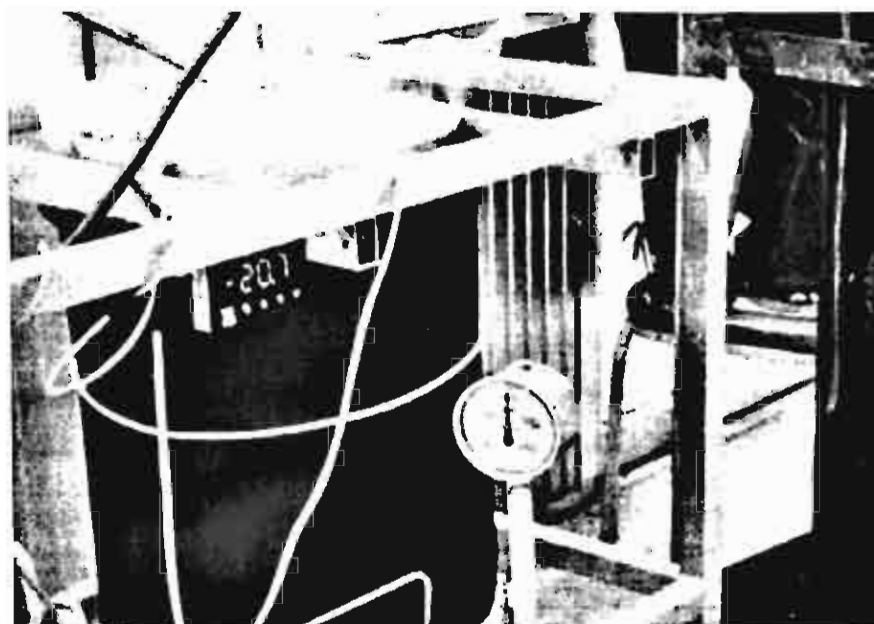
ในการทดลองทำการเปิดวาล์วให้ไนโตรเจนเหลวเข้าถึงทนความดันสูงจนกระทั่งอุณหภูมิในถังทนความดันสูงมีค่า -20 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดฝาดังความดันออก พบว่าซีล (O-ring) สีดำเกิดการขาด จึงทำการเปลี่ยนไปเป็นซีลสีขาว ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่า จากนั้นลดอุณหภูมิจนมีค่า -20 องศาเซลเซียสแล้ว ทำการอัดความดันจนถึง 2000 บาร์ จับเวลา 10 นาที จากนั้นปล่อยความดันออก ช่วงนี้อุณหภูมิจะสูงขึ้น เปิดฝาดตรวจสอบสภาพของซีลสีขาว พบว่าไม่มีการแตกร้าวของซีล



รูปที่ 6.5 แสดงซีล (O-ring) สีดำที่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 6.6 แสดงซีลสีขาวและสีดำ



รูปที่ 6.7 แสดงระบบที่ความดัน 2000 บาร์ และ -20 องศาเซลเซียส

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการไ้มฉนวนรอบถังทนความดันสูง เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงาน
2. ก่อนทำการทดลองแต่ละครั้ง ควรตรวจสอบสภาพก่อน เพื่อป้องกันการรั่วของความดันและน้ำมันซิลิโคน
3. ในการทดลองความดันสูงแต่ละครั้ง ควรมีฉากกันรอบถังทนความดันสูง รวมถึงมอเตอร์ เพื่อป้องกันน้ำมันซิลิโคนกระเด็น
4. ควรทำการเปลี่ยนสายยางที่ใช้เดิมซิลิโคนเป็นท่อ เนื่องจากท่อจะทนทานกว่า
5. ในการทดลองครั้งต่อไป ควรเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ (compressor) ให้มีกำลังมากขึ้น เพื่อให้มีกำลังพอที่จะไปขับเครื่องสูบล้างความดัน
6. ควรมีการทดลองการแช่แข็งด้วยความดันสูง แล้วนำมาละลายที่ความสูง เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss) เปรียบเทียบกับการแช่แข็งด้วยวิธีดั้งเดิม แล้วนำมาละลายด้วยวิธีดั้งเดิม

Output ที่ได้จากโครงการ

- 1. ระบบเครื่องมือการถนอมอาหารด้วยกระบวนการความดันสูง**
- 2. บทความสำหรับการเผยแพร่**

รายการอ้างอิง

1. Li B, Sun DW. Novel Methods for rapid freezing and thawing of food: a review. JFE. 2002;54:175-182.
2. Yoshioka K. ,Yamada A. , Maki T. Application of high pressurization to fish meat:Changes in the physical properties of carp skeletal muscle resulting from High Pressure thawing. High Pressure Bioscience and Biotechnology. 1996:369-374.
3. Sanz P. D. ,Otero L. ,Elvira C. ,Carrasco J.A. :Freezing Processes in High Pressures domains. Int J. Refrig. 1997;20:301-307.
4. Martino M.N. ,Otero L. ,Sanz P.D. ,Zaritzky N.E. Size and Location of Ice Crytals in Pork Frozen by High Pressure-Assisted Freezing as Compared to Classical Methods. Meat Science 1998;50:303-313.
5. L.S. Bak , A.B. Andersen , E.M. Andersen , G. Bertelsen . Effect of modified atmosphere packaging on oxidative changes in frozen stored cold water shrimp. 1998:169-175
6. ผศ. สมเพียร จิรชัย. หลักการแปรรูปและถนอมอาหาร : โครงการตำราวิชาการราชภัฏเฉลิมพระเกียรติเนื่องในวโรกาสพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวพระชนพรรษา 6 รอบ; 2542
7. สายสนม ประดิษฐ์ดวง. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2546.
8. ไพบูรณ์ ธรรมวัฒน์วาสิก. กรรมวิธีการแปรรูปอาหารครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2532.
9. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร:การถนอมอาหาร ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2535.
10. A Company of Thysserkrupp Technologies. UHDE High Pressure Technologies. Produkte [Online] Available from :<http://www.Uhde-hpt.com/produkte/autokalven.de.html> [Accessed 2003 Aug 29]
11. Chevalier D. ,Sentissi M. ,Havet M. , Bail A. L. Comparison Of Air-blast And Pressure Shift Freezing On Norway Lobster Quality JSC 2000 ; 65:329-333.
12. Hite,B.H (1899) "The Effect of Pressure in the preservation of Milk" in Bull. W. Virginia Univ. Agr. Exp. Stat 58, 15-35

13. Hite, B.H., Giddings, N.J. and Weakly, C.E. (1914) "The Effect of Pressure on Certain Microorganisms Encountered in the Preservation of Fruits and Vegetables" in Bull. W. Virginia Univ. Agr. Exp. Stat 146, 1-67
14. Teramoto A., Fuchigami M. Changes in Temperature, Texture, Structure of Konnyaku (Konjac Glucomannan Gel) During High-Pressure-Freezing. JFS 2002;65:491-497.
15. Otero L., Martino M., Zaritzky N., Solas M. Sanz P.D. Preservation of Microstructure in Peach and Mango during High-pressure-shift Freezing. JFS 2000;65:466-470.
16. Kalichevsky MT., Knorr D., Lillford PJ. Potential Food Applications of High-Pressure Effects on Ice-Water Transitions. Trends in Food Science & Technology 1995;6:253-258.
17. วิไล รังสาดทอง. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2545.
18. Marc EG., Hendrickx, Knorr D. Ultra High Pressure Treatments of food. 1st ed. United State: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2002.
19. Chevalier D., Bail AL., Ghoul M. Evaluation of the Ice Ratio Formed During Quasi-Adiabatic Pressure Shift Freezing. High Pressure Research 2001;21:227-235.
20. Bail AL., Chevalier D., Musa DM., Rizvi SH. High Pressure freezing and thawing of foods: a review Int J. Refrig. 2002; 25:504-513.
21. Oliver Schlier. Impact of High Pressure-Low Temperature Process on Cellular Materials Related to Foods [M.Eng. Thesis in food Engineering] Germany: Faculty of Food Engineering, Berlin University; 2003.
22. Otero L., Sanz, P.D. High-pressure Shift Freezing. Part 1. Amount of Ice Instantaneously Formed in the Process. Biotechnol. 2000;16:1030-1036
23. Singh PR., Heldman DR. Introduction to Food Engineering. 3rd ed. United State: Academic Press.; 2001.
24. Antonio D. Molina-Garcia, Laura Otero, Miriam N. Martino, Noemi E. Zaritzky, Jacek Arabas, Janusz Szczepek, Pedro D. Sanz. Ice VI freezing of meat: supercooling and ultrastructural studies. 2003: 709-718

ภาคผนวก ก
การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss)

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำที่สูญเสีย (drip loss)

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าน้ำหนักของกึ่งกลาคำในการทดลองแบบธรรมดาที่เวลาในการละลาย 15 นาที

น้ำหนักกึ่ง ก่อนแช่แข็ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งหลัง การละลาย (กรัม)	น้ำหนักกึ่งหลัง การต้ม (กรัม)	ค่าน้ำหนักแห้ง (dry matter, กรัม)
14.7317	14.3329	13.9779	8.7218

จากสูตรที่ 2.6

$$Drip = \frac{\text{drip mass (g)}}{\text{dry matter of the sample (g)}} \times 100$$

drip mass หลังการละลาย คือ น้ำหนักกึ่งก่อนการแช่แข็ง - น้ำหนักกึ่งหลังการละลาย

drip mass หลังการต้ม คือ น้ำหนักกึ่งก่อนการแช่แข็ง - น้ำหนักกึ่งหลังการต้ม

dry matter (DM) คือ น้ำหนักแห้ง

ค่า drip mass หลังการละลาย คือน้ำหนักกึ่งก่อนแช่แข็ง - น้ำหนักกึ่งหลังละลาย

ค่า drip mass หลังการต้ม คือน้ำหนักกึ่งก่อนแช่แข็ง - น้ำหนักกึ่งหลังการต้ม

ค่า dry matter (DM) คือค่าน้ำหนักแห้ง

$$\text{ค่า drip mass หลังการละลายคือ} = 14.7317 - 14.3329 = 0.3988$$

$$\text{drip loss} = \frac{0.3988g}{8.7218DM} \times 100$$

$$\text{drip loss} = 4.5725 \text{ g} / 100 \text{ gDM}$$

ดังนั้นปริมาณน้ำที่สูญเสียไประหว่างการละลายมีค่า 4.5725 กรัม / 100 กรัมDM

ค่าปริมาณน้ำสูญเสียหลังการต้ม คือ $14.7317 - 13.9779 = 0.7538$ กรัม

$$\text{drip loss} = \frac{0.7538 \text{ g}}{8.7218 \text{ gDM}} \times 100$$

$$\text{drip loss} = 8.6427 \text{ g} / \text{gDM}$$

ดังนั้นปริมาณน้ำสูญเสียไประหว่างการต้มมีค่า 8.6427 กรัม / กรัมDM

เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำสูญเสียทั้งหมด 13.2152 กรัม / กรัมDM

ภาคผนวก ข

Composition of High Pressure vessel

1. Presentation:

1-1 Autoclave 0.5 L 4000 bar -30°C

Manufacturer reference: 7-1000-132

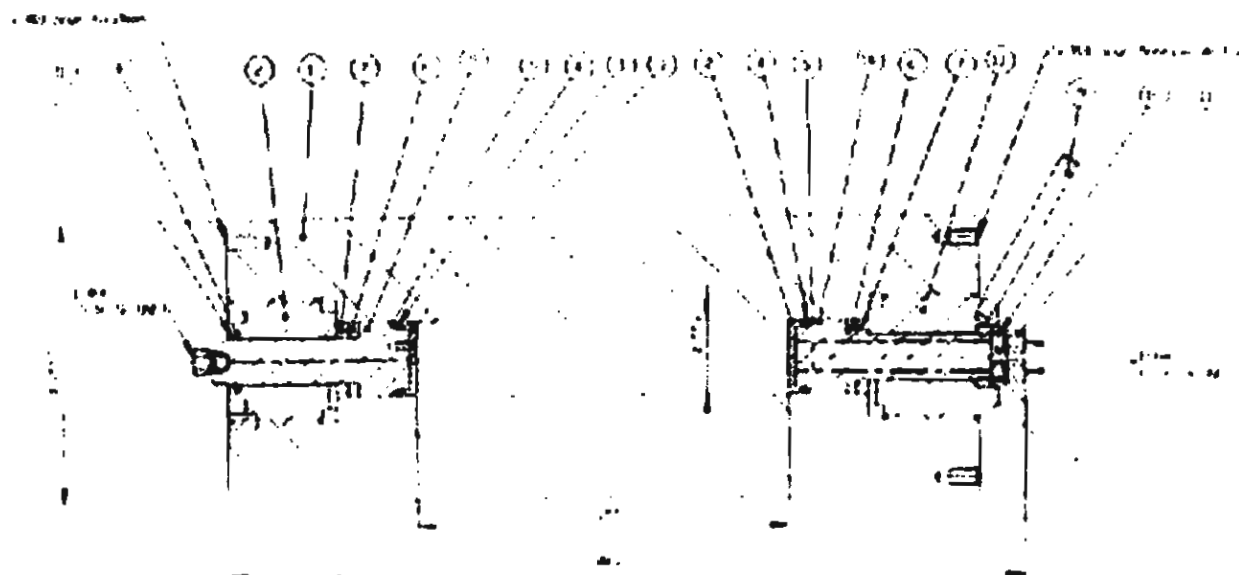
1-1-1 Dimensions:

- Total length : 590 mm
- Diameter : 189.5 mm

1-1-2 Technical Data:

Maximum Acceptable Pressure (PS)	: 4500 bar
Test Pressure (PT = 1.43 PS)	: 6490 bar
Operating Temperature (TS)	: -30/60 °C
Volume (V)	: 0.5 liter
Fluid	: Liquid group 2 (Silicone oil)
Table	: IV
Category	: 1

1-1-3 Composition:



Nomenclature

REP	REFERENCE	DESIGNATION	QTY
1	6-1000-741	Body	1
2	6-1000-754	Cylinder Head	1
3	6-1000-473	Extractor	1
4	6-1000-474	U-Seal (NITRILE)	2+2R
5	6-1000-475	Antiextrusion Tapered Ring	2
6	6-1000-800	Flat seal	2
7	6-1000-477	Antiextrusion Flat Ring	2
8	6-1000-738	Plug	1
9		FHC M5x15 A2	7
10	6-1000-483	Spring Retaining Ring	1
11		Retaining Ring ext D30	1
12	6-1000-740	Extractor	1
13	6-1000-737	Inlet Cylinder Head	1
14	6-1000-739	Inlet Plug	1
15	6-1000-755	Extractor with ¼ HP connection	1
16	COL-60-4	Locking Collar	3
17	GLN-60-4H	Locking Gland	3
18		CHC M5x10 A2	2
19	6-1000-756	Handle	3
		Lifting Eyebolt male M10 A2	2

2. OPERATING MODE:

- ❖ The autoclave is designed for an operating pressure of maximum 4500 bar maximum, for a group 2 fluid (i.e. not dangerous liquid) in a range of temperature from –30 up to 60°C
- ❖ No tightening torque is needed, which make it easy to access the 0.5L volume. An antisizing treatment provides for an easy removal of the Cylinder Heads.
- ❖ Two connections are located on top of the chamber: The plug Rep 14 has got 2 connections $\frac{1}{4}$ HP (9/16-18 UNF). It is left at the operator's discretion to use them according to his applications.
- ❖ One connection is located underneath the chamber: The plug Rep 8 has got 1 connection $\frac{1}{4}$ HP (9/16-18 UNF). It is left at the operator's discretion to use them according to his applications.

2-1 Mounting:

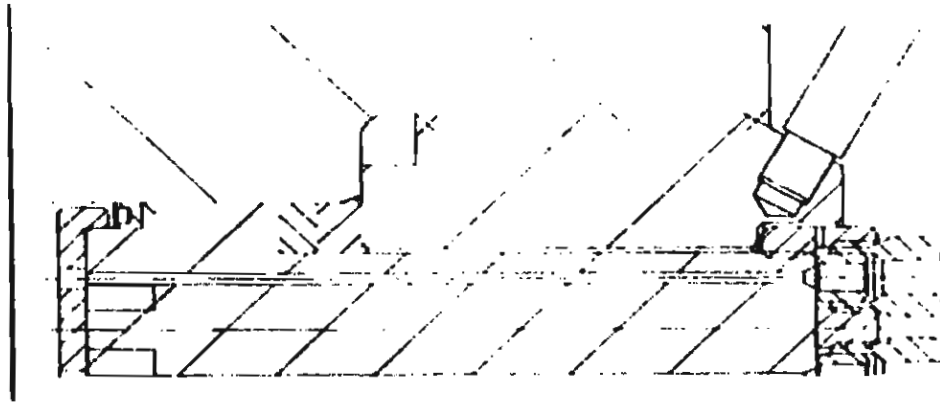
Any mounting dismounting, or handling operation on the autoclave must be executed when the device and the circuit is drained (under the user's responsibility).

- Tie up the body Rep 1 using the fixing holes or others.
- Stack the components as shown on the drawing in order to form the plugging assemblies.
- Carefully put the grease on the male and female thread of the body (Rep 1) and the Cylinder Heads (Rep 2 and 13) and on the gasket surface (see the red zones on the drawing)
- Screw the assembly in the body, with appropriate grease, until mechanical limit stop (no tightening torque is necessary).

CAUTION: foolproof of the body Rep 1: The three fixing M10 are downwards.

- Executed the same steps at the other side of the chamber.

The autoclave is ready for operation.



2-2 Dismounting:

Any mounting, dismounting, or handling operation on the autoclave must be executed when the device and the circuit is drained (under user's responsibility).

- Tie up the body Rep 1 using the fixing holes or others.
- Screw off the cylinder head(s) Rep 3.
- Remove the plugging assemblies.
- Check the thread and clean if necessary, make sure to leave no particles or impurities in order to prevent seizing.

3 MAINTENANCE / VARIOUS

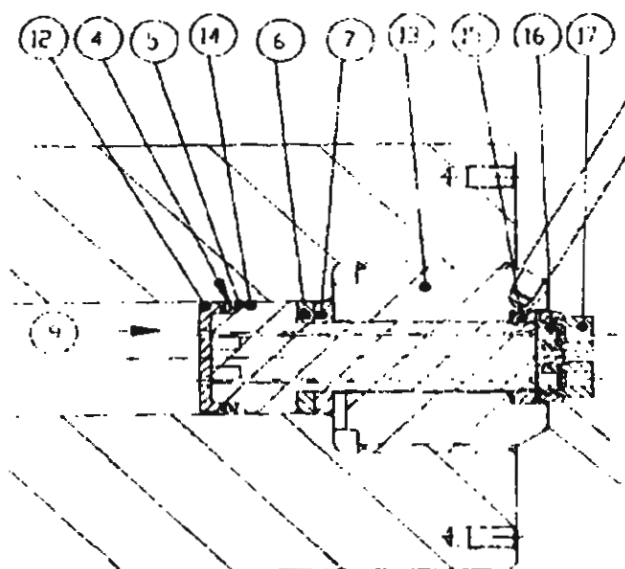
- Two lifting eyebolts are at the operator's disposal for the autoclave handling.

Any mounting, dismounting, or handling operation on the autoclave must be executed when the device and the circuit is drained (under user's responsibility).

3-1 Seals removal :

3-1-1 Change of the first tightening stage :

- Remove the plugging assemblies (see 2-2).
- Screw off the screws M5 Rep 9 (4 screws on the plug Rep 14 and 3 screws on the plug Rep 8).
- Remove the Extractors Rep 12 and 3
- Pull the U-seal Rep 4 and the antiextrusion ring Rep 5.
- Before replacing the seals, check the area of the gasket surface, any solid particle or impurity will lead to the premature wear of the seals.
- For the mounting, execute the operations in reverse Reminder: Carefully put some grease on the threads and gasket surface (see 2-1).



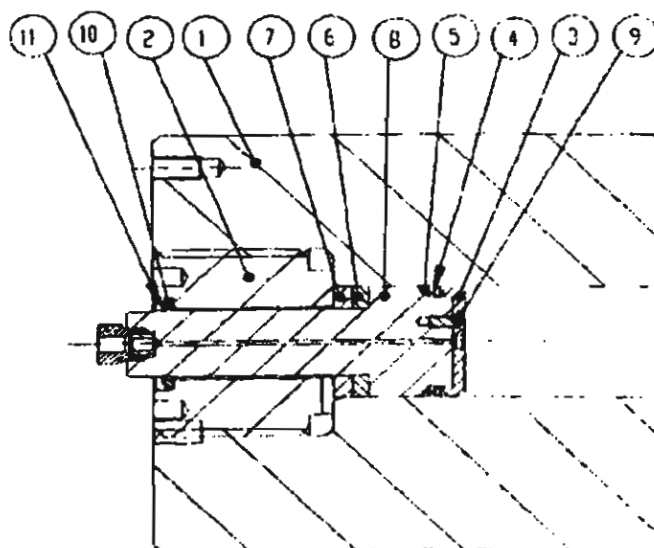
3-1-2 Change of the second tightening stage ;

3-1-2-1 For the top assembly :

- Dismounting the plugging assembly (see 2-2).
- Remove the tubes, screws Rep 17 and rings Rep 16 of the extractor Rep 15.
- Screw off the extractor Rep 15 and remove the plug Rep 14.
- Pull the flat seal Rep 6 and the antiextrusion ring Rep 7.
- Before replacing the seals, check the area of the gasket surface, any solid particle or impurity will lead to the premature wear of the seals.
- For the mounting, execute the operations in reverse Reminder: Carefully put some grease on the threads and gasket surface (see 2-1).

3-1-2-2 For bottom assembly:

- Remove the retaining rings Rep 11 and Rep 10, then remove the plug.
- Pull the flat seal Rep 6 and the antiextrusion ring Rep 7 Proceed to the replacement.
- For the mounting, execute the operations in reverse Reminder: Carefully put some grease on the threads and gasket surface (see 2-1).



ส่วนประกอบเครื่องความดันสูง

- | | |
|--|-----------------------|
| - มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด | 189.5 มิลลิเมตร |
| - สามารถทดลองความดันได้ถึง | 4500 บาร์ |
| - อุณหภูมิที่เหมาะสมตั้งแต่ | -30 - 60 องศาเซลเซียส |
| - ปริมาตรบรรจุได้ | 0.5 ลิตร |
| - ของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางผ่านความดันคือ | น้ำมันซิลิโคน |

ส่วนประกอบของฝาปิดถังความดันสูง มีลักษณะเป็นเกลียวนอก แล้วต่อด้วยแหวนทองเหลือง และชั้นต่อมาคือแหวนเหล็ก จากนั้นรองรับด้วยซิลยางและชุดท้ายเป็นฝาครอบทองเหลือง โดยมีน๊อตยึดทั้งหมดจำนวน 4 ชั้น ส่วนบนสุดมีช่องใส่เทอร์โมคัปเปิลและช่องที่ใช้ปล่อยความดันออก รวมถึงช่องเพื่อใส่ด้ามจับจำนวน 3 ช่องในการสะดวกหมุนฝาปิด

ข้อแนะนำระหว่างการทดลอง

- ใช้เทปพันเกลียวพันที่ข้อต่อในส่วนของฝาปิดถังความดันสูง เพื่อช่วยให้ระหว่างข้อต่อติดกันสนิท และป้องกันการรั่วซึมในระหว่างการทดลอง
- ควรเช็คสภาพซิลหลังทำการทดลองทุกครั้ง เนื่องจากเมื่อซิลได้รับความเย็นจัดมีผลทำให้ซิลแข็งตัว และแตกได้
- ควรทาเจลหล่อลื่นทุกครั้งก่อนทำการปิดฝาดังความดันสูง
- ในระหว่างการทดลอง หมั่นตรวจระดับน้ำมันซิลิโคน อย่าให้มีฟองอากาศเข้าถังความดันสูงในระหว่างเพิ่มความดัน

REP	REFERENCE	DESIGNATION	QTY
1	6-1000-741	Body	1
2	6-1000-754	Cylinder Head	1
3	6-1000-473	Extractor	1
4	6-1000-474	U-Seal (NITRILE)	2+2R
5	6-1000-475	Antiextrusion Tapered Ring	2
6	6-1000-800	Flat seal	2
7	6-1000-477	Antiextrusion Flat Ring	2
8	6-1000-738	Plug	1
9		FHC M5x15 A2	7
10	6-1000-483	Spring Retaining Ring	1
11		Retaining Ring ext D30	1
12	6-1000-740	Extractor	1
13	6-1000-737	Inlet Cylinder Head	1
14	6-1000-739	Inlet Plug	1
15	6-1000-755	Extractor with ¼ HP connection	1
16	COL-60-4	Locking Collar	3
17	GLN-60-4H	Locking Gland	3
18		CHC M5x10 A2	2
19	6-1000-756	Handle	3
		Lifting Eyebolt male M10 A2	2

ภาคผนวก ก

Manuscript

**High-Pressure Processing (HP) on Food Preservation;
HP Supported Freezing/Thawing on Tiger Prawn**

J. Kuldiloke, T. Uan-On, M. N. Eshtiaghi

**Department of Chemical Engineering;
Faculty of Engineering; Mahidol University**

25/25 Putthamonthol Rd. 4;

Salaya 73170; Thailand

Fax: +66 (0)2 889 2138 ext. 6129

e-mail: egjkd@mahidol.ac.th

Abstracts

The frozen shrimp was carried out by high pressure unit. Homogeneous and small ice crystal was induced throughout the cell because of high pressure. This can decrease the problem of cell destruction and the long of thawing time. The experiment were divided into 2 parts: 1. conventional freezing and thawing at 15, 30, 45 minutes compared with high pressure thawing at 500, 1000, 1500, 2000 bar in order to determine the suitable thawing time and types of shrimps. 2. High pressure freezing and the conventional thawing, which can compare the drip loss as well as the cell destruction.

The result of conventional freezing and thawing showed that the drip loss after thawing at 30°C, 15 minutes with subsequent boiling at 80°C, 5 minutes was at minimum comparing to with thawing time duration 30 and 45 minutes.

The result of high pressure freezing has shown that the high pressure can reduce thawing time and accordingly maintain the good quality. The high pressure freezing of unpeeled and peeled shrimp at 2000 bar showed the reduction of cell destruction and drip loss comparing to the conventional freezing and thawing shrimp.

keywords: frozen prawn, high pressure freezing, freezing and thawing

1. Introduction

Recently, high pressure has demonstrated its wide applicability for producing high quality foods, such as food sterilizing and food freezing. It is now accepted as an attractive alternative to heating methods.

Among contributions to Thai economics, frozen food is a great majority of food export, especially prawn. However, the tender of frozen prawn still cannot be met to the customer satisfaction. High-pressure technique may solve this problem.

The complexity of foods arises from their biological origin and their spatial heterogeneity on a variety of scales which one can even find in single cell units. Shrimp and prawn are all derived from living organisms which are composed of cells. It is this cell structure which is one of the major contributors to the characteristic texture of a food (Christensen, 1984). Plant and animal related tissues are cellular networks, in which the occurrence and the amount of nutritive and essential compounds are strongly dependent on environmental, agricultural and processing factors.

From a food processing/engineering perspective, key advantages of high pressure application to food systems are the independence of size and geometry of the sample

during processing, possibilities for low temperature treatment and the availability of a taste-free, environment-friendly technology (Knorr, 1996). However, numerous interesting effects of high pressure on the solid-liquid and solid-solid phase transitions of water (the major constituent of most food materials), which have been studied in detail by Bridgman (1912) have been neglected by food R&D until recently. Besides a depression of the freezing-point to a minimum of -22°C at 209.9 MPa (Wagner et al., 1994) a reduced enthalpy of crystallisation can be observed, thereby accelerating phase transition processes (Kalicevsky et al., 1995).

Furthermore, different solid forms of pure water exist under pressure with a higher density than the fluid. Taking advantage of the phase diagram of water, various pathways of changing the physical state of food can be followed using external manipulations of temperature and/or pressure. Definitions on possible high pressure-low temperature processes can be given based on a terminology introduced by Knorr et al. (1998). The processing steps are shown in Figure 1.

The processes range from storing food under high pressure at subzero temperatures without freezing (A-B-C-D-C-B-A) to freezing at temperatures above 0°C (A-B-C-K-ice VI). Some of the more interesting possibilities are: pressure assisted freezing (A-B-H-I, i.e., pressurisation of an unfrozen sample, cooling, freezing at nearly constant pressure, pressure release) and pressure assisted thawing (I-H-B-A, i.e., pressurisation of a frozen sample, heating, thawing at nearly constant pressure, warming, pressure release). Pressure shift freezing (A-B-C-D-E) is another process of increasing interest where crystallisation is induced simultaneously in the whole subcooled sample by fast pressure release, with the intention of obtaining small and uniform ice crystals in the sample with minimum damage to the tissue. The reverse of this process is pressure

induced thawing (E-D-C-B-A), where the phase change is induced by pressurisation. Freezing of tissue water to different ice modifications is also possible with lesser mechanical damage to the tissues expected (because of the higher density of these ice forms compared with the liquid), but these solid forms are stable only under high pressure.

2. Materials and Methods

2.1 Tiger prawn

The Tiger prawn used for freezing and thawing experiments was brought from Mahachai port, Samutsakorn, Thailand. Some of them were peeled and cut into pieces. The experiments were divided into 3 groups: prawns with peel, prawns without peel and slice prawn. After that they were inserted into a freezer at 20°C. Samples were frozen-stored in the freezer until use. Before thawing experiments, frozen shrimps were removed from the freezer and packed using a PE film.

2.2 Pilot scale system

A schematic drawing of the high pressure vessel (Haskel Germany) especially used for the thawing of shrimp experiments is shown in Figure 2.

The high pressure apparatus, which had a maximum design pressure of 300 MPa, mainly consisted of the vessel (5) and the plug (8) with the fit-throughs for the pressure release valve and the single thermocouple (1). The volume of the vessel was 30 L.

(internal diameter 210 mm, height 520 mm), consequently it was used for scale-up evaluations of pressure supported thawing of shrimp tissue. The vessel was filled with the pressure transmitting medium (6) which is a silicone oil (Type 6165, Huber, Germany). The fluid mix was chosen specifically for its low freezing point, which is necessary for the subzero operations involved in high pressure-thawing and freezing. The temperature in the vessel was controlled externally by cooling jacket (7) around the vessel. A high pressure reciprocating pump (DSXHF-452 Haskel Ltd., California, USA) pumped the pressure medium into the vessel from a reservoir. The pressure in the vessel was measured using a pressure-gauge connected near the inlet to the vessel. The temperature field in the sample during thawing can be measured using a specially designed single-thermocouple fit-through designed by Newport.

2.3 Freezing and Thawing

Conventional method of freezing was operated at -20 °C in large freezer (Sanyo MDF-592, Japan). High Pressure freezing was carried out in the HP system explained in 2.2 with pressure level at 200 MPa.

HP thawing was operated at 50, 100, 150 and 200 MPa through the HP system at room temperature.

2.4 Drip Loss Calculation

$$Drip = \frac{\text{drip mass (g)}}{\text{dry matter of the sample (g)}} \times 100$$

drip mass after thawing = prawn weight before freezing – prawn weight after thawing

drip mass after cooking = prawn weight before freezing – prawn weight after cooking

3. Results and Discussion

3.1 Drip Loss

The drip loss of Tiger prawn (unpeeled prawn, peeled prawn and sliced prawn) was calculated. The different thawing time at 15, 30 and 45 minutes were provided different results of drip loss (Table 1, Table 2, Table 3). The thawing time at 15 minute had less drip loss. However, there was complexity of rheology which is not stable and well known. Therefore, the results of drip loss were obtained statistically.

In comparison of different types of sample (Figure 3), the sliced prawn had shown highest drip loss at all thawing time. This might be explained as sliced prawn has more contacted area during the freezing process.

The results of freezing and thawing were shown that unpeeled prawn had less drip loss. Peels tend to protect the weight loss from the Tiger prawn.

3.2 High Pressure Effect on Cell Rheology

The results of cell tissues were shown in the Figure 4 and 5. It has been found that HP freezing has less tissue damages. Therefore, it has very high potential of HP freezing and thawing for Tiger prawn preservation. This could be investigated further on different HP thawing condition with various high pressure level and different time

4. Conclusions

With respect to the degree of supercooling, a significant decrease in the phase transition time was reached when ice III is obtained. The high degree of supercooling before freezing to ice III is comparable to that of pressure-shift freezing and therefore positive effects to the processed food can be expected with regard to crystal size and distribution. This greater degree of supercooling together with the results of the phase transition times, indicate the consistency of the results, as shorter phase transition times are reached for higher degrees of supercooling. Shortening of phase transition times due to higher degree of supercooling was also reported for pressure shift freezing of model food (tylose-gel) (Denys *et al.*, 1997) and emulsions (Levy *et al.*, 1999).

Moreover, the supercooling frozen prawn was obtained less drip loss which represented less damage to the cell. The magnified photos was also agreed to the results of the drip loss. Further study should be carried out on various model of freezing and thawing time.

Acknowledgement

This project is sponsored by Thai Research Fund (TRF), Thailand

References

- Bridgman, P. W. (1912). Water, in the liquid and five solid forms, under pressure. *Proceedings of the American Academy of Sciences*, 47, 441-558.

Christensen, C. M. (1984). Food texture perception. *Advanced Food Research*, 29, 159-199.

Denys, S., Van Loey, A. M., Hendrickx, M. E., and Tobback, P. P. (1997). Modeling heat transfer during high-pressure freezing and thawing. *Biotechnology Progress*, 13(4), 416-423.

Kalichevsky, M. T., Knorr, D., and Lillford, P. J. (1995). Potential food applications of high pressure effects on ice-water transitions. *Trends in Food Science and Technology*, 6, 253-259.

Knorr, D. (1996). Advantages, opportunities and challenges of high hydrostatic pressure application to food systems. In: *High Pressure Bioscience and Biotechnology*, R. Hayashi and C. Balny, eds., Elsevier Science, Amsterdam, 279-289.

Knorr, D., Schlueter, O., and Heinz, V. (1998). Impact of high hydrostatic pressure on phase transitions of foods. *Food Technology*, 52(9), 42-45.

Levy, J., Dumay, E., Kolodziejczyk, E., and Cheftel, J. C. (1999). Freezing kinetics of a model oil-in-water emulsion under high pressure or by pressure release. Impact on ice crystals and oil droplets. *Lebensmittel - Wissenschaft und -Technologie*, 32(7), 396-405.

Wagner, W., Saul, A. b., and Pruß, A. (1994). International equations for the pressure along the melting and along the sublimation curve of ordinary water substance. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 23, 515-527.

Table 1 Drip loss at thawing time of 15 minutes

Type of prawn	drip loss		
	After thawing (g / 100 g DM)	After cooking (g / 100 g DM)	Total loss (g / 100 g DM)
- Unpeeled prawn			
Large size 14 cm long	4.5725	8.6427	13.2152
Small size 11cm long	6.7522	18.2180	24.9702
- Peeled prawn			
Large size 9 cm long	7.8735	31.4837	39.3572
Small size 6 cm long	2.5635	30.5840	33.1475
- Sliced prawn			
0.8 x 0. 8 x 0.8 cm ³	2.7689	36.1553	38.9242
1 x 1 x 1 cm ³	3.1399	50.9671	54.1070

Table 2 Drip loss at thawing time of 30 minutes

Type of prawn	drip loss		
	After thawing (g / 100 g DM)	After cooking (g / 100 g DM)	Total loss (g / 100 g DM)
- Unpeeled prawn			
Large size 14 cm long	4.5667	10.9198	15.4865
Small size 11 cm long	5.3732	15.7583	21.1315
- Peeled prawn			
Large size 9 cm long	7.1236	43.1201	50.2437
Small size 6 cm long	2.4038	44.6426	47.0464
- Sliced prawn			
0.8 x 0.8 x 0.8 cm ³	3.1543	45.0689	48.2232
1 x 1 x 1 cm ³	9.1282	64.5866	73.7148

Table 3 Drip loss at thawing time of 45 minutes

Type of prawn	drip loss		
	After thawing (g / 100 g DM)	After cooking (g / 100 g DM)	Total loss (g / 100 g DM)
- Unpeeled prawn			
Large size 14 cm long	4.3317	11.6937	16.0107
Small size 11cm long	6.1136	15.0542	21.1678
- Peeled prawn			
Large size 9 cm long	6.5680	48.9076	55.4756
Small size 6 cm long	4.2577	43.6692	47.9269
- Sliced prawn			
0.8 x 0.8 x 0.8 cm ³	3.7879	66.1295	69.9174
1 x 1 x 1 cm ³	2.8237	50.9671	90.0964

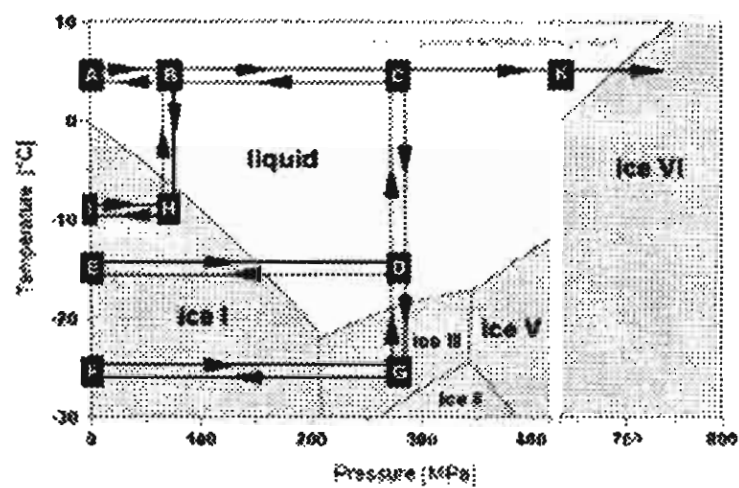


Figure 1: Phase transition of water ice

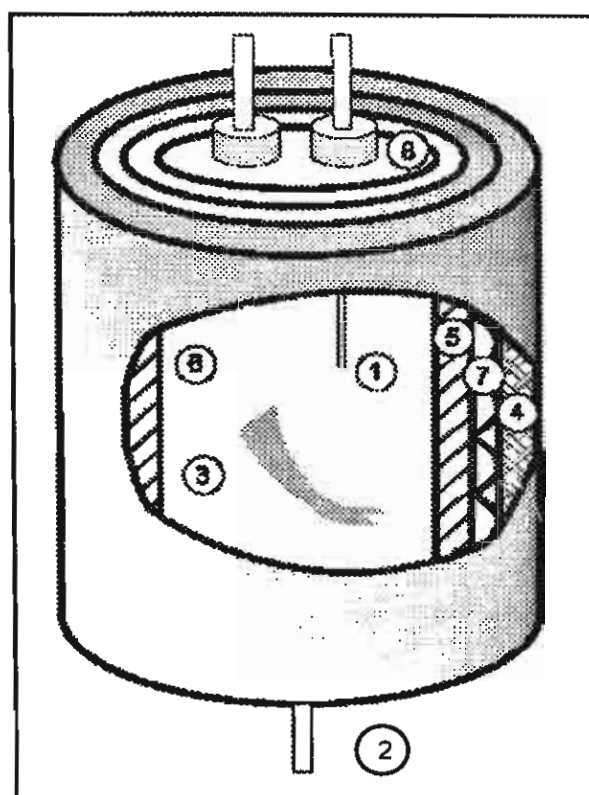


Figure 2 : Schematic drawing of the experimental arrangement. 1: thermocouple; 2: silicone oil inlet 3: sample; 4: insulation; 5: pressure vessel; 6: pressure medium (silicone oil); 7: cooling jacket; 8: upper seal.

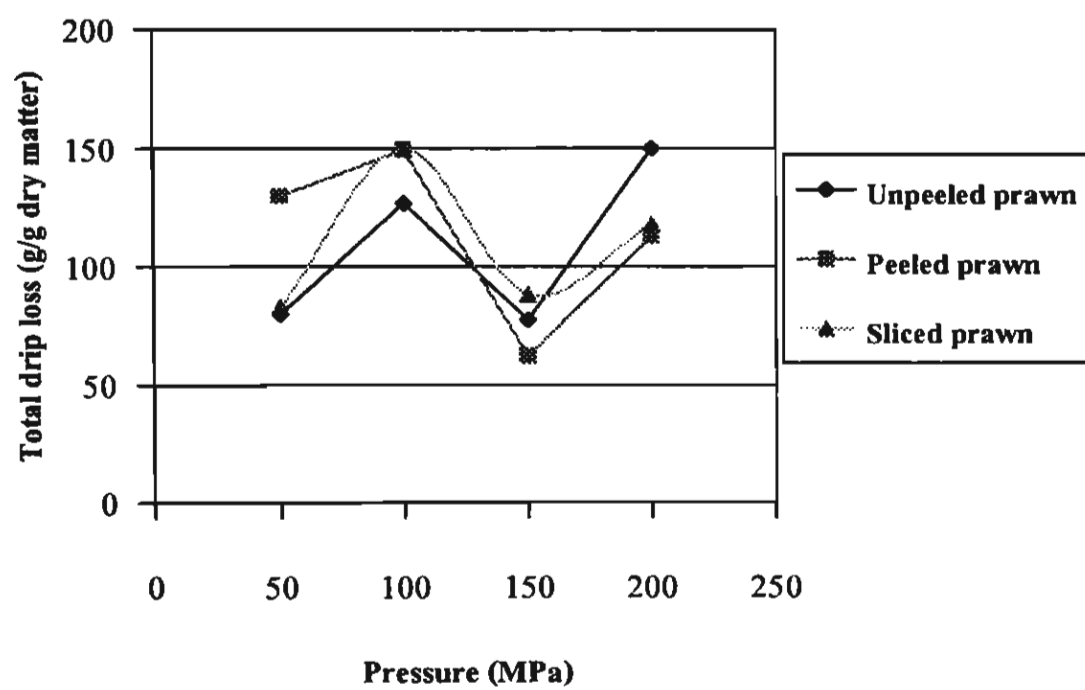


Figure 3: Total drip loss versus high pressure

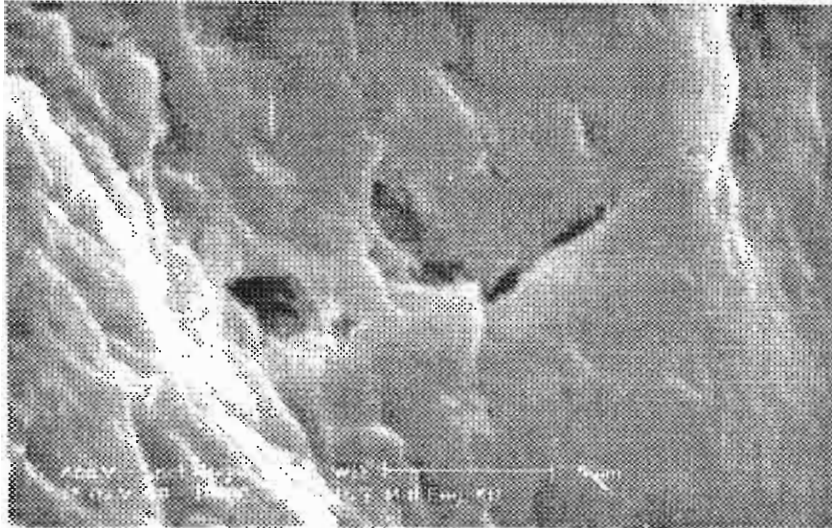


Figure 4: 10,000X magnification shows tissue structure of HP frozen unpeeled prawn (200 MPa)

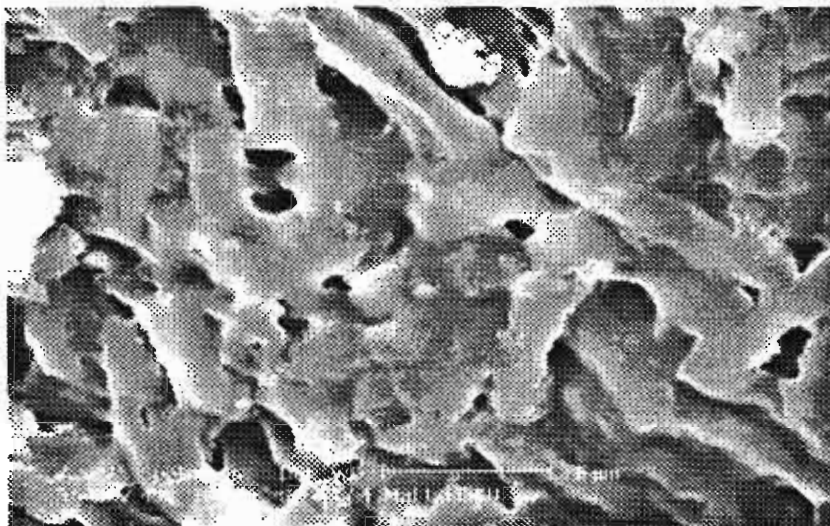


Figure 5: 10,000X magnification shows tissue structure of conventional frozen unpeeled prawn (200 MPa)