

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความ
ดันต่ำกว่าบรรยากาศ

**THE IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF THE MACHINE
FOR MAKING FRUIT AND VEGETABLE PASTE
BY EVAPORATIVE VACUUM SYSTEM**



นาย ชัยยา นิปุณะ
นาย ดำรงศักดิ์ แพทย์นาดี
นาย ปิยะพงษ์ อัครธรรม

๕๖
๕ 419๗
๘๕4๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72034
วัน,เดือน,ปี.....- 7 ส.ย. 2550

b.....117 62202
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความ
ดันต่ำกว่าบรรยากาศ

**THE IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF THE MACHINE
FOR MAKING FRUIT AND VEGETABLE PASTE
BY EVAPORATIVE VACUUM SYSTEM**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระบบสุญญากาศที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

The Improvement and Development of the Machine for Making Fruit and Vegetable Paste by Evaporative Vacuum System


ผู้จัดทำ

1. นาย ชัยยา นิบุณะ รหัส 47015478
2. นาย ดำรงศักดิ์ แพทย์นาดี รหัส 47015483
3. นาย ปิยะพงษ์ อัครธรรม รหัส 47015490




..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วิภา เจียรระโนวชิระ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องทำเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่า บรรยากาศ

นาย ชัยยา นิปุณะ	47015478
นาย คำรงค์ศักดิ์ แพทย์นาดี	47015483
นาย ปิยะพงษ์ อัครธรรม	47015490
รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. วิภา เจียรระโนวชิระ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549	

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษา การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้แบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศจากเครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศเดิม ตัวเครื่องประกอบด้วย 1) ถังสุญญากาศ 2) ไบโกวและมอเตอร์ขับ 3) ฮีตเตอร์ และระบบควบคุมอุณหภูมิ 4) ป้อนสุญญากาศ รายละเอียดของตัวเครื่องมีดังนี้ ถึงสามารถบรรจุน้ำกะทิได้ 2-3 ลิตร ความเร็วรอบไบโกว 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 rpm ฮีตเตอร์ขนาด 2500 Watt ช่วงความดันสุญญากาศสัมบูรณ์ที่ทำได้คือ 40-760 mmHg ป้อนสุญญากาศมีขนาด 108 m³/hr ใช้มอเตอร์ขนาด 3 HP ในการทดสอบหาสภาวะเบื้องต้นใช้ สับปะรด พุริณ และน้ำกะทิเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ สี, Viscosity, Flow Behavior Index, Consistency Coefficient, Total Soluble Solids และอัตราการระเหย พบว่าเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้แบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เหมาะที่จะนำมาใช้กับการทำน้ำกะทิเข้มข้น จึงได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำกะทิที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน 60 mmHg โดยใช้เวลาในการทำระเหย 10, 20, 30 และ 40 นาทีและความเร็วรอบไบโกว 10 และ 50 rpm เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการระเหยน้ำกะทิ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการระเหยน้ำกะทิใช้เวลาในการทำระเหย 30 นาที ที่ความเร็วรอบไบโกว 50 รอบต่อนาที เเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ระเหยไป 38.25 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราการระเหย 1.53 กิโลกรัม/ชั่วโมง คุณภาพของน้ำกะทิสด น้ำกะทิเข้มข้น และน้ำกะทิเข้มข้นที่เติมน้ำเป็น ดังนี้ L* เท่ากับ 85.56, 76.6 และ 71.71 a* เท่ากับ 0.29, 0.98 และ 0.58 b* เท่ากับ 6.70, 12.10 และ DE* เท่ากับ 0.37, 11.20 และ 6.012 WICIE เท่ากับ 34.14, -14.77 และ 12.05 ความหนืดเท่ากับ 22.05 cP, 2593.8 cP และ 25.65 cP ที่ความเร็วรอบ Spindle 100 rpm ค่า Flow Behavior Index (n) เท่ากับ 0.578, 0.626 และ 0.844 ค่า Consistency Coefficient (k) เท่ากับ 0.086, 0.491 และ 0.026 Total Soluble Solids เท่ากับ 13.12 % Brix, 33.25% Brix และ 13.65 % Brix ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**The Improvement and Development of the Machine for Making Fruit and Vegetable Paste
by Evaporative Vacuum System**

Chaiya	Nipuna	47015478
	Damrongsak Paetnadee	47015483
Piyapong	Akkarathum	47015490
Assoc.Prof. Panman	Sirisomboon	Advisor
Assoc.Prof. Vipa	Jayranaiwachira	Advisor
Assoc.Prof. Pimpen	Pornchaloempong	Advisor

Abstract

This project investigated the improvement and development of the machine for making fruit and vegetable paste by evaporative vacuum system. The machine, which was modified from the previous coconut milk concentrated machine using evaporative vacuum system, composed of 1) chamber for coconut milk 2) stirring paddle with motor 3) heater and temperature control system 4) vacuum pump. The chamber can contain 2-3 l coconut milk. The stirring paddle rotational speed was 5, 10, 50, 100, 200 and 400rpm. Heater power was 2500 watt. Range of vacuum absolute pressure was 40-760 mmHg. The vacuum pump flow rate was 108 m³/hr. The pump was driven by 3 HP motor. Beginning of the test, the three kinds of fruits was studied, pineapple, durian and coconut milk. The properties (color, viscosity, flow behavior index, consistency coefficient, total soluble solid, and evaporation rate) were measured for the fresh juice and concentrated juice. The result showed that the machine was suitable for coconut milk. Concentrating process for coconut milk was studied at different conditions (10, 20, 30 and 40 minute evaporation time and 10 rpm and 50 rpm stirrer rotational speeds) at 60 mmHg to indicate the suitable condition which was found that at 30 minute evaporation time and 50 rpm stirrer speed. At this condition, the percentage of water evaporation was 38.5 % and evaporation rate was 1.54 kg/hr. The properties of fresh, concentrated, and diluted coconut milk were L* of 85.56, 76.60 and 81.71; a* of 0.29, 0.98 and 0.58; b* of 6.70, 12.10 and 9.20; DE* of 0.37, 11.20 and 6.012; WICIE of 34.14, -14.77 and 12.05; viscosity of 22.05 cP, 2593.8 cP, and 25.62 cP at 100 rpm spindle speed; flow behavior index (n) of 0.578, 0.626 and 0.844; consistency coefficient (k) of 0.086, 0.491 and 0.026; total soluble solids of 13.12 % Brix, 33.25% Brix and 13.65 % Brix, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจจะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีหากไม่ได้รับการช่วยเหลือและได้รับคำแนะนำจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลสำคัญที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปานมานัส ศรีสมบูรณ์ , ผศ.ดร. วิภา เกษระโนวะชิริระและ ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ ที่ช่วยชี้แนวทางตลอดจนดูแลเอาใจใส่ ตั้งแต่เริ่มแรกจนเสร็จสิ้นปริญญาานิพนธ์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จขึ้นมาได้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆพี่น้อง และคณาจารย์ทุกท่านใน ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ที่ช่วยให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณ บริษัท พี.พี.วาย อินเดอเทค จำกัด ที่ช่วยให้การสนับสนุนบางส่วน ในเรื่องป้อนสูญญากาศ และ บริการเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท ศรีวิศาล เกษรา จำกัด ที่ช่วยดูแล สร้างชิ้นส่วนสแตนเลส ตลอดจนให้คำแนะนำแก้ไขส่วนประกอบของเครื่องให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท พี.เอ็ม.ฮีดเทค จำกัด ที่ช่วยดูแล สร้างชิ้นส่วนของชุดฮีดเตอร์ ตลอดจนให้คำแนะนำแก้ไขส่วนประกอบของเครื่องให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บทเพลงเพื่อชีวิต ที่เสียงดังกังวานอยู่ในหูในยามที่เหงาและหมดสิ้นหวังหมดกำลังใจ ที่ปลุกเร้าทางความคิดและทางจิตใจให้คณะผู้จัดทำได้มีความกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดียิ่งขึ้น

กราบขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้าที่เป็นแรงใจทุกอย่างก้าวในการทำงาน สร้างพลังใจในการฝ่าอุปสรรค ความท้อแท้ในบางช่วงเวลา ด้วยแรงใจนี้ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ข้าพเจ้าจะขอระลึกพระคุณอันสุดประมาณและกราบขอบพระคุณ ณ ที่นี้

ขอคุณพระศรีรัตนตรัยจงช่วยคลบ้นคาลปกปักรักษาให้ทุกท่านที่ข้าพเจ้ากล่าวถึงมีสุขภาพและพลานามัยที่แข็งแรงและ มีความสุขตลอดไป

นายชัยยา นิปุณะ
นายดำรงศักดิ์ แพทย์นาคี
นายปิยะพงษ์ อัครธรรม

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 คุณลักษณะของเนื้อและน้ำฝักผลไม้	4
2.1 คุณสมบัติของน้ำกะทิ (Coconut milk)	4
2.1.1 คุณสมบัติทางกายของน้ำกะทิ	4
2.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกะทิ	5
2.2 ลักษณะทางกายภาพของและการแปรสภาพทุเรียน	6
2.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับทุเรียนพันธุ์หมอนทอง	6
2.2.2 การแปรรูปทุเรียน	8
2.3 คุณสมบัติของสับปะรด	9
2.3.1 ประโยชน์ของสับปะรด	10
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด	10
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการระเหย	12
3.1 ทฤษฎีการระเหย	13
3.1.1 การถ่ายเทมวลและความร้อน	14
3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน	14
3.1.3 ปัจจัยที่มีผลเชิงเศรษฐศาสตร์ในการระเหย	16
3.1.4 คุณสมบัติของของเหลวที่มีผลต่อการระเหย	18
3.2 เครื่องระเหย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.2.1 เครื่องระเหยชนิดหมุนเวียนตามธรรมชาติ	20
3.2.2 เครื่องระเหยชนิดบังคับให้หมุนเวียน	23
บทที่ 4 การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	26
4.1 การทดสอบหาจุดเดือดที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศของน้ำกะทิ	26
4.1.1 วัตถุประสงค์	26
4.1.2 วัสดุและอุปกรณ์	26
4.1.3 การทดลอง	26
4.1.4 ผลการทดลอง	27
4.1.5 สรุปผลการทดลอง	28
4.2 การคำนวณหาขนาดเครื่องทำความร้อน (Heater)	28
4.3 การคำนวณหาปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)	30
4.4 การปรับปรุงใบกวน	31
4.5 การปรับปรุงชุดควบคุมอุณหภูมิ	31
บทที่ 5 วิธีการทดลองเพื่อหาสภาวะเบื้องต้น	33
5.1 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหยเนื้อและน้ำผลไม้	33
5.1.1 วัตถุประสงค์	33
5.1.2 วัสดุและอุปกรณ์	34
5.2 การทดลองโดยใช้เนื้อสับประค	35
5.2.1 วิธีการทดลอง	35
5.2.2 วิธีการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ	36
5.2.3 ผลการทดลอง	38
5.2.4 สรุปผลการทดลอง	40
5.3 การทดลองโดยใช้เนื้อทุเรียน	40
5.3.1 วิธีการทดลอง	40
5.3.2 ผลการทดลอง	41
5.3.3 สรุปผลการทดลอง	44
5.4 การทดลองโดยใช้น้ำกะทิ	44
5.4.1 วิธีการทดลอง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
5.4.2 ผลการทดลอง	46
5.4.3 สรุปผลการทดลอง	48
บทที่ 6 วิธีการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหย	49
6.1 วัตถุประสงค์	49
6.2 วัสดุและอุปกรณ์	49
6.3 วิธีการทดลอง	49
6.4 ผลการทดลอง	50
6.5 สรุปผลการทดลอง	66
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	67
7.1 สรุปผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหยน้ากะทิเข้มข้น	67
7.2 สรุปผลการทดลอง	67
7.3 ข้อเสนอแนะ	68
ภาคผนวก	69
ก. ระบบการวัดสี	70
ข. ตารางบันทึกผลการทดลอง	71
ค. ผลการทดลองน้ากะทิที่ความเร็วรอบใบกวน 10 รอบต่อนาที	81
ง. ผลการทดลองน้ากะทิที่ความเร็วรอบใบกวน 50 รอบต่อนาที	92
จ. ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำ	105
เอกสารอ้างอิง	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำกะทิที่สกัดโดยใช้เนื้อมะพร้าวชูด่อน้ำ เท่ากับ 1:1	6
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง	7
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด	11
ตารางที่ 3.1 ปริมาณการใช้ไอน้ำในเครื่องระเหยชนิดเครื่องระเหยโดยมีการนำไอน้ำกลับมาใช้ใหม่	17
ตารางที่ 3.2 ข้อดีและข้อเสียในการใช้เครื่องระเหยชนิดหลายเครื่องแบบต่าง ๆ	21
ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่าง ๆ	23
ตารางที่ 4.1 จุดเดือดของน้ำกะทิที่สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	27
ตารางที่ 4.2 จุดเดือดของน้ำที่สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	27
ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของเวลา อุณหภูมิ และความดัน ในถังของสับปะรด	37
ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของเวลา อุณหภูมิ และความดัน ในถังของทุเรียน	41
ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของเวลา อุณหภูมิ และความดัน ในถังของน้ำกะทิ	45
ตารางที่ 6.1 อุณหภูมิของน้ำกะทิในถังสุญญากาศ	50
ภาคผนวก ก. ระบบการวัดสี	70
ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกข้อมูลจากการทดลอง	71
ภาคผนวก ค. ตารางบันทึกข้อมูลจากการทดลอง	81
ภาคผนวก ง. ตารางบันทึกข้อมูลจากการทดลอง	92
ภาคผนวก ฉ. ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำ	105

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 3.1 Start Operation ภายในเครื่องระเหย	13
รูปที่ 3.2 กราฟดูริงค์ สำหรับน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ	15
รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบฟิล์ม ไหลลงที่มีการใช้ในอุตสาหกรรม	17
รูปที่ 3.4 การเรียงต่อของเครื่องระเหยใน Multiple Effect Evaporation แบบต่างๆ	18
รูปที่ 4.1 Heater ขนาด 2500 W	29
รูปที่ 4.2 Vacuum Pump ขนาดอัตราการดูดอากาศ 108 m ³ /hr	31
รูปที่ 4.3 ใบกวนพลาสติกพลาสติกกวนร้อน	32
รูปที่ 4.4 ชุดควบคุมอุณหภูมิ	32
รูปที่ 5.1 เครื่องผลิตเนื้อและน้ำผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	33
รูปที่ 5.2 เครื่อง Color Meter	34
รูปที่ 5.3 Rotational Viscometer	34
รูปที่ 5.4 Refractometer	35
รูปที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของเนื้อสับประรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	38
รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสับประรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	38
รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solids ของเนื้อสับประรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	39
รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity ของเนื้อสับประรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	39
รูปที่ 5.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเนื้อทุเรียนที่ความเร็วรอบของ Spindle แตกต่างกันทั้งก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	41
รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเนื้อทุเรียนที่ความเร็วรอบของ Spindle 50 รอบต่อนาทีทั้งก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	42
รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อทุเรียนก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	42
รูปที่ 5.12 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble solidของเนื้อทุเรียนก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	43
รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ของเนื้อทุเรียนก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	43
รูปที่ 5.14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิที่ความเร็วรอบของ Spindle แตกต่างกันทั้งก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 5.15 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิที่ความเร็วรอบของ Spindle 50 รอบต่อนาทีทั้งก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	46
รูปที่ 5.16 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทีก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	47
รูปที่ 5.17 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solids ของน้ำกะทีก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	47
รูปที่ 5.18 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity ของเนื้อสับปรอดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	48
รูปที่ 6.1 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทีก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	51
รูปที่ 6.2 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทีก่อน Vacuum และหลังเติมน้ำ	51
รูปที่ 6.3 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solidsของน้ำกะทีก่อน Vacuum หลัง Vacuum และหลังเติมน้ำ	52
รูปที่ 6.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิ ที่ความเร็วรอบของ Spindleต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์61 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และหลังเติมน้ำที่เวลา 10 นาที	52
รูปที่ 6.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิ ที่ความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์62 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และหลังเติมน้ำที่เวลา 20 นาที	53
รูปที่ 6.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิ ที่ความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์62 ก่อน Vacuum ที่เวลา 30 นาที	53
รูปที่ 6.7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิ ที่ความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์64 หลัง Vacuumที่เวลา 30 นาที	54
รูปที่ 6.8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิ ที่ความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์62 ก่อน Vacuumและหลังเติมน้ำที่เวลา 40 นาที	54
รูปที่ 6.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิ ที่ความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์64 หลัง Vacuum ที่เวลา 40 นาที	55
รูปที่ 6.10 เปรียบเทียบการระเหยของน้ำกะทิที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที	55
รูปที่ 6. 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate ก่อน Vacuum	56
รูปที่ 6. 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate หลัง Vacuum	56
รูปที่ 6. 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate เมื่อเติมน้ำ	57
รูปที่ 6. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับFlow Behavior Index(n)	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 6. 15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับ Consistency Coefficient (k)	58
รูปที่ 6.16 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิก่อน Vacuum และหลัง Vacuum	58
รูปที่ 6.17 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิก่อน Vacuum และเติมน้ำ	59
รูปที่ 6.18 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble solidsของน้ำกะทิก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ	59
รูปที่ 6.19 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิกวามเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์61 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 10 นาที	60
รูปที่ 6.20 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิกวามเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์62 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 20 นาที	60
รูปที่ 6.21 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิกวามเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์62 ก่อน Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 30 นาที	61
รูปที่ 6.22 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิกวามเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์64 หลัง Vacuum ที่เวลา 30 นาที	61
รูปที่ 6.23 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิกวามเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์62 ก่อน Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 40 นาที	62
รูปที่ 6.24 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิกวามเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์64 หลัง Vacuum ที่เวลา 40 นาที	62
รูปที่ 6.25 เปรี่เซ็นต์ การระเหยของน้ำกะทิที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที	63
รูปที่ 6.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate ก่อน Vacuum	63
รูปที่ 6. 27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate หลัง Vacuum	64
รูปที่ 6. 28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate เมื่อเติมน้ำ	64
รูปที่ 6. 29 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับFlow Behavior Index (n)	65
รูปที่ 6. 30 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับConsistency Coefficient (k)	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น นำมาทำเป็นส่วนผสมของไอศกรีม ใช้เป็นส่วนผสมของเค้ก ขนมปัง ใช้ปรุงเป็นส่วนผสมของเบเกอรี่ หรือเป็นวัสดุปรุงแต่ง ไอศกรีม เค้ก เป็นต้น

การระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้จะช่วยลดมวลและปริมาตรให้ลดลง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและยังเป็นการถนอมอาหารเนื่องจากการนำเอาผลไม้สดมาใช้ประโยชน์ก่อนที่จะเน่าเสีย แต่วิธีการระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้โดยทั่วๆ ไปนั้นต้องใช้ความร้อนสูงทำให้เกิดความสูญเสียคุณสมบัติบางอย่างเช่น การสูญเสียคุณค่าสารอาหาร การสูญเสียคุณลักษณะทางธรรมชาติที่ดีของเนื้อและน้ำผักผลไม้ ไม่ว่าจะเป็นสีกลิ่นและรสชาติ

การระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้ด้วยความดันต่ำกว่าบรรยากาศจึงเป็นวิธีการที่จะรักษาคุณสมบัติต่างๆ ของเนื้อและน้ำผักผลไม้ไว้ ด้วยหลักทฤษฎีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ ของการระเหย และการเดือดของน้ำ ในภาวะความดันบรรยากาศปกติ (760 mmHg) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100°C และเมื่อมีความดันบรรยากาศ ต่ำลง (ต่ำกว่า 760 mmHg) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C และจะแปรผันตามกันถ้าความดันยิ่งต่ำลง อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำก็จะต่ำลงด้วย ด้วยหลักการพื้นฐานนี้ จะทำให้เราสามารถลดอุณหภูมิในระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้ได้ โดยควบคุมความดันในกระบวนการผลิต ข้อดีของการลดอุณหภูมิก็จะทำให้สามารถทำการระเหยน้ำในอุณหภูมิต่ำ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีสีกลิ่นสวยงาม ไม่ไหม้หรือสีเข้ม คงรสชาติหอมหวาน ตามธรรมชาติไว้ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีคุณลักษณะและคุณภาพเหมือนของสด

การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรด้วยการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เป็นที่นิยมกันมากในต่างประเทศ แต่สำหรับประเทศไทย ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีตัวนี้มีน้อยมาก และเครื่องจักรที่จะสั่งนำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูงมาก ส่วนเครื่องจักรที่ผลิตจากต่างประเทศ และนำเข้ามาเพื่อใช้แปรรูปผลผลิต ทางภาคเกษตรของบ้านเรา กลับใช้งานได้ไม่ดีนัก ทั้งนี้เนื่องมาจาก คุณลักษณะของวัตถุดิบแตกต่างกัน

ในโครงการนี้จึงทำการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ โดยการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้และรักษาคุณลักษณะของเนื้อและน้ำผักผลไม้ไว้ให้มากที่สุด รวมทั้งการคำนวณหาขนาดของเครื่องทำความร้อน(Heater)และปั๊มสุญญากาศ(Vacuum- Pump) เพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้แบบประหยัดที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (ความดัน อุณหภูมิ และเวลา) ในการผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) การศึกษาการทำเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบประหยัดที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศเท่านั้น
- 2) วัตถุดิบคือน้ำกะทิและเนื้อทุเรียน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) จะได้เทคนิคที่เหมาะสมในการทำเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารให้มีความก้าวหน้ามากขึ้น
- 2) จะได้ผลิตภัณฑ์ใหม่คือน้ำกะทิและเนื้อทุเรียนเข้มข้น
- 3) เป็นแนวทางให้เกษตรกรได้รู้จักวิธีในการแปรรูปผักและผลไม้ ทำให้ลดปริมาณผักและผลไม้ที่ล้นตลาดและเพิ่มมูลค่าสินค้า

1.5 วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้ได้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมีคุณภาพ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากที่สุดคือหลักการระเหยของน้ำที่อยู่ในเนื้อและน้ำผักผลไม้ เนื่องจากการทำงานของเครื่องที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศค่าบางอย่างของเนื้อและน้ำผักผลไม้จึงเปลี่ยนแปลงจากเดิมด้วย และการให้ความร้อนกับเนื้อและน้ำผักผลไม้ก็มีผลกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ จึงได้ศึกษาผลกระทบจากการให้ความร้อนแก่เนื้อและน้ำผักผลไม้ด้วย ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาทำการทดลองมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำกะทิ ทุเรียน และสับปะรด โดยการศึกษาถึงลักษณะของวัสดุที่นำมาทำการทดลองเหล่านั้น จากนั้นจึงทำการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการใช้งานเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสม โดยทำการปรับปรุงจากเครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เนื่องจากเครื่องเดิมนั้นยังมีจุดบกพร่องอยู่บางจุด ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในขั้นตอนแรกนั้น การทดลองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังไม่สามารถกำหนดสภาวะในการทดลองที่แน่นอน ต้องทำการทดลองไปเรื่อย ๆ เพื่อจะได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสม เนื่องจากวัสดุที่นำมาทดลองมีลักษณะที่แตกต่างกันจึงต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองหลายชั่วโมงเพื่อให้ได้ค่าในการทดลองที่เชื่อถือได้ โดยการทดลองสิ่งที่ต้องการทราบคือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อและน้ำผักผลไม้ที่สภาวะที่ 1 (ก่อน Vacuum) และสภาวะที่ 2 (หลัง Vacuum) ซึ่งค่าที่จะทำการวัด โดยใช้วิธีหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

- (1) การวัดค่า สี โดยใช้เครื่อง Color meter
- (2) การวัดค่า Viscosity โดยใช้เครื่อง Viscometer
- (3) การวัดค่า Total Soluble Solids โดยใช้เครื่อง Refractometer
- (4) การวัดค่า Water Activity (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่า Water Activity

นอกจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเหล่านี้แล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นซึ่งสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้จากการใช้ประสาทสัมผัส เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จึงเริ่มทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง แล้วมาสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองเพื่อจะได้นำเอาข้อมูลเหล่านั้นมาปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศให้มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ในเชิงการผลิตเพื่อบริโภคได้



บทที่ 2

คุณลักษณะของเนื้อและน้ำผักผลไม้

ในการทดลองขั้นต้น เพื่อหาสภาวะในการทดลองที่เหมาะสม ได้นำเอาผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือน้ำกะทิ ทูเรียน และสับปะรด เมื่อหาสภาวะ การทดลองที่เหมาะสมแล้ว เราจะเน้นการทดลองโดยใช้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือน้ำกะทิ และทูเรียน ก่อนที่จะทดลองจึงต้องทราบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อน ซึ่งลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) กลิ่นและรสชาติ (Taste, Flavor and Aroma) และสี (Color) เป็นต้น

2.1 คุณสมบัติของน้ำกะทิ [1]

มะพร้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในตระกูล *Palmaceae* มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Cocos nucifera* L. ปลูกได้ง่ายในเขตร้อนใกล้ชายฝั่งทะเลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนตั้งแต่ใบ ก้านใบ ลำต้น และผล เช่น การใช้ใบมะพร้าวทำเบาะรถยนต์ การใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมในการทำสบู่ เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว เนื้อสดของมะพร้าวยังสามารถนำมารับประทานหรือทำให้อยู่ในรูปของน้ำกะทิ ในการนำเอามาปรุงอาหาร เพื่อให้อาหารมีรสชาติที่อร่อยมากขึ้น ซึ่งเป็นที่นิยมของคนไทยและคนในแถบเอเชีย น้ำกะทียังสามารถนำเอามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น กะทิผง เนยกะทิ น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง เป็นต้น มะพร้าวจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในประเทศแถบเอเชียและแปซิฟิก [1]

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิ [1]

น้ำกะทิเป็นของเหลวที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าวสดขูด อาจเติมน้ำหรือไม่เติมน้ำก็ได้และมีลักษณะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-Water) ซึ่งหมายถึงลักษณะของน้ำมันจะกระจายอยู่ในสารละลายน้ำ และถูกล้อมรอบหรือห่อหุ้มด้วยโปรตีน สภาพดังกล่าวเกิดจากระบบที่มีแรงดึงผิว (Interfacial tension) ระหว่างโมเลกุลของน้ำและไขมันที่ต่ำลงเพราะมีโปรตีนเป็นตัวลดแรงดึงผิว [2]

โดยธรรมชาติของน้ำกะทิเมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้น ชั้นบนเป็นหัวกะทิ (Coconut Cream) ชั้นล่างเป็นหางกะทิ (Coconut Skim Milk) Birosel [3] รายงานว่า เมื่อลดอุณหภูมิของน้ำกะทิจนถึง 50 °F (10°C) เป็นเวลา 30 นาที จะสามารถปั่นแยกเอาหัวกะทิออกมาได้ และถ้าล้างหัวกะทิด้วยสารละลายเกลือ น้ำประปา และน้ำกลั่นเพื่อกำจัดโปรตีน น้ำตาล เกลือแร่ ที่ละลายอยู่ออกไป ระบบอิมัลชันจะเปลี่ยนแปลงจากชนิดน้ำมันในน้ำเป็นน้ำในน้ำมัน (Water-in-Oil)

2.1.2 สมบัติทางเคมีของน้ำกะทิ [4]

ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณของน้ำกะทิที่คั้นได้จะมีความแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย เช่น

(1) ความแก่และขนาดของมะพร้าว มะพร้าวที่ใช้สกัดน้ำกะทิควรมีอายุพอดี การใช้มะพร้าวอายุต่างกันจะทำให้องค์ประกอบของน้ำกะทิเปลี่ยนแปลงไป มะพร้าวที่ยังอ่อนมีปริมาณน้ำตาลสูงและไขมันต่ำ ทำให้ได้น้ำกะทิที่มีความมันน้อย แต่มะพร้าวที่แก่เกินไป ปริมาณโปรตีนจะลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปกับกระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism) มะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับสกัดน้ำกะทิควรมีอายุ 10 เดือน เพราะมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูงสุด [21] ในประเทศเปอร์โตริโกมีการแบ่งเกรดมะพร้าวโดยอาศัยการวัดขนาด โดยรอบผลมะพร้าวดังนี้ มะพร้าวเบอร์ 60 มีขนาด 5 นิ้วขึ้นไป มะพร้าวเบอร์ 80 มีขนาด 4.5 ถึง 5 นิ้ว มะพร้าวเบอร์ 100 มีขนาด 4 ถึง 4.5 นิ้ว มะพร้าวเบอร์ 120 มีขนาด 3.5 ถึง 4 นิ้ว และมะพร้าวเบอร์ 150 มีขนาด 3 ถึง 3.5 นิ้ว มะพร้าวเบอร์ 60 มีราคาสูงที่สุดและเบอร์ 150 ต่ำที่สุด การซื้อมะพร้าวสำหรับใช้ผลิตน้ำกะทิ ควรเลือกซื้อขนาดเล็กเนื่องจากพบว่าปริมาณเนื้อมะพร้าวชุดที่ได้จากมะพร้าวขนาดเล็กมีความเหมาะสมกับราคามากกว่าเมื่อเทียบกับราคาของมะพร้าวขนาดใหญ่ [5]

(2) ขนาดของเนื้อมะพร้าวที่ชุดหรือบดและแรงที่ใช้ในการคั้น โดยขนาดของเนื้อมะพร้าวควรจะมีขนาดเล็กที่สุดซึ่งทำให้คั้นกะทิได้ในปริมาณมาก ซึ่งการบีบหรือคั้นน้ำกะทิออกจากเนื้อมะพร้าวสามารถทำได้โดยการคั้นด้วยมือหรือบีบด้วยเครื่องบีบ แรงที่ใช้คั้นหรือบีบเนื้อมะพร้าวจึงเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งเพราะถ้าใช้แรงงานไม่เหมาะสมจะมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้ Cancel [5] รายงานว่า การใช้แรงงาน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บีบเนื้อมะพร้าวจะได้ปริมาณน้ำกะทิมากที่สุดและมีประสิทธิภาพถึง 90-95% การใช้แรงน้อยได้น้ำกะทิมีปริมาณไขมันและโปรตีนต่ำและได้ปริมาณน้อยด้วย แต่ถ้าใช้แรงมากเกินไป น้ำกะทิที่ได้อาจมีชิ้นส่วนเล็ก ๆ ของเนื้อมะพร้าวซึ่งถูกแรงกดดันผ่านตะแกรงตีมาด้วย การคั้นน้ำกะทิด้วยมือนั้น กระทบกันมากในระดับครัวเรือน ไม่เหมาะกับการคั้นน้ำกะทิปริมาณมากเพราะองค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของแรงที่ใช้

(3) ปริมาณและอุณหภูมิของน้ำที่เติม Cancel [5] ได้รวบรวมผลการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้เติมในการคั้นกะทิซึ่งมีผู้ศึกษาหลายคนแนะนำไว้ว่าควรใช้น้ำร้อนแต่จากการศึกษาพบว่า การคั้นกะทิโดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิ 30-85 °C ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสกัดน้ำมันและโปรตีน และจากการศึกษาของ Cancel [18] พบว่าเมื่อคั้นกะทิด้วยน้ำเย็น (27-30°C) และคั้นด้วยน้ำร้อน (88-93°C) จะมีผลต่อส่วนประกอบของกะทิน้อยมาก แต่ปริมาณน้ำที่เติมลงไปต่อเนื้อมะพร้าวในสัดส่วน 0:4 ถึง 4:4 จะทำให้ได้ปริมาณไขมันมากขึ้นเล็กน้อย เขาจึงสรุปว่าถ้าหากในกระบวนการที่ต้องการใช้กะทิที่เจือจางก็ควรเติมน้ำในการคั้น แต่ถ้าหากต้องการผลิตภัณฑ์ที่เข้มข้นก็ไม่ควรเติมน้ำลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ผลจากการแช่เยือกแข็งมะพร้าว Cancel [5] พบว่ากะทิที่คั้นได้จากมะพร้าวแช่เยือกแข็งจะมีปริมาณน้อยกว่ากะทิที่คั้นจากมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการแช่เยือกแข็งมา เขาแนะนำว่าควรนำเนื้อมะพร้าวแช่แข็งไปให้ความร้อนที่ 35-50°C ก่อนที่จะนำไปขูดและคั้น โดยอาจนำไปจุ่มในน้ำร้อนหรือใช้ความร้อนจากไอน้ำก็ได้ และพบว่าการใช้ความร้อนจากไอน้ำจะช่วยลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ที่ได้ดีกว่า

นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้ว พันธุ์ แหล่งเพาะปลูก และการดูแลรักษา ก็มีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีของน้ำกะทิ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำกะทิที่สกัดโดยใช้เนื้อมะพร้าวขูดค่อน้ำ เท่ากับ 1:1 [6]

คุณสมบัติทางกายภาพ	ช่วง
ความตึงผิว	1.0029 - 1.0080
แรงตึงผิว, Dynes/cm ²	97.76 - 125.43
ความหนืด, Centipoises	1.61 - 2.02
ดัชนีหักเห	1.3412 - 1.3446
pH	5.95 - 6.30
คุณสมบัติทางเคมี	ช่วง
ความชื้น	73.47 - 76.84
น้ำมัน, %	18.83 - 21.09
โปรตีน, %	2.14 - 2.97
เถ้า, %	0.63 - 0.96
น้ำตาล, %	0.82 - 1.62

2.2 ลักษณะทางกายภาพของทุเรียนและการแปรสภาพ

ทุเรียน (*Durio zibethinus* Murr.) มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย พม่า และไทย ทุเรียนจัดเป็นผลไม้เขตร้อน ชอบอากาศร้อนชื้น และเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีฝนตกสม่ำเสมอ อุณหภูมิเฉลี่ย 24-30 °C โดยทุเรียนสามารถปลูกได้ในทางภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย ชาวสวนทางภาคใต้สามารถทำการเก็บเกี่ยวผลทุเรียนพันธุ์ชะนีในช่วงเดือน ก.ค.-ส.ค. ส่วนพันธุ์หมอนทองและพันธุ์ก้านยาวสามารถเก็บเกี่ยวได้ในช่วงเดือน ส.ค. - ก.ย. สำหรับภาคตะวันออกทุเรียนติดผลเร็วกว่าภาคใต้ ทำให้เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ก่อน 3-4 เดือน โดยดัชนีการเก็บสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนับอายุ เป็นต้น

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับทุเรียนพันธุ์หมอนทอง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ลักษณะทางกายภาพ

ทุเรียนพันธุ์หมอนทองลักษณะผลปานกลาง เปลือกผลออกสีน้ำตาล ก้นผลมีรอยแหลมเล็กน้อยมีเนื้อหนาและมีสีเหลืองนวล เม็ดลีบ รสหวานมันและกลิ่นไม่จัด [9]

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง [8]

ส่วนประกอบของธาตุอาหาร/น้ำหนักผลไม้ 100 g (Nutrient Composition per 100 g. Edible Portion)	ปริมาณ	หน่วยวัด
ส่วนประกอบสำคัญ(Proximate Composition)		
พลังงาน (Energy)	156	กิโลแคลอรี
ความชื้น (Moisture)	62.5	กรัม
โปรตีน (Protein)	2.1	กรัม
ไขมัน (Fat)	3.3	กรัม
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	29.6	กรัม
เส้นใยอาหารหยาบ (Crude Fibre)	1.4	กรัม
กากอาหาร (Ash)	0.9	กรัม
แคลเซียม (Calcium)	29	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	34	มิลลิกรัม
เหล็ก (Iron)	1.1	มิลลิกรัม
เรตินอล (Retenol)	-	มิลลิกรัม
เบตา-คาโรทีน (B-Carotene)	46	มิลลิกรัม
ไทมีน (Thiamin)	0.16	มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน (Riboflavin)	0.23	มิลลิกรัม
ไนอะซิน (Niacin)	2.5	มิลลิกรัม
วิตามิน ซี (Vitamin C)	35	มิลลิกรัม

(2) องค์ประกอบทางเคมีของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

องค์ประกอบหลักของทุเรียนคือ น้ำ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้รวมกันถึง 84.7% ของน้ำหนักทุเรียน และองค์ประกอบที่เหลืออื่น ๆ เช่น วิตามิน, และเกลือแร่ มีในปริมาณที่น้อยมาก

(ก) น้ำ เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในทุเรียน ซึ่งในทุเรียนหมอนทองมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ 49.3 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) คาร์โบไฮเดรต ที่เรียนประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ประมาณ 30% ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแป้ง (ประมาณ 12%) สตูคาร์ตัน [10] ได้รายงานว่ พันธุ์ทุเรียนที่แตกต่างกันจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกัน เช่น ทุเรียนพันธุ์ชะนีมีคาร์โบไฮเดรต 22.3% ในขณะที่ทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีคาร์โบไฮเดรต 29.6%

(ค) ไขมันเป็นสารอาหารที่มีรองมาจากคาร์โบไฮเดรตซึ่งในทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณไขมัน 3.3% ซึ่งน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุเรียนพันธุ์อื่น เช่น พันธุ์กระดุม พันธุ์ชะนี ก้านยาว

(ง) โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยในทุเรียนและทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีโปรตีนเพียง 2.1%ซึ่งน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุเรียนพันธุ์อื่น ๆ

(จ) องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น เกลือแร่ และวิตามิน

เนื้อทุเรียนมีสีเหลืองเนื่องมาจากมีสารเบต้า-คาโรทีน เป็นองค์ประกอบ เนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีสีเหลืองอ่อน เนื่องจากมากมีเบต้า-คาโรทีนน้อยที่สุดคือ 46 มิลลิกรัมต่อเนื้อทุเรียน 100 กรัมและเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีซึ่งมีสีเหลืองจัดจนเกือบเป็นสีจําปา จากเบต้า-คาโรทีนมากที่สุดคือ 244 มิลลิกรัมต่อเนื้อทุเรียน 100 กรัม องค์ประกอบทางเคมีของทุเรียน แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

2.2.2 การแปรรูปของทุเรียน

ทุเรียนสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น

(1) ทุเรียนกวน

ฝ่ายข้อมูลวารสารเคหะการเกษตร [11] กล่าวว่า การกวนทุเรียนทำได้โดยการนำเนื้อทุเรียนสุกมากวนกับน้ำตาลทราย ในอัตราเนื้อทุเรียน 11 กิโลกรัม ต่อ น้ำตาลทราย 2 กิโลกรัม โดยไม่มีการใส่สารเคมีหรือสิ่งเจือปนใด ๆ

สมทรง [12] กล่าวว่า สำหรับน้ำหนักทุเรียนที่ใช้กวนเริ่มต้น 11.3 กิโลกรัม ต่อน้ำตาลประมาณ 2 กิโลกรัม

ขั้นตอนการผลิตฝ่าย ฝ่ายข้อมูลวารสารเคหะการเกษตร[11] ระบุว่าเวลาในการกวนใช้ประมาณ 3 ชั่วโมง ส่วนการให้ความร้อนนั้นไม่ได้ระบุไว้แน่นอน บอกเพียงแต่ว่าในการกวนทุเรียนนั้น จะมีสีสวยหรือไม่ขึ้นอยู่กับการให้ความร้อน ทำให้ความร้อนมากเกินไป สีจะเข้มและไม่สม่ำเสมอ

สมทรง [12] ระบุว่า การกวนทุเรียนแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ช่วงแรกใช้ไฟแรง เป็นเวลานานประมาณ 34 นาที และช่วงหลังใช้ไฟอ่อน เป็นเวลานานประมาณ 58 นาที นอกจากนี้ พบว่าในการกวนหมุมเนื้อทุเรียนเริ่มต้น จากอุณหภูมิห้อง จนกระทั่งเดือด ใช้เวลาประมาณ 17 นาที และเวลาในการระเหยน้ำประมาณ 86 นาที

(2) ทูเรียนแช่แข็ง

สมทรง [13] ได้ทำการวิจัย โดยการนำทูเรียนมาผ่าเอาเมล็ดออกที่อุณหภูมิ -40°C ด้วยระบบ IQF (Individual Quick Frozen) แล้วบรรจุลงกล่องพลาสติกเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ -20 ถึง 25°C โดยทำการตรวจสอบเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าสีของเนื้อทูเรียนแช่แข็งไม่เปลี่ยนแปลง รสชาติคงเดิมและปริมาณธาตุอาหารยังคงสภาพเดิมไม่เปลี่ยน

(3) ทูเรียนทอดกรอบ (Durian Chip)

เป็นการแปรรูปทูเรียนอีกวิธีหนึ่ง โดยนำเนื้อทูเรียนดิบ ที่เปลี่ยนสีจากขาวเป็นสีเหลืองอ่อนมาหั่นให้ชิ้นบางที่สุดขนาดเสมอกัน ผึ่งลมในที่ร่มประมาณครึ่งชั่วโมงให้ชิ้นหมาด แล้วนำไปทอด ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ เป็นที่นิยมทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคมากขึ้น เนื่องจากรสชาติอร่อย หวานกรอบและมีกลิ่นหอม ผลตอบแทนในผลิตสูง และสามารถใส่ทูเรียนร่วงจากลูกพายุหรือหนอนจะเมล็ดได้

(4) ทูเรียนทอดนึ่ง (Durian French Fried)

เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรีพัฒนาขึ้นมา เพื่อเป็นทางเลือกให้เกษตรกรในการเพิ่มมูลค่าของทูเรียนให้มากขึ้น โดยนำทูเรียนดิบความแก่ประมาณ 80% มาหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมหนาประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร ยาวประมาณ 3-4 เซนติเมตร ไปทอดในน้ำมันพืชร้อน ๆ กลับเนื้อทูเรียนเป็นระยะ ๆ จนกระทั่งเนื้อเป็นสีเหลือง ตักขึ้นใส่ภาชนะที่มีกระดาษซับน้ำมัน โรยเกลือป่นเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลาสั้น โดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C โดยที่รสชาติไม่เปลี่ยนแปลง

(5) ทูเรียนเชื่อมอบแห้ง (Sweet Dried Durian)

เป็นการแปรรูปทูเรียน โดยใช้ทูเรียนดิบความแก่ประมาณ 80% มาเชื่อมประมาณ 10 นาที แล้วนำไปใส่ภาชนะเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C ประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งเนื้อทูเรียนแห้งหมาด สามารถเก็บได้นานเป็นเวลา 1 เดือนที่อุณหภูมิห้องปกติ และเก็บได้นานกว่า 6 เดือนที่อุณหภูมิ -20°C

2.3 คุณสมบัติของสับปะรด [14]

ชื่อสามัญ สับปะรด(Pineapple) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Ananas comosus* (L.)Merr. ลักษณะ เป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี สูง 90-100 ซม. มีลำต้นอยู่ใต้ดินใบเดี่ยว เรียงสลับซ้อนกันถี่มากรอบต้น กว้าง 6.5 เซนติเมตร ยาวได้ถึง 1 เมตร ไม่มีก้านใบ ดอกออกเป็นช่อขนาดใหญ่ ออกจากกลางลำต้น มีดอกย่อยจำนวนมาก ผลเป็นผลรวม รูปทรงกระบอกมีตาขอบผลมีใบเป็นกระจุกที่ปลายผล การขยายพันธุ์ใช้หน่อและยอดผลที่เป็นจุก เรียกว่าตะเกียง ชอบแสงแดดจัด ดินร่วนปนทรายน้ำไม่ขังส่วนที่ใช้เป็นยาผลสุกเหง้าสารเคมีและสารอาหารที่สำคัญ มีเกลือแร่ วิตามินต่าง ๆ และมีเอนไซม์ย่อยโปรตีนชื่อ บรอมีลิน (Bromelin) ช่วยย่อยโปรตีนไม่ให้คั่งค้างในลำไส้ สับปะรดที่ปลูกเป็นการค้าทั่วโลกแบ่งเป็น 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ กลุ่มโคชิน (Cayenne) กลุ่มควีน (Queen) กลุ่มสเปนนิส (Spanish) และกลุ่มกลุ่มอะบาดาซิส (Abacaxis) ส่วนสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 4 สายพันธุ์ได้แก่

1. สายพันธุ์ปัตตาเวีย เป็นสับปะรดที่จัดอยู่ในกลุ่มโคชิน
2. สายพันธุ์ภูเก็จ เป็นสับปะรดที่จัดอยู่ในกลุ่มควีน
3. สายพันธุ์อินทรีจิต เป็นสับปะรดที่จัดอยู่ในกลุ่มสเปนนิส
4. สายพันธุ์นางแลเป็นสับปะรดที่จัดที่จัดอยู่ในกลุ่มปัตตาเวีย

2.3.1 ประโยชน์ของสับปะรด [15]

สับปะรดมีส่วนต่างๆที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ดังนี้

2.3.1.1 เนื้อ

ใช้รับประทานสดหรือแปรรูปแช่อิ่ม สับปะรดกวน สับปะรดแห้ง แยมสับปะรด หรือ บรรจุกระป๋อง และคั้นทำน้ำสับปะรด ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้เนื้อสับปะรดผสมกับปลาและเกลือหมักไว้ทำเป็นอาหารที่เรียกว่า เค็มหมากนัค

2.3.1.2 ผลพลอยได้จากเศษเหลือ

เศษเหลือของสับปะรดส่วนใหญ่จากอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋อง สามารถนำมาแปรรูปทำเป็นอย่างอื่นได้เช่น

- (1) น้ำเชื่อม
- (2) แอสกอร์บัต
- (3) น้ำสมสายชูและไวน์
- (4) อาหารสำหรับเลี้ยงวัว
- (5) กรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดมาติก และกรดแอสคอร์บิก

2.3.1.3 ใบ

(1) สันใบจากสับปะรดนำมาทอผ้าใบสับปะรด ในประเทศฟิลิปปินส์เรียกว่า ผ้ารอง ราคาแพง นิยมตัดเป็นชุดสากลประจำของชาติฟิลิปปินส์และไต้หวัน

(2) เยื่อกระดาษจากใบสับปะรดจะได้กระดาษที่มีคุณสมบัติ คือ ความบางมากมีผิวนุ่มเนียน สามารถบิดงอหรือเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เสียหาย ในหลายประเทศใช้เป็นกระดาษสำหรับพิมพ์ธนบัตร

2.3.1.4 เปลือก

การใช้เปลือกสับปะรดเลี้ยงวัว เศษเหลือทิ้งจากโรงงานสับปะรด คือ เปลือกและแกนกลางซึ่งจะมีน้ำอยู่ร้อยละ 90 เมื่อเมื่อคุดค้อนน้ำหนักสด ส่วนเหลือทิ้งจะมีโปรตีน ปกติวัวชอบกินเปลือกสับปะรด ยิ่งเปลือกที่ทิ้งไว้ 2-3 วัน สีออกเป็นน้ำตาลเทาๆ มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย วัวจะชอบกินมากกว่าเปลือกสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด

องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดแตกต่างกันไปตามพันธุ์ พื้นที่ที่ใช้ปลูก และความอ่อนแก่ของสับปะรด องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดผลสุกได้แสดงแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด [15]

ส่วนประกอบในเนื้อสับปะรด 100 กรัม	ปริมาณ	หน่วยสากล
ความชื้น (Moisture)	84.9	กรัม
พลังงาน (Energy)	54	แคลอรี
ไขมัน(Fat)	0.3	กรัม
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	14	กรัม
เยื่อใย (Fiber)	0.5	กรัม
โปรตีน (Protien)	0.4	กรัม
ฟอสฟอรัส (Phosporus)	8	มิลลิกรัม
เหล็ก (Iron)	0.4	มิลลิกรัม
แคลเซียม (Calcium)	22	มิลลิกรัม
วิตามินเอ (Vitamin A)	15	หน่วยสากล
วิตามินบี 1 (Vitamin B1)	0.09	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2 (Vitamin B2)	0.04	มิลลิกรัม
วิตามินซี(Vitamin C)	17	มิลลิกรัม
ไดอะซิน (Diacin)	0.2	มิลลิกรัม

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการระเหย

เนื้อหาที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้นำมาจาก [16] การระเหยเป็นเป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารเหลวโดยการอาศัยความแตกต่างระหว่างความสามารถในการระเหยของน้ำและตัวทำละลาย การระเหยต่างกับวิธีทำให้ชื้นด้วยวิธีอื่นๆซึ่งอาศัยความแตกต่างด้วยอัตราการแพร่ที่อุณหภูมิห้อง เช่น การทำให้ชื้น โดยการใช้เมมเบรน เป็นต้นการทำชื้นจะเป็นการทำให้อาหาร มีความเข้มข้นขึ้น โดยการลดน้ำหนักและปริมาตร ทำให้เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา การขนส่งและการกระจายสินค้า ประโยชน์ของการระเหยคือ

(1) เป็นการทำให้อาหารต่างๆ เช่น น้ำผลไม้ นม และกาแฟมีความเข้มข้นขึ้น โดยการลดน้ำหนักและปริมาตรก่อนเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้ง แขนงแข็ง หรือการสเตอริไลซ์ ทั้งนี้เพื่อประหยัดพลังงานในกระบวนการต่อไป ทั้งยังเป็นลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา การขนส่งและการกระจายสินค้า

(2) เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในอาหาร เช่น แยมและกากน้ำตาล (Molasses) นับเป็นการถนอมรักษาอาหาร โดยการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water Activity)

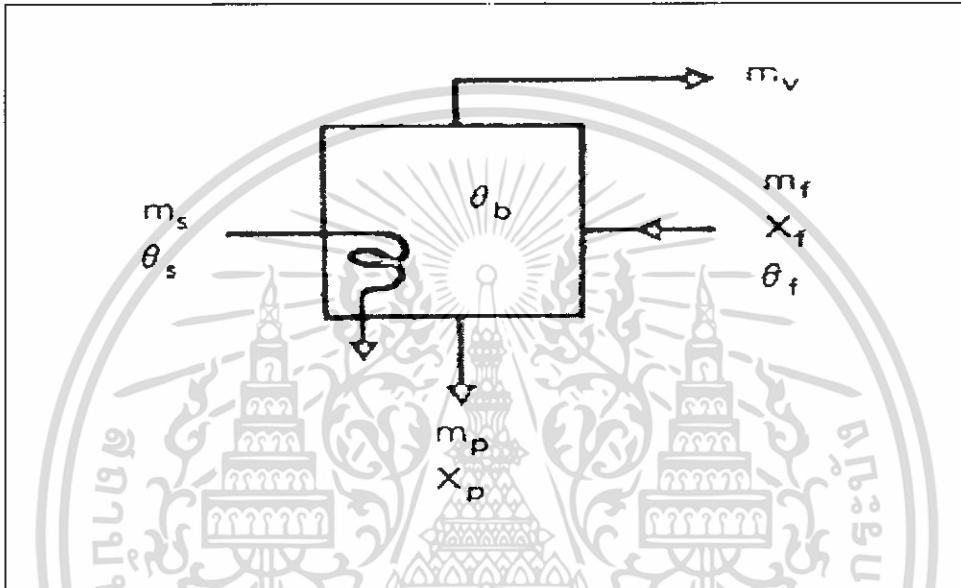
(3) เป็นการเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค เช่น น้ำผลไม้เข้มข้นที่ต้องนำมาเจือจางเวลาดื่ม ซุปซอสมะเขือเทศ หรือกระเทียมบดละเอียด (Garlic Paste) หรือเป็นการเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ผลิต เช่น เพคติน หรือน้ำผลไม้เข้มข้นสำหรับใช้ทำไอศกรีมหรือผลิตภัณฑ์ขนมอบ

(4) การระเหยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นหรือสีของอาหาร เช่น น้ำเชื่อมคาราเมล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบหรือลูกกวาดหรือลูกกวาดที่ทำจากน้ำตาล

อาหารเข้มข้นทำได้โดยการระเหยน้ำอิสระ (Free Water) ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ซึ่งกระทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือด (Bubble Point) แล้วคงไว้ ณ อุณหภูมิดังกล่าวในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ แต่ในกรณีที่อาหารไม่ทนต่อความร้อน (Heat Sensitivity) การระเหยควรกระทำภายใต้ความดันสุญญากาศ การให้สภาวะสุญญากาศค่อนข้างสูง (ความดันต่ำ) จะทำให้ผลิตภัณฑ์ระเหยที่อุณหภูมิต่ำดังนั้นจึงลดความเสี่ยงเนื่องจากความร้อนได้

3.1 ทฤษฎีการระเหย[16]

การถ่ายเทความร้อนแฝงจากตัวกลางให้ความร้อน เช่น ไอน้ำไปยังอาหารและความร้อนสัมผัสในระหว่างการระเหยจะทำให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือด ความดันไอของอาหารเหลวจะสูงขึ้นและไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนแฝงในการระเหยและทำให้เกิดฟองไอน้ำในของเหลว ไอน้ำถูกกำจัดออกไปจากผิวหน้าของน้ำที่เดือดอยู่ อัตราการระเหยกำหนดได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหาร และอัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำจากอาหาร รูปที่ 3.1 แสดงกลไกการระเหย



รูปที่ 3.1 Start operation ภายในเครื่องระเหย

- m_f = อัตราการถ่ายเทมวลของอาหาร เหลวที่ส่งเข้า(kg/s)
- m_p = อัตราการถ่ายเทมวลของผลิตภัณฑ์สุดท้าย(kg/s)
- x_f = สัดส่วนของแข็งในอาหารที่ส่งเข้ามา
- x_p = สัดส่วนของแข็งในผลิตภัณฑ์
- m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่เกิดขึ้น(kg/s)
- m_s = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่ใช้(kg/s)
- θ_f = อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารที่ส่งเข้ามา($^{\circ}\text{C}$)
- θ_b = จุดเดือดของอาหาร($^{\circ}\text{C}$)
- θ_s = อุณหภูมิของไอน้ำ($^{\circ}\text{C}$)

3.1.1 การถ่ายเทมวลและความร้อน

ในการคำนวณระดับการทำให้ขึ้น การใช้พลังงานและเวลาในกระบวนการต้องใช้สมการสมดุลมวลและความร้อนของเครื่องระเหย การสมดุลมวลแสดงให้เห็นว่ามวลของอาหารที่ถูกส่งเข้ามาจะเท่ากับมวลของผลิตภัณฑ์และไอน้ำที่ออกจากเครื่องระเหย สามารถเขียนสมการสำหรับองค์ประกอบของน้ำได้ดังนี้

$$m_f(1-X_p) = m_p(1-X_p) + m_v \quad (3.1)$$

สำหรับมวลของแข็งซึ่งเป็นตัวถูกละลายที่ถูกส่งเข้ามาในเครื่องระเหยจะเท่ากับมวลของแข็งที่ออกจากเครื่องระเหย

$$m_f X_f = m_p X_p \quad (3.2)$$

$$\text{สมการสมดุลมวลทั้งหมด คือ } m_f = m_p + m_v \quad (3.3)$$

สำหรับสมการสมดุลความร้อนนั้น จากสมมติฐานว่าเกิดการสูญเสียความร้อนน้อยมากจนตัดทิ้งได้ แสดงว่าความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำจะเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารถึงจุดเดือดและความร้อนที่ให้ไอน้ำเดือด

$$\begin{aligned} Q &= m_s \lambda_s \\ &= m_f C_p (\theta_b - \theta_f) + m_v \lambda_v \end{aligned} \quad (3.4)$$

ขณะที่

$$\begin{aligned} Q &= \text{อัตราการถ่ายเทความร้อน (J/s)} \\ C_p &= \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอาหารส่วนที่เป็นของเหลว (J/kg}^\circ\text{C)} \\ \lambda_v &= \text{เป็นค่าความร้อนแฝงของการควบแน่นไอน้ำ (J/kg)} \\ \lambda_s &= \text{เป็นค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (J/kg)} \end{aligned}$$

ซึ่งแสดงได้โดย

$$\text{ความร้อนจากไอน้ำ} = \text{ความร้อนสัมผัส} + \text{ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอน้ำ}$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเครื่องระเหยและฟิล์มบางๆ รอบวัตถุ คำนวณได้จากสมการ

$$Q = UA(\theta_s - \theta_b)$$

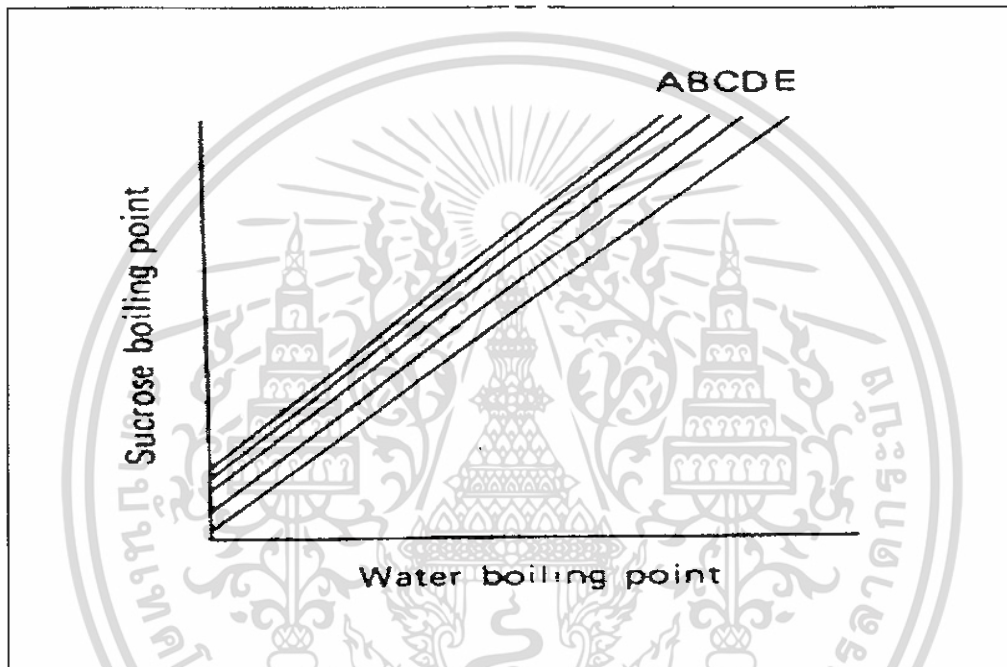
3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน

อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่อการกำหนดเวลาในการให้ความร้อนและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่

(1) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำและน้ำเดือด การระเหยภายใต้สูญญากาศจะทำให้จุดเดือดของอาหารลดลงและค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองสูงขึ้น ในทางปฏิบัติจะไม่มีกรณีจุดเดือดในเครื่องระเหยที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่ำกว่า 40°C เพราะต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายในการทำให้เกิดสูญญากาศสูงของเครื่องมือที่ใช้ในการกระบวนการต้องมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ ความแตกต่างของอุณหภูมินี้จะน้อยลงเมื่ออาหารมีความเข้มข้นสูงขึ้น เนื่องจากจุดเดือดของอาหารจะสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงลดลงเมื่อทำการระเหยต่อไป สามารถใช้กราฟของดูริงค์ (Duhring Plot) (รูปที่ 3.2) ในการหาจุดเดือดของสารละลายที่มีความดันต่างๆ ได้ ในเครื่องระเหยขนาดใหญ่ จุดเดือดของของเหลวที่บริเวณด้านล่างอาจจะสูงขึ้นเนื่องจากความดันจากน้ำหนักของของเหลวที่ตกลงมา (Hydrostatic Head) ในการคำนวณค่าต่างๆ ในกระบวนการจะใช้ค่าจุดเดือดที่จุดกึ่งกลางจากด้านล่างขึ้นมาหรือที่เรียกว่าจุดร้อนซ้ำที่สุด



รูปที่ 3.2 กราฟดูริงค์ สำหรับน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นต่างๆ คือ 100 กรัม น้ำ กราฟ A, 1000 กรัม; กราฟ B, 800 กรัม; กราฟ C, 600 กรัม; D, 400 กรัม; กราฟ E, 200 กรัม

(2) อาหารที่ติดค้างอยู่บนผิวของการถ่ายเทความร้อนที่เรียกว่าตะกรัน (Fouling) ซึ่งเกิดบนผิวของเครื่องระเหยจะลดอัตราการถ่ายเทความร้อน การเกิดตะกรันดังกล่าวเกี่ยวข้องกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอาหารและผิวเครื่องให้ความร้อน เนื้อและองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร เช่น การเสียดสีของโปรตีนหรือตะกอนแป้ง โพลีแซคคาไรด์ทำให้อาหารไหม้บนผิวร้อน ในเครื่องระเหยบางชนิดจะมีการกำจัดอาหารออกจากผนังของเครื่องอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามโลหะด้านที่โดนไอน้ำอาจเกิดการกัดกร่อนได้ การลดการกัดกร่อนนี้ทำได้โดยการเคลือบผิวโลหะด้วยสารกันสนิมหรือใช้เหล็กปลอดสนิมในการทำโครงสร้างของเครื่อง

(3) ฉนวนฟิล์ม (Boundary Film) ฟิล์มของของเหลวที่หุ้ยนึงบนผิวของเครื่องระเหยเป็นตัวต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญ การลดความหนาของฟิล์มทำได้โดยการพาความร้อนแบบบังคับโดยวิธีเชิงกลเพื่อเพิ่มการไหลเวียนแบบเทอร์บูเลนซ์ ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะให้ความหนืดของอาการเพิ่มขึ้นด้วย มีผลทำให้ค่าเรโนลด์และอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องนานขึ้นจึงทำให้เกิดการหยาบเนื่องจากความร้อนมากขึ้น

3.1.3 ปัจจัยที่มีผลเชิงเศรษฐศาสตร์ในการระเหย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลเชิงเศรษฐศาสตร์ในการระเหยคือ การสูญเสียอาหารและการใช้พลังงาน การสูญเสียอาหารหรือผลิตภัณฑ์นั้นมิสาเหตุมาจาก

(1) การเกิดฟอง (Foaming) ซึ่งพลในของเหลวหลายชนิด โดยเกิดจากโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่ถูกทำให้ขึ้นลวด การใส่สารป้องกันการเกิดฟอง (Anti-Foam) อาจช่วยป้องกันหรือควบคุมการเกิดฟอง แต่ต้องพิจารณาว่าสารดังกล่าวเป็นสารเจือปนที่ได้รับการยอมรับหรือไม่

(2) สามารถลดการสูญเสียของเล็กๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเดือดของอาการขึ้นอย่างรุนแรงและถูกพาไปกับไอน้ำด้วยการเพิ่มเครื่องแยกในชุดเครื่องระเหย

การกำจัดน้ำออกจากอาหารโดยการต้มจำเป็นต้องใช้ความร้อนปริมาณมาก เช่น ต้องใช้ความร้อน 2,257 กิโลจูลล์ เพื่อทำให้น้ำ 1 กิโลกรัมระเหยที่ 100 °C การออกแบบเครื่องมือที่เหมาะสมจะช่วยลดความต้านทานการถ่ายเทความร้อน และเพิ่มความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการระเหยได้ วิธีประหยัดพลังงานมีอยู่ 3 วิธี ซึ่งล้วนเป็นการนำความร้อนจากไอซึ่งได้จากการต้มอาหารกลับมาใช้ใหม่ดังต่อไปนี้

(3) การนำไอน้ำกลับมาอัดใหม่ (Vapour Recompression) ซึ่งจะทำความดันหรือความร้อนของไอน้ำเพิ่มขึ้น โดยใช้เครื่องคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องฉีดไอน้ำแบบเวนทูรี (Venturi) ไอน้ำความดันสูงที่ได้จะถูกนำกลับมาใช้ในการให้ความร้อนต่อไป

(4) การให้ความร้อนเบื้องต้น (Preheating) โดยนำไอน้ำไปใช้ในการให้ความร้อนแก่อาหารเหลว หรือเปลี่ยนน้ำให้ไปเป็นไอในเครื่องกำเนิดไอน้ำ

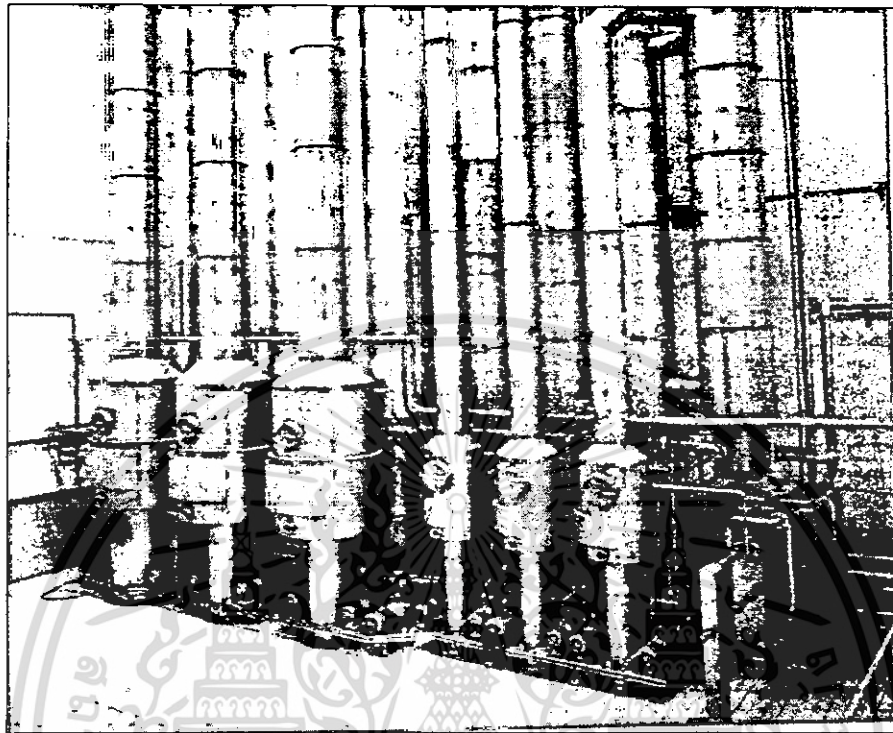
(5) การใช้เครื่องระเหยชนิดหลายเครื่อง (Multiple-Evaporation) คือใช้เครื่องระเหยที่เรียกว่า“เอฟเฟกต์” (Effect) ติดต่อกัน ไอน้ำจากเครื่องหนึ่งจะใช้ในการให้ความร้อนโดยตรงในเครื่องต่อไป อย่างไรก็ตามไอน้ำนี้จะใช้ต้มของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำได้เท่านั้น จึงต้องมีการควบคุมความดันของเครื่องระเหยแต่ละเครื่องให้ต่ำเพื่อรักษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอาหารที่ถูกส่งเข้ามา กับตัวกลางให้ความร้อน

จำนวนของเครื่องที่ใช้ในระบบระเหยชนิดหลายเครื่องกำหนดโดยความต้องการประหยัดพลังงาน (ตารางที่ 3.1) เทียบกับเงินลงทุนที่สูงขึ้น และความต้องการควบคุมเครื่องให้มีความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สุญญากาศสูง ทัวไปนิยมใช้ 3-6 เครื่อง (รูปที่ 3.3) แต่ก็เคยมีบางกระบวนการที่ใช้เครื่องระเหยมากถึง 9 เครื่อง



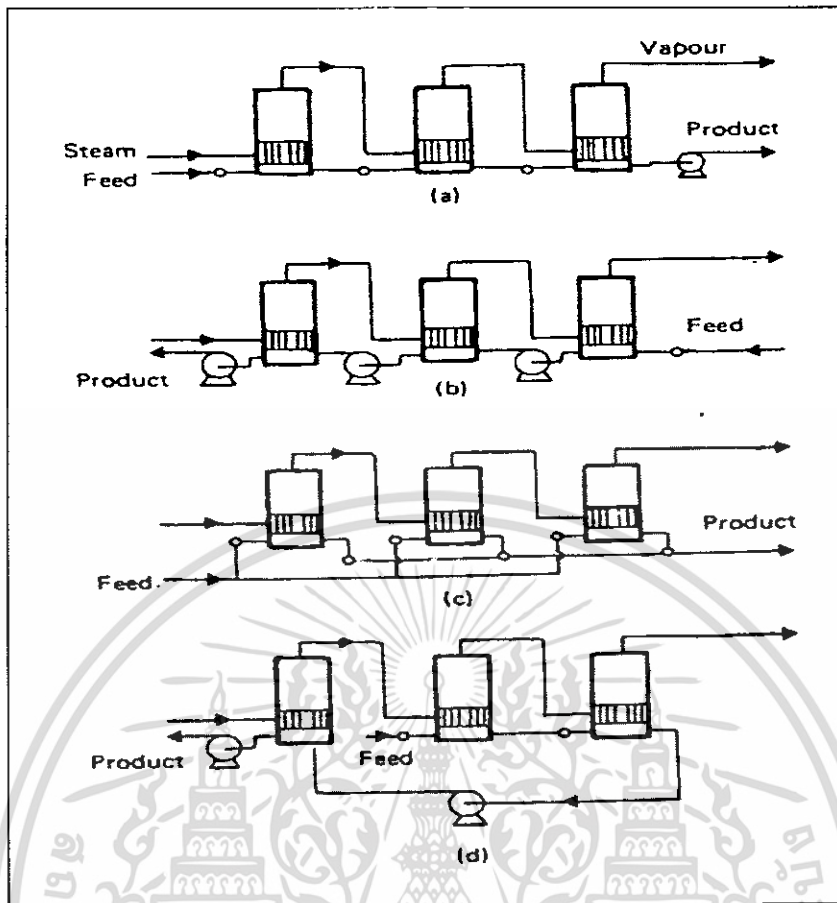
รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลงที่มีการใช้ในอุตสาหกรรม

ตารางที่ 3.1 ปริมาณการใช้ไอน้ำในเครื่องระเหยชนิดเครื่องระเหยโดยมีการนำไอน้ำกลับมาใช้ใหม่ [17]

จำนวนเครื่องระเหย	ปริมาณการใช้ไอน้ำ (กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย)	
	ไม่มีการอัดไอน้ำมาใช้ใหม่	มีการอัดไอน้ำมาใช้ใหม่
1	1.1	0.6
2	0.6	0.4
3	0.4	0.3

72034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การเรียงตัวของเครื่องระเหยใน Multiple-Effect Evaporation แบบต่างๆ [18]

(a)Forward; (b) Reverse; (c) Parallel; (d) Mix

3.1.4 คุณสมบัติของของเหลวที่มีผลต่อการระเหย (Influence of Feed Liquor Properties on Evaporation) [10]

การเลือกชนิดของเครื่องระเหยจะขึ้นกับคุณสมบัติของของเหลวซึ่งได้แก่

(1) ความหนืด (Viscosity)

เมื่ออาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้น อัตราการหมุนเวียนจะลดลง และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลงด้วย โดยทั่วไป ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหย ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเมื่อการระเหยดำเนินต่อไป

(2) ตะกรัน (Fouling – Scaling)

ตะกรันเป็นปัญหาสำคัญของการระเหยน้ำออกจากอาหาร โดยเฉพาะพวกโปรตีนและน้ำตาล (Polysaccharides) ที่มีอยู่ในอาหารสามารถเกาะติดค้างอยู่ที่ผิว ซึ่งยากต่อการกำจัดออกไป และมีผลทำให้ ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดลดลง (ค่า U ลดลง) อย่างไรก็ตามปัญหาเรื่องตะกรันจะเกิดขึ้นน้อยลง เมื่อกระแสน้ำของอาหารไหลด้วยความเร็วสูง

(3) การกัดกร่อน (Corrosion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารบางอย่างเช่นน้ำผลไม้ มักจะมีองค์ประกอบที่สามารถกัดกร่อนผิวที่ แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นอันตรายต่อเครื่องมือและยังก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะในอาหาร ได้ ดังนั้นเครื่องระเหยส่วนมากจะใช้เหล็กปลอดสนิมเป็นโครงสร้าง และทำให้เข้มข้นขึ้นโดยเครื่อง ระเหยแบบบังคับการหมุนเวียน (Force Circulation) ซึ่งมี ค่าสัมประสิทธิ์การการแลกเปลี่ยนความ ร้อนทั้งหมด (U) ที่สูงกว่า และใช้พื้นที่ผิวลดลงด้วย

(4) ความไวต่ออุณหภูมิ (Temperature Sensitivity)

เพื่อลดการเสื่อมเสียอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนระหว่างการระเหย อุณหภูมิจุดเดือด ของอาหารควรจะมีค่าต่ำและใช้เวลาอยู่ในเครื่อง (Residence Time) ในช่วงให้ความร้อนสั้น อุณหภูมิ จุดเดือดจะลดต่ำลงได้โดยการลดความดันของเครื่องระเหย ความแตกต่างของอุณหภูมิไอน้ำต่ำลง

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าการใช้อุณหภูมิที่กำหนดไว้ว่าเป็นค่าปลอดภัยสูงสุดในการ ทำงานสามารถใช้ได้ถ้าเวลาที่อยู่ภายในเครื่องซึ่งมีอุณหภูมิสูงนี้สั้นมาก ดังนั้นเครื่องระเหย ที่เรียกว่า “Thin – Film Evaporators” จึงนิยมใช้ในการทำให้อาหารที่ทนความร้อนสูงไม่ได้เข้มข้นมากขึ้น ดัง จะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

(5) การสูญเสียกลิ่น (Aroma Loss)

องค์ประกอบของกลิ่นรส (Aroma and Flavor) ในอาหารเหลวหลายชนิด เช่นน้ำ ผลไม้ นั้นสามารถระเหยเป็นไอ (Volatile) ได้มากกว่าน้ำเมื่อของเหลวที่ถูกทำให้เข้มข้นขึ้น องค์ประกอบเหล่านี้จะถูกกำจัดออกไปพร้อมกับไอน้ำที่ได้จากการระเหยทำให้คุณภาพของอาหาร เข้มข้นนั้นเสื่อมเสีย องค์ประกอบของสารระเหยง่ายนี้สามารถเก็บกัก (Recover) จากไอที่ไว้เป็นหัว เชื้อ (Essence) โดยการกลั่นลำดับส่วนแล้วผสมกลับเข้าไปในอาหารเหลวเข้มข้นภายหลัง

3.2 เครื่องระเหย [16]

เครื่องระเหยประกอบด้วย

(1) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เรียกว่าคาลแลนเดรีย (Calandria) ซึ่งถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำไปยังอาหาร

(2) เครื่องแยกไอน้ำที่ผลิตได้

(3) ปัมกลหรือปัมสูญญากาศชนิดไอน้ำ

ปัมกลใช้ค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำ แต่ใช้เงินลงทุนสูงกว่าปัมชนิดไอน้ำ ปัจจัยที่ใช้ในการเลือก เครื่องระเหยให้เหมาะสมมีดังต่อไปนี้

(1) ความสามารถในการทำงานแสดงในหน่วยกิโลกรัมน้ำที่ถูกกำจัดต่อชั่วโมง

(2) ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ แสดงโดย % ของแข็งในผลิตภัณฑ์

(3) ความสัมพันธ์ระหว่างความไวต่อความร้อนของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในเครื่อง

และอุณหภูมิระหว่างการระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (4) ความต้องการเครื่องมือสำหรับการนำสารระเหยมาใช้ใหม่
- (5) ความยากง่ายในการทำความสะอาด
- (6) ความยากง่ายในการเดินเครื่องหรือการทำงานและความเชื่อถือได้ของเครื่อง
- (7) ความสัมพันธ์ระหว่างเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกับความสามารถในการทำงานของเครื่องและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [17]

เครื่องระเหยในอุดมคติควรจะเป็นเครื่องที่สามารถจัดน้ำออกไปได้โดยไม่เกิดการสูญเสียองค์ประกอบของตัวละลาย เมื่อเจือจางแล้วได้วัตถุดิบตั้งต้นใหม่ได้ อย่างไรก็ตามเครื่องที่สามารถทำสิ่งดังกล่าวนี้ได้มากเท่าไรก็จะมีราคาสูงขึ้นเท่านั้น การเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งก็เช่นเดียวกับเครื่องมืออื่น ๆ ที่จะต้องมีการพิจารณาระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิตกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การลงทุนสูงต้องได้รับผลตอบแทนสูงเพียงพอเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น เช่น เครื่องระเหยที่ใช้คอมพิวเตอรืควบคุม หรือเครื่องระเหยเร่งด้วยความร้อนใช้เวลาสั้น (Thermally Accelerated Short-Time Evaporator, TASTE) การรวมเครื่องระเหย 2 แบบเข้าด้วยกันอาจคุ้มค่าใช้จ่ายในการประยุกต์ใช้ในงานบางอย่าง เช่น การทำให้ข้นด้วยเครื่องระเหยคาแลนเดรียและตามด้วยเครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลง (Falling-Film Evaporator) ในเครื่องต่อไป โดยทั่วไปแล้วการออกแบบเครื่องระเหยนิยมใช้การทำงานแบบต่อเนื่อง แต่ยังมีเครื่องระเหยแบบกะ (Batch-Boiling-Pan) สำหรับวัตถุดิบปริมาณน้อยหรือสำหรับงานที่อาจจะมีการเปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์บ่อย ๆ

3.2.1 เครื่องระเหยชนิดหมุนเวียนตามธรรมชาติ (Natural Circulation Evaporator)

(1) เครื่องระเหยแบบกะทะเปิดหรือปิด (Open-or Closed-Pan Evaporator)

เครื่องระเหยแบบนี้ประกอบด้วยหม้อต้มทรงกลมที่ได้รับความร้อนโดยตรงจากแก๊สหรือขดลวดต้านทานไฟฟ้าหรือให้ความร้อนผ่านไอน้ำที่ไหลผ่านท่อในแจ็กเก็ต (Steam-Jacketed Evaporator) ที่หุ้มเครื่อง เครื่องมีฝาปิดเพื่อทำให้เกิดสุญญากาศพร้อมทั้งมีที่กวนเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารไหม้ติดหม้อ เครื่องมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ หม้อระเหยสุญญากาศ อาหารที่ไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้ อย่างไรก็ตามเครื่องมีราคาค่อนข้างต่ำและใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด จึงมีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการเตรียมอาหารประเภทซอสและน้ำเกรวี่หรือการผลิตแยกและอาหารอื่น ๆ เครื่องระเหยนี้จัดเป็นแบบเก่าที่สุดและง่ายที่สุดที่มีใช้ในอุตสาหกรรม

(2) เครื่องระเหยแบบท่อสั้น (Short-Tube Evaporator)

เครื่องระเหยแบบท่อสั้นเป็นตัวอย่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเซลล์ซึ่งใช้การพาสเจโรส การสเตรอโรไลซ์ และการแช่แข็ง เครื่องประกอบด้วยเวสเซล (หรือเซลล์) ซึ่งประกอบด้วยท่อจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในแนวตั้งมากกว่าแนวนอน อาหารเหลวจะร้อน

ตารางที่ 3.2 ข้อดีและข้อเสียในการใช้เครื่องระเหยชนิดหลายเครื่องแบบต่าง ๆ [18]

การเรียงตัวของเครื่อง	ข้อดี	ข้อเสีย
Forward Feed	ถูกกว่าวิธีอื่น ใช้งานง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มระหว่างเครื่อง การใช้อุณหภูมิต่ำลงในเครื่องต่อไปทำให้อาหารมีความหนืดสูง มีความเสี่ยงต่ำต่อความเสียหายเนื่องจากความร้อน	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำลง เมื่ออาหารมีความหนืดสูงขึ้น อัตราการระเหยลดลงในแต่ละเครื่องต่อมา ต้องใช้ไอน้ำที่มีคุณภาพดีที่สุดกับอาหารที่ส่งเข้ามาตอนต้นเพื่อทำให้เกิดการระเหยง่ายที่สุด ต้องส่งอาหารเข้ามา ณ จุดเดือดเพื่อป้องกันการสูญเสียทางเศรษฐกิจ (ถ้าไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนสัมผัส จะเกิดไอน้ำน้อยลงในเครื่องระเหยต่อมา)
Reverse Feed	ไม่ต้องใช้ปั๊มในตอนต้น ใช้ไอน้ำคุณภาพดีที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ที่ทำให้เข้มข้นยากที่สุด ให้ผลทางเศรษฐศาสตร์และอัตราการถ่ายเทความร้อนดีกว่าเนื่องจากเครื่องไม่ได้รับผลกระทบเรื่องการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหาร และอาหารที่ส่งเข้ามาจะสัมผัสกับผิวร้อนเมื่อมีความเข้มข้นสูงขึ้น	ต้องใช้ปั๊มในระหว่างขั้นตอนการระเหยช่วงกลาง อาหารที่เข้มข้นจะเคลื่อนที่ช้าลงบนผิวร้อน ทำให้เสี่ยงต่อความเสียหาย อาจเกิดตะกอน
Mixed Feed	เป็นการนำความง่ายของระบบ Forward Feed และเศรษฐศาสตร์ของระบบ Backward Feed มารวมกัน เหมาะสำหรับอาหารข้นหนืดมาก	มีความซับซ้อนและราคาแพงขึ้น
Parallel	ใช้สำหรับการทำผลิตภัณฑ์ควบคุมการตกผลึกได้ดีขึ้น และไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มป้อนน้ำผลึก (Crystal Slurries)	มีความซับซ้อนและราคาแพงที่สุด ต้องใช้ปั๊มเพื่อสกัดในเครื่องระเหยแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นด้วยไอน้ำที่ควบแน่นภายนอกท่อ แล้วไหลขึ้นมาตามท่อเดือดและไหลกลับลงมาทางตรงกลางเครื่อง การจัดเรียงตัวท่อตามแนวตั้งช่วยให้การพาความร้อนดีขึ้นจึงเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน มีการออกแบบท่อให้อยู่ในภาชนะซึ่งน้ำออกไปข้างทำความสะดวกได้ง่าย เครื่องระเหยแบบนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงและความยืดหยุ่นที่จะใช้กับอาหารชนิดต่าง ๆ ได้มากกว่าเครื่องระเหยแบบกะทะเปิดหรือปิดถ้าใช้กับอาหารที่มีความหนืดต่ำ เครื่องดังกล่าวไม่เหมาะกับการพาความร้อนสูงเพราะทำการผสมได้ไม่ดีนัก จึงอาจทำให้อาหารไหม้บนผิวท่อได้และตามมาด้วยความเสียหายเนื่องจากความร้อน เครื่องมีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำและทำความสะดวก นิยมใช้เครื่องนี้กับน้ำเชื่อม น้ำเกลือ และน้ำผลไม้

(3) เครื่องระเหยแบบท่อยาว (Long-Tube Evaporator)

เครื่องระเหยแบบท่อยาวประกอบด้วยท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาวได้ถึง 5 เซนติเมตร จัดเรียงตัวตามแนวตั้งภายในเซลล์ไอน้ำซึ่งสูง 3-15 เมตร อาหารเหลวจะถูกทำให้ร้อนขึ้นเกือบถึงจุดเดือดก่อนจะเข้าสู่เครื่องระเหยและถูกทำให้ร้อนและเดือดต่อภายในท่อ การขยายตัวของไอน้ำจะไปดันฟิล์มของอาหารที่ถูกทำให้ขึ้นขึ้นอย่างรวดเร็วบนผิวท่อแต่ละท่อ อาหารขึ้นจะแยกตัวจากไอน้ำและออกจากเครื่องระเหยผ่านเข้ามาในเครื่องต่อมาในระบบระเหยชนิดหลายเครื่องหรือไหลเวียนไปมา ไอน้ำจะถูกนำไปใช้ใหม่ภายในระบบหรือใช้ในระบบอัดไอน้ำใหม่

สำหรับอาหารที่มีความหนืดต่ำ เช่น นมซึ่งมีค่าความหนืด 0.1 นิวตัน วินาที/เมตร² ฟิล์มบาง ๆ นี้จะถูกดันขึ้นมาบนท่อระเหย บางครั้งจึงเรียกวิธีนี้ว่าเครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลขึ้น (Climbing-Film Evaporator) สำหรับอาหารที่มีความหนืดสูงกว่าหรือมีความไวต่อความร้อนจะถูกส่งเข้ามาทางด้านบนของท่อ แรงโน้มถ่วงของโลกจะช่วยเสริมแรงจากการขยายตัวของไอน้ำทำให้อัตราการไหลลงของอาหารเหลวสูงมาก คืออาจสูงถึง 200 เมตร/วินาที ที่ตอนปลายของท่อยาว 12 เมตร เครื่องมือชนิดนี้เรียกว่าเครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลลง นิยมใช้กับอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น สารสกัดจากยีสต์ น้ำผลไม้ [19] รวมทั้งใช้ในกระบวนการแปรรูปแป้ง Anon[19] ได้รายงานการใช้ระบบระเหยชนิดหลายเครื่องแบบไหลไปข้างหน้า (Forward-Feed) ซึ่งสามารถระเหยน้ำได้สูงถึง 45,000 ลิตร/ชั่วโมง เครื่องระเหยแบบท่อยาวทั้งสองแบบมีลักษณะดังต่อไปนี้

(3.1) เวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องจะสั้น

(3.2) มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง (ตารางที่ 3.3)

(3.3) ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง ใช้ไอน้ำ 0.3-0.4 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยในเครื่องระเหยชนิดหลายเครื่อง

(4) เครื่องระเหยแบบ External Calandria

เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเซลล์ซึ่งจะบรรจุอยู่ในท่ออีกชั้นเพื่อใช้ในการหมุนเวียนอาหาร ในลักษณะเช่นนี้จะเกิดการพาความร้อนซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน

ให้สูงขึ้นสามารถทำความสะอาดแคลนเดรียได้ง่าย วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน รวมทั้งผลิตภัณฑ์นม และสารสกัดจากเนื้อ สามารถทำการระเหยภายใต้สุญญากาศบางส่วนได้

3.2.2 เครื่องระเหยชนิดบังคับให้หมุนเวียน (Forced Circulation Evaporator)

ในเครื่องระเหยแบบบังคับให้หมุนเวียนจะมีปั๊มหรือใบมีดคอยขูดของเหลวซึ่งมักอยู่ในรูปฟิล์มบาง ๆ ออกมา จึงทำให้สามารถควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนให้สูงและเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องให้สั้นได้ (ตารางที่ 3.3) เครื่องจึงมีขนาดเล็กกลง ให้อัตราการผลิตสูงแต่ต้องใช้งบลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องสูง

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (OHTC) ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่าง ๆ [17] , [20]

ชนิดของเครื่องระเหย	จำนวนเครื่องระเหย	Residence Time (โดยประมาณ)	OHTC (W/m ² K)	
			ความหนืดต่ำ	ความหนืดสูง
Open หรือ Vacuum Pan	1	30 นาที-หลาย ชั่วโมง	500-1,000	<500
Vertical Short Tube	1	-	570-2,800	-
Climbing Film	1	10-60 นาที	2,250-6,000	<300
Falling Film	1	5-30 นาที	2,000-3,000	-
Plate	3	2-30 นาที	2,000-3,000	-
Expanding Film	2	0.5-30 นาที	2,500	-
Agitated film	1	20-30 นาที	2,000-3,000	1,700
Centri-Therm	1	1-10 นาที	8,000	-

(1) เครื่องระเหยแบบแผ่น (Plate Evaporator)

โครงสร้างของเครื่องระเหยแบบแผ่นคล้ายคลึงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้สำหรับการพาสเจอร์ไรซ์และการสเตอริไลซ์ที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามตัวกลางให้ความร้อนในเครื่องระเหยจะเป็นไอน้ำ และใช้หลักการไหลขึ้นและไหลลงของฟิล์มเพื่อทำให้อาหารซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างแผ่นให้ความร้อนเข้มข้นขึ้น อาหารเหลวจะถูกส่งเข้ามาทางด้านล่างของส่วนฟิล์มไหลขึ้นและเดือดและเคลื่อนที่ขึ้นไปด้านบนของแผ่นเข้าไปอยู่ในส่วนของฟิล์มไหลลงขณะที่ยังเดือดต่อไป จำนวนของช่วงฟิล์มไหลขึ้นและไหลลงในเครื่องขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตและระดับของความเข้มข้นที่ต้องการ ไอน้ำและอาหารเข้มข้นจะถูกแยกออกจากกันข้างนอกเครื่องระเหยหรืออาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการอัดเพื่อนำมาใช้ในระเหยชนิดหลายเครื่องต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องระเหยแบบแผ่นให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงว่าจะต้องใช้เงินทุนสูงก็ตาม เวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องสั้น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง (ตารางที่ 3.3) เครื่องมีขนาดกะทัดรัด ง่ายต่อการดูแลรักษาและตรวจสอบ เหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง (0.3-0.4 นิวตันวินาที/เมตร²) กว่าเครื่องระเหยแบบท่อยาว เพราะใช้ป้อนส่งอาหารผ่านแผ่นให้ความร้อนได้ นิยมใช้สำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน เช่น สารสกัดจากยีสต์ ผลิตภัณฑ์นมและสารสกัดจากเนื้อ

(2) เครื่องระเหยแบบเพิ่มพื้นที่การไหล (Expanding-Flow Evaporator)

หลักการของเครื่องระเหยแบบนี้คล้ายคลึงกับเครื่องระเหยแบบแผ่น แต่เครื่องจะประกอบด้วยชั้นของภาชนะรูปกรวยคว่ำแทนที่จะเป็นแผ่นซ้อนกัน ลักษณะคล้ายกับเครื่องระเหยแบบเซนทริเทอรัม (Centri-Therm Evaporator) อาหารเหลวจะไหลจากแกนกลางของเครื่องเข้าสู่ช่องว่างในแต่ละกรวยและเกิดการระเหยในระหว่างที่อาหารผ่านตามช่องทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น (ซึ่งเป็นที่มาของชื่อเครื่อง) ส่วนผสมระหว่างไอน้ำและอาหารเข้มข้นจะเคลื่อนที่ออกมาจากกรวยตามมุมที่เอียงและแยกออกจากกัน มีการให้ไอน้ำตามช่องต่าง ๆ โดยเครื่องนี้ซึ่งออกแบบให้เกิดไซโคลนเอฟเฟกต์ (Cyclone Effect) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของของเหลวจะลดลงเรื่อย ๆ ตามช่องทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ในการควบแน่นไอน้ำของฟิล์มเครื่องระเหยนี้มีข้อดีหลายอย่างคือมีขนาดกะทัดรัด เวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องสั้น มีความยืดหยุ่นสูงโดยการเปลี่ยนจำนวนกรวย

(3) เครื่องระเหยแบบฟิล์มบาง ๆ ที่มีการกวนเชิงกล (Mechanical (oragitated) Thin-Film Evaporator)

เครื่องระเหยชนิดนี้แบ่งเป็นแบบมีใบมีดขูดหรือแบบกวาดผิวได้ขึ้นกับความแตกต่างเรื่องความหนาของฟิล์มอาหารที่ค้ำยันผ่านกระบวนการ ฟิล์มที่ได้จากการใช้เครื่องระเหยแบบกวาดผิวได้หนาประมาณ 0.25 มิลลิเมตร ในขณะที่เครื่องระเหยแบบฟิล์มบางจะมีฟิล์มหน้ำถึง 1.25 มิลลิเมตร เครื่องระเหยทั้ง 2 ชนิดจะมีสตีมเจ็คเกิดหุ้มรอบแกนหมุนความเร็วสูงซึ่งมีใบมีดสั้น ๆ ติดอยู่ตามยาวของแกน รูปแบบของเครื่องจะคล้ายคลึงกับเครื่องสเตริไลซ์ปลอดเชื้อแบบมีใบมีดขูด อาหารเหลวไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างแกนหมุนและผิวร้อนของเครื่องและเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วในขณะที่ฟิล์มอาหารบาง ๆ จะถูกขูดออกโดยใบมีดแกนหมุน ใบมีดนี้ทำให้ฟิล์มถูกกวนอย่างรุนแรงจึงเป็นการป้องกันไม่ให้อาหารไหม้บนผิวร้อนและเป็นไหม้บนผิวร้อนและเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วย Anon [19] มีการปรับเวลาให้อาหารอยู่ในเครื่องได้ตั้งแต่ 0.5 วินาที ถึง 100 วินาที ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระดับความเข้มข้นที่ต้องการ

เครื่องระเหยแบบฟิล์มบางที่มีการกวนเชิงกลนี้เหมาะสมกับอาหารที่ไวต่อความร้อน และมีความหนืดสูงถึง 20 นิวตันวินาที /เมตร² หรืออาหารที่อาจทำให้เกิดฟองหรือตะกอนบนผิวเครื่องได้ เช่น น้ำผลไม้หรือเนื้อผลไม้ มะเขือเทศบด สารสกัดจากเนื้อ น้ำผึ้ง โกโก้ กาแฟ และผลิตภัณฑ์นม อย่างไรก็ตามต้องใช้เงินลงทุนสูงเนื่องจากต้องตั้งแกนหมุนและผนังในแนวที่เที่ยงตรง ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องสูงเนื่องจากสามารถใช้ได้เพียง 1 เครื่องเท่านั้น ทำให้ผลผลิตและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการใช้ไอน้ำต่ำ ดังนั้นจึงนิยมใช้ในขั้นตอนสุดท้ายสำหรับอาหารที่มีความหนืดสูงซึ่งได้ผ่านขั้นตอนสุดท้ายสำหรับอาหารที่มีความหนืดสูงซึ่งได้ผ่านขั้นตอนทำให้ขึ้นอื่น ๆ มาแล้ว ปริมาณของอาหารน้อยทำให้มีของเสียที่เป็นน้ำน้อยด้วย ความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์จึงต่ำแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีมูลค่าสูง ความเสี่ยงที่อาหารจะได้รับความเสียหายจากความร้อนต่ำ

เครื่องระเหยแบบฟิล์มบางเชิงกลอีกแบบเรียกว่าเครื่องระเหยแบบเซนตริเฟอรัลซึ่งแม้ว่าจะมีลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกัน แต่มีหลักการการทำงานต่างกัน อาหารจะไหลจากท่อแกนกลางเข้าไปตามช่องกลางของกรวยที่หมุนอยู่และเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ หนาประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ไอน้ำจะควบแน่นที่ด้านในของแต่ละกรวยและจะเกิดการนำความร้อนผ่านแผ่นเหล็กบาง ๆ เพื่อระเหยของเหลวนั้น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องระเหยแบบเพิ่มพื้นที่การไหลซึ่งของเหลวจะเคลื่อนที่โดยความดัน ไอน้ำมัน เครื่องเซนตริเฟอรัลจะใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (750-3,010 นิวตัน) เพื่อเคลื่อนย้ายของเหลวอย่างรวดเร็วผ่านผิวร้อนของกรวยช่วงเวลาอาหารอยู่ในเครื่องสำหรับอาหารที่มีความเข้มข้นและมีความหนืดสูงถึง 20 นิวตันวินาที/เมตร² คือ 0.6-1.6 วินาที [21] ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมสูงมาก ทำให้เวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องสั้น ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มอาหารที่บางและหยาบไอน้ำที่ควบแน่นแล้วจะถูกเหวี่ยงออกจากกรวยที่หมุนอยู่อย่างรวดเร็วทันทีที่ควบแน่น ดังนั้นจึงไม่เกิดการรบกวนการถ่ายเทความร้อน โดยฟิล์มน้ำจากการควบแน่น อาหารเข้มข้นที่เตรียมได้จากเครื่องระเหยชนิดนี้เมื่อนำมาเจือจางใหม่จะมีคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับวัตถุดิบเริ่มต้นเลย วิธีนี้ใช้สำหรับสารสกัดจากกาแฟและชา สารสกัดจากเนื้อ น้ำผลไม้ และเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

4.1 การทดสอบหาจุดเดือดที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศของน้ำกะทิ

ในการการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้กับเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ในเบื้องต้นนั้นต้องทำการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้เพื่อนำเอาข้อมูลมาวิเคราะห์และนำมาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากการทดสอบที่สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศค่าตัวแปรต่างๆอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งการทดสอบเบื้องต้นได้นำเอาน้ำกะทิมาทดสอบเพื่อหาจุดเดือดของน้ำกะทิภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยใช้ Heater มีกำลัง 1000 W และใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีอัตราการดูดอากาศ $4.5 \text{ m}^3/\text{hr}$

4.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหาจุดเดือดของน้ำกะทิภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ระดับต่างๆ และอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน

4.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

- (1) ตัวอย่างน้ำกะทิที่ได้จากท้องตลาด
- (2) เครื่องทำเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
- (3) บีกเกอร์ขนาด 1000 ml จำนวน 1 ใบ

4.1.3 การทดลอง

- (1) บรรจุน้ำกะทิ 2000 ml ลงในถังสุญญากาศ
- (2) เปิด Heater โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 25°C
- (3) เปิดมอเตอร์ให้ความเร็วในที่ 10 รอบ/นาที
- (4) เปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อให้ความดันภายในถังเกิดความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
- (5) สังเกตดูการเดือดของน้ำกะทิ และบันทึกค่าความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน จากการตั้งค่าของ Heater
- (6) ทดลองซ้ำเหมือนเดิมแต่ปรับตั้งอุณหภูมิไปที่ 30, 40, 50, 60, 70 และ 80°C

4.1.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 จุดเดือดของน้ำที่สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

อุณหภูมิของน้ำ		ความดันสมบูรณ์			
°F	°C	lb/in ²	kN/m ²	inHg	mmHg
77	25	1.74	12.00	3.54	90.00
86	30	2.13	14.66	2.13	110.00
95	35	2.42	16.66	2.42	125.00
104	40	2.80	19.33	2.80	145.00
113	45	3.64	25.06	3.64	188.00
122	50	4.45	30.66	4.45	230.00
131	55	4.93	33.99	4.93	255.00
140	60	5.41	37.32	5.41	280.00
149	65	5.90	40.65	5.90	305.00
158	70	6.38	43.99	6.38	330.00
167	75	7.64	52.65	7.64	395.00
176	80	8.89	61.31	8.89	460.00

ตารางที่ 4.2 จุดเดือดของน้ำที่สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

อุณหภูมิของน้ำ		ความดันสมบูรณ์			
°F	°C	lb/in ²	kN/m ²	inHg	mmHg
80	26.67	0.51	3.50	1.03	26.21
90	32.22	0.70	4.81	1.42	36.12
100	37.78	0.95	6.55	1.93	49.10
110	43.33	1.28	8.79	2.60	65.96
120	48.89	1.69	11.67	3.45	87.58
130	54.44	2.22	15.33	4.53	114.99
140	60.00	2.89	19.93	5.88	149.38
150	65.56	3.72	25.64	7.57	192.35
160	71.11	4.74	32.70	9.66	245.26
170	76.67	5.99	41.33	12.20	309.96
180	82.22	7.51	51.80	15.30	388.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 สรุปผลการทดลอง

จุดเดือดของน้ำกะทิภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมีค่าน้อยลง ต้องการความร้อนที่น้อยลง แต่ที่ความดันต่ำนั้นอุณหภูมิของน้ำกะทิภายในถังก็ต่ำลงด้วยเนื่องจากความร้อนของน้ำกะทิถูกดึงออกไปพร้อมกับไอน้ำทำให้ต้องใช้ความร้อนที่ต่ำลงอีก ดังนั้นในการใช้ Heater ที่มีกำลังต่ำจึงเป็นเหตุให้ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับเนื้อและน้ำผักผลไม้ได้ทันเพื่อให้น้ำกะทิตะเหยที่ความดันเดิม และหากปั๊มสุญญากาศดูดไอน้ำออกไม่หมดก็จะทำให้เกิดการตกค้างและควบแน่นกลับตัวเป็นน้ำเกาะอยู่ที่ผนังของถัง ดังนั้นจึงต้องหาขนาดของ Heater และ ปั๊มสุญญากาศที่เหมาะสม

4.2 การคำนวณหาขนาดเครื่องทำความร้อน (Heater)

ข้อมูลในการคำนวณใช้ข้อมูลของน้ำกะทิ

ความชื้น 54%

ไขมัน 35%

Solid Non-Fat (SNF) 11%

เนื่องจากการให้ความร้อนแก่น้ำกะทินั้น สิ่งที่ต้องการคือให้น้ำระเหยออกจากน้ำกะทิ เพื่อให้ น้ำกะทิเข้มข้นขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำกะทิมีปริมาณลดลง ซึ่งการจะทำให้ น้ำระเหยออกนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอในบางส่วน ในการคำนวณหาขนาด Heater จึงต้องนำเอาความร้อนสัมผัส (Q_s) แต่ความร้อนของแฝง (Q_L) ของน้ำที่ระเหยนั้น เกิดขึ้นที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จึงต้องเลือกใช้ค่าในตารางความร้อนแฝงของน้ำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ การคำนวณทำได้ดังนี้

ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

$$Q_s = mc\Delta T$$

ความร้อนแฝง (Latent heat)

$$Q_L = mL$$

ความร้อนทั้งหมด (Total heat)

$$Q_t = Q_s + Q_L$$

$$Q_t = mc\Delta T + mL$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$C = 3.711 \text{ kJ/kg [22]}$$

$$T_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 2421.95 \text{ kJ/kg (ที่ } 40 \text{ mmHg absolute)}$$

แทนค่า

$$Q_s = (2 \text{ kg}) (3.711 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}) (70-25) \text{ }^\circ\text{C}$$

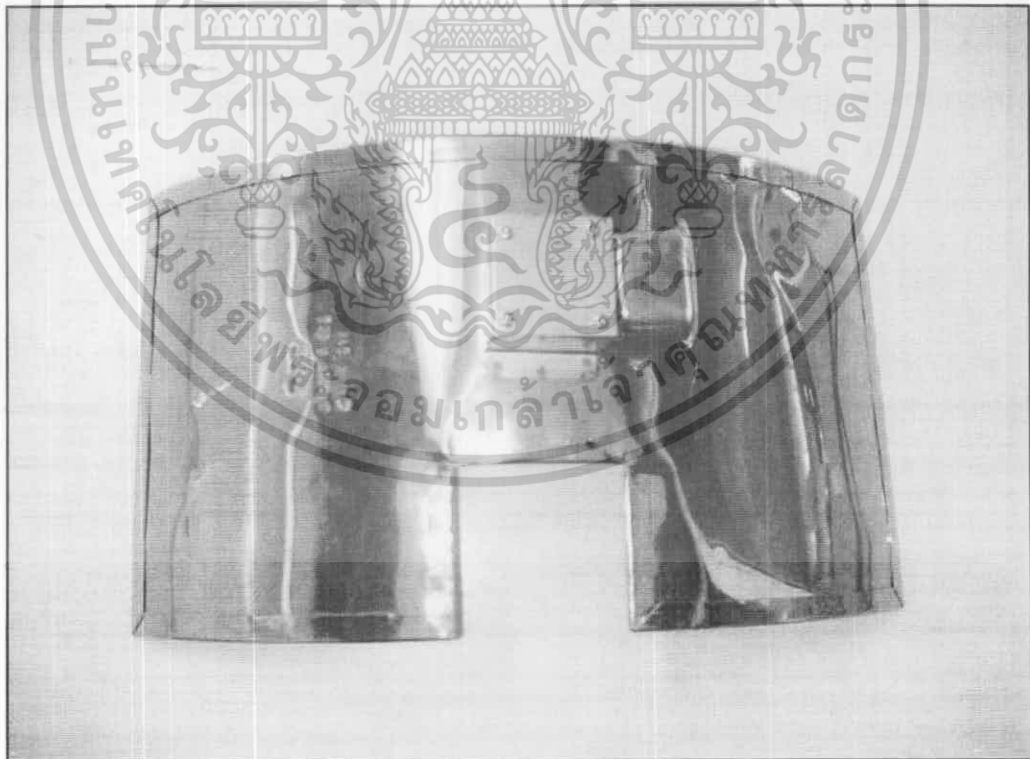
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 334 \text{ kJ} \\
 Q_L &= (2 \text{ kg}) (2421.95 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 4843.9 \text{ kJ} \\
 Q_t &= 334 + 4843.9 \text{ kJ} \\
 &= 5177.9 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

คิดเวลาในการให้ความร้อนเพื่อให้ น้ำกะทิระเหยใช้เวลา $t = 30$ นาที

$$\begin{aligned}
 Q_t &= \frac{5177.9 \text{ kJ}}{30 \times 60 \text{ s}} \\
 &= 2.8766 \text{ kW} \\
 &= 2,876.6 \text{ W}
 \end{aligned}$$

ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจึงข้อมเกิดการสูญเสีย ดังนั้นจึงต้องเลือก Heater ที่มีขนาดสูงกว่าที่คำนวณได้ จึงทำการเลือก Heater ขนาด 3,000 W แต่เนื่องพื้นที่ติดตั้งไม่เพียงพอจึงเลือกใช้ Heater ขนาด 2500 W โดยเมื่อได้ขนาด Heater แล้วก็ออกแบบลักษณะการติดตั้ง Heater ให้ได้พอดีกับพื้นที่ในการติดตั้งเข้ากับถังสุญญากาศ



รูปที่ 4.1 Heater ขนาด 2500 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การคำนวณหาขนาดของปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump)

ปั๊มสุญญากาศจะทำหน้าที่ในการดูดเอาไอน้ำที่เกิดการระเหยออกของน้ำในน้ำกะทิ โดยเมื่อการให้ความร้อนจนน้ำกะทิระเหยนั้น หากปั๊มสุญญากาศมีอัตราการดูดอากาศที่ไม่เหมาะสม ก็จะเป็นเหตุให้ไอน้ำกะทิผ่นงของถัง ทำให้การทำน้ำกะทิเข้มข้นได้ผลน้อยลง การคำนวณหาขนาดของปั๊มสุญญากาศใช้ข้อมูลในการคำนวณดังนี้

$$\text{ความดันสุญญากาศในถัง (P)} = 5.3 \text{ kPa (-720 mmHg)}$$

$$\text{ให้อัตราการดูดอากาศ (\dot{V})} = 30 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{ปริมาณน้ำในน้ำกะทิ (m)} = 1080 \times 10^3 \text{ kg}$$

ทำการเปิดตารางคุณสมบัติของน้ำ

$$\text{ที่ } P=5.3 \text{ kPa, } T_{\text{sat}}=33 \text{ }^\circ\text{C, } V_g=27.12 \text{ m}^3/\text{kg}$$

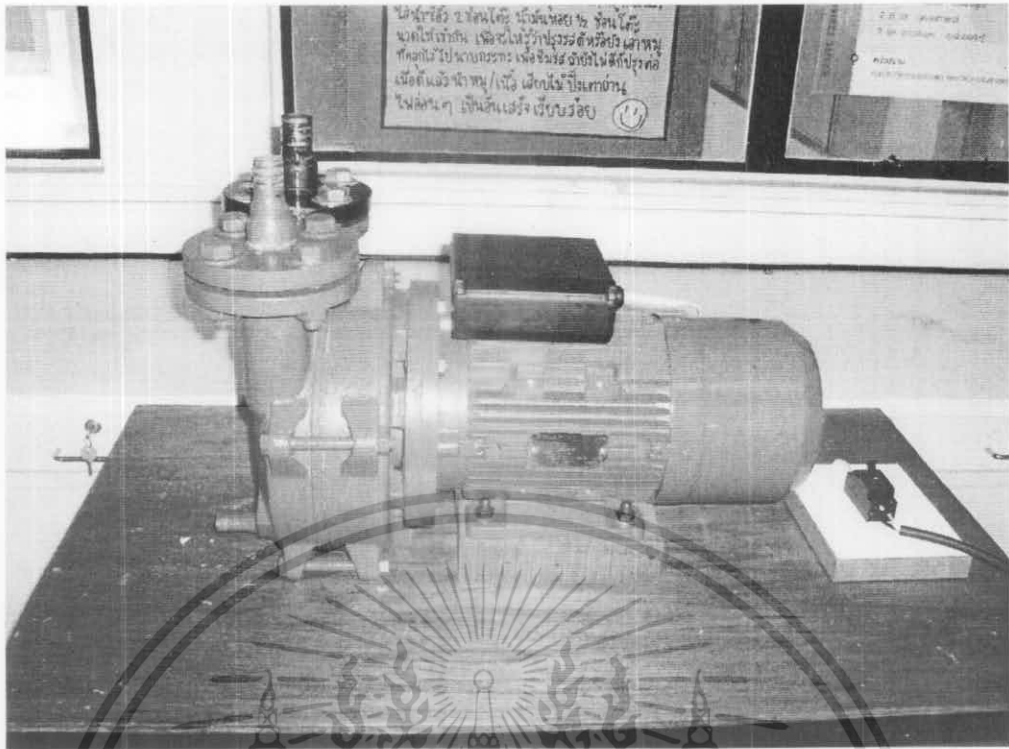
$$\begin{aligned} \dot{V}_g &= \frac{\dot{m}}{V_g} \\ \dot{m} &= \frac{\dot{V}_g}{V_g} \\ &= \frac{1080 \times 10^3 \text{ kg}}{27.12} \\ &= 39823 \text{ kg/hr} \\ &= 663.72 \text{ kg/min} \\ &= 58.38 \text{ min} \end{aligned}$$

คิดการระเหยเอาน้ำออกจากน้ำกะทิที่ 100% ต้องใช้เวลา 58.38 นาที แต่จากการทดลองสามารถระเหยน้ำกะทิออกได้เพียงแค่ 60% เท่านั้น

$$\text{ฉะนั้น } t = 58.38 \times 0.6$$

$$= 35 \text{ นาที}$$

การเลือกเนื่องจากปั๊มสุญญากาศไม่มีขนาด 30 m³/hr ขาย จึงซื้อปั๊มสุญญากาศที่มีขนาด 108 m³/hr จึงต้องเลือกขนาดอัตราการดูดอากาศ (\dot{V}) = 108 m³/hr



รูปที่ 4.2 Vacuum Pump ขนาดอัตราการดูดอากาศ 108 m³/hr

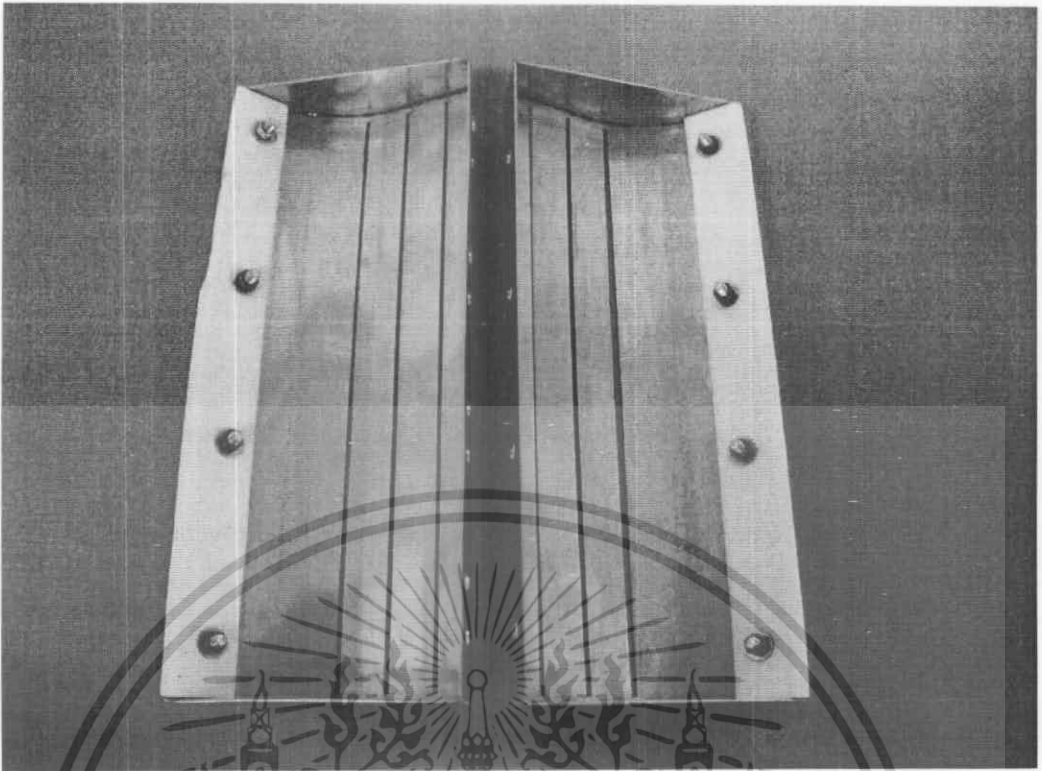
4.4 การปรับปรุงใบกวน

เนื่องจากใบกวนเดิมไม่สามารถกวนอาหารที่ข้นมากๆ ทำให้เกิดปัญหาคือ ทำให้อาหารข้นติดที่ด้านข้างของถัง อาจทำให้อาหารไหม้ได้ ฉะนั้นจึงมีการออกแบบใบกวนให้มีประสิทธิภาพในการกวาดวัสดุมากขึ้น โดยมีการติดปลงสลักบนความร้อนที่ปลายของใบกวน พบว่าใบกวนที่ออกแบบใหม่ไม่สามารถกวนเนื้อและน้ำผักผลไม้ที่เข้มข้นมากๆ ได้ เนื่องจากภายในถังสุญญากาศมีผิวไม่สม่ำเสมอ ทำให้ใบกวน กวาดได้ไม่สนิทแนบกับถังสุญญากาศ

4.5 การปรับปรุงชุดควบคุมอุณหภูมิ

ชุดควบคุมอุณหภูมิที่มีอยู่เดิมเกิดความคลาดเคลื่อนในการตัดต่ออุณหภูมิ ทำให้ควบคุมการทำงานของ Heater ได้ไม่ดีเท่าที่ควร จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในถังจะสูงกว่าอุณหภูมิที่ชุดควบคุมวัดได้ทำให้เกิดความเสียหายกับวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง จึงทำการเปลี่ยนชุดควบคุมอุณหภูมิใหม่ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิน้อยลงสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ไบควอนปลาสติคพลาสติกทนร้อน



รูปที่ 4.4 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

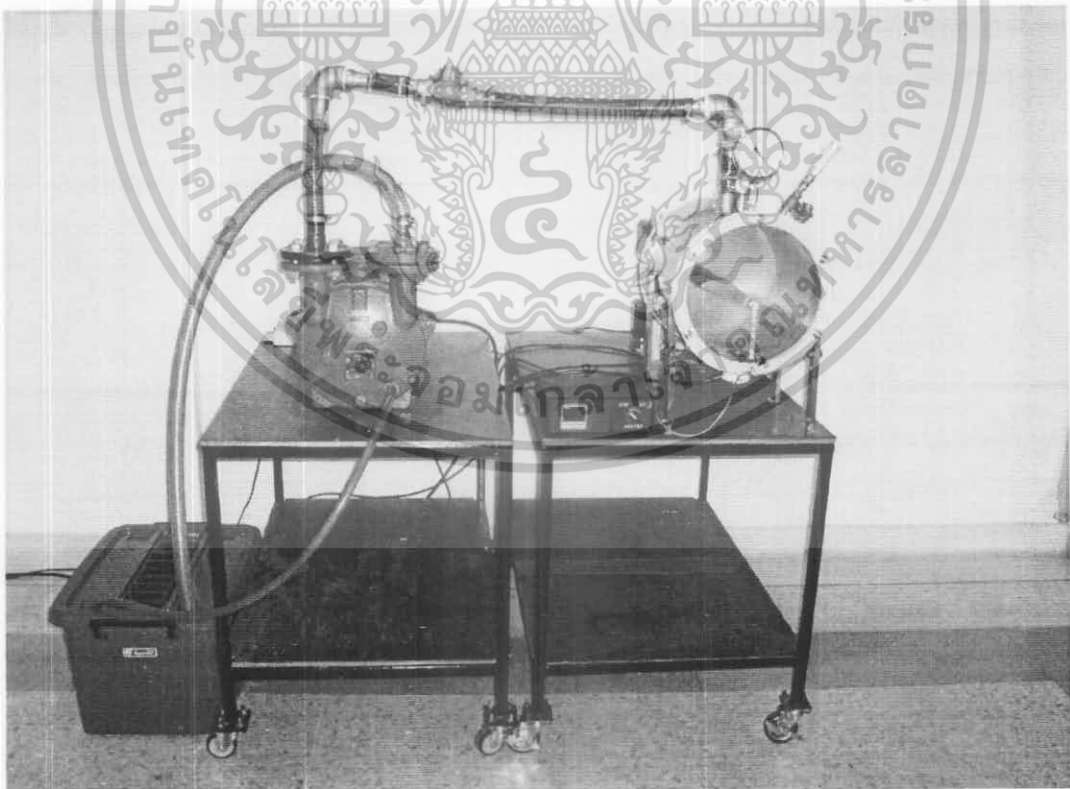
วิธีการทดลองเพื่อหาสถานะเบื้องต้น

5.1 การทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการทำระเหยเนื้อและน้ำผลไม้

5.1.1 วัตถุประสงค์

ในการทดลองนี้ได้นำเอาผลิตภัณฑ์ 3 ชนิดมาทำการทดลองก่อน เพื่อจะศึกษาและทดสอบหาสถานะที่เหมาะสม การทดลองได้นำเอา สับปะรด ทูเรียน และน้ำกะทิมาทำการทดลอง โดยใช้วิธีหาคุณสมบัติทางกายภาพ

- (1) การวัดค่า สี โดยใช้เครื่อง COLORMETER รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston, USA.)
- (2) การวัดค่า Viscosity โดยใช้เครื่อง VISCOMETER รุ่น LVDV-E (Brookfield, USA.) , Spindle No. s61, s62 และ s64
- (3) การวัดค่า Total Soluble Solids โดยใช้เครื่อง REFRACTOMETER รุ่น PAL-1 (Atago, Japan)



รูปที่ 5.1 เครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 วัสดุ และอุปกรณ์

- (1) บีกเกอร์ขนาด 1000 ml 5 ใบ ขนาด 500 ml 5 ใบ
- (2) เทอร์โมมิเตอร์
- (3) เนื้อและน้ำผลไม้(สับปะรด ทูเรียน และ น้ำกะทิ)
- (4) นาฬิกาจับเวลา
- (5) เครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
- (6) เครื่องวัดค่าสี Color meter รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston,USA.)



รูปที่ 5.2 เครื่อง Color meter

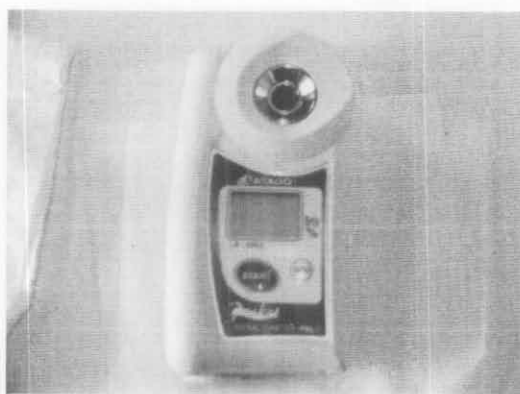
- (7) เครื่องวัดค่าความหนืด เครื่อง Rotational Viscometer รุ่น LVDV-E (Brookfield, USA.) , Spindle No. s61, s62



รูปที่ 5.3 Rotational Viscometer

- (8) เครื่องวัดค่าเปอร์เซ็นต์ Brix เครื่อง Pocket Refractometer รุ่น PAL-1 (Atago, Japan)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 Refractometer

5.2 การทดลองโดยใช้เนื้อสับประรด

5.2.1 วิธีการทดลอง

(1) เตรียมตัวอย่าง โดยการนำเอาสับประรดมาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้น จากนั้นนำเอาไปปั่นให้ละเอียด ในการปั่นจะปั่นโดยใช้เครื่องปั่น จะใส่สับประรดครั้งละ 500 ml ใช้เวลาปั่นครั้งละ 1 นาที

(2) นำเอาเนื้อสับประรดเตรียมไว้ใส่ขวด สำหรับการทดลอง

(4) ทำการวัดคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อสับประรด คือ

- วัดค่าสีของเนื้อสับประรดโดยเครื่อง Color Meter

- วัดค่าความหนืดของเนื้อสับประรดโดยเครื่อง Rotational Viscometer

- วัดค่า Total Soluble Solids ของเนื้อสับประรด โดยเครื่อง Refractometer

- วัดค่า Water Activity (a_w)

(5) เทเนื้อสับประรดลงในเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

(6) เริ่มให้ความร้อนแก่เนื้อสับประรดโดย Heater ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 80 °C พร้อมกับเริ่มหมุนใบกวนที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที

(7) เริ่มทำการจับเวลาและบันทึกผลอุณหภูมิของเนื้อสับประรดที่เพิ่มขึ้น

(8) สังเกตดูน้ำในเนื้อสับประรดเริ่มเดือดจึงดูดอากาศออกเพื่อลดความดันในถังและดูดไอน้ำที่ระเหยจากเนื้อสับประรดออกไปจากถัง

(9) เมื่อให้ความร้อนและดูดอากาศออกจนได้ 30 นาที ปิด Heater และปิดปั๊มสุญญากาศ

(10) บันทึกค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อสับประรดเพื่อเป็นข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 วิธีการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ[10]

- การใช้เครื่องวัดค่าสี เครื่อง Color Meter รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston,USA.)

(1) ติดตั้ง software สำหรับการแสดงค่าสี ที่ Computer เพื่อใช้ในการอ่านค่าสีที่ส่งมาจากตัวเครื่อง Color Meter

(2) ทำการ Standardize เครื่อง คือ การกำหนดค่าเริ่มต้น เพื่อ Set ค่าต่ำสุดและสูงสุดเพื่อการทำงานที่ถูกต้องและแม่นยำ (การ Calibrate) โดย วางแผ่นดำ (แผ่นสีมาตรฐานที่มาในตัวเครื่อง) บนช่องที่ใช้วัด แล้ววัดค่า จากนั้นวางแผ่นขาวแล้วทำการวัดเช่นกัน เครื่องจะทำการเก็บข้อมูลไว้เป็นมาตรฐานเอง

(3) นำวงยางสีดำใส่ลงในถ้วยแก้ว โดยดันลงไปให้สนิทกับพื้นด้านล่างของถ้วย

(4) เทเนื้อสับประรดลงไปถ้วยแก้วโดยให้พอดีกับขอบด้านบนของวงยางสีดำ

(5) วางแผ่นกั้นเซรามิกสีขาวลงบนขอบวงยางสีดำให้สนิท โดยสังเกตดูว่าไม่ให้เกิดฟองอากาศที่ด้านล่าง

(6) นำถ้วยแก้วไปวางบนช่องที่ใช้วัด จากนั้นนำฝาครอบสีดำวางครอบด้วยแก้วให้สนิท

(7) ทำการวัดค่าสีของเนื้อสับประรด จากนั้นบันทึกค่าสีที่ได้ โดยจะทำการวัดค่า 3 ครั้ง ต่อครั้ง

- เครื่องวัดค่าความหนืด เครื่อง Rotational Viscometer รุ่น LVDV-E (Brookfield,USA.)

(1) ติดตั้งเครื่อง Viscometer ให้ได้ระดับ

(2) แบ่งเนื้อสับประรดเป็น 3 ส่วน โดยแบ่งออกให้ได้ส่วนละ 500 ml.

(3) ติดตั้ง Guardleg และ ติดตั้ง Spindle โดยเลือกจาก s61 - s64 เข้ากับเครื่อง แล้วจุ่ม Spindle ลงในเนื้อสับประรดที่จะทำการวัดค่า

(4) ปรับค่าของ Spindle ให้ตรงกับ Spindle ที่เลือกติดตั้ง และปรับค่าความเร็วรอบของ Spindle ตามความต้องการ คือ 20,30,50,60,100 รอบต่อนาที

(5) ต้องกำหนดอุณหภูมิของเนื้อสับประรดก่อนที่จะทำการวัดค่า คือ 25 °C (อุณหภูมิห้อง) ก่อนทำการวัดทุกครั้ง

(6) เปิดให้ Motor On สังเกตค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของเครื่อง จะต้องอยู่ในช่วง 10-100% torque เท่านั้น ถ้าไม่ได้ให้เปลี่ยน Spindle แล้วทดลองอีกครั้ง

(7) วัดค่า Viscosity โดยการวัดค่าแต่ละครั้งจะต้องรอจนครบ 1 นาที แล้วค่อยบันทึกค่า 5 ค่าที่ปรากฏบนเครื่อง

(8) ทำการวัดค่า Viscosity ของเนื้อสับประรด จากนั้นบันทึกค่า Viscosity ที่ได้ โดยจะทำการวัดค่า 3 ครั้ง ต่อครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องวัดค่าเปอร์เซ็นต์ Brix เครื่อง Pocket Refractometer รุ่น PAL-1 (Atago, Japan)

(1) ทำการ Set ค่าเริ่มต้น โดยการนำน้ำกลั่นหยดลงบริเวณช่องที่ใช้วัด จากนั้น Set zero เพื่อที่จะใช้ค่าของน้ำกลั่นเป็นค่าเริ่มต้น (การ Calibrate)

(2) ทำการวัดค่า โดยหยดเนื้อสับประรดลงบริเวณช่องที่ใช้วัดค่า แล้ววัดค่าเปอร์เซ็นต์ Brix

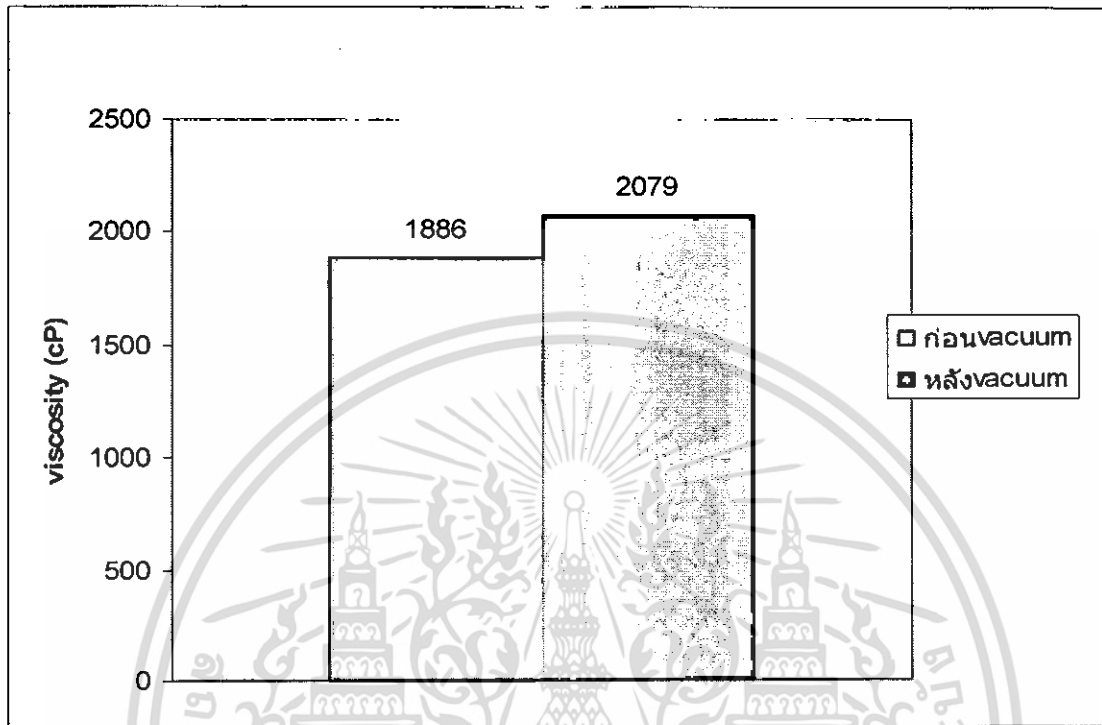
(3) ทำการวัดค่า Brix ของเนื้อสับประรด จากนั้นบันทึกค่า Brix ที่ได้ โดยจะทำการวัดค่า 3 ซ้ำ ต่อครั้ง

ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของเวลา อุณหภูมิ และความดัน ในถังของสับประรด

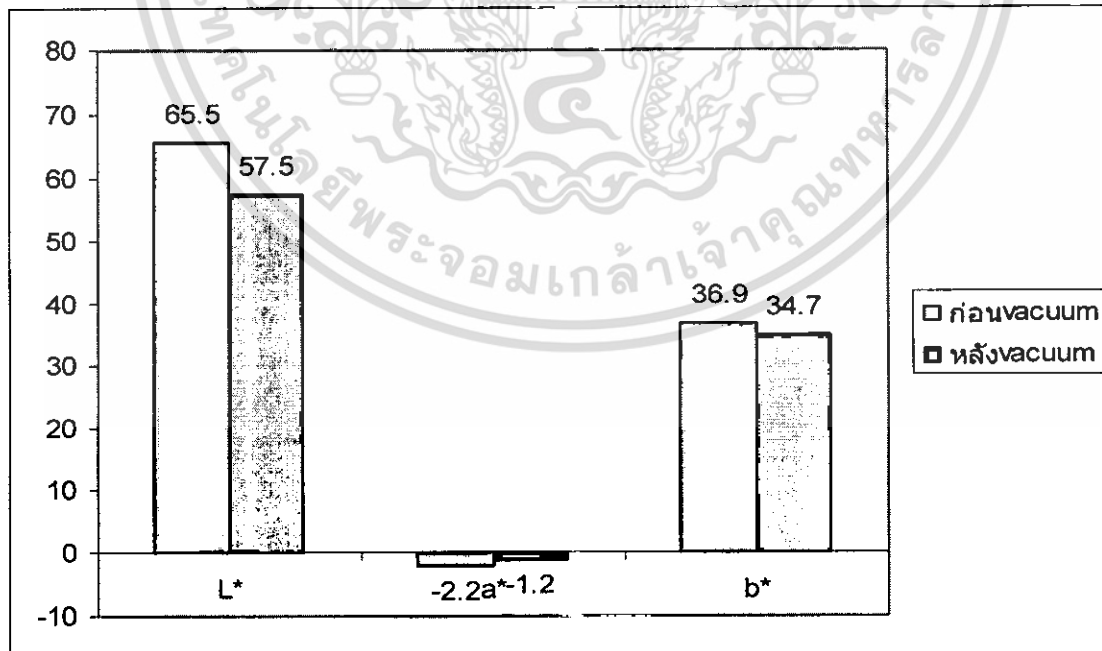
ความสัมพันธ์			
เวลา (นาท)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (mmHg)	การควบคุม
0 - 5	25	0	เปิด Heater
10	30	0	
15	45	0	
20	55	0	
25	60	680	เริ่ม vacuum
30	65	700	ปิด Heater
35	65	700	หยุด

5.2.3 ผลการทดลอง

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสับปะรด

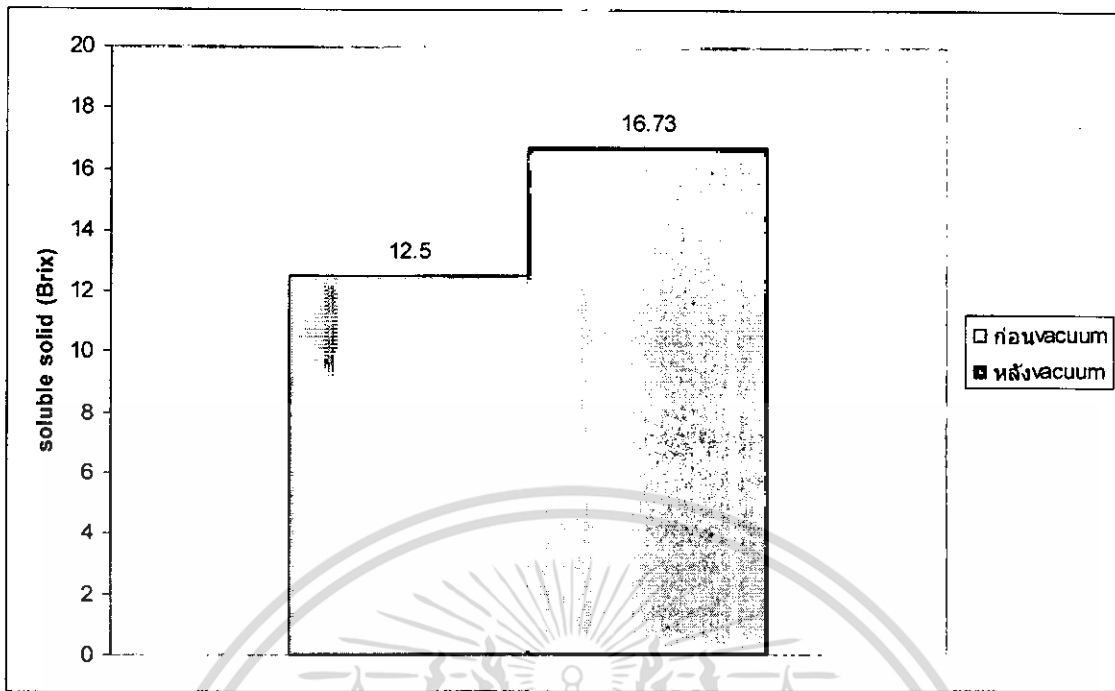


รูปที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของเนื้อสับปะรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

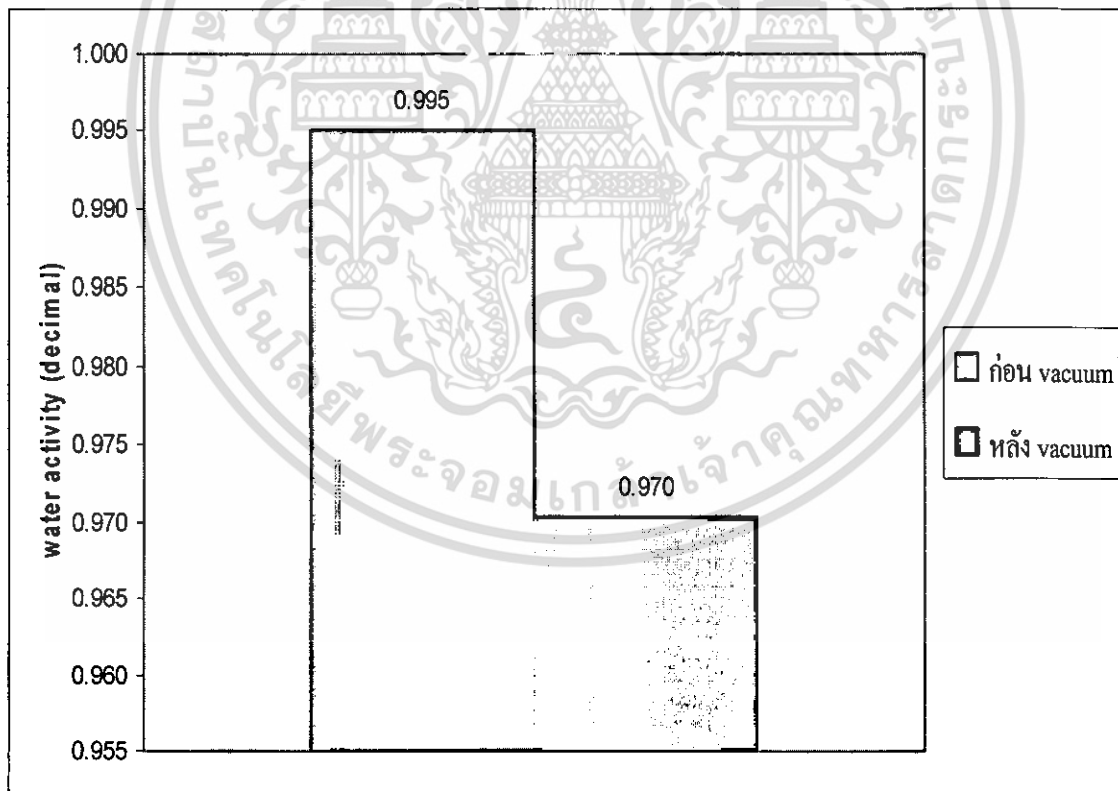


รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสับปะรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solids ของเนื้อสับปรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum



รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity ของเนื้อสับปรดก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.5 ความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 1886 cp ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 2079 cp ที่สภาวะหลัง Vacuum

จากรูปที่ 5.6 L* เปลี่ยนจาก 64.9 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 55.3 ที่สภาวะหลัง Vacuum

a* เปลี่ยนจาก -2.5 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น -2.0 ที่สภาวะหลัง Vacuum

b* เปลี่ยนจาก 36.4 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 33.6 ที่สภาวะหลัง Vacuum
DE* มีค่าเท่ากับ 10.25

จากรูปที่ 5.7 Soluble Solids เพิ่มขึ้นจาก 12.5 %Brix ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 16.7 %Brix ไปเป็น 55.3 ที่สภาวะหลัง vacuum

จากรูปที่ 5.8 Water Activity (a_w) ลดจาก 0.997 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.996 ที่สภาวะหลัง Vacuum

5.3 การทดลองโดยใช้เนื้อทุเรียน

5.3.1 วิธีการทดลอง

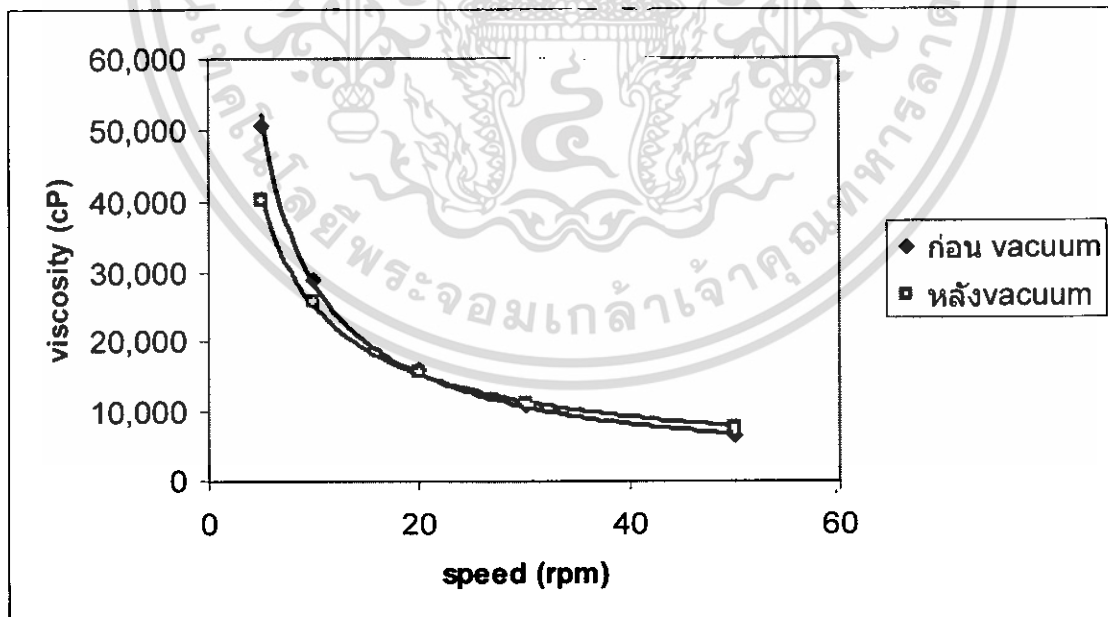
- (1) เตรียมตัวอย่าง โดยการนำเอาเนื้อทุเรียนที่แยกเอาเมล็ดออกให้เหลือเฉพาะเนื้อนำมาชั่งน้ำหนัก
- (2) นำเอาเนื้อทุเรียนเตรียมไว้ 2 ลิตร สำหรับการทดลอง
- (4) ทำการวัดคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อทุเรียนวิธีการเหมือนกับสับปะรด
- (5) เทเนื้อทุเรียนลงในเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
- (6) เริ่มให้ความร้อนแก่เนื้อทุเรียนโดย Heater ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 80°C พร้อมกับเริ่มหมุนใบกวนที่ความเร็วรอบ 10รอบ/นาที
- (7) เริ่มทำการจับเวลาและบันทึกผลอุณหภูมิของเนื้อทุเรียนที่เพิ่มขึ้น
- (8) ดูอากาศออกเพื่อลดความดันในถังและดูไอน้ำที่ระเหยจากเนื้อทุเรียนออกไปจากถังทันทีที่ทำการให้ความร้อน
- (9) เมื่อให้ความร้อนและดูอากาศออกสังเกตดูการเดือดของน้ำของเนื้อทุเรียนเมื่อน้ำระเหยเกือบหมดจึง ปิด Heater และปิดปั๊มสุญญากาศ
- (10) บันทึกค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อทุเรียนเพื่อเป็นข้อมูล

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของเวลา อุณหภูมิ และความดัน ในถังของทุเรียน

ความสัมพันธ์			
เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (mmHg)	การควบคุม
0	25	0	เปิดเครื่อง
5	37	0	
10	37	0	
15	45	0	เริ่ม Vacuum
17	47	-660	
20	45	-680	
25	45	-700	
30	45	-705	
35	45	-710	
40	50	-710	หยุด Vacuum
45	51	-715	ปิด Heater

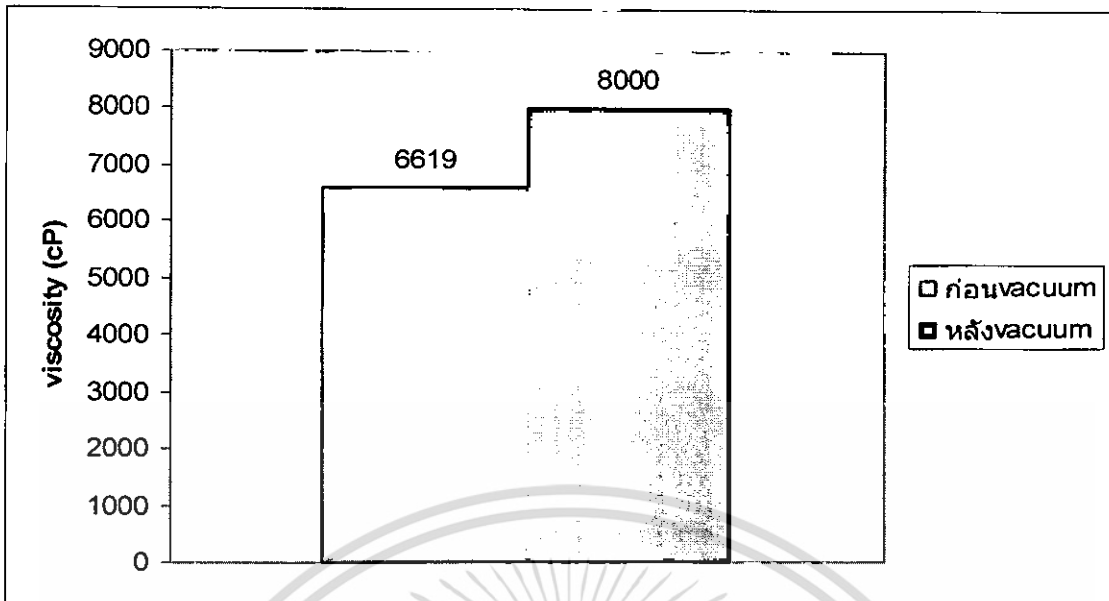
5.3.2 ผลการทดลอง

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อทุเรียน

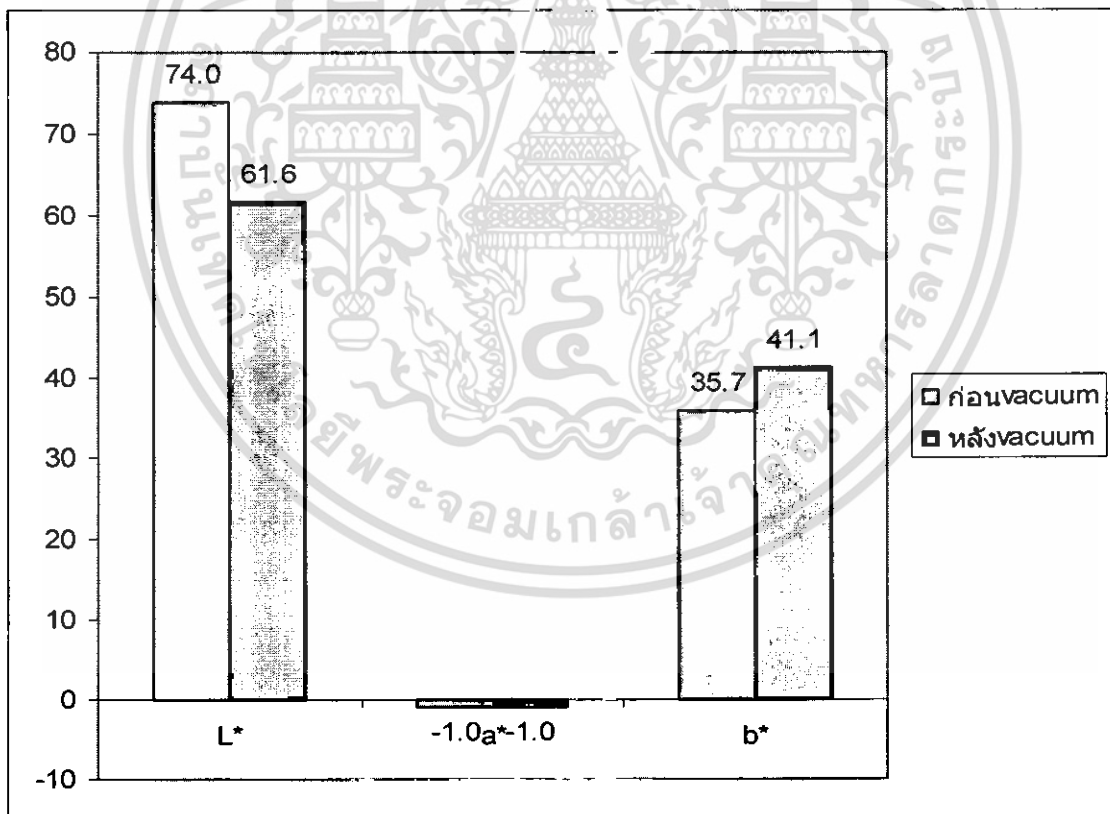


รูปที่ 5.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเนื้อทุเรียนที่ความเร็วรอบของ Spindle แตกต่างกันทั้งก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

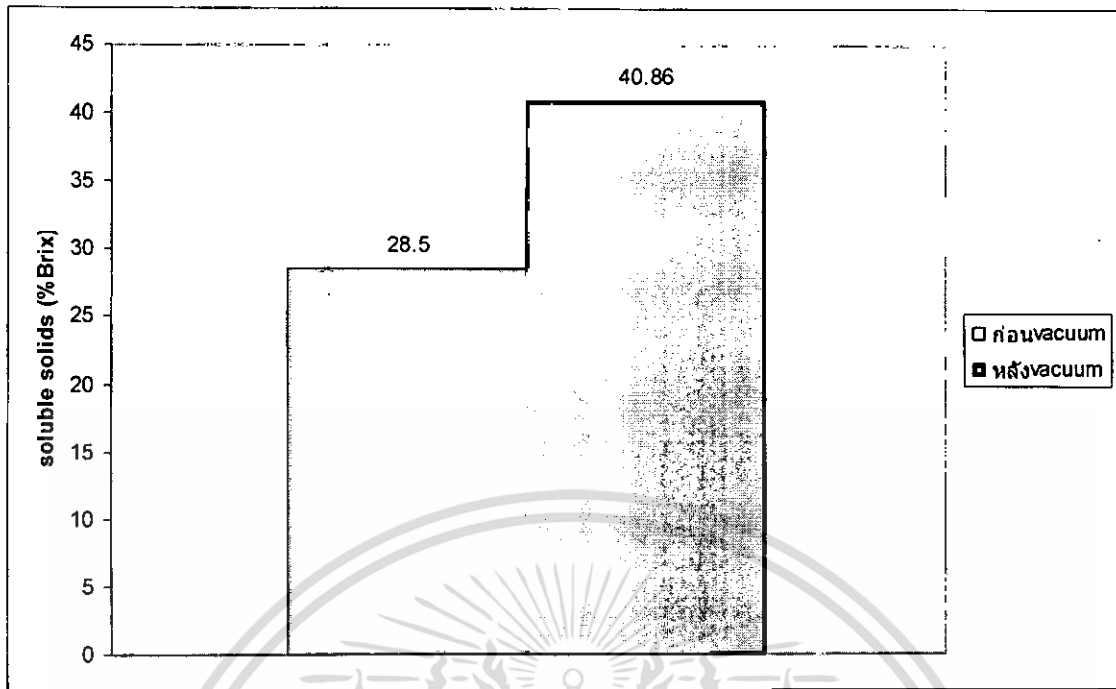


รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเนื้อทุเรียนที่ความเร็วรอบของ Spindle 50 รอบต่อนาทีทั้ง ก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

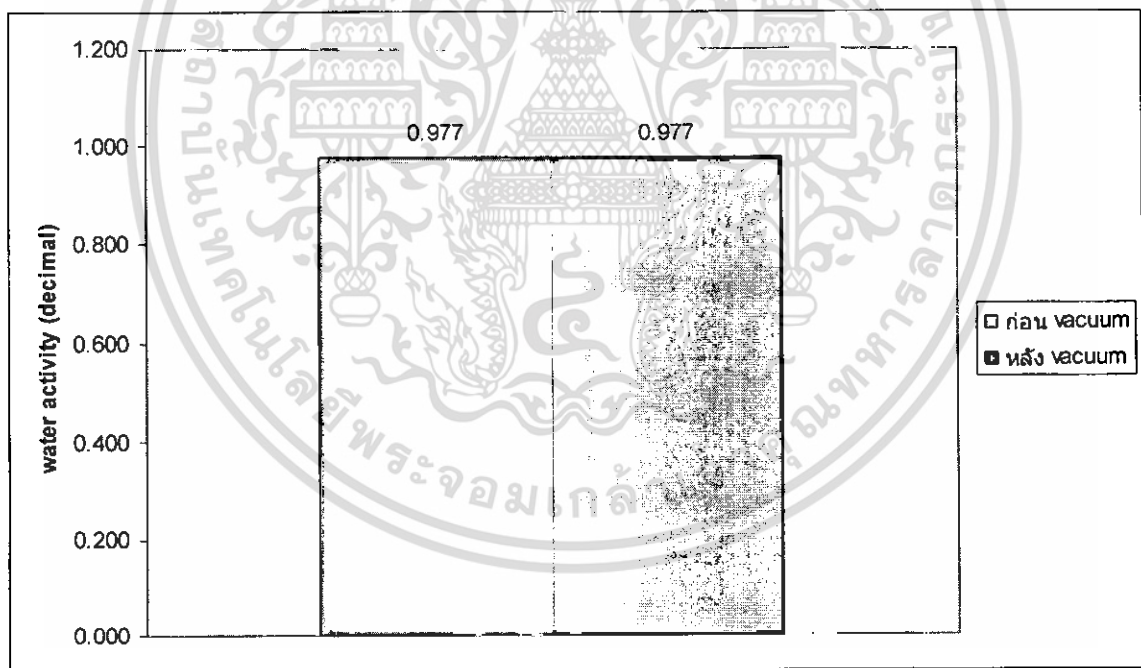


รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อทุเรียนก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solids ของเนื้อทุเรียนก่อน Vacuum และหลัง Vacuum



รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity ของเนื้อทุเรียนก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

5.3.3 สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.9 การวัดความหนืดของเนื้อทุเรียนโดยใช้ Spindle เบอร์ 64 ใช้ความเร็วรอบในการวัดที่ 5, 10, 20, 30 และ 50 รอบ/นาที จากรูปความหนืดลดลงเมื่อความเร็วรอบของ Spindle สูงขึ้น ที่สภาวะก่อน Vacuum ความหนืดมากกว่าสภาวะหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 ความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 6619 cp ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 8000 cp ที่สภาวะหลัง Vacuum พิจารณาที่ความเร็วรอบ Spindle 50 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 5.11 L* เปลี่ยนจาก 74.0 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 61.6 ที่สภาวะหลัง Vacuum a* ที่สภาวะก่อน Vacuum และที่สภาวะหลัง Vacuum มีค่าเท่ากับ -1.0

b* เปลี่ยนจาก 35.7 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 41.1 ที่สภาวะหลัง Vacuum DE* มีค่าเท่ากับ 13.75

จากรูปที่ 5.12 Soluble Solids เพิ่มจาก 28.5 %Brix ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 40.86 ที่สภาวะหลัง Vacuum

จากรูปที่ 5.13 Water Activity (a_w) ที่สภาวะก่อน Vacuum และ ที่สภาวะหลัง Vacuum มีค่าเท่ากับ 0.977

5.4 การทดลองโดยใช้น้ำกะทิ

5.4.1 วิธีการทดลอง

- (1) เตรียมตัวอย่าง โดยการนำเอาน้ำกะทิเทใส่ภาชนะรองรับ
- (2) นำเอาน้ำกะทิเตรียมไว้ 2 ลิตร สำหรับการทดลอง
- (4) ทำการวัดคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิวิธีเหมือนกับสับประรด
- (5) เทเอาน้ำกะทิตลงในเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
- (6) เริ่มให้ความร้อนแก่น้ำกะทิโดย Heater ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 80 °C พร้อมกับเริ่มหมุนใบกวนที่ความเร็วรอบ 10รอบ/นาที
- (7) เริ่มทำการจับเวลาและบันทึกผลอุณหภูมิของน้ำกะทิที่เพิ่มขึ้น
- (8) ดูอากาศออกเพื่อลดความดันในถังและดูไอน้ำที่ระเหยจากน้ำกะทิออกไปจากถังทันทีที่เริ่มให้ความร้อน
- (9) เมื่อให้ความร้อนและดูอากาศออกสังเกตดูการเดือดของน้ำของน้ำกะทิเมื่อน้ำระเหยเกือบหมดจึง ปิด Heater และปิดปั๊มสุญญากาศ
- (10) บันทึกค่าคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิเพื่อเป็นข้อมูล

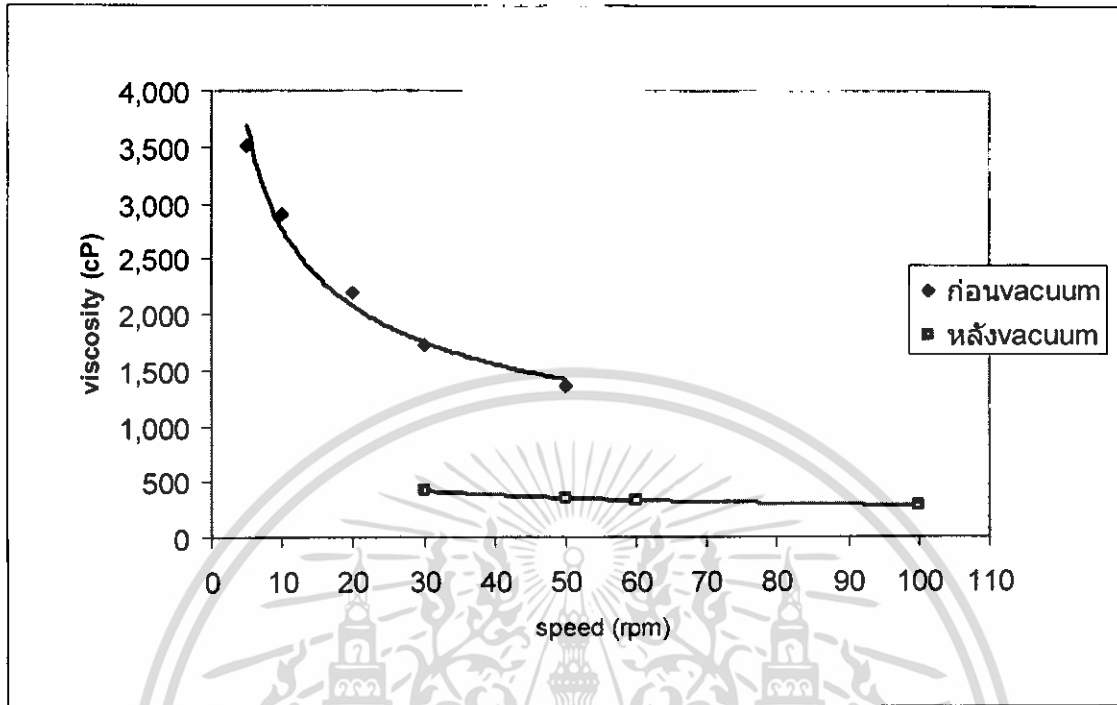
ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของเวลา อุณหภูมิ และความดัน ในถังของน้ำกะทิ

ความสัมพันธ์			
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (mmHg)	การควบคุม
0	23	0	เปิดเครื่อง
5	46	0	
10	50	-25	
15	60	-25 ถึง -660	เริ่ม Vacuum
17	50	-700	
20	40	-710	
25	30	-720	
30	30	-720	
35	30	-720	
40	30	-720	
45	30	-720	
50	30	-720	
55	30	-720	
60	32	-720	หยุด Vacuum
65	37	-710	
67	37	-715	ปิด Heater

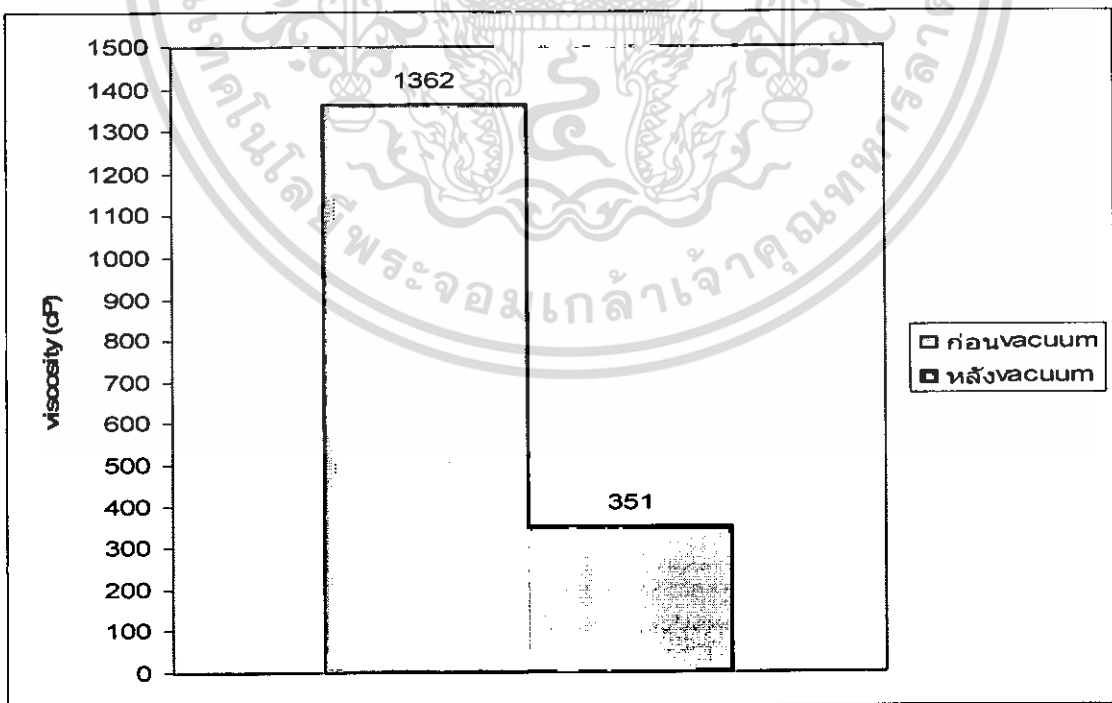
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ผลการทดลอง

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำกะทิ

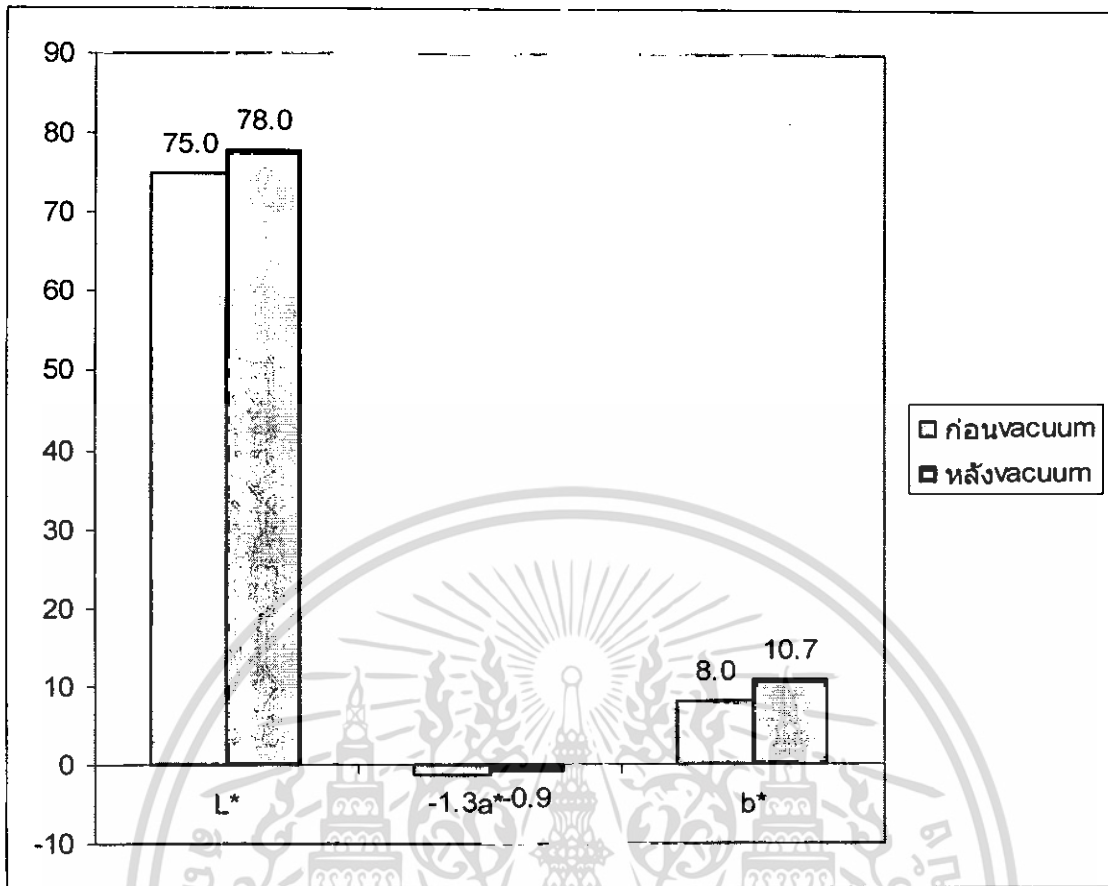


รูปที่ 5.14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิที่ความเร็วรอบของ Spindle แตกต่างกันทั้งก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

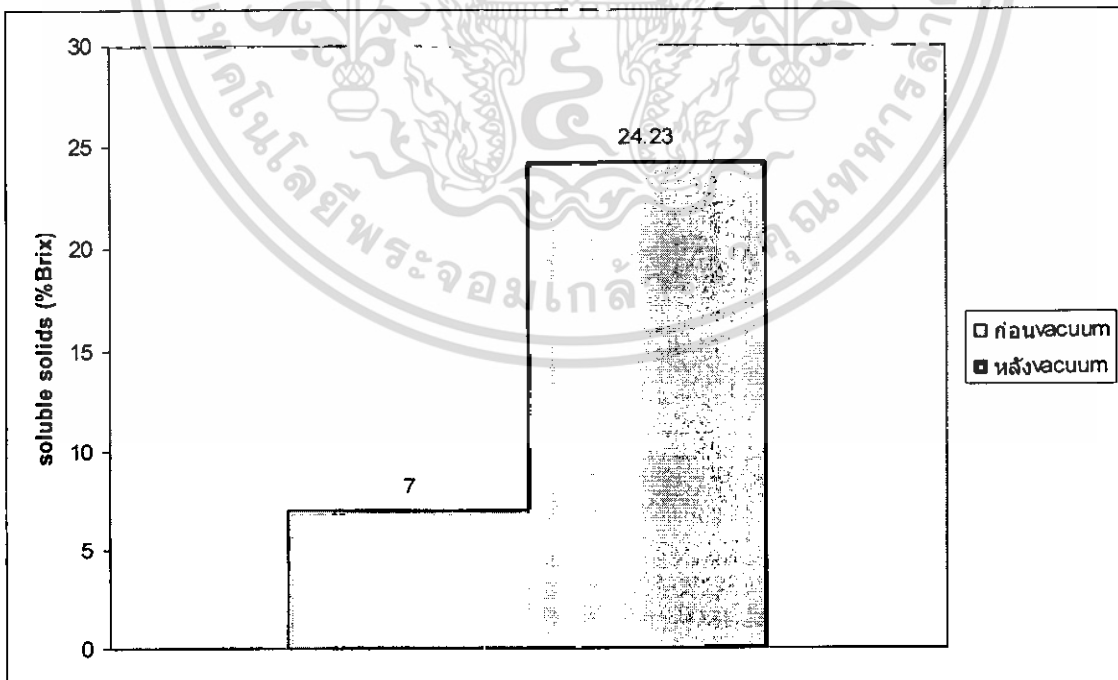


รูปที่ 5.15 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิที่ความเร็วรอบของ Spindle 50 รอบต่อนาทีทั้งก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

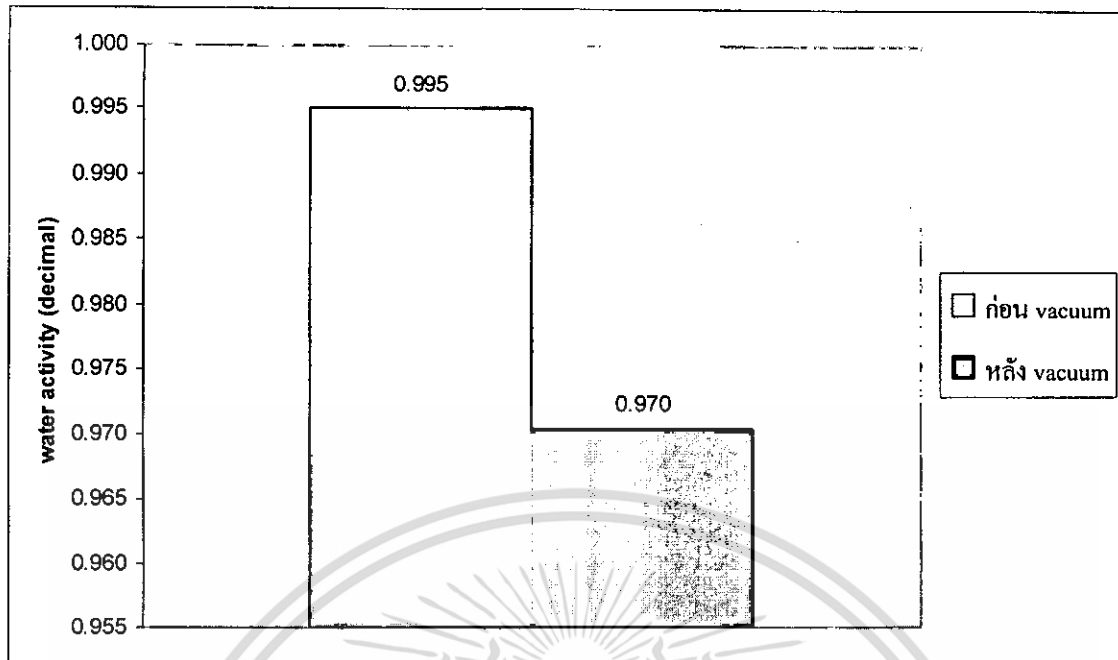


รูปที่ 5.16 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิก่อน Vacuum และหลัง Vacuum



รูปที่ 5.17 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solids ของน้ำกะทิก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity ของน้ำกะทิ ก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

5.4.3 สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.14 การวัดความหนืดของน้ำกะทิโดยใช้ Spindle s 64 ที่สภาวะก่อน Vacuum และ Spindle s 63 ที่สภาวะหลัง Vacuum ใช้ความเร็วรอบในการ วัดที่ 5,10,20,30,50 รอบ/นาที จากรูปไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากขนาดของ Spindle ไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 5.15 ความหนืดของน้ำกะทิที่สภาวะก่อน Vacuum และ ที่สภาวะหลัง Vacuum ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้

จากรูปที่ 5.16 L* เปลี่ยนจาก 75.0 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 78.0 ที่สภาวะหลัง Vacuum

a* เปลี่ยนจาก -1.3 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น -0.9 ที่สภาวะหลัง Vacuum

b* เปลี่ยนจาก 8.0 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 10.7 ที่สภาวะหลัง Vacuum

DE* มีค่าเท่ากับ 3.94

จากรูปที่ 5.17 Soluble Solids เพิ่มจาก 7.0 %Brix ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 24.2 ที่สภาวะหลัง Vacuum

จากรูปที่ 5.18 Water Activity (a_w) ลดลงจาก 0.995 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.970 ที่สภาวะหลัง Vacuum

บทที่ 6

วิธีการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหยน้ำกะทิ

6.1 วัตถุประสงค์

ในการทดลองนี้ได้นำเอาน้ำกะทิมาทำการทดลองในการระเหยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยมีการวัดคุณภาพของน้ำกะทิตั้งต่อไปนี้

- (1) สี
- (2) Viscosity
- (3) Total Soluble Solids
- (4) อัตราการระเหย
- (5) Flow Behavior Index (n)
- (6) Consistency Coefficient (k)

6.2 วัสดุและอุปกรณ์

(1) น้ำกะทิสดที่คั้นโดยไม่ผสมน้ำโดยใช้เครื่องคั้นแบบไฮดรอลิก จากตลาดหัวตะเข้ เขตตลาดกระบี่ กรุงเทพฯ

- (2) น้ำคั้น
- (3) บีกเกอร์ขนาด 1000 ml 5 ใบ ขนาด 500 ml 5 ใบ
- (4) แท่งกวน 1 แท่ง
- (5) เทอร์โมมิเตอร์ (0-100 °C)
- (6) นาฬิกาจับเวลา
- (7) เครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
- (8) เครื่องวัดค่าสี Color meter รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston, USA.)
- (9) เครื่องวัดค่าความหนืด เครื่อง Rotational Viscometer รุ่น LVDV-E (Brookfield, USA.) , Spindle No. s61, s62, s63, และ s64
- (10) เครื่องวัดค่า Total Soluble Solids เครื่อง Pocket Refractometer รุ่น PAL-1

(Atago, Japan)

6.3 วิธีการทดลอง

- (1) เตรียมตัวอย่าง โดยการนำเอาน้ำกะทิเทใส่ภาชนะรองรับ
- (2) นำเอาน้ำกะทิเตรียมไว้ 2 ลิตร สำหรับการทดลอง
- (3) วัดคุณภาพของน้ำกะทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) เหน้ากะทิลงในเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่า

บรรยากาศ

(5) เริ่มให้ความร้อนแก่น้ากะทิ โดย Heater ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 70°C แล้ว เปิดปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกเพื่อลดความดันในถังและดูดไอน้ำที่ระเหยจากน้ากะทิออกไปจากถัง พร้อมกับเริ่มหมุนใบกวนที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที

(6) บันทึกอุณหภูมิของน้ากะทิในถังที่ Heater สามารถทำได้

(7) จับเวลา 10 นาที นำเอาน้ากะทิมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ โดยมีการวัดคุณภาพเช่นเดียวกับน้ากะทิเริ่มต้น

(8) นำน้ากะทิที่ผ่านกระบวนการทำระเหยมาเติมน้ำตามจำนวนปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากน้ากะทิแล้วจึงนำมาวัดคุณภาพน้ากะทิ

(9) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-8 โดยใช้เวลาเป็น 10, 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ

(10) ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเร็วรอบใบกวนเป็น 50 รอบต่อนาที ทดลองซ้ำข้อ 1-10 อีก 1 ครั้ง

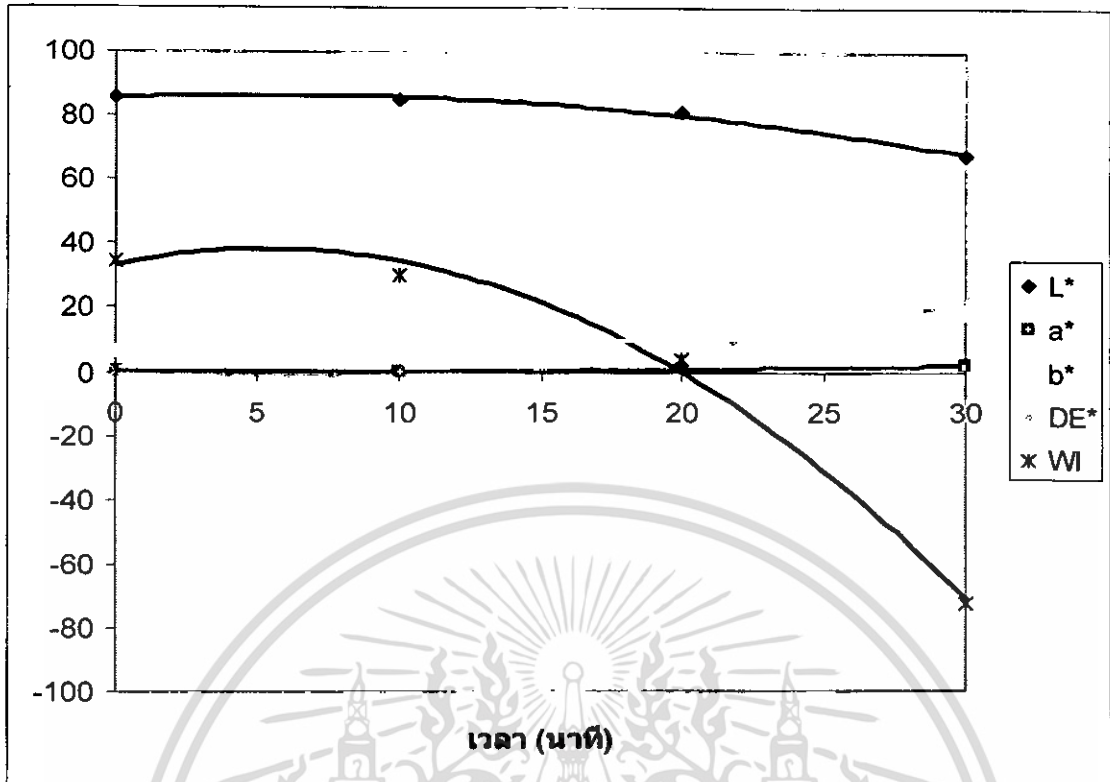
6.4 ผลการทดลอง

(1) อุณหภูมิห้องขณะทดลองอยู่ระหว่าง $27-30^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 6.1

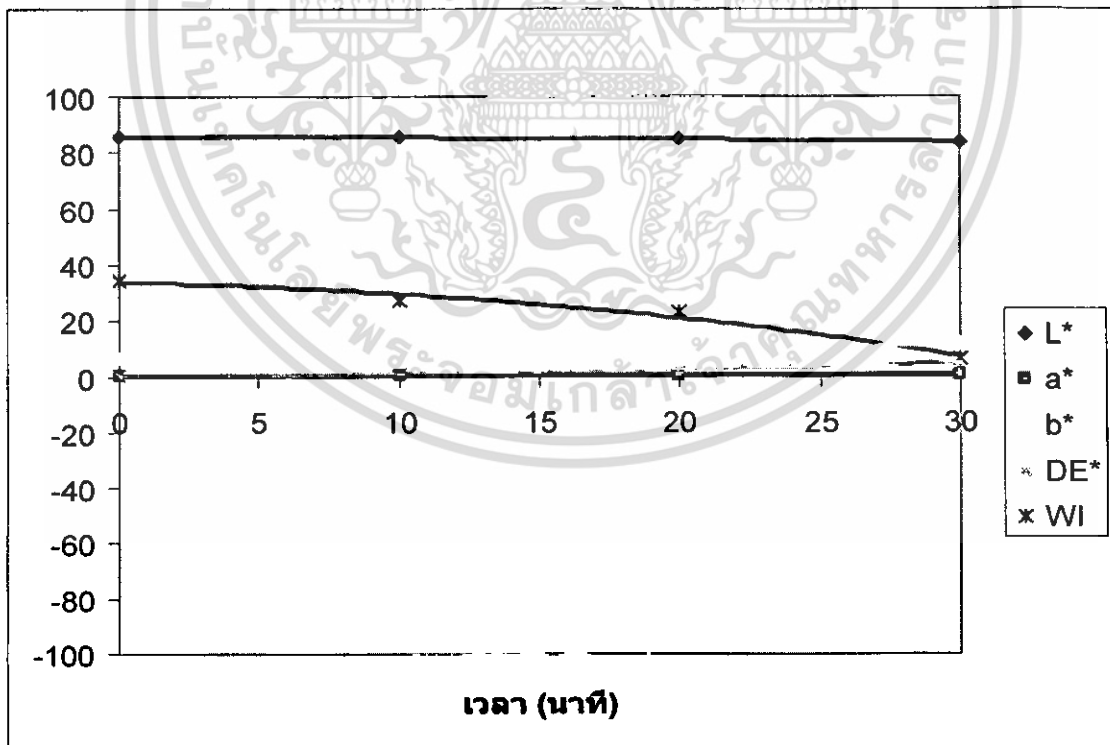
(2) ผลการทำระเหยน้ากะทิที่ความเร็วรอบของใบกวนน้ากะทิ 10 รอบต่อนาทีและใช้เวลาในการให้ความร้อนในการทำระเหยที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที

ตารางที่ 6.1 อุณหภูมิของน้ากะทิในถังสุญญากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

ความเร็วรอบ (rpm)	เวลา(นาที)			
	10	20	30	40
10	26 - 30	25 - 31	26 - 32	26 - 33
50	26 - 31	26 - 32	26 - 32	26 - 33

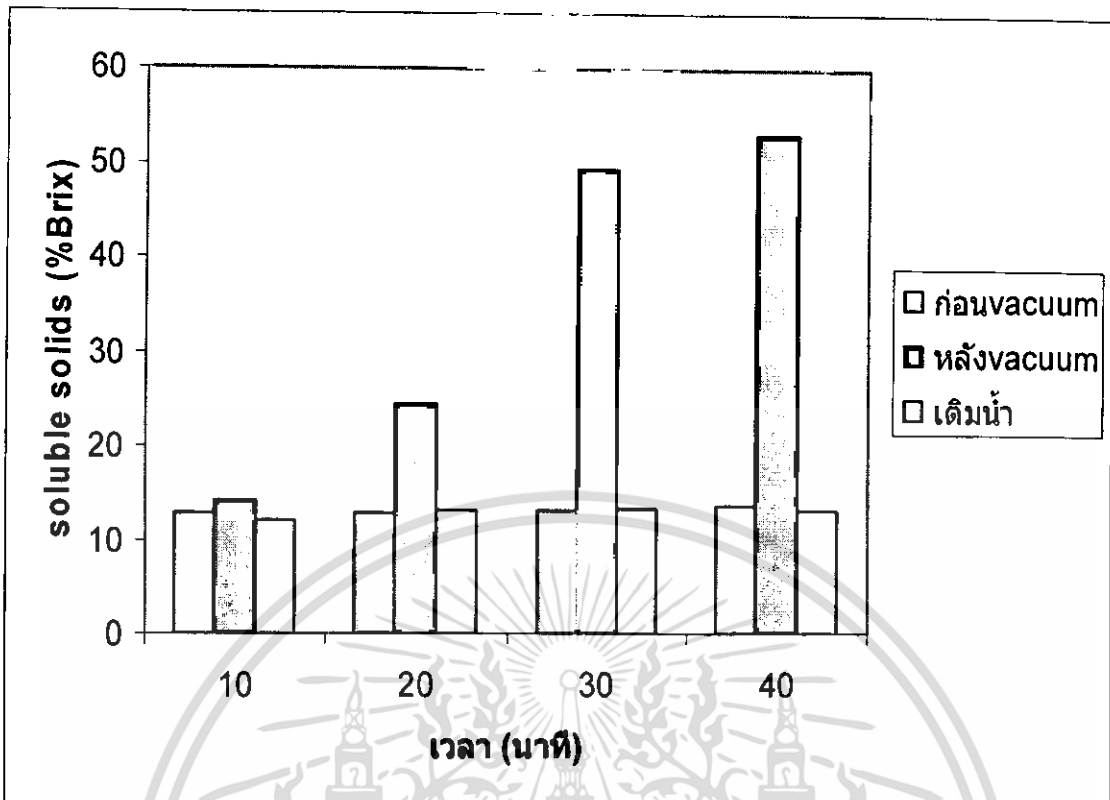


รูปที่ 6.1 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

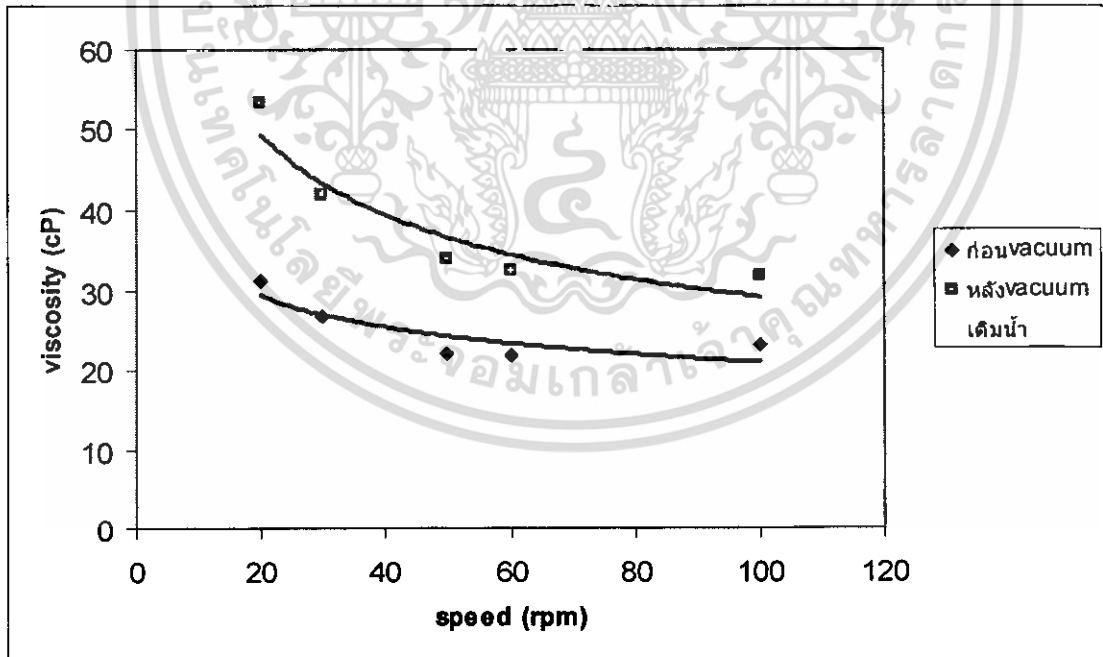


รูปที่ 6.2 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิก่อน Vacuum และหลังเติมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

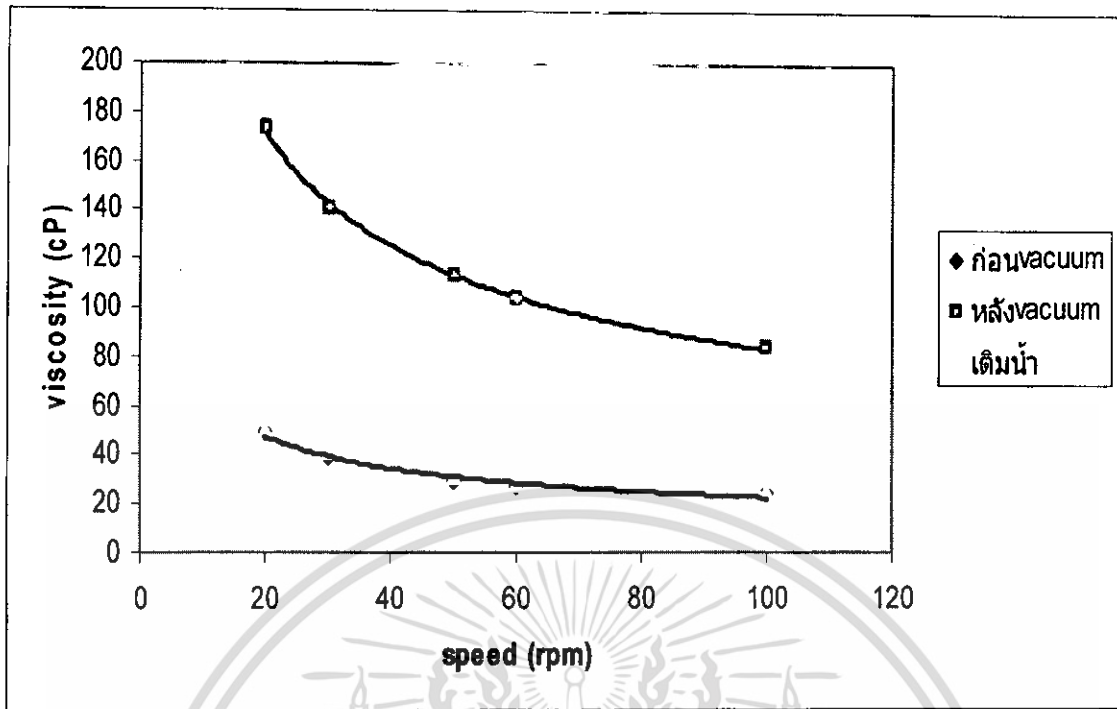


รูปที่ 6.3 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solids ของน้ำกะทิ ก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ

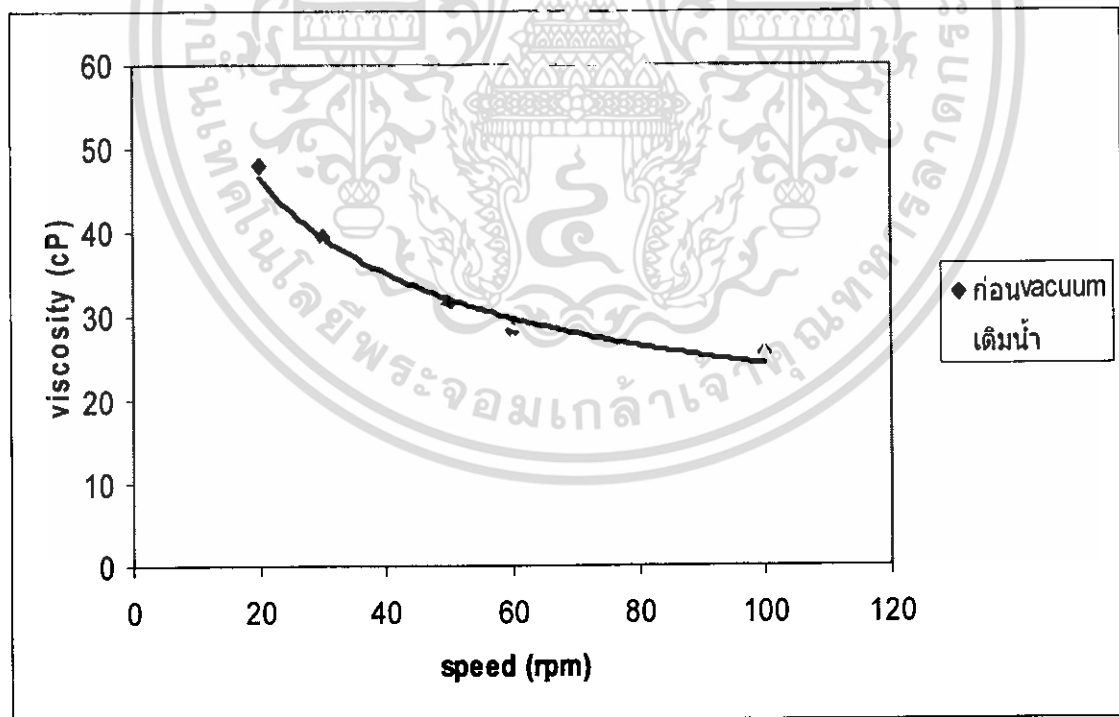


รูปที่ 6.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิตามความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 61 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

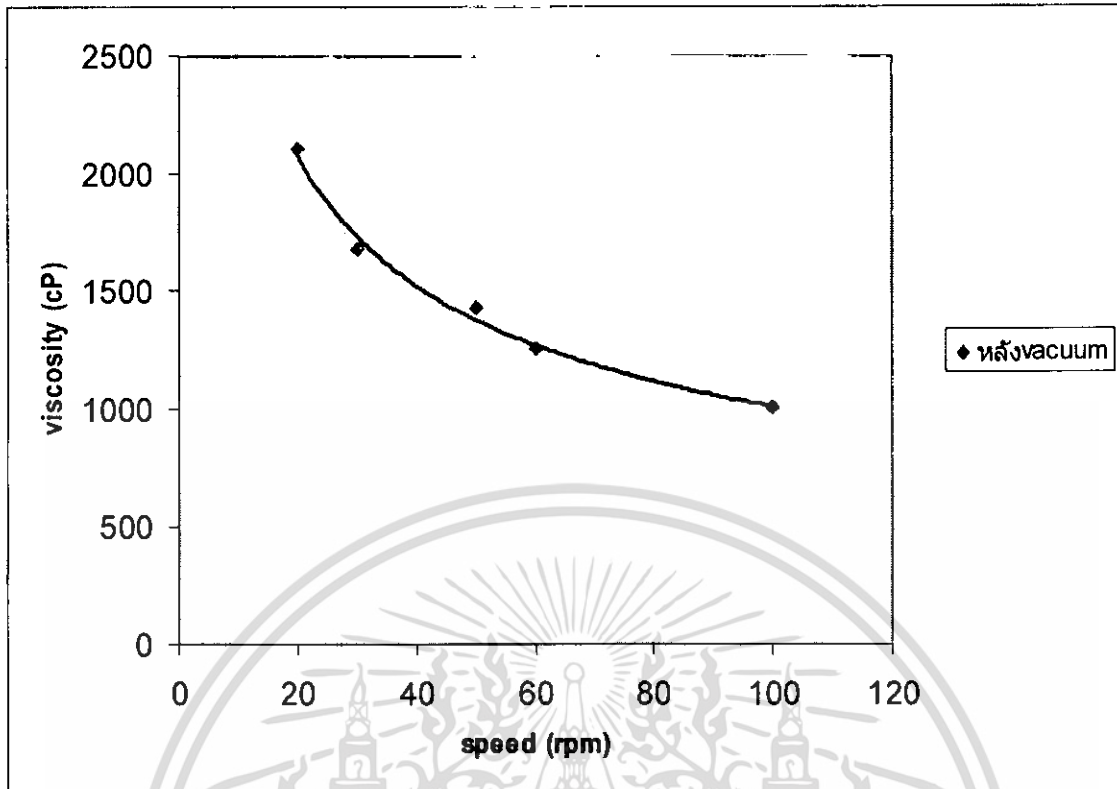


รูปที่ 6.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์ 62 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 20 นาที

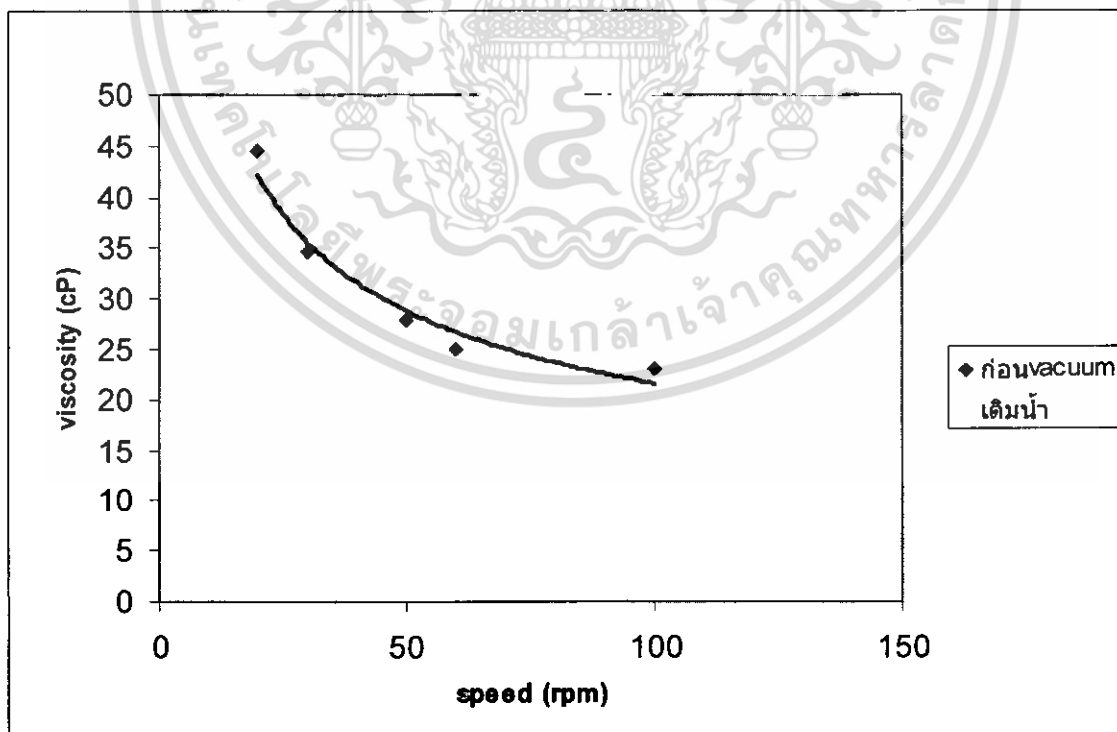


รูปที่ 6.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์ 62 ก่อน Vacuum และเติมน้ำที่เวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

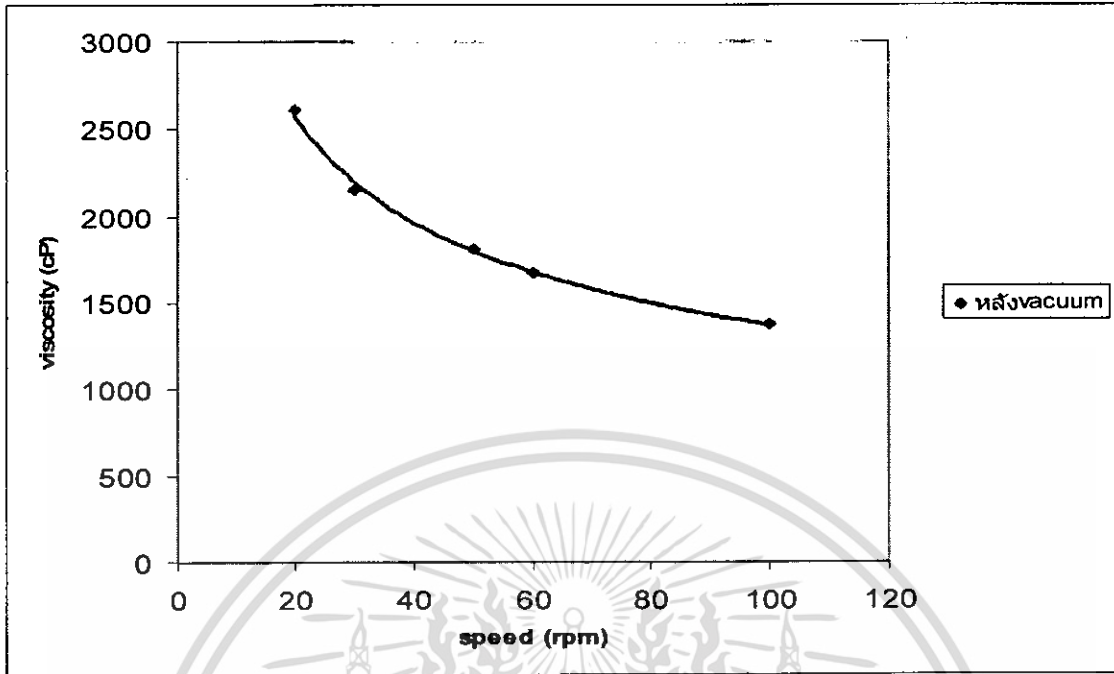


รูปที่ 6.7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 64 หลัง Vacuum ที่เวลา 30 นาที

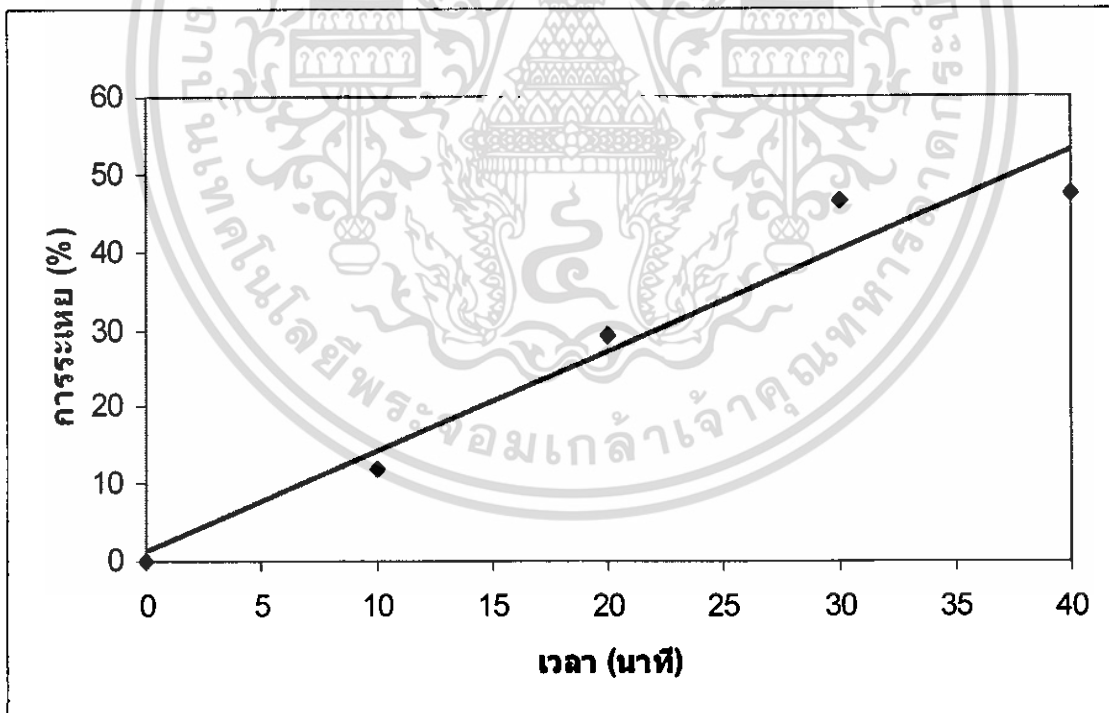


รูปที่ 6.8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 62 ก่อน Vacuum และเติมน้ำที่เวลา 40 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

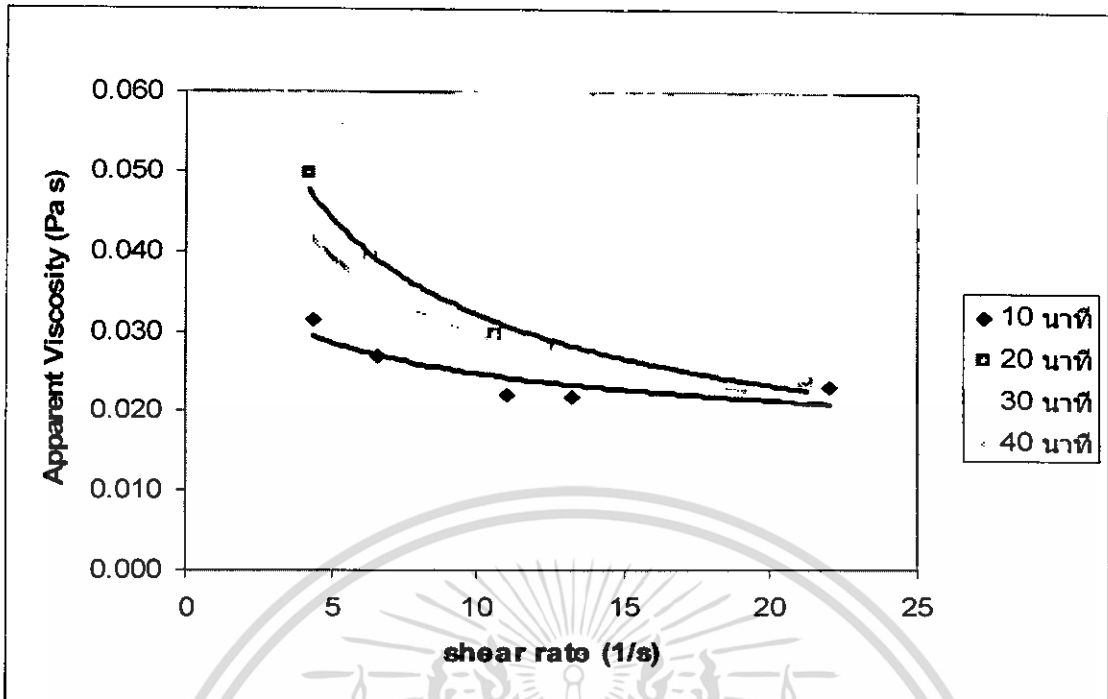


รูปที่ 6.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindleเบอร์ 64 ที่หลัง Vacuum ที่เวลา 40 นาที

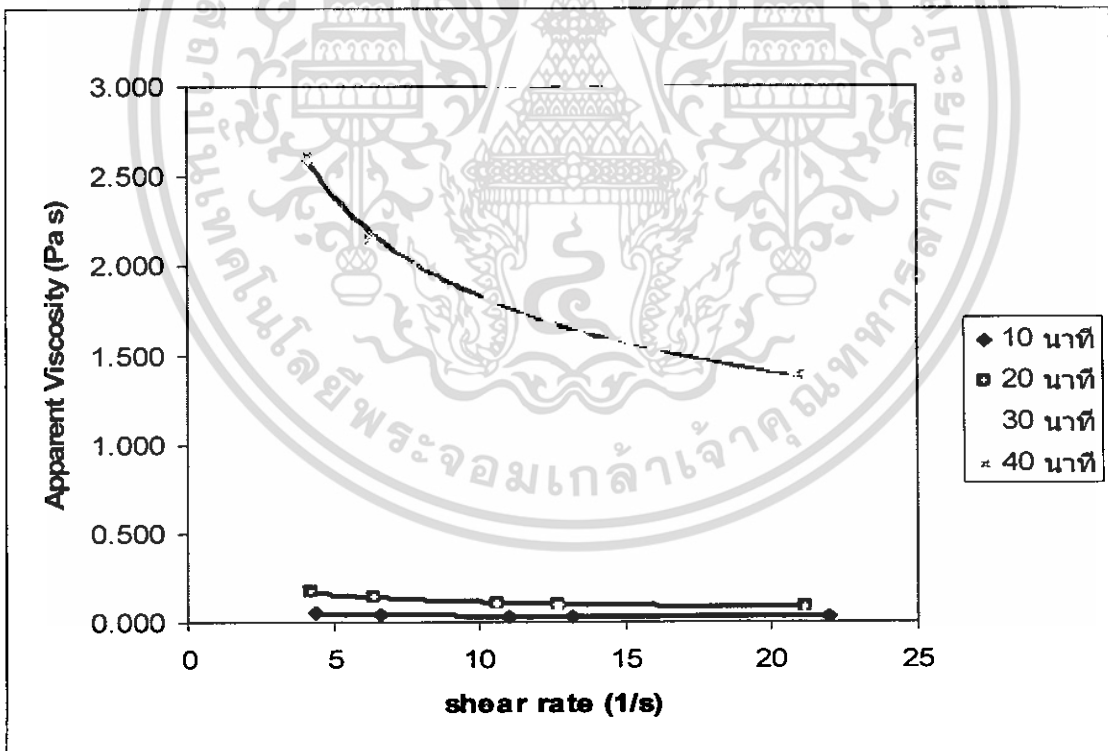


รูปที่ 6.10 เปอร์เซ็นต์ การระเหยของน้ำกะทิที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

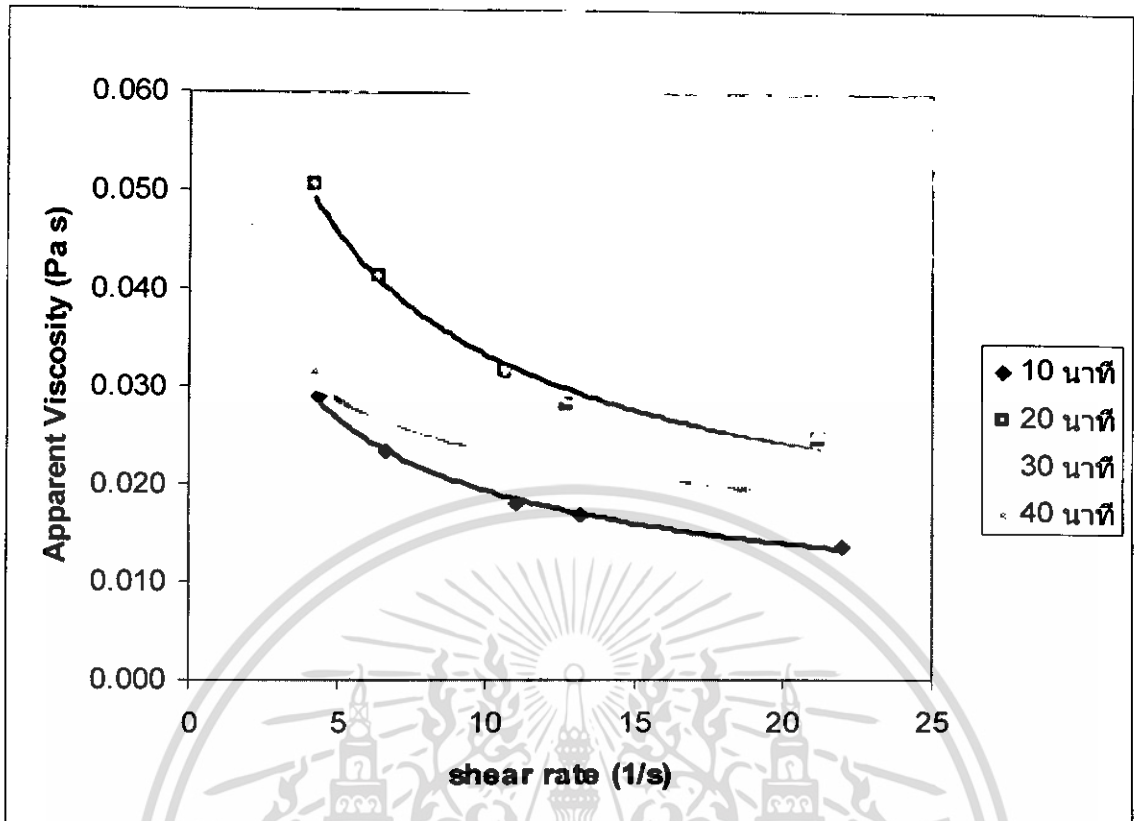


รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate ก่อน Vacuum

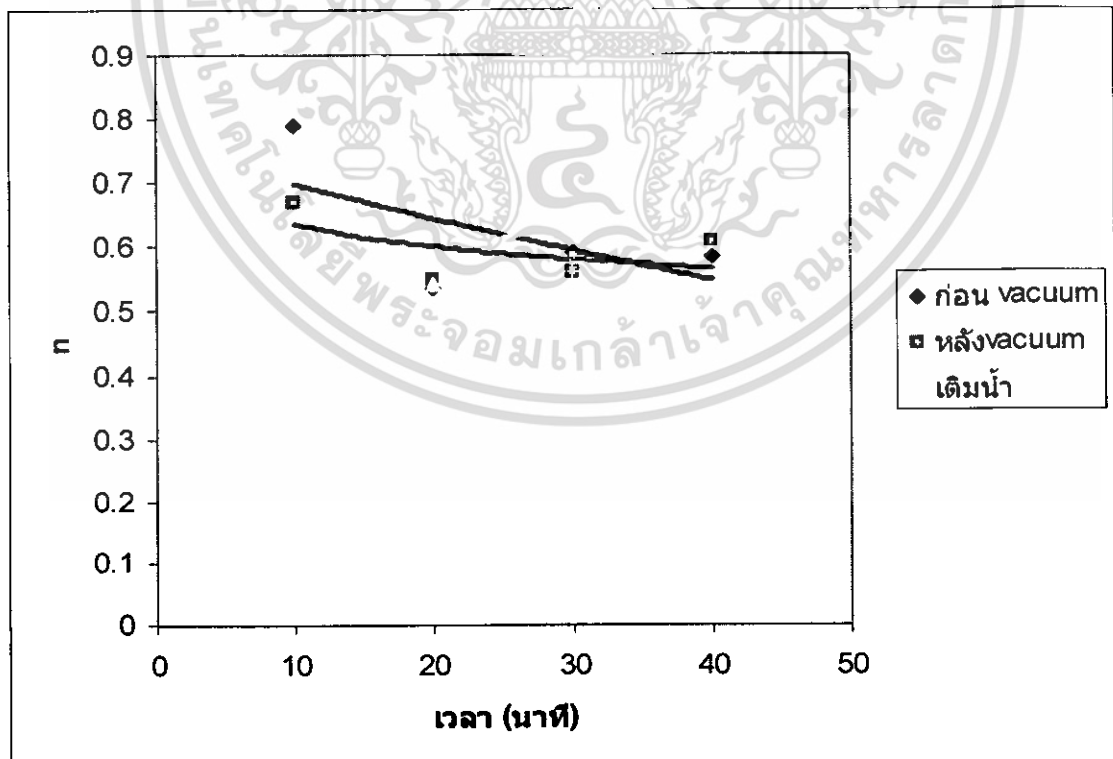


รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate หลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

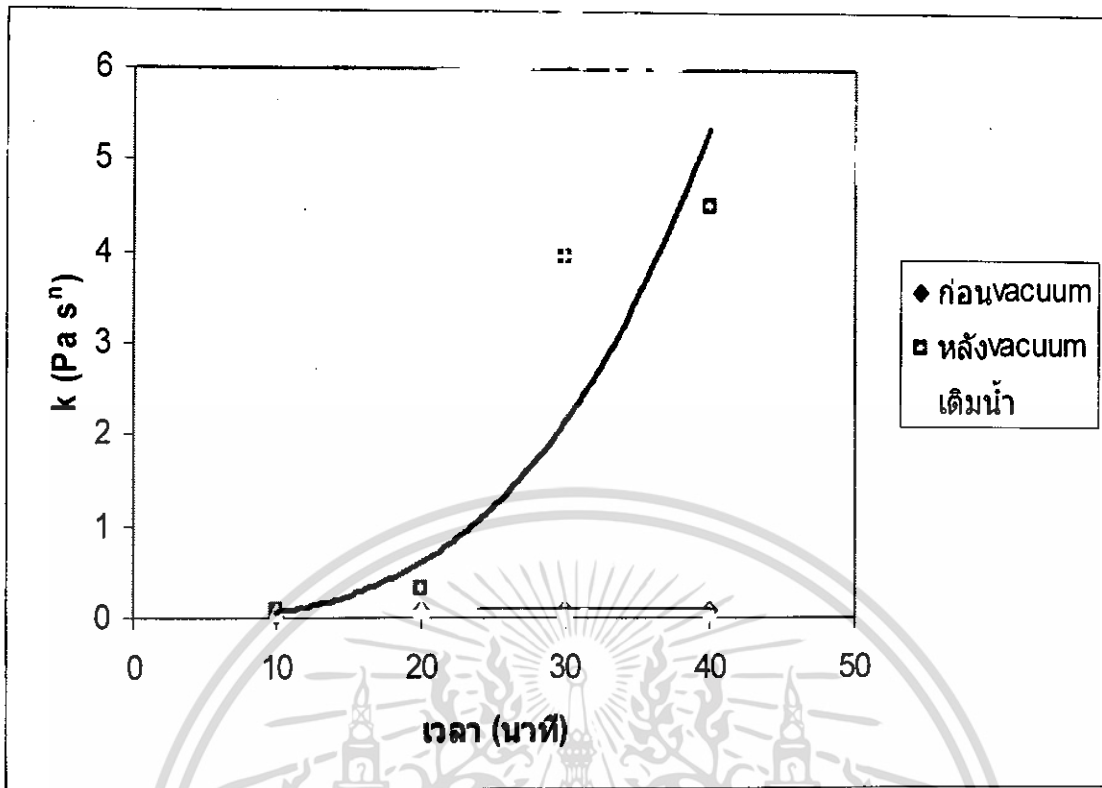


รูปที่ 6. 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate เมื่อเติมน้ำ



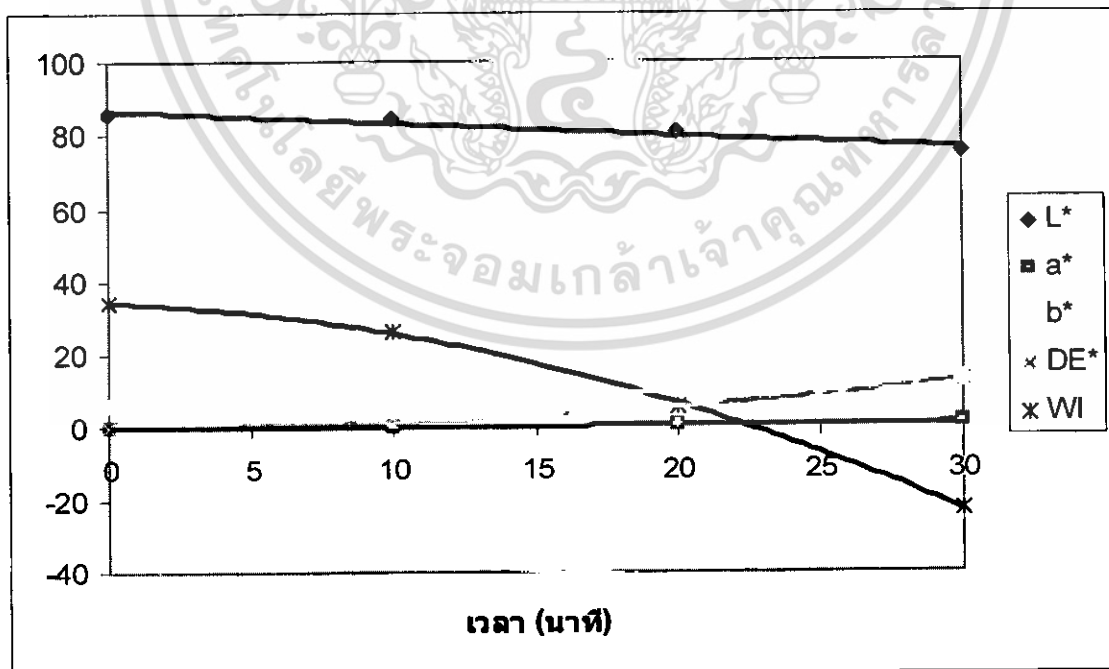
รูปที่ 6. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับ Flow Behavior Index (n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



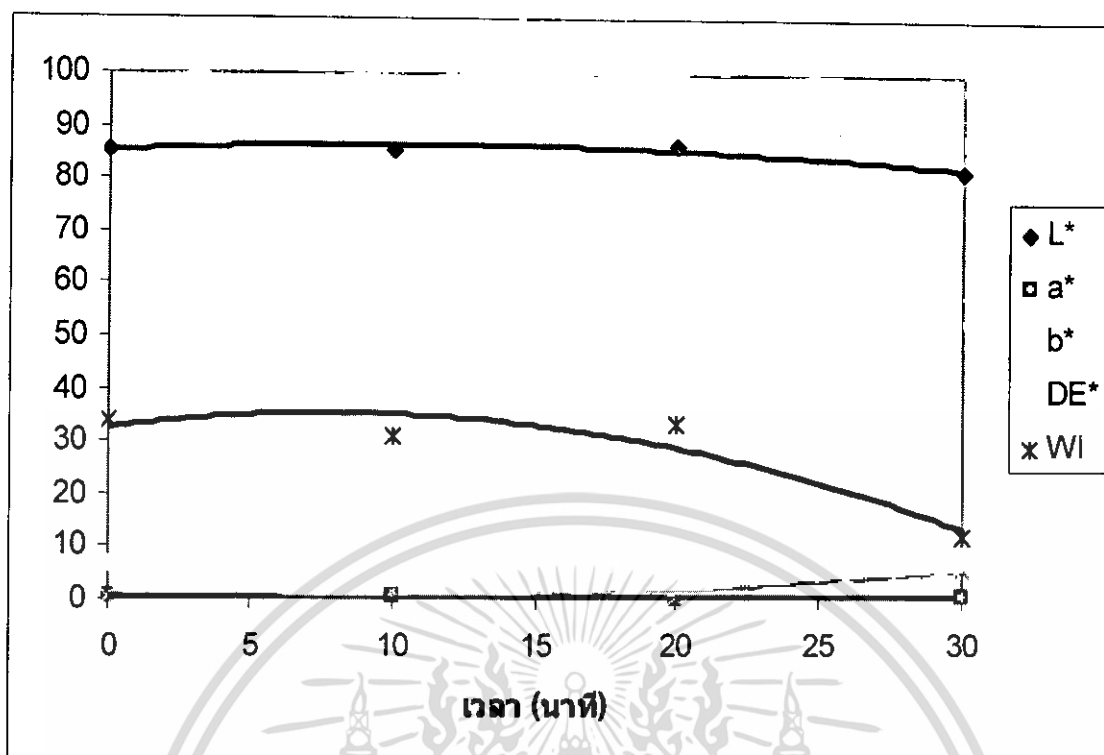
รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับ Consistency Coefficient (k)

(2) ผลการทำระเหยน้ำกะทิที่ความเร็วรอบของใบกวนน้ำกะทิ 50 รอบต่อนาทีและใช้เวลาในการให้ความร้อนในการทำระเหยที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที

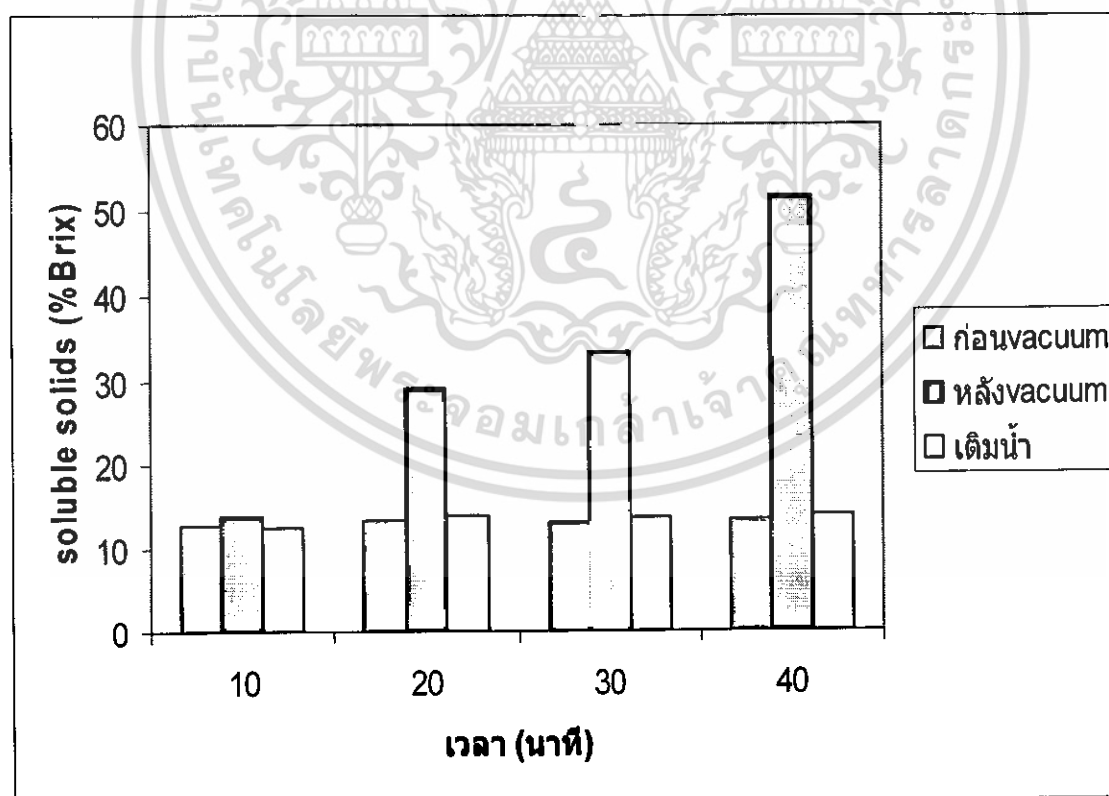


รูปที่ 6.16 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทีก่อน Vacuum และหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

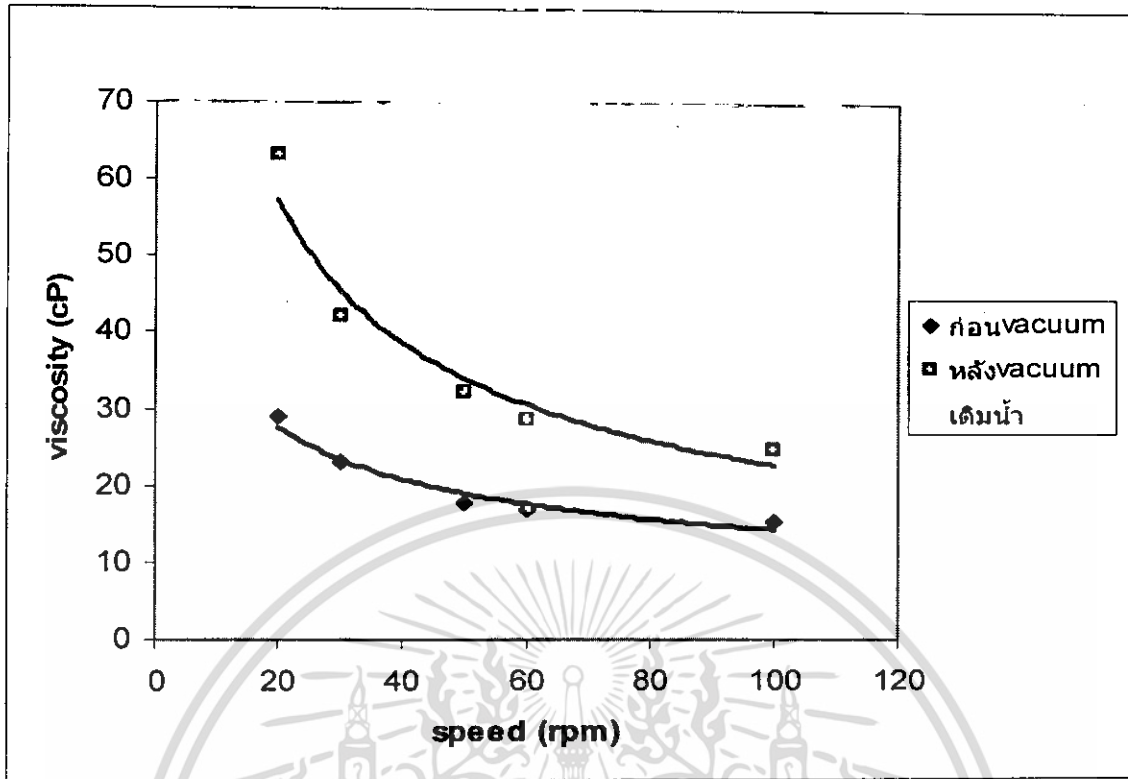


รูปที่ 6.17 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิก่อน Vacuum และเติมน้ำ

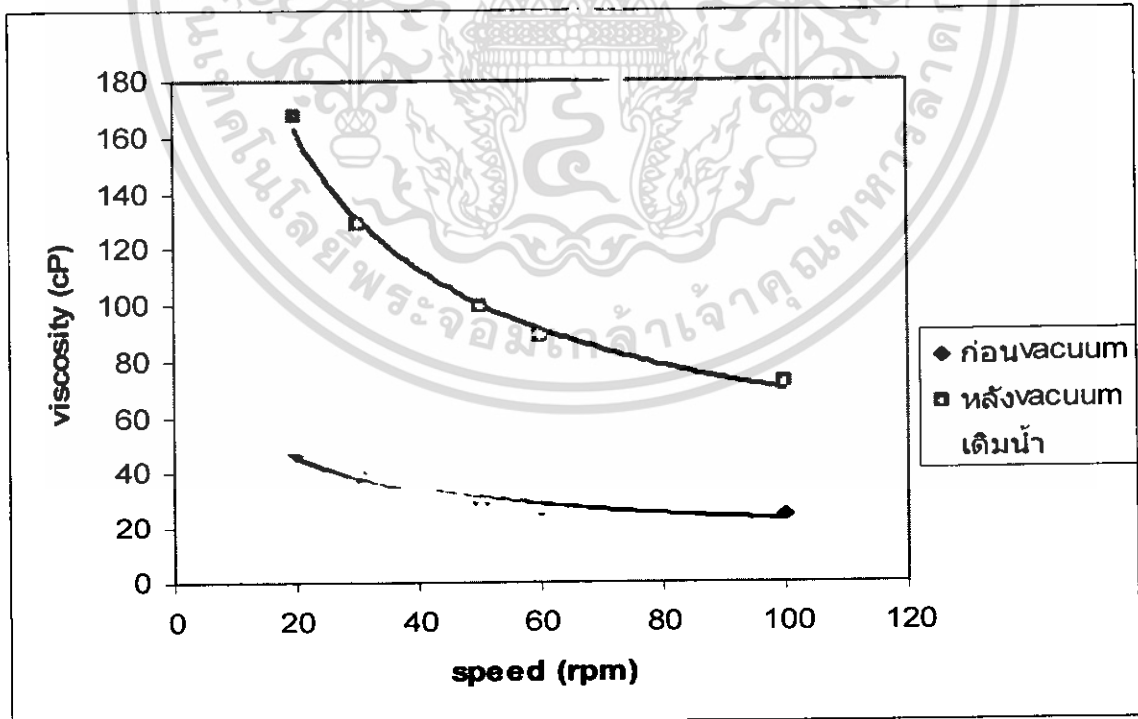


รูปที่ 6.18 การเปลี่ยนแปลงค่า Soluble Solidsของน้ำกะทิก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

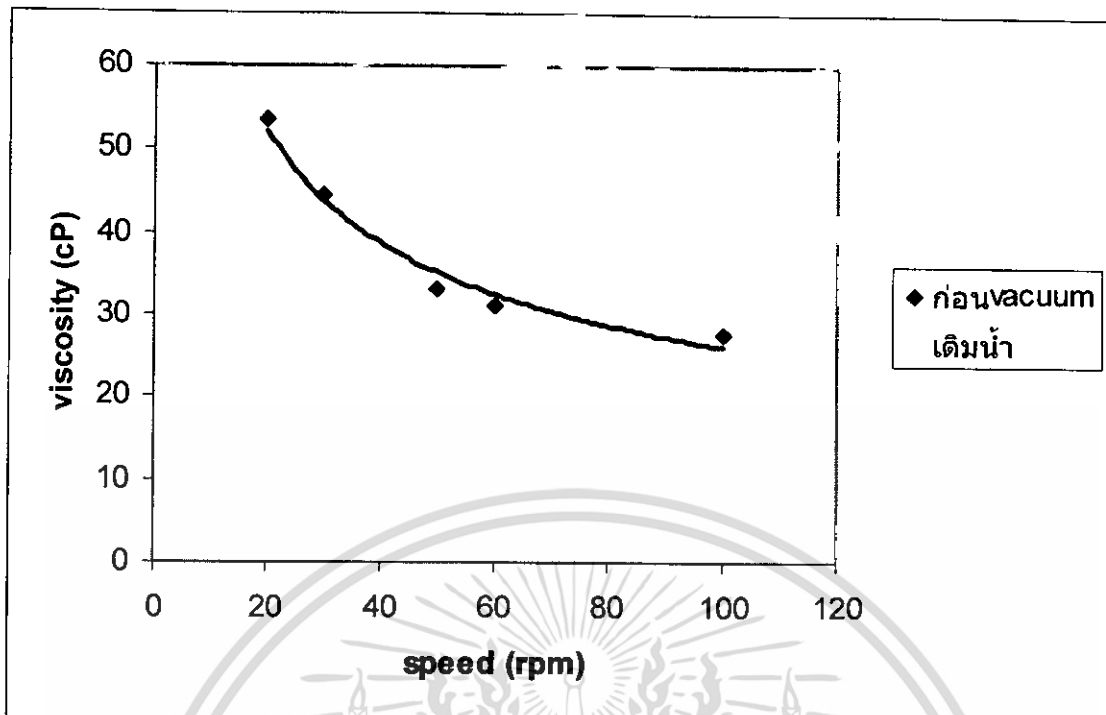


รูปที่ 6.19 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 61 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 10 นาที

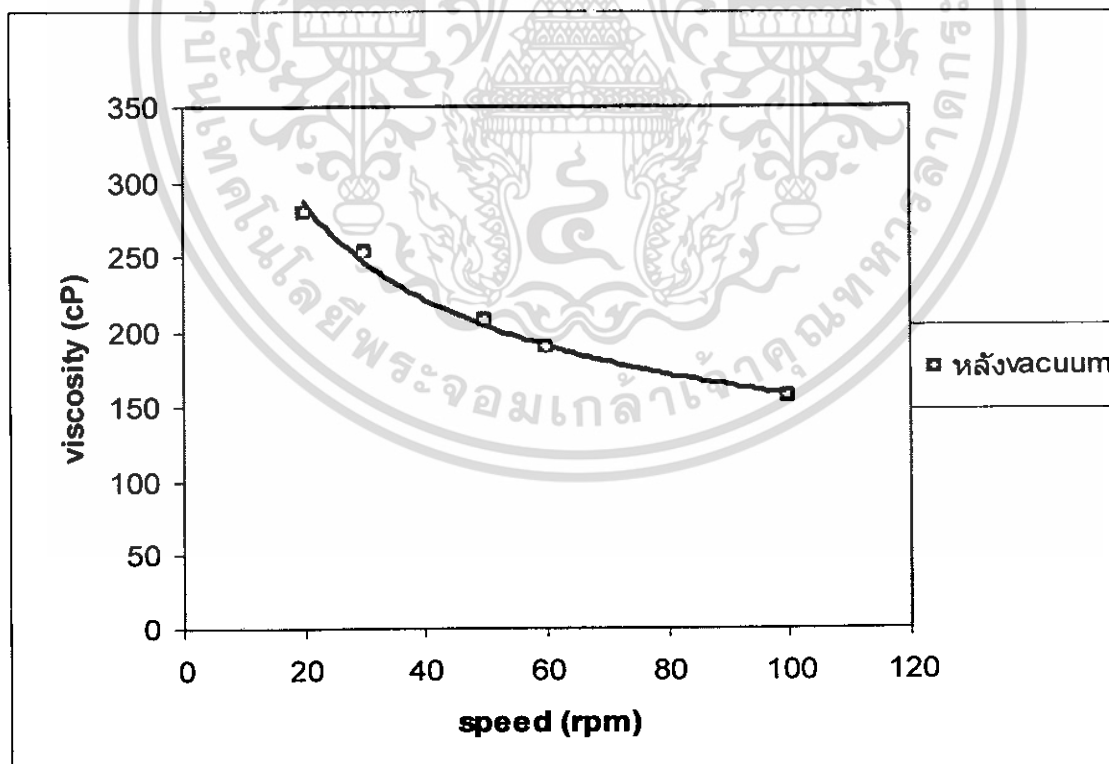


รูปที่ 6.20 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 62 ทั้งก่อน Vacuum หลัง Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

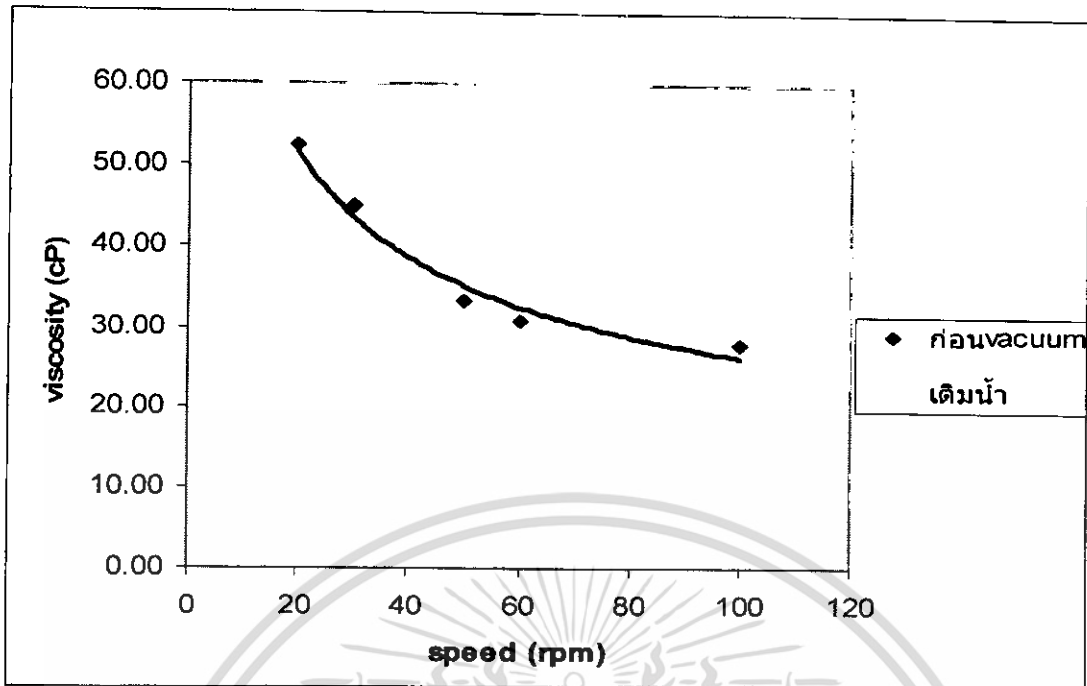


รูปที่ 6.21 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 62 ก่อน Vacuum และเติมน้ำ ที่เวลา 30 นาที

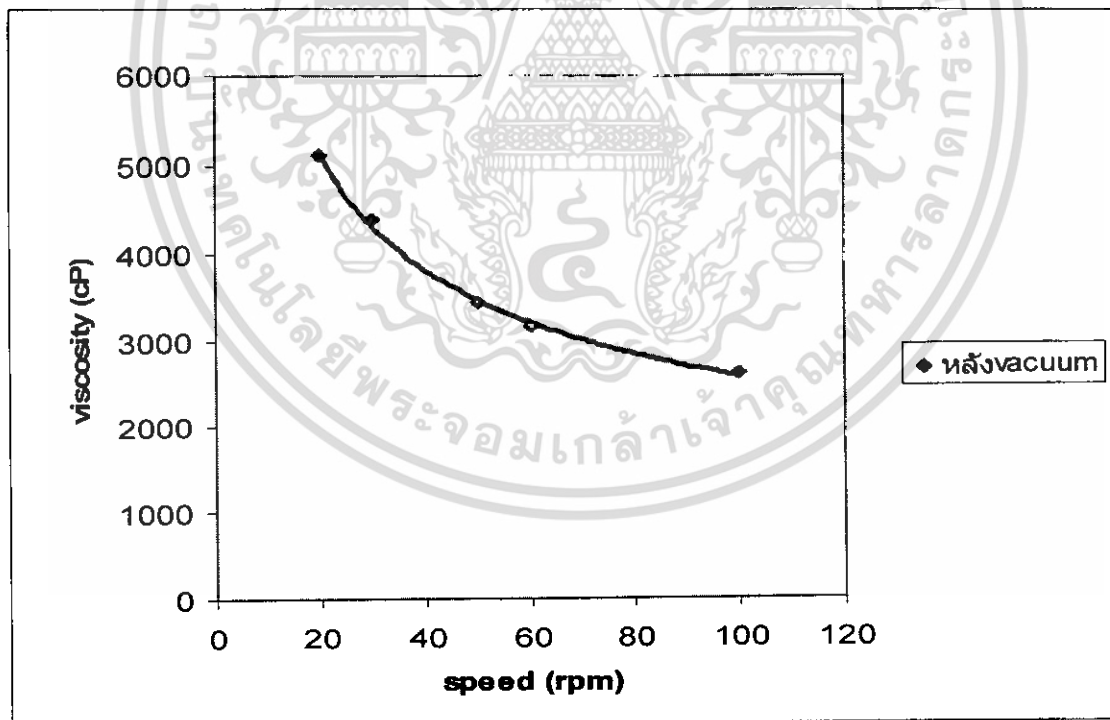


รูปที่ 6.22 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 64 หลัง Vacuum ที่เวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

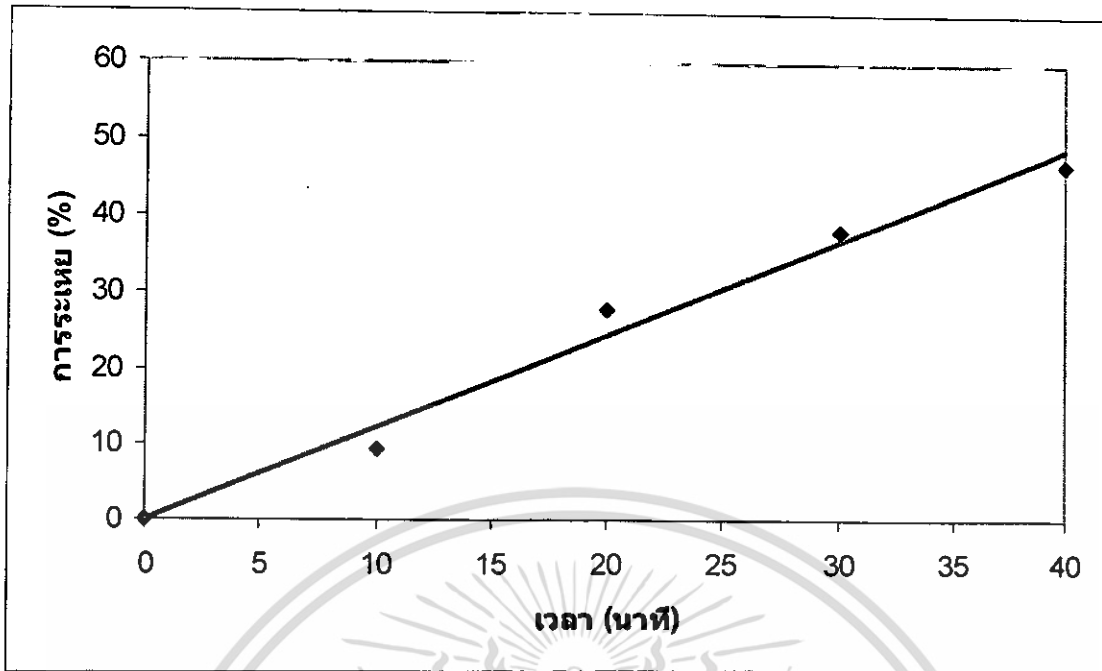


รูปที่ 6.23 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 62 ก่อน Vacuum และเติมน้ำที่เวลา 40 นาที

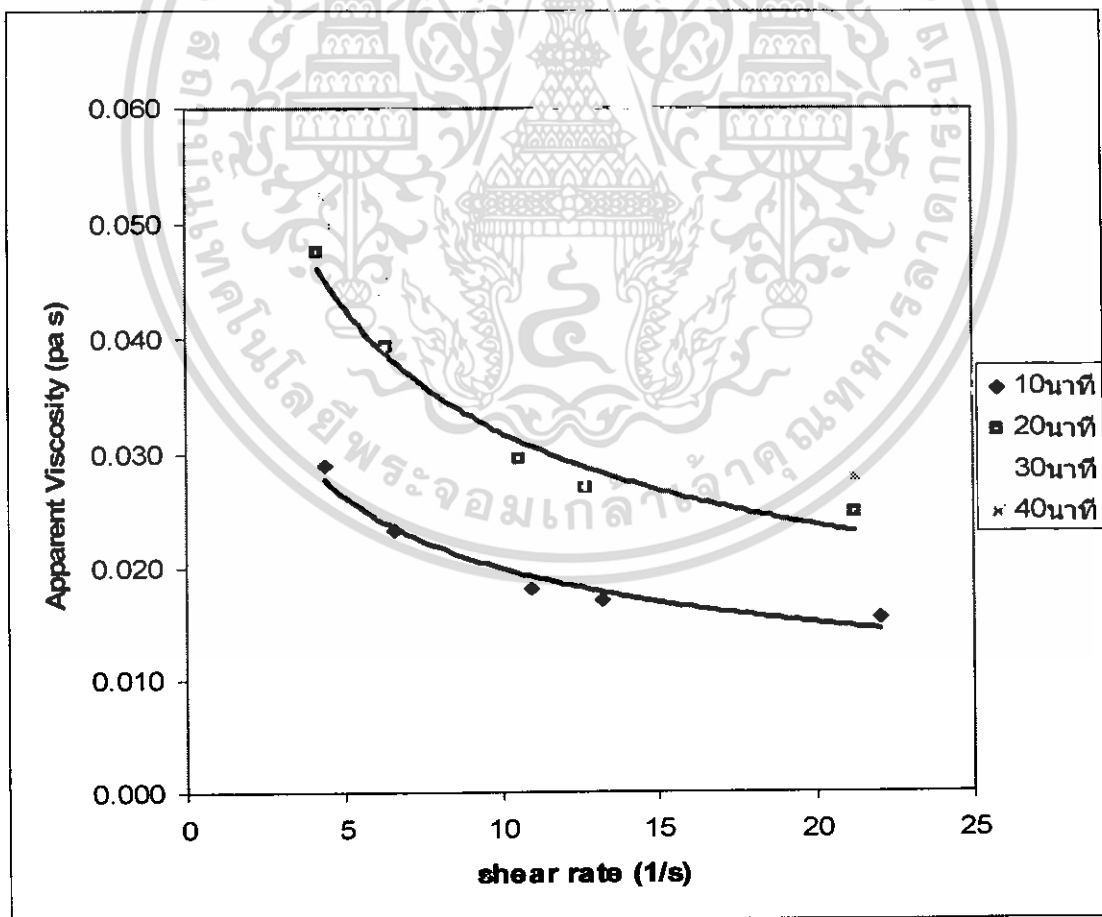


รูปที่ 6.24 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำกะทิความเร็วรอบของ Spindle ต่างๆ โดยใช้ Spindle เบอร์ 64 หลัง Vacuum ที่เวลา 40 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

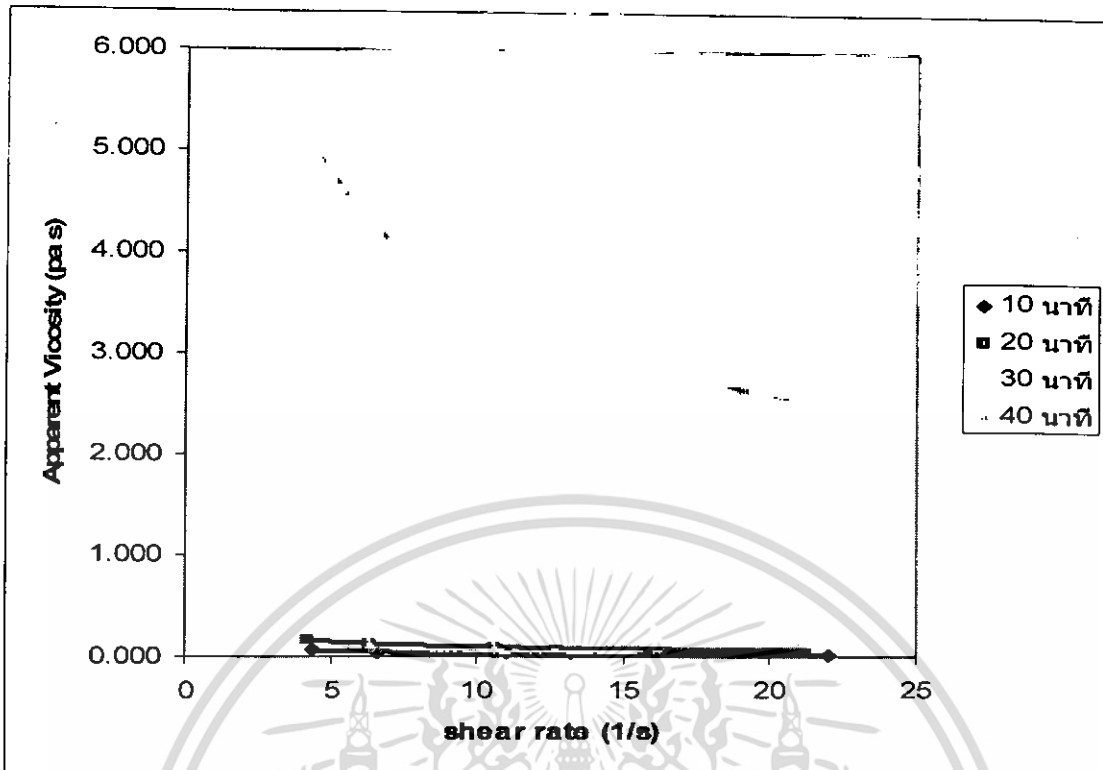


รูปที่ 6.25 เปอร์เซนต์ การระเหยของน้ำกะทิที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที

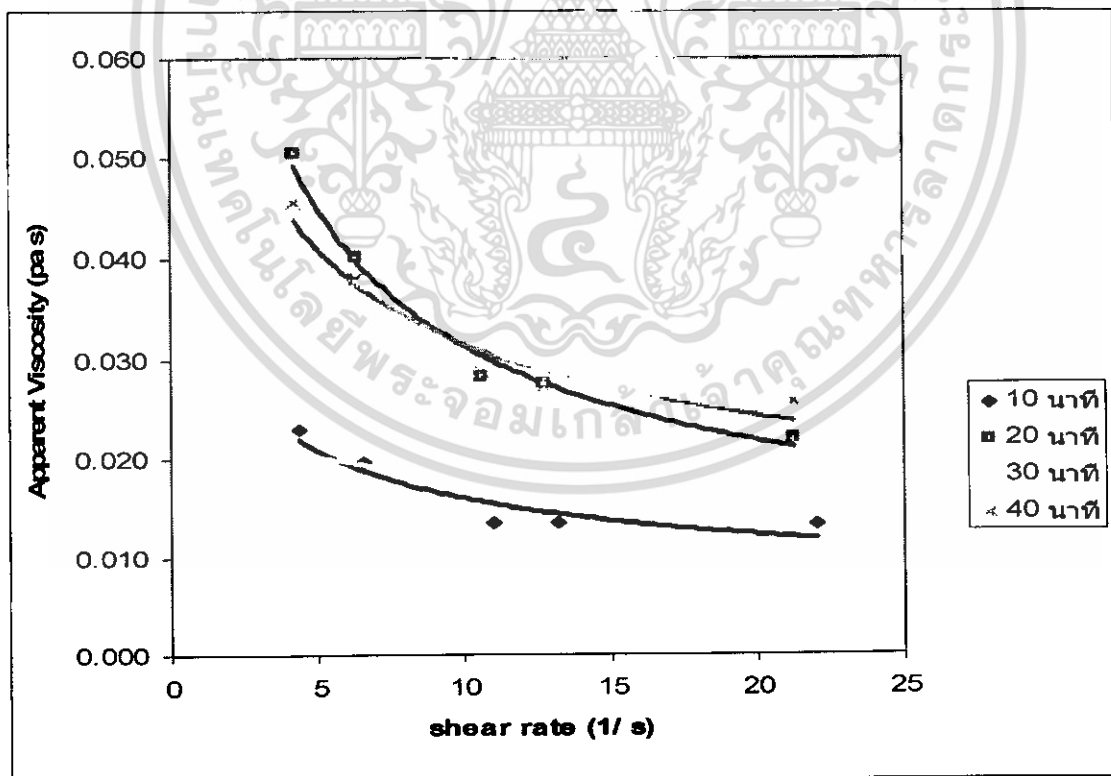


รูปที่ 6.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate ก่อน Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

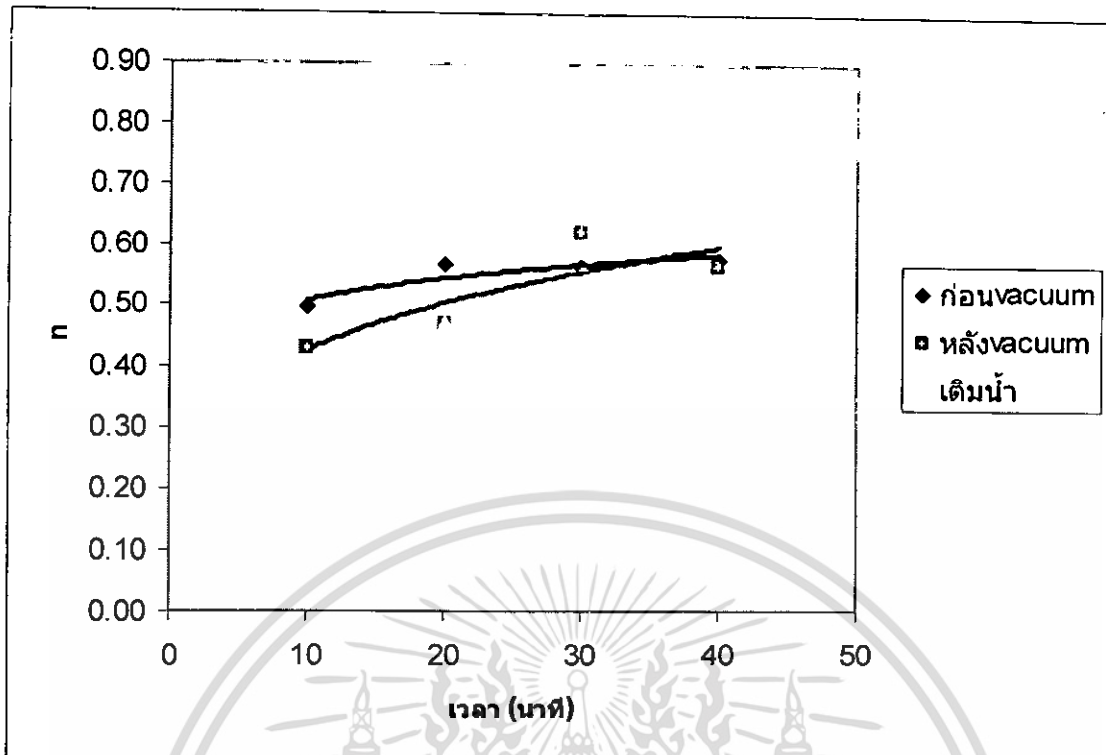


รูปที่ 6. 27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate หัต้ง Vacuum

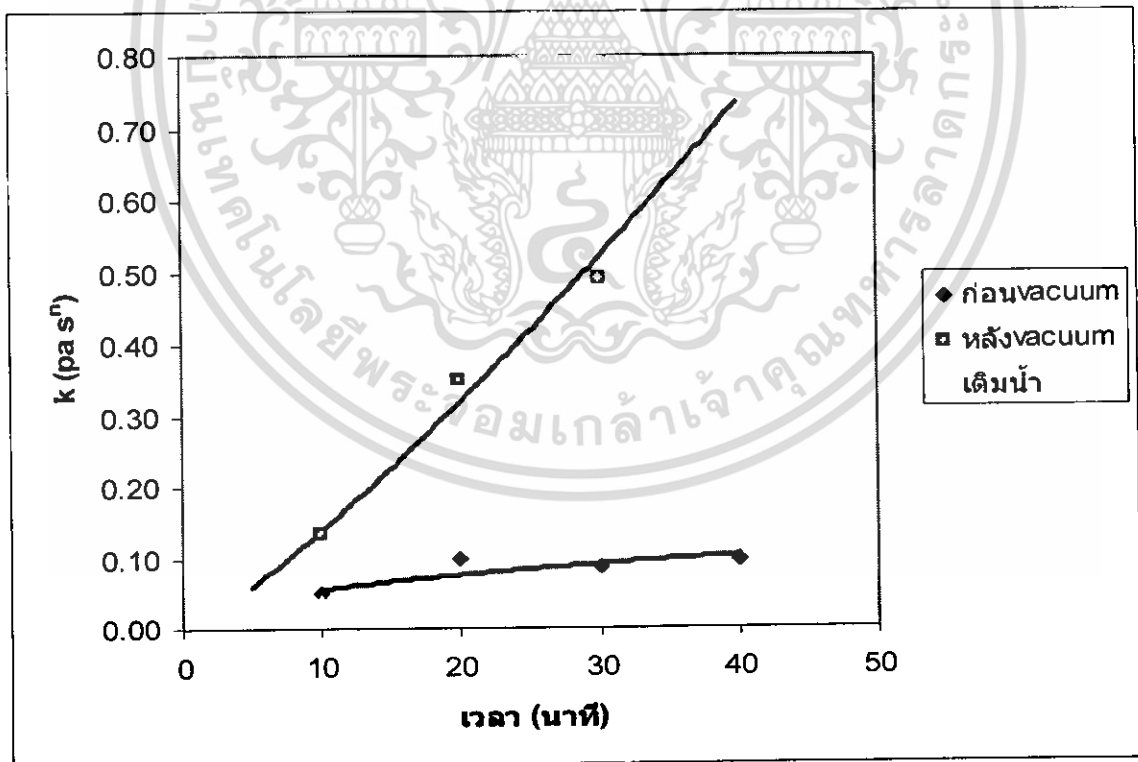


รูปที่ 6. 28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apparent Viscosity กับ Shear rate เมื่อเติมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6. 29 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับFlow Behavior Index (n)



รูปที่ 6. 30 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำระเหยกับConsistency Coefficient (k)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่เครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบ
ระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศเครื่องนี้จะสามารถทำได้ ระยะเวลาในการทำระเหย 30 นาที ที่
ความเร็วรอบใบกวน 50 รอบต่อนาที ความดัน 60 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 30-35 °C

- เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ระเหยไป 38.25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
- อัตราการระเหย 1.53 กิโลกรัม/ชั่วโมง

คุณภาพของน้ำกะทิเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

L* เปลี่ยนจาก 85.56 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 76.6 ที่สภาวะหลัง Vacuum
และเมื่อเติมน้ำเป็น 81.71

a* เปลี่ยนจาก 0.29 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.98 ที่สภาวะหลัง Vacuum
และเมื่อเติมน้ำเป็น 0.58

b* เปลี่ยนจาก 6.70 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 12.10 ที่สภาวะหลัง Vacuum
และเมื่อเติมน้ำเป็น 9.20

DE* มีค่าเท่ากับ 0.37 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 11.20 ที่สภาวะหลัง Vacuum
และเมื่อเติมน้ำเป็น 6.012

WICIE เปลี่ยนจาก 34.14 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น -14.77 ที่สภาวะหลัง
Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 12.05

Viscosity เปลี่ยนจาก 22.05 cP ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 2593.8 cP ที่ สภาวะ
หลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 25.62 cP ที่ความเร็วรอบ Spidle 100 rpm

Flow Behavior Index (n) เปลี่ยนจาก 0.578 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.626 ที่
สภาวะหลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 0.844

Consistency Coefficient (k) เปลี่ยนจาก 0.086 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.491ที่
สภาวะหลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 0.026

Soluble Solids เปลี่ยนจาก 13.12 %Brix ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 33.25 %Brix
ที่สภาวะหลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 13.65 % Brix

หมายเหตุ การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลาในการทำระเหย 40 นาทีไม่ได้นำเสนอ
เนื่องจากค่า WICIE เปลี่ยนแปลงไปมากเกินไป

บทที่ 7

สรุป และ วิจารณ์ผล

7.1 สรุปผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหยของน้ำกะทิเข้มข้น

การทำน้ำกะทิเข้มข้นแต่ละครั้งสามารถใส่น้ำกะทิเริ่มต้นครั้งละ 2 ลิตร มอเตอร์สามารถทำความเร็วในการหมุนใบกวนได้ที่ความเร็วรอบ 10 และ 50 รอบต่อนาที ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนแก่ระบบมีขนาดกำลังไฟ 2500 Watt ปัมป์สุญญากาศสามารถลดความดันได้ตั้งแต่ 40-760 mmHg ความเร็วในการดูดอากาศ 108 m³/hr มอเตอร์ขนาด 3 Hp ปัมป์สุญญากาศสามารถดูดไอออกจากถังได้โดยตรง ในการทดสอบแต่ละครั้งจึงต้องมีน้ำมาหล่อเย็นปัมป์ตลอดเวลา

การทำงานของเครื่องสามารถที่จะปรับใช้ความเร็วรอบของใบกวน ปรับค่าความร้อนที่ให้แก่ระบบ และปรับความดันในการทำงาน ให้เหมาะสมกับสภาวะที่กำหนดตามสมรรถนะของเครื่องที่สามารถทำได้ และขณะที่มีการทดลองควรมีการตรวจเช็คความดันในถังตลอดเวลาเพื่อควบคุมความดันในถังให้คงที่หากความดันไม่คงที่แสดงว่ามีจุดรั่วในระบบควรมีการตรวจสอบและหาวิธีแก้ไขเพื่อให้การทดสอบ ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำ

7.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่เครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศเครื่องนี้จะสามารถทำได้ ระยะเวลาในการทำระเหย 30 นาที ที่ความเร็วรอบใบกวน 50 รอบต่อนาที ความดัน 60 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 30-35 °C

- เพลอร์เซ็นต์ของน้ำที่ระเหยไป 38.25 เพลอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
- อัตราการระเหย 1.53 กิโลกรัม/ชั่วโมง

คุณภาพของน้ำกะทิเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

L* เปลี่ยนจาก 85.56 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 76.6 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 81.71

a* เปลี่ยนจาก 0.29 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.98 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 0.58

b* เปลี่ยนจาก 6.70 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 12.10 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 9.20

DE* มีค่าเท่ากับ 0.37 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 11.20 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 6.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WICIE เปลี่ยนจาก 34.14 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น -14.77 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 12.05

Viscosity เปลี่ยนจาก 22.05 cP ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 2593.8 cP ที่สภาวะหลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 25.62 cP ที่ความเร็วรอบ Spidle 100 rpm

Flow Behavior Index (n) เปลี่ยนจาก 0.578 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.626 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 0.844

Consistency Coefficient (k) เปลี่ยนจาก 0.086 ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 0.491 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 0.026

Soluble Solids เปลี่ยนจาก 13.12 %Brix ที่สภาวะก่อน Vacuum ไปเป็น 33.25% Brix ที่สภาวะหลัง Vacuum และเติมน้ำเป็น 13.65 % Brix

น้ำกะทิที่ผ่านกระบวนการทำระเหยจะมีความเข้มข้นมากขึ้นมากกว่าน้ำกะทิเริ่มต้นมากและน้ำกะทิเปลี่ยนแปลงสีไปเล็กน้อย เมื่อนำเอาน้ำกะทิที่ผ่านกระบวนการทำระเหยมาเติมน้ำพบว่าค่า Total Soluble Solids ใกล้เคียงกับน้ำกะทิเริ่มต้นแต่ค่าสีเปลี่ยนแปลงไป

7.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมีดังต่อไปนี้

(1) ในการออกแบบชุดถัง การใช้งานยังมีความยุ่งยากในการถอดประกอบ และการล้างทำความสะอาด จำเป็นต้องถอดยกชุดถังออก จึงควรที่จะปรับปรุงและแก้ไขลักษณะการจับยึดของถังให้มีการถอดและประกอบได้สะดวกขึ้น

(2) เนื่องจากฮีตเตอร์มีลักษณะเป็นแผ่นความร้อนที่สัมผัสเหล็ก โดยตรงทำให้ความร้อนบางส่วนของฮีตเตอร์สูญเสียไป จึงควรมีการออกแบบฮีตเตอร์ไม่ให้มีการสูญเสียความร้อนเพื่อที่จะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีขึ้นและควรที่จะมีการหุ้มฉนวนฮีตเตอร์เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนของฮีตเตอร์ขณะปฏิบัติงาน

(3) ในการถอดฝาด้านหน้าของถัง ต้องระวังหัววัดอุณหภูมิที่ติดอยู่ที่ฝาดังขาด ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ชุดควบคุมอุณหภูมิทำงานผิดพลาด

ภาคผนวก

ก. ระบบการวัดสี

ข. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ค. ผลการทดลองน้ำกะทิที่ความเร็วรอบใบกวน 10 รอบต่อนาที

ง. ผลการทดลองน้ำกะทิที่ความเร็วรอบใบกวน 50 รอบต่อนาที

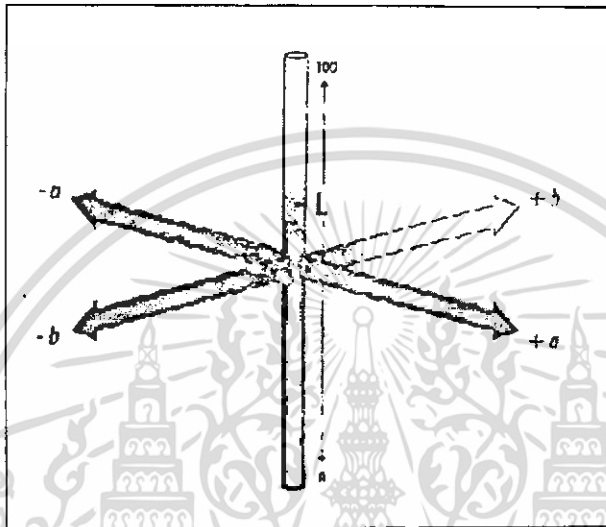
จ. ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ระบบการวัดสี

ระบบ ค่าสี CIE 1976 L*a*b* Scale เป็นระบบที่ได้แนะนำมาจาก Commission internationale de l' Eclairage (CIE)



รูปแสดงตัวอย่างการวัดค่าสีในระบบ

จากรูป ค่า L* ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L* = 0 แสดงถึงตัวอย่างที่มีสีดำอย่างสมบูรณ์

L* = 100 แสดงถึงตัวอย่างที่มีสีขาวอย่างสมบูรณ์

ค่า a ใช้กำหนดสีแดง หรือ สีเขียว

a* = + สีจะไปในทิศทางของสีแดง

a* = - สีจะไปในทิศทางของสีเขียว

ค่า b ใช้กำหนดค่าสีเหลือง หรือ สีน้ำเงิน

b* = + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง

b* = - สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน

ในกรณีที่มีตัวอย่างหลาย ๆ ชิ้น ที่ต้องการเทียบสีกับตัวอย่างมาตรฐาน อาจบอกค่าความแตกต่างโดยใช้ตัวเลขเดียวคือ DE ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างรวมของสี (Total color difference) ทำให้สามารถระบุสีได้ชัดเจนยิ่งขึ้นสมการ

$$DE = (Da^2 + Db^2 + DL^2)^{1/2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองโดยใช้ถ้วยประด

ตาราง ข.1 ความหนืดของสับประด (Viscosity) ซ้ำที่ 1

Viscosity (cp)			
ก่อน Vacuum S64		หลัง Vacuum S64	
ความเร็วรอบ 50 rpm		ความเร็วรอบ 50 rpm	
ครั้งที่ 1	2258	ครั้งที่ 1	2000
	2208		2270
	2182		2150
	2074		2060
	2052		2230
เฉลี่ย	2155	เฉลี่ย	2142
ครั้งที่ 2	2059	ครั้งที่ 2	1670
	2058		1560
	1999		1790
	2021		1680
	1997		1670
เฉลี่ย	2027	เฉลี่ย	1674
ครั้งที่ 3	1229	ครั้งที่ 3	1220
	1236		1360
	1246		1240
	1230		1060
	1249		1190
เฉลี่ย	1238	เฉลี่ย	1214
เฉลี่ยรวม	1807	เฉลี่ยรวม	1677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 สีของเนื้อสับประรด

สีของเนื้อสับประรด					
สับประรด	ID	L*	a*	b*	DE*
Standard	ก่อน Vacuum	64.88	-2.52	36.4	
	หลัง Vacuum	55.28	-0.2	33.55	10.29
	หลัง Vacuum	55.3	-0.17	33.51	10.28
	หลัง Vacuum	55.34	-0.2	33.67	10.18
	เฉลี่ย	55.31	-0.19	33.58	10.25

ตาราง ข.3 Soluble solids ของสับประรด

Soluble Solids (% Brix)			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	12.5	ครั้งที่ 1	18.3
ครั้งที่ 2	12.5	ครั้งที่ 2	16.4
ครั้งที่ 3	12.5	ครั้งที่ 3	15.5
เฉลี่ย	12.5	เฉลี่ย	16.73

ตาราง ข.4 ค่า Water Activity (a_w)

ก่อน Vacuum			หลัง Vacuum		
ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ (°C)
1	0.995	24.60	1	0.997	24.50
2	1.006	24.50	2	1.001	24.60
3	0.990	24.50	3	0.989	24.60
เฉลี่ย	0.997	24.53	เฉลี่ย	0.996	24.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.5 ความหนืดของสับปรด (Viscosity) ซ้ำที่ 2

Viscosity (cp)			
ก่อน Vacuum S64		หลัง Vacuum S64	
ความเร็วรอบ 50 rpm		ความเร็วรอบ 50 rpm	
ครั้งที่ 1	1810	ครั้งที่ 1	2250
	1896		2840
	1862		2380
	1896		2140
	1870		2100
เฉลี่ย	1867	เฉลี่ย	2342
ครั้งที่ 2	1692	ครั้งที่ 2	1970
	1769		1990
	1680		1840
	1733		1550
	1843		1930
เฉลี่ย	1743	เฉลี่ย	1856
ครั้งที่ 3	1831	ครั้งที่ 3	1900
	2110		1970
	2038		2330
	2122		2240
	2143		1750
เฉลี่ย	2048.8	เฉลี่ย	2038
เฉลี่ยรวม	1886	เฉลี่ยรวม	2079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.6 สีของเนื้อสับประรด

สีของเนื้อสับประรด					
สับประรด	ID	L*	a*	b*	DE*
Standard	ก่อน Vacuum	65.47	-2.23	36.86	
	หลัง Vacuum 1	57.55	-1.26	34.73	8.26
	หลัง Vacuum 2	57.55	-1.24	34.72	8.27
	หลัง Vacuum 3	57.54	-1.19	34.69	8.29
	เฉลี่ย	57.55	-1.23	34.71	8.27

ตาราง ข.7 Soluble Solids ของสับประรด

Soluble Solid (% Brix)			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	13.3	ครั้งที่ 1	15.6
ครั้งที่ 2	12.5	ครั้งที่ 2	15.6
ครั้งที่ 3	13.0	ครั้งที่ 3	15.2
เฉลี่ย	12.9	เฉลี่ย	15.5

ตาราง ข.8 ค่า Water Activity (a_w)

ก่อน Vacuum			หลัง Vacuum		
ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ
1	0.995	24.60	1	0.997	24.50
2	1.006	24.50	2	1.001	24.60
3	0.990	24.50	3	0.989	24.60
เฉลี่ย	0.997	24.53	เฉลี่ย	0.996	24.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยใช้เนื้อทุเรียน

ตาราง ข.9 หาค่าความหนืดของเนื้อทุเรียน (Viscosity)

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum S 64 ที่ความเร็วรอบ (rpm)					
	5	10	20	30	50
ครั้งที่ 1	46800	33780	17970	11800	6320
	46600	33720	17940	11860	6000
	45100	33780	18720	12000	6200
	45400	33720	18060	12760	6310
	45700	33840	17000	11500	6430
เฉลี่ย	45920	33768	17938	11984	6252
ครั้งที่ 2	49000	24240	13380	9440	5940
	48000	23520	13260	9600	5810
	48000	24180	13710	9860	5770
	48600	24120	12990	9520	5930
	48100	24120	13680	9400	5710
เฉลี่ย	48340	24036	13404	9564	5832
ครั้งที่ 3	59200	28340	16350	11400	7680
	59200	28380	16620	11580	7920
	57400	28980	16740	11320	7580
	56800	28260	16640	11120	7810
	56500	28980	16080	11180	7880
เฉลี่ย	57820	28588	16486	11320	7774
เฉลี่ยรวม	50693	28797	15943	10956	6619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Viscosity (cp)					
หลัง Vacuum S 64 ที่ความเร็วรอบ (rpm)					
	5	10	20	30	50
	40520	25930	15630	11250	7980
	40600	25920	15690	11200	8000
	40200	25500	15960	11380	8140
	40100	25800	15210	11380	7910
	40000	25440	15690	11400	7970
เฉลี่ย	40284	25718	15636	11322	8000
เฉลี่ย	40284	25718	15636	11322	8000
รวม					

ตาราง ข.10 สีของเนื้อทุเรียน

สีของเนื้อทุเรียน					
ทุเรียน	ID	L*	a*	b*	DE*
Standard	ก่อน Vacuum	73.98	-0.95	35.65	
	หลัง Vacuum1	60.41	-0.68	42.06	15.01
	หลัง Vacuum2	63.01	-1.42	39.18	11.54
	หลัง Vacuum3	61.32	-0.82	41.98	14.15
	เฉลี่ย	61.58	-0.97	41.07	13.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.11 Soluble Solids ของเนื้อทุเรียน

Soluble Solid (% Brix)			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	28.5	ครั้งที่ 1	40.7
ครั้งที่ 2	28.9	ครั้งที่ 2	38.6
ครั้งที่ 3	28.1	ครั้งที่ 3	43.3
เฉลี่ย	28.5	เฉลี่ย	40.86

ตารางที่ ข.12 ค่า Water Activity (a_w)

ก่อน Vacuum			หลัง Vacuum		
ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
1	0.972	24.35	1	0.972	24.45
2	0.981	24.45	2	0.982	24.45
3	0.977	24.35	3	0.976	24.60
เฉลี่ย	0.977	24.38	เฉลี่ย	0.977	24.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยใช้น้ำกะทิ

ตาราง ข.13 หาค่าความหนืดของน้ำกะทิ (Viscosity)

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum S 64 ที่ความเร็วรอบ					
	5	10	20	30	50
ครั้งที่ 1	1700	780	1320	960	1850
	1800	900	1230	980	1800
	1700	960	1810	680	1280
	1800	900	1590	1560	1340
	1800	960	1800	1300	1500
เฉลี่ย	1760	900	1550	1096	1554
ครั้งที่ 2	3100	2340	2130	2120	1190
	3000	2400	2280	2080	1600
	3600	2820	2400	1860	1130
	3700	2640	2101	1520	1310
	3600	2520	2190	1560	1440
เฉลี่ย	3400	2544	2220	1828	1334
ครั้งที่ 3	5400	4860	2700	2320	1340
	5300	5100	2580	2160	1160
	5200	5400	2730	2220	1270
	5400	5640	2790	2320	1150
	5500	5220	3330	2240	1070
เฉลี่ย	5360	5244	2826	2252	1198
เฉลี่ยรวม	3507	2896	2199	1725	1362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Viscosity (cp)					
หลัง Vacuum S 64 ที่ความเร็วรอบ					
	30	50	60	100	
	412	346	330	278	
	420	350	332	280	
	410	353	334	277	
	408	358	330	281	
	432	348	334	277	
เฉลี่ย	416	351	332	279	
เฉลี่ยรวม	416	351	332	279	

ตารางที่ ข.14 สีของน้ำกะทิ

สีของเนื้อกะทิ					
น้ำกะทิ	ID	L*	a*	b*	DE*
Standard	ก่อน Vacuum	75.03	-1.27	8.01	
	หลัง Vacuum 1	78.01	-0.91	10.88	4.15
	หลัง Vacuum 2	77.99	-0.89	10.61	3.69
	หลัง Vacuum 3	77.97	-0.92	10.68	3.99
	เฉลี่ย	77.99	-0.91	10.72	3.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 Soluble Solids ของน้ำกะทิ

Soluble Solid (% Brix)			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	7.1	ครั้งที่ 1	25
ครั้งที่ 2	7.2	ครั้งที่ 2	24.2
ครั้งที่ 3	6.7	ครั้งที่ 3	23.5
เฉลี่ย	7	เฉลี่ย	24.23

ตาราง ข.16 ค่า Water Activity (a_w)

ก่อน Vacuum			หลัง Vacuum		
ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	a_w	อุณหภูมิ (°C)
1	0.992	24.00	1	0.985	24.30
2	1.000	24.40	2	0.975	24.45
3	0.993	24.30	3	0.951	24.60
เฉลี่ย	0.995	24.23	เฉลี่ย	0.970	24.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

น้ำกะทิที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.1 ความหนืดของน้ำกะทิ Viscosity

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum ที่ความเร็วรอบ (rpm)					
เวลา (นาที)	20	30	50	60	100
10 (s61)	34.8	29.0	19.4	19.5	16.8
	35.0	29.0	20.2	19.3	16.8
	34.8	28.6	19.8	19.6	16.6
	35.1	28.8	20.4	19.6	16.7
	34.8	29.0	20.2	19.6	16.7
เฉลี่ย	32.4	29.1	25.0	26.3	30.6
20 (s62)	53.0	40.0	28.6	27.5	24.9
	50.0	41.0	27.8	28.5	24.6
	50.0	42.0	28.8	26.5	24.3
	53.0	42.0	29.0	27.5	24.3
เฉลี่ย	51.5	41.3	28.6	27.5	24.5
30 (s62)	50.0	42.0	34.2	29.5	22.3
	53.0	41.0	34.8	31.5	28.2
	51.0	43.0	34.2	31.0	27.9
	50.0	44.0	33.6	31.5	28.2
	51.0	43.0	33.6	30.5	27.6
เฉลี่ย	51.0	42.6	34.1	30.8	26.8
40 (s64)	44.0	33.0	25.8	24.5	22.5
	45.0	33.0	26.4	24.0	21.4
	44.0	32.0	27.4	24.5	22.5
	45.0	32.0	27.8	25.0	23.1
	45.0	33.0	29.0	25.0	23.4
เฉลี่ย	44.6	32.6	27.3	24.6	22.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลัง Vacuum ที่ความเร็วรอบ (rpm)					
เวลา (นาที)	20	30	50	60	100
10 (s61)	76.2	57.4	43.1	40.2	35.5
	76.1	57.2	44.2	40.5	35.4
	76.3	57.5	44.2	40.5	35.8
	76.0	57.5	43.8	40.3	34.6
	76.4	57.6	43.2	40.2	34.4
เฉลี่ย	66.8	52.9	44.8	43.6	46.0
20 (s62)	198.0	155.0	127.2	113.0	91.8
	197.0	154.0	127.8	114.0	89.5
	197.0	151.0	126.5	113.5	91.5
	197.0	152.0	127.2	114.5	89.1
	195.0	153.0	127.5	115.0	91.2
เฉลี่ย	196.8	153.0	127.2	114.0	90.6
30(s64)	2460	1940	1810	1520	1200
	2430	1960	1790	1510	1206
	2430	1960	1760	1520	1194
	2430	1980	1760	1510	1190
	2430	1980	1740	1490	1200
เฉลี่ย	2436	1964	1772	1510	1198
40 (s64)	2530	2020	1810	1630	1300
	2530	2100	1820	1640	1350
	2540	2020	1790	1620	1340
	2530	2030	1790	1680	1350
	2540	2040	1790	1690	1350
เฉลี่ย	2534	2042	1800	1652	1338

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 1

ตาราง ก.2 Soluble Solid ของน้ำกะทิ

Soluble solid (%Brix) ที่เวลา 10 นาที			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	13.40	ครั้งที่ 1	15.20
ครั้งที่ 2	13.40	ครั้งที่ 2	15.20
ครั้งที่ 3	13.60	ครั้งที่ 3	15.30
เฉลี่ย	13.47	เฉลี่ย	15.23
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา 20 นาที			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	13.0	ครั้งที่ 1	23.90
ครั้งที่ 2	13.1	ครั้งที่ 2	24.00
ครั้งที่ 3	13.0	ครั้งที่ 3	23.90
เฉลี่ย	13.0	เฉลี่ย	23.93
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา 30 นาที			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	13.10	ครั้งที่ 1	49.20
ครั้งที่ 2	13.00	ครั้งที่ 2	51.10
ครั้งที่ 3	13.10	ครั้งที่ 3	50.00
เฉลี่ย	13.07	เฉลี่ย	50.10
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา 40 นาที			
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum	
ครั้งที่ 1	13.60	ครั้งที่ 1	<50%
ครั้งที่ 2	13.50	ครั้งที่ 2	<50%
ครั้งที่ 3	13.60	ครั้งที่ 3	<50%
เฉลี่ย	13.57	มากกว่า 50%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 10 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	85.46	0.31	6.47		34.83
ก่อน Vacuum 2	85.46	0.28	6.57	0.10	34.35
ก่อน Vacuum 3	85.39	0.40	6.47	0.11	34.68
เฉลี่ย	85.44	0.33	6.50	0.11	34.62
หลัง Vacuum1	84.37	0.53	7.28	1.38	28.29
หลัง Vacuum2	84.38	0.49	7.38	1.43	27.80
หลัง Vacuum3	84.37	0.44	7.51	1.51	27.15
เฉลี่ย	84.37	0.49	7.39	1.44	27.75

ตาราง ค.4 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 20 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	85.75	0.63	6.61		34.83
ก่อน Vacuum 2	85.74	0.63	6.68	0.07	34.45
ก่อน Vacuum 3	85.76	0.63	6.81	0.19	33.89
เฉลี่ย	85.75	0.63	6.70	0.13	34.39
หลัง Vacuum1	81.42	0.94	10.11	5.58	7.13
หลัง Vacuum2	81.42	0.89	10.16	5.60	6.85
หลัง Vacuum3	81.56	0.84	10.39	5.65	5.98
เฉลี่ย	81.47	0.89	10.22	5.61	6.65

ตาราง ค.5 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 30 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	86.40	0.51	6.44		37.18
ก่อน Vacuum 2	86.46	0.47	6.58	0.16	36.58
ก่อน Vacuum 3	86.56	0.38	6.79	0.41	35.81
เฉลี่ย	86.47	0.45	6.60	0.29	36.52
หลัง Vacuum1	66.87	1.62	16.72	22.10	-64.26
หลัง Vacuum2	66.85	1.65	16.67	22.09	-63.97
หลัง Vacuum3	66.88	1.64	16.75	22.10	-64.37
เฉลี่ย	66.87	1.64	16.71	22.10	-64.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 40 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	85.87	0.38	6.63		35.01
ก่อน Vacuum 2	85.89	0.31	6.74	0.13	34.46
ก่อน Vacuum 3	85.86	0.33	6.77	0.15	34.27
เฉลี่ย	85.87	0.34	6.71	0.14	34.58
หลัง Vacuum1	70.02	1.16	13.03	17.11	-35.12
หลัง Vacuum2	69.91	1.26	12.85	17.15	-34.32
หลัง Vacuum3	69.83	1.33	12.70	17.18	-33.59
เฉลี่ย	69.92	1.25	12.86	17.15	-34.34

ตาราง ค.7 การระเหยของน้ำกะทิ

เวลา(นาที)	นน.ก่อน vac (kg)	นน.หลัง vac (kg)	นน.ระเหย (kg)
10	18.58	18.31	0.27 (1.453%)
20	18.56	17.99	0.57 (3.25%)
30	18.59	17.69	0.96 (4.48%)
40	18.59	17.65	0.94 (5.06%)

การทดลองครั้งที่ 2

ตาราง ค.8 ความหนืดของน้ำกะทิ (Viscosity)

เวลา (นาที)	ก่อน Vacuum s61 ที่ความเร็ว (rpm)				
	20	30	50	60	100
10 (s61)	30.60	24.40	19.60	17.20	15.66
	30.30	24.60	19.70	17.50	15.94
	30.30	24.80	19.10	17.40	15.60
	30.30	24.60	19.20	17.50	15.42
	30.00	24.40	19.10	17.50	15.50
เฉลี่ย	30.30	24.56	19.34	17.42	15.62
20 (s62)	39.00	33.00	25.20	24.00	22.80
	38.00	31.00	26.40	23.50	23.20
	39.00	33.00	25.40	24.50	22.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	39.00	32.00	25.80	25.00	23.10
	41.00	31.00	25.20	23.00	22.80
เฉลี่ย	39.20	32.00	25.60	24.00	22.94
30(s62)	48.00	37.00	30.60	28.00	23.40
	48.00	38.00	30.80	27.50	23.10
	47.00	38.00	39.40	28.00	24.00
	48.00	37.00	29.60	27.50	23.10
	48.00	37.00	29.40	27.50	23.40
เฉลี่ย	47.80	37.40	31.96	27.70	23.40
40(s62)	45.00	36.00	28.80	25.50	24.00
	45.00	37.00	28.80	26.00	23.20
	45.00	37.00	29.40	24.50	24.30
	43.00	37.00	27.60	25.50	23.40
	45.00	36.00	28.80	25.50	23.70
เฉลี่ย	44.60	36.60	28.68	25.40	23.72
หลัง Vacuum s61 ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา (นาที)	20	30	50	60	100
10(s61)	39.60	31.20	23.50	21.80	17.75
	39.60	31.20	23.20	21.70	17.58
	39.60	31.00	23.30	21.60	17.76
	39.60	30.80	22.80	21.50	17.64
	39.30	30.60	22.80	21.30	17.52
เฉลี่ย	39.54	30.96	23.12	21.58	17.65
20(s62)	152.00	127.00	98.90	93.50	76.80
	149.00	128.00	99.80	92.50	76.50
	147.00	129.00	99.60	93.50	76.50
	156.00	127.00	98.40	94.00	77.10
	149.00	129.00	99.60	94.00	76.20
เฉลี่ย	150.60	128.00	99.26	93.50	76.62
30(s64)	1800.00	1420.00	1090.00	1000.00	810.00
	1800.00	1400.00	1080.00	1010.00	816.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1800.00	1400.00	1100.00	1020.00	810.00
	1740.00	1380.00	1090.00	990.00	820.00
	1740.00	1400.00	1080.00	1000.00	810.00
เฉลี่ย	1776.00	1400.00	1088.00	1004.00	813.20
40(s64)	2760.00	2280.00	1820.00	1710.00	1422.00
	2730.00	2260.00	1850.00	1700.00	1416.00
	2700.00	2280.00	1840.00	1690.00	1422.00
	2670.00	2240.00	1810.00	1710.00	1428.00
	2640.00	2240.00	1840.00	1710.00	1422.00
เฉลี่ย	2700.00	2260.00	1832.00	1704.00	1422.00

ความหนืดของน้ำกะทิ (Viscosity) เมื่อเติมน้ำ

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum s61 ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา (นาที)	20	30	50	60	100
10(s61)	28.80	23.80	18.10	17.10	13.44
	29.40	23.60	18.20	16.90	13.86
	29.10	23.20	18.00	17.00	13.86
	29.10	23.40	18.10	16.80	13.80
	29.10	23.20	18.20	16.90	13.98
เฉลี่ย	29.10	23.44	18.12	16.94	13.79
20(s62)	50.00	41.00	31.80	29.50	25.50
	51.00	41.00	32.80	28.00	24.90
	51.00	42.00	30.40	29.00	24.90
	50.00	41.00	31.20	27.00	24.90
	51.00	42.00	31.80	28.00	24.60
เฉลี่ย	50.60	41.40	31.60	28.30	24.96
30(s62)	45.00	39.00	28.80	26.50	25.40
	44.00	37.00	28.20	27.00	25.20
	47.00	39.00	28.80	26.50	25.50
	44.00	37.00	29.40	27.00	25.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	47.00	38.00	28.80	27.00	25.50
เฉลี่ย	45.40	38.00	28.80	26.80	25.48
40(s64)	32.00	26.00	21.60	20.50	20.50
	32.00	28.00	20.50	20.50	20.50
	32.00	28.00	20.40	21.00	21.00
	32.00	28.00	21.60	21.50	21.00
	30.00	26.00	21.60	21.00	21.00
เฉลี่ย	31.60	27.20	21.14	20.90	20.80

ตาราง ก.9 Soluble Solid ของน้ำกะทิ

Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา10นาที				
ก่อน vacuum		หลัง vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	12.10	ครั้งที่ 1	13.10	12.10
ครั้งที่ 2	12.00	ครั้งที่ 2	13.10	12.10
ครั้งที่ 3	12.10	ครั้งที่ 3	13.20	12.20
เฉลี่ย	12.07	เฉลี่ย	13.13	12.13
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา120นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	12.40	ครั้งที่ 1	25.20	13.00
ครั้งที่ 2	12.50	ครั้งที่ 2	25.50	13.10
ครั้งที่ 3	12.60	ครั้งที่ 3	25.30	13.10
เฉลี่ย	12.50	เฉลี่ย	25.33	13.07
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา130นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.20	ครั้งที่ 1	48.20	13.60
ครั้งที่ 2	13.30	ครั้งที่ 2	48.50	13.40
ครั้งที่ 3	13.20	ครั้งที่ 3	48.60	13.30
เฉลี่ย	13.23	เฉลี่ย	48.43	13.43
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา140นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.60	ครั้งที่ 1	<50	13.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2	13.50	ครั้งที่ 2	<50	13.13
ครั้งที่ 3	13.70	ครั้งที่ 3	<50	13.13
เฉลี่ย	13.60	เฉลี่ย	<50	13.13

ตาราง ค.10 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 10 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	85.46	0.31	6.47		34.83
ก่อน Vacuum 2	85.46	0.28	6.57	0.10	34.35
ก่อน Vacuum 3	85.39	0.40	6.47	0.11	34.68
เฉลี่ย	85.44	0.33	6.50	0.11	34.62
หลัง Vacuum1	84.37	0.53	7.28	1.38	28.29
หลัง Vacuum2	84.38	0.49	7.38	1.43	27.80
หลัง Vacuum3	84.37	0.44	7.51	1.51	27.15
เฉลี่ย	84.37	0.49	7.39	1.44	27.75
เติมน้ำ1	84.23	0.45	7.17	1.42	28.52
เติมน้ำ2	84.38	0.26	7.51	1.51	27.12
เติมน้ำ3	84.26	0.32	7.39	1.51	27.48
เฉลี่ย	84.29	0.34	7.36	1.48	27.71

ตาราง ค.11 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 20 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	85.75	0.63	6.61		34.83
ก่อน Vacuum 2	85.74	0.63	6.68	0.07	34.45
ก่อน Vacuum 3	85.76	0.63	6.81	0.19	33.89
เฉลี่ย	85.75	0.63	6.70	0.13	34.39
หลัง Vacuum1	81.42	0.94	10.11	5.58	7.13
หลัง Vacuum2	81.42	0.89	10.16	5.60	6.85
หลัง Vacuum3	81.56	0.84	10.39	5.65	5.98
เฉลี่ย	81.47	0.89	10.22	5.61	6.65
เติมน้ำ1	82.55	0.71	10.08	4.72	9.93
เติมน้ำ2	82.41	0.84	9.85	4.66	10.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมน้ำ3	82.46	0.81	9.95	4.69	10.38
เฉลี่ย	82.47	0.79	9.96	4.69	10.36

ตาราง ค.12 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 30 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	86.40	0.51	6.44		37.18
ก่อน Vacuum 2	86.46	0.47	6.58	0.16	36.58
ก่อน Vacuum 3	86.56	0.38	6.79	0.41	35.81
เฉลี่ย	86.47	0.45	6.60	0.29	36.52
หลัง Vacuum1	66.87	1.62	16.72	22.10	-64.26
หลัง Vacuum2	66.85	1.65	16.67	22.09	-63.97
หลัง Vacuum3	66.88	1.64	16.75	22.10	-64.37
เฉลี่ย	66.87	1.64	16.71	22.10	-64.20
เติมน้ำ1	73.30	1.32	15.20	15.78	-39.58
เติมน้ำ2	73.31	1.34	15.22	15.78	-39.65
เติมน้ำ3	73.38	1.28	15.37	15.81	-40.33
เฉลี่ย	73.33	1.31	15.26	15.79	-39.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.13 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 40 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	85.87	0.38	6.63		35.01
ก่อน Vacuum 2	85.89	0.31	6.74	0.13	34.46
ก่อน Vacuum 3	85.86	0.33	6.77	0.15	34.27
เฉลี่ย	85.87	0.34	6.71	0.14	34.58
หลัง Vacuum1	70.02	1.16	13.03	17.11	-35.12
หลัง Vacuum2	69.91	1.26	12.85	17.15	-34.32
หลัง Vacuum3	69.83	1.33	12.70	17.18	-33.59
เฉลี่ย	69.92	1.25	12.86	17.15	-34.34
เติมน้ำ1	74.36	1.12	11.21	12.42	-14.98
เติมน้ำ2	74.56	0.87	11.69	12.40	-17.22
เติมน้ำ3	74.50	0.92	11.59	12.42	-16.77
เฉลี่ย	74.47	0.97	11.50	12.41	-16.32

ตาราง ค.14 การระเหยของน้ำกะทิ

เวลา (นาที)	น.น.ก่อน vac (kg)	น.น.หลัง vac (kg)	น.น.ระเหย (kg)
10	18.57	18.36	10.50
20	18.58	17.98	30.00
30	18.57	17.67	45.00
40	18.58	17.67	46.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

น้ำกะทิที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที

การทดลองครั้งที่ 1

ตาราง ง.1 ความหนืดของน้ำกะทิ Viscosity

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา (นาที)					
10(s61)	20	30	50	60	100
	33.60	28.20	19.90	19.50	17.58
	33.90	28.40	20.20	19.60	17.70
	33.60	28.60	20.40	19.60	17.64
	33.90	28.40	20.60	19.50	17.82
	33.60	28.40	20.30	19.60	17.76
เฉลี่ย	33.72	28.40	20.28	19.56	17.70
20 (s62)	57.00	47.00	33.60	32.00	27.50
	57.00	46.00	33.00	31.50	27.30
	57.00	47.00	34.20	32.00	28.00
	57.00	46.00	33.60	31.50	27.50
	57.00	47.00	33.20	31.50	28.20
เฉลี่ย	57.00	46.60	33.52	31.70	27.70
30(s62)	57.00	47.00	33.60	32.00	28.50
	57.00	46.00	33.00	31.50	27.30
	57.00	47.00	34.20	32.00	27.90
	57.00	45.00	33.60	31.50	27.60
	57.00	47.00	33.20	31.50	27.30
เฉลี่ย	57.00	46.40	33.52	31.70	27.72
40(s62)	56.00	45.00	32.00	31.50	27.50
	55.00	48.00	32.10	32.00	27.50
	54.00	49.00	33.40	31.50	27.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	56.00	50.00	34.50	32.30	27.90
	53.00	51.00	34.00	31.00	28.00
เฉลี่ย	54.80	48.60	33.20	31.66	27.74
หลัง Vacuum ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา (นาที)	20	30	50	60	100
10(s61)	75.00	56.40	43.20	39.40	34.20
	75.30	56.60	43.00	39.70	33.90
	75.30	56.40	43.20	39.20	33.70
	75.00	56.60	43.80	39.60	33.50
	75.30	56.60	43.20	39.30	33.40
เฉลี่ย	75.18	56.52	43.28	39.44	33.74
20(s62)	180.00	141.00	106.80	98.50	80.20
	179.00	138.00	108.80	97.00	80.10
	177.00	140.00	106.80	97.50	79.80
	179.00	138.00	106.20	97.50	80.50
	177.00	139.00	106.80	97.50	80.50
เฉลี่ย	178.40	139.20	107.08	97.60	80.22
30(s64)	275.00	273.00	223.80	207.50	172.50
	273.00	274.00	223.20	206.50	172.50
	275.00	273.00	225.40	207.00	172.80
	278.00	273.00	224.40	207.50	172.80
	278.00	273.00	223.80	206.50	172.50
เฉลี่ย	275.80	273.20	224.12	207.00	172.62
40(s64)	5430.00	4760.00	3650.00	3320.00	2790.00
	5770.00	4740.00	3620.00	3300.00	2760.00
	5430.00	4740.00	3610.00	3290.00	2742.00
	5000.00	4720.00	3600.00	3310.00	2742.00
	5400.00	4740.00	3620.00	3300.00	2772.00
เฉลี่ย	5406.00	4740.00	3620.00	3304.00	2761.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดของน้ำกะทิ Viscosity เมื่อเติมน้ำ

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา(นาที)	20	30	50	60	100
10(s61)	62.10	52.20	40.70	37.50	27.30
	62.70	52.40	40.90	37.70	27.30
	62.70	52.00	40.70	37.60	27.30
	63.00	52.40	40.60	37.50	27.20
	62.70	52.20	40.40	37.40	27.30
เฉลี่ย	62.64	52.24	40.66	37.54	27.28
20(s62)	177.00	137.00	108.20	96.50	78.60
	177.00	137.00	108.10	97.00	78.90
	176.00	138.00	107.80	97.00	79.80
	177.00	138.00	106.50	98.00	80.10
	176.00	136.00	107.50	96.00	79.50
เฉลี่ย	176.60	137.20	107.62	96.90	79.38
30(s62)	279.00	233.00	189.40	172.00	144.50
	278.00	234.00	189.00	171.50	144.30
	276.00	235.00	189.00	171.00	143.50
	278.00	234.00	188.40	171.00	144.00
	278.00	233.00	187.40	170.50	144.00
เฉลี่ย	277.80	233.80	188.64	171.20	144.06
40(s64)	2820.00	2320.00	1930.00	1770.00	1464.00
	2820.00	2300.00	1960.00	1780.00	1462.00
	2820.00	2320.00	1930.00	1790.00	1458.00
	2820.00	2340.00	1960.00	1760.00	1448.00
	2820.00	2320.00	1930.00	1770.00	1440.00
เฉลี่ย	2820.00	2320.00	1942.00	1774.00	1454.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.2 Soluble Solid ของน้ำกะทิ

Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา10นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.40	ครั้งที่ 1	15.20	14.90
ครั้งที่ 2	13.40	ครั้งที่ 2	15.10	15.00
ครั้งที่ 3	13.50	ครั้งที่ 3	15.20	15.00
เฉลี่ย	13.43	เฉลี่ย	15.17	14.97
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา20นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.20	ครั้งที่ 1	34.00	33.50
ครั้งที่ 2	13.40	ครั้งที่ 2	34.20	33.20
ครั้งที่ 3	13.40	ครั้งที่ 3	34.30	33.40
เฉลี่ย	13.33	เฉลี่ย	34.17	33.37
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา30นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.30	ครั้งที่ 1	36.10	32.40
ครั้งที่ 2	13.40	ครั้งที่ 2	36.20	32.50
ครั้งที่ 3	13.50	ครั้งที่ 3	36.00	32.40
เฉลี่ย	13.40	เฉลี่ย	36.10	32.43
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา40นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.40	ครั้งที่ 1	<53	<53
ครั้งที่ 2	13.50	ครั้งที่ 2	<53	<53
ครั้งที่ 3	13.50	ครั้งที่ 3	<53	<53
เฉลี่ย	13.47	เฉลี่ย	<53	<53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.3 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 10 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	84.30	0.32	6.58		31.63
ก่อน Vacuum 2	84.30	0.30	6.69	0.12	31.05
ก่อน Vacuum 3	84.23	0.34	6.67	0.12	31.03
เฉลี่ย	84.28	0.32	6.65	0.12	31.24
หลัง Vacuum1	83.31	0.47	7.90	1.65	22.75
หลัง Vacuum2	83.25	0.45	7.92	1.71	22.48
หลัง Vacuum3	83.40	0.32	8.25	1.90	21.16
เฉลี่ย	83.32	0.41	8.02	1.75	22.13
เติมน้ำ1	83.51	0.44	7.74	1.41	24.00
เติมน้ำ2	83.67	0.32	8.11	1.65	22.51
เติมน้ำ3	83.47	0.40	7.88	1.54	23.22
เฉลี่ย	83.55	0.39	7.91	1.53	23.24

ตาราง ง.4 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 20 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	83.68	0.53	6.29		31.72
ก่อน Vacuum 2	84.04	0.23	7.05	0.89	28.67
ก่อน Vacuum 3	84.08	0.10	7.18	1.06	28.10
เฉลี่ย	83.93	0.29	6.84	0.98	29.50
หลัง Vacuum1	77.77	0.78	10.41	7.21	-2.92
หลัง Vacuum2	77.60	0.91	10.16	7.22	-1.98
หลัง Vacuum3	77.71	0.83	10.40	7.26	-3.03
เฉลี่ย	77.69	0.84	10.32	7.23	-2.64
เติมน้ำ1	78.50	0.75	9.95	6.35	1.13
เติมน้ำ2	78.64	0.64	10.24	6.41	-0.08
เติมน้ำ3	78.52	0.68	10.06	6.39	0.62
เฉลี่ย	78.55	0.69	10.08	6.38	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.5 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 30 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	86.68	0.31	6.68		36.60
ก่อน Vacuum 2	86.53	0.31	6.66	0.15	36.36
ก่อน Vacuum 3	86.58	0.20	6.83	0.20	35.66
เฉลี่ย	86.60	0.27	6.72	0.18	36.21
หลัง Vacuum1	75.54	1.20	13.09	12.88	-22.56
หลัง Vacuum2	75.46	1.27	13.07	12.94	-22.60
หลัง Vacuum3	75.53	1.25	13.22	12.96	-23.26
เฉลี่ย	75.51	1.24	13.13	12.93	-22.81
เติมน้ำ1	77.38	1.92	14.93	12.53	-27.78
เติมน้ำ2	77.39	1.94	14.93	12.53	-27.74
เติมน้ำ3	77.49	1.87	15.08	12.54	-28.32
เฉลี่ย	77.42	1.91	14.98	12.53	-27.95

ตาราง ง.6 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 40 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	86.11	0.34	6.83		34.55
ก่อน Vacuum 2	85.96	0.39	6.70	0.21	34.87
ก่อน Vacuum 3	86.06	0.31	6.99	0.17	33.67
เฉลี่ย	86.04	0.35	6.84	0.19	34.36
หลัง Vacuum1	43.98	7.83	27.33	47.45	-198.94
หลัง Vacuum2	44.05	7.84	27.41	47.43	-199.25
หลัง Vacuum3	43.98	7.92	27.41	47.50	-199.35
เฉลี่ย	44.00	7.86	27.38	47.46	-199.18
เติมน้ำ1	58.67	7.81	28.66	35.85	-156.46
เติมน้ำ2	58.66	7.82	28.72	35.90	-156.86
เติมน้ำ3	58.72	7.79	28.84	35.92	-157.36
เฉลี่ย	58.68	7.81	28.74	35.89	-156.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.7 การระเหยของน้ำกะทิ

เวลา(นาที)	น.น.ก่อน vac (kg)	น.น.หลัง vac (kg)	น.น.ระเหย(kg)
10	18.30	18.00	0.25
20	18.50	17.90	0.57
30	18.50	17.70	0.77
40	18.50	17.60	0.90

การทดลองครั้งที่ 2

ตาราง ง.8 ความหนืดของน้ำกะทิ Viscosity

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum s61 ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา(นาที)					
10 (s61)	20	30	50	60	100
	24.00	17.80	15.80	14.70	12.90
	24.30	18.20	15.70	14.60	13.00
	24.30	18.00	15.70	14.60	13.10
	24.00	18.40	15.80	14.50	13.20
	24.30	18.40	15.70	14.60	13.20
เฉลี่ย	24.18	18.16	15.74	14.60	13.08
20 (s62)	39.00	32.00	25.80	25.00	23.70
	39.00	33.00	24.60	24.50	24.00
	41.00	34.00	25.20	25.00	23.70
	39.00	35.00	25.80	24.50	23.70
	41.00	34.00	25.40	24.50	23.70
เฉลี่ย	39.80	33.60	25.36	24.70	23.76
30(s62)	38.00	32.00	25.60	22.00	21.60
	38.00	32.00	26.80	23.00	22.50
	36.00	32.00	25.20	22.50	21.60
	38.00	32.00	25.20	22.30	22.00
	36.00	31.00	25.80	23.50	21.60
เฉลี่ย	37.20	31.80	25.72	22.66	21.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40(s62)	50.00	43.00	33.00	30.50	27.60
	51.00	41.00	33.60	29.50	28.50
	50.00	42.00	33.60	29.50	27.50
	51.00	41.00	34.00	30.50	28.50
	50.00	41.00	33.60	30.50	27.50
เฉลี่ย	50.40	41.60	33.56	30.10	27.92

หลัง Vacuum s61 ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา(นาที)	20	30	50	60	100
10(s61)	52.80	27.80	21.50	18.20	16.38
	51.90	27.60	21.70	18.20	16.50
	51.30	27.60	21.20	18.30	16.32
	50.70	28.00	21.10	18.40	16.26
	50.40	27.80	21.20	18.10	16.14
เฉลี่ย	51.42	27.76	21.34	18.24	16.32
20(s62)	159.00	119.00	91.80	79.50	64.50
	158.00	118.00	91.80	80.00	64.20
	156.00	119.00	90.00	80.50	63.30
	158.00	116.00	91.80	79.50	63.30
	156.00	117.00	91.20	78.50	63.00
เฉลี่ย	157.40	117.80	91.32	79.60	63.66
30(s64)	287.00	235.00	192.00	174.50	138.60
	285.00	234.00	190.80	174.50	138.00
	285.00	233.00	191.60	172.50	137.40
	284.00	233.00	190.20	173.00	137.10
	282.00	234.00	190.20	173.00	137.40
เฉลี่ย	284.60	233.80	190.96	173.50	137.70
40(s64)	4800.00	4020.00	3250.00	3010.00	2430.00
	4830.00	4020.00	3250.00	2990.00	2424.00
	4860.00	4000.00	3260.00	3000.00	2418.00
	4830.00	4020.00	3240.00	2970.00	2430.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	4800.00	4020.00	3220.00	2980.00	2430.00
เฉลี่ย	4824.00	4016.00	3244.00	2990.00	2426.40

ความหนืดของน้ำกะทิ (Viscosity) เมื่อเติมน้ำ

Viscosity (cp)					
ก่อน Vacuum s61 ที่ความเร็ว (rpm)					
เวลา(นาที)	20	30	50	60	100
10(s61)	23.10	19.60	13.40	13.40	13.00
	22.80	19.60	13.60	13.60	13.10
	22.30	19.40	13.70	13.40	13.40
	23.40	19.80	13.90	13.50	13.41
	23.10	19.60	13.30	13.60	13.41
เฉลี่ย	22.94	19.60	13.58	13.50	13.26
20(s62)	51.00	40.00	28.20	27.50	21.90
	51.00	41.00	28.20	28.00	21.60
	50.00	40.00	27.50	28.00	22.50
	51.00	41.00	29.40	27.50	22.20
	50.00	39.00	28.20	27.00	21.30
เฉลี่ย	50.60	40.20	28.30	27.60	21.90
30(s62)	21.00	17.00	18.00	17.50	17.00
	23.00	19.00	18.00	17.50	17.50
	21.00	20.00	18.00	16.50	16.50
	23.00	18.00	16.20	16.50	17.00
	21.00	20.00	18.60	16.50	16.50
เฉลี่ย	21.80	18.80	17.76	16.90	16.90
40(s64)	45.00	38.00	28.90	26.50	25.50
	46.00	39.00	28.50	26.50	25.50
	45.00	38.00	28.80	28.20	25.80
	47.00	37.00	28.50	27.50	25.80
	45.00	38.00	28.80	27.50	25.50
เฉลี่ย	45.60	38.00	28.70	27.24	25.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.9 Soluble Solid ของน้ำกะทิ

Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา10นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	12.30	ครั้งที่ 1	12.60	11.20
ครั้งที่ 2	12.20	ครั้งที่ 2	12.40	11.40
ครั้งที่ 3	12.30	ครั้งที่ 3	12.50	11.50
เฉลี่ย	12.27	เฉลี่ย	12.50	11.37
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา20นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.20	ครั้งที่ 1	23.90	13.80
ครั้งที่ 2	13.30	ครั้งที่ 2	23.70	14.00
ครั้งที่ 3	13.20	ครั้งที่ 3	23.90	13.60
เฉลี่ย	13.23	เฉลี่ย	23.83	13.80
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา30นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	12.70	ครั้งที่ 1	30.80	12.80
ครั้งที่ 2	12.90	ครั้งที่ 2	29.90	13.20
ครั้งที่ 3	12.90	ครั้งที่ 3	30.50	13.10
เฉลี่ย	12.83	เฉลี่ย	30.40	13.03
Soluble Solid (%Brix) ที่เวลา40นาที				
ก่อน Vacuum		หลัง Vacuum		เติมน้ำ
ครั้งที่ 1	13.20	ครั้งที่ 1	50	13.20
ครั้งที่ 2	13.10	ครั้งที่ 2	50	13.20
ครั้งที่ 3	13.20	ครั้งที่ 3	50	13.10
เฉลี่ย	13.17	เฉลี่ย	50	13.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.10 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 10 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	84.30	0.32	6.58		31.63
ก่อน Vacuum 2	84.30	0.30	6.69	0.12	31.05
ก่อน Vacuum 3	84.23	0.34	6.67	0.12	31.03
เฉลี่ย	84.28	0.32	6.65	0.12	31.24
หลัง Vacuum1	83.31	0.47	7.90	1.65	22.75
หลัง Vacuum2	83.25	0.45	7.92	1.71	22.48
หลัง Vacuum3	83.40	0.32	8.25	1.90	21.16
เฉลี่ย	83.32	0.41	8.02	1.75	22.13
เติมน้ำ1	83.51	0.44	7.74	1.41	24.00
เติมน้ำ2	83.67	0.32	8.11	1.65	22.51
เติมน้ำ3	83.47	0.40	7.88	1.54	23.22
เฉลี่ย	83.55	0.39	7.91	1.53	23.24

ตาราง ง.11 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 20 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	83.68	0.53	6.29		31.72
ก่อน Vacuum 2	84.04	0.23	7.05	0.89	28.67
ก่อน Vacuum 3	84.08	0.10	7.18	1.06	28.10
เฉลี่ย	83.93	0.29	6.84	0.98	29.50
หลัง Vacuum1	77.77	0.78	10.41	7.21	-2.92
หลัง Vacuum2	77.60	0.91	10.16	7.22	-1.98
หลัง Vacuum3	77.71	0.83	10.40	7.26	-3.03
เฉลี่ย	77.69	0.84	10.32	7.23	-2.64
เติมน้ำ1	78.50	0.75	9.95	6.35	1.13
เติมน้ำ2	78.64	0.64	10.24	6.41	-0.08
เติมน้ำ3	78.52	0.68	10.06	6.39	0.62
เฉลี่ย	78.55	0.69	10.08	6.38	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.12 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 30 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	86.68	0.31	6.68		36.60
ก่อน Vacuum 2	86.53	0.31	6.66	0.15	36.36
ก่อน Vacuum 3	86.58	0.20	6.83	0.20	35.66
เฉลี่ย	86.60	0.27	6.72	0.18	36.21
หลัง Vacuum1	75.54	1.20	13.09	12.88	-22.56
หลัง Vacuum2	75.46	1.27	13.07	12.94	-22.60
หลัง Vacuum3	75.53	1.25	13.22	12.96	-23.26
เฉลี่ย	75.51	1.24	13.13	12.93	-22.81
เติมน้ำ1	77.38	1.92	14.93	12.53	-27.78
เติมน้ำ2	77.39	1.94	14.93	12.53	-27.74
เติมน้ำ3	77.49	1.87	15.08	12.54	-28.32
เฉลี่ย	77.42	1.91	14.98	12.53	-27.95

ตาราง ง.13 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิที่เวลา 40 นาที

ID	L*	a*	b*	DE*	WI CIE
ก่อน Vacuum 1	86.11	0.34	6.83		34.55
ก่อน Vacuum 2	85.96	0.39	6.70	0.21	34.87
ก่อน Vacuum 3	86.06	0.31	6.99	0.17	33.67
เฉลี่ย	86.04	0.35	6.84	0.19	34.36
หลัง Vacuum1	43.98	7.83	27.33	47.45	-198.94
หลัง Vacuum2	44.05	7.84	27.41	47.43	-199.25
หลัง Vacuum3	43.98	7.92	27.41	47.50	-199.35
เฉลี่ย	44.00	7.86	27.38	47.46	-199.18
เติมน้ำ1	58.67	7.81	28.66	35.85	-156.46
เติมน้ำ2	58.66	7.82	28.72	35.90	-156.86
เติมน้ำ3	58.72	7.79	28.84	35.92	-157.36
เฉลี่ย	58.68	7.81	28.74	35.89	-156.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.14 การระเหยของน้ำกะทิ

เวลา(นาที)	น.น.ก่อน vac (kg)	น.น.หลัง vac (kg)	น.น.ระเหย(kg)
10	18.56	18.43	6.50
20	18.58	18.04	27.00
30	18.57	17.81	38.00
40	18.58	17.60	49.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำ

ตารางไอน้ำ - ไอน้ำอิ่มตัว				
อุณหภูมิ	ความดัน	เอนทัลปี	ความร้อนแฝง	ปริมาตรจำเพาะ
		(Sat. vap.)		
(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(m ³ /kg)
1	0.66	2503	2499	193
2	0.71	2505	2497	180
4	0.81	2509	2492	157
6	0.93	2512	2487	138
8	1.07	2516	2483	121
10	1.23	2520	2478	106
12	1.4	2523	2473	93.8
14	1.6	2527	2468	82.8
16	1.82	2531	2464	73.3
18	2.06	2534	2459	65
20	2.34	2538	2454	57.8
22	2.65	2542	2449	51.4
24	2.99	2545	2445	45.9
26	3.36	2549	2440	40
28	3.78	2553	2435	36.6
30	4.25	2556	2431	32.9
40	7.38	2574	2407	19.5
50	12.3	2592	2383	12
60	19.9	2610	2359	7.67
70	31.2	2627	2334	5.04
80	47.4	2644	2309	3.41
90	70.1	2660	2283	2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100	101.35	2676	2257	1.673
105	120.8	2684	2244	1.42
110	143.3	2692	2230	1.21
115	169.1	2699	2217	1.04
120	198.5	2706	2203	0.892
125	232.1	2714	2189	0.771
130	270.1	2721	2174	0.669
135	313	2727	2160	0.582
140	361.3	2734	2145	0.509
150	475.8	2747	2114	0.393
160	617.8	2758	2083	0.307
180	1002	2778	2015	0.194
200	1554	2793	1941	0.127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

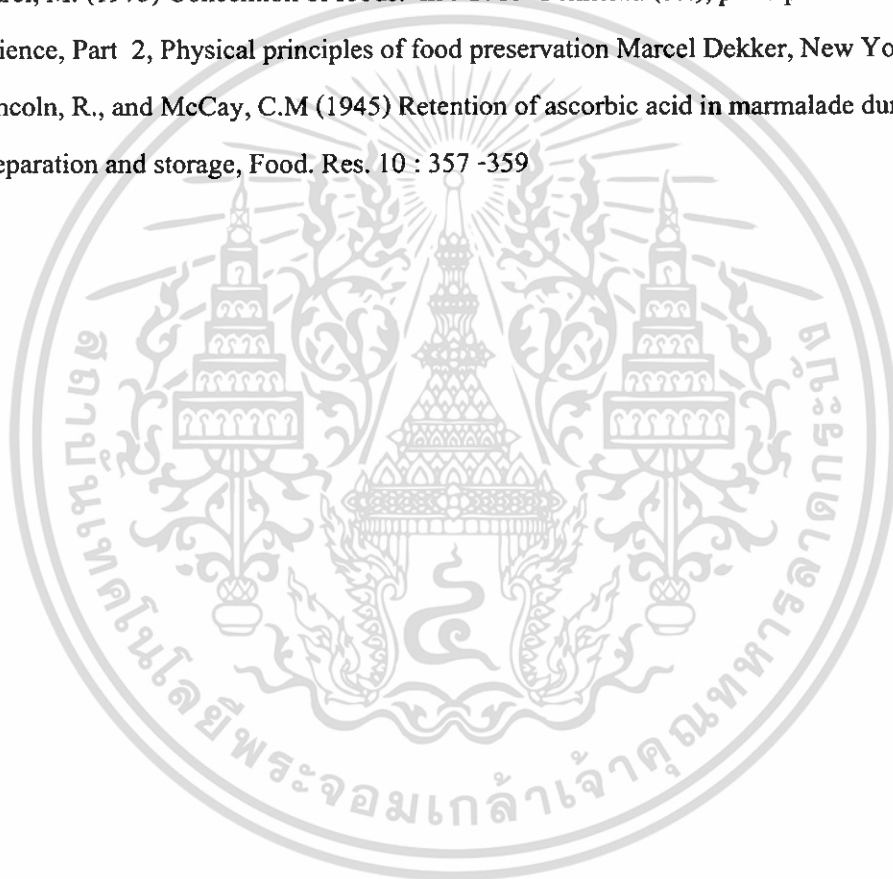
1. กรพกา นรรคนิต 2539 “ การผลิตน้ำกะทิที่ปรับปรุงไขมันบางส่วนด้วยน้ำมันพืชบรรจุกระป๋อง” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. Clememte, A. and M. Villacorta. 1933. Some Collodial properties of coconut milk cidted by D. M. Birosel A. L. Gonzales and M. P. Santos. The nature and properties of the emulsifier system of oilglobules in coconut milk and cream. Phil.J.Sci 92(2) 1-15.
3. Birosel, D.M., A.L. Gonzales and M.P. Santos. 1963. The nature and properties of the emulsifier system of oil globules in coconut milk and cream. Phil J Sci 92 (1) : 1-15
4. จิตติวัฒน์ สิทธิโชค. 2547. “ การศึกษาการกวนกะทิด้วยความร้อนเพื่อให้ได้น้ำกะทิเข้มข้น. ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. Cancel, L. E , J. M. River-ortiz and M.Santos-Sanchez. 1971> Effect of the amount of water on the extraction of coconut milk at two temperature range. J. Agr. Univ. P.R. 55 : 167 : 173
6. Buccat, E. F. A. L. Gonzalez and G.C. Manaiac. 1973. Production of Proteins and other food Products from coconut as Food Philippine Coconut Research and Development Foundation, Inc., Quezzon City, Philippines.239p
7. ขวัญหญิง เวียงนาค. 2546. “ ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณภาพทุเรียนอบแห้งแบบระเหิด ” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
8. จารวัฒน์ จรรยาวิวัฒน์และคณะ. 2545. “ ผลของความร้อนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อทุเรียนบด. ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. นิรมล ปัญญบุษยกุล. 2539. การตรวจคุณภาพของทุเรียนด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
10. สุดารัตน์ สุดาพันธ์ 2536. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนี และพันธุ์หมอนทองภายหลังการเก็บเกี่ยว.
11. ฝ่ายข้อมูลวารสารเคหะการเกษตร. 2538. การทำสวนทุเรียน-เงาะและเทคนิคต่างๆเกี่ยวกับทุเรียน-เงาะ . กรุงเทพฯ: เจริญรัฐการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. สมทรง ปวีณการณ. 2531. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง การพัฒนาทุเรียนกวนเพื่อการส่งออกและการแช่แข็งทุเรียนสด.
13. สมทรง ปวีณการณ. 2530. การยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนสดโดยการแช่แข็ง. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
14. อรนุช แสงเทียนชัย. 2545. “ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำสับประรดเนื่องจากความร้อน ” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการอาหาร,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
15. กรมวิชาการเกษตร. 2006. สับประรด. [Online].Availble:[http://www. Doa. go. th/pldata/pine/1 stat/st 01. html](http://www.Doa.go.th/pldata/pine/1stat/st01.html)
16. วิไล รัตตาทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.พิมพ์ครั้งที่1 กรุงเทพฯ : บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด
17. Mannheim, C. H., and Passy, n. (1974) In : A . Spicer (ed.), Advances in preconcentration and dehydration of foods. Applied Science, London, pp. 151-194
18. Brennan,J. G. Butters, J.K, Cowell, N. D., and Lilly, A. E. V. 1976 Food engineeringoperation, 2nd edn. Applied sciene.London
19. Anon. 1981 Special feature : evaporation plant. Food Process Inc., February 25-29 Brenan, J. G., Butters, J. R, Cowell, N.D., and Lilly, A. E. V (1976) Food engineering operation, 2nd edn. Applied science, London.
20. Earle, R. L. 1983 Unit operation in food Processing, 2nd edn. Pergamon Press, Oxford.
21. Lewicki, P. P., and kowalczyk, R.(1980) In : P.Linko, Y.Malkki, J.olkku and J. Larinkari (eds.), engineering Vol.1, Food processing systems. Applied Science, London, PP. 501-505
22. Ampawan Tansakul And Pawinee Chaisawang. 2005. Thermophysical properties of coconut milk . King mongkut’s University of Technology Thonburi. Bangkok
23. ปัญญาพนธ์ นามวงศ์และคณะ 2548 “ เครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
24. ประสงค์ทุ่งเกล้า 2531. “ การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์และกัมในการรักษาความคงตัวของน้ำกะทิบรรจุกระป๋อง ” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
25. ชัยวิทย์ ศิวาวัชฌาโนย. 2526. ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสุญญากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. วิชัย แดงจิตเพชร. 2537. “การออกแบบและสร้างเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลอง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
27. เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด 2540 “ การผลิตและการศึกษาอายุการเก็บน้ำกะทิแปลงไขมันบรรจุกระป๋อง ” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
28. Dolendo, A. L. P. R. Briones, E.A. Banzon and M. C. Librea. 1967 Effect of the maturity of coconut on the composition and texture of coconut flour. *Phil.J. Sci* 96(4) : 353-361
29. Karel, M. (1975) Concentration of foods. In : O. R> Fennema (ed.), principles of food Science, Part 2, Physical principles of food preservation Marcel Dekker, New York.
30. Lincoln, R., and McCay, C.M (1945) Retention of ascorbic acid in marmalade during preparation and storage, *Food. Res.* 10 : 357 -359



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้