

รองสมุคคณะเทคโนโลยีการเกษตร
จากบัณฑิต โนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง



โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

Faculty of Agricultural Industry

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

King Monkut's Institute of Technology

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Ladkrabang

กรุงเทพฯ 10520

Bangkok 10520 Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

นำส้มเขียวหวานเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง

Frozen Concentration of Tangerine juice

จัดทำโดย

- | | | |
|----------------|--------------|-----------------------|
| 1. นาย ประณิต | พงษ์วิจิตร | รหัสนักศึกษา 45040845 |
| 2. นาย สุทัศน์ | รัตนภากร | รหัสนักศึกษา 45040863 |
| 3. นาย เอกพล | เลิศธนากรกุล | รหัสนักศึกษา 45040869 |

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(อ. ธิรเดช ดำรงโภวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(อ. พัทธกร เจียรตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง

Frozen Concentration of Tangerine juice



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....

วันที่ออกรับ.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต
 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายประณิส พงษ์วิจิตร, นายสุทัศน์ รัตนาภากร และ นายเอกพล เดิศจนารกุล 2548:

น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง (Frozen Concentration of Tangerine Juice).

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ. ธิรเดช คำรง โกวรรณ และ อ. พัสกร เขียวตระกูล

บทคัดย่อ

น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น โดยกระบวนการแช่แข็ง ทำให้เข้มข้น โดยการแยกน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นออกจากผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้น โดยใช้อุณหภูมิต่ำจะไม่ทำลายคุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น และรสชาติของน้ำส้มเขียวหวาน กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเกิดผลึกน้ำแข็ง โดยน้ำส้มเขียวหวานจะถูกกวนให้อยู่ในสภาพขึ้นเหน็ด ประกอบด้วยส่วนผสมของน้ำส้มเขียวหวานกับผลึกน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ -25°C และขั้นตอนของการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น ในการศึกษานี้ขั้นตอนการเกิดผลึกน้ำแข็งใช้ความเร็วในการกวนผสมเท่ากับ 90, 120 และ 150 rpm ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -25°C สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน $7.79 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ พบว่าที่ความเร็วรอบ 120 rpm จะได้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำส้มเขียวหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ปริมาณมากที่สุด และใช้เวลาดันที่สั้นที่สุด จากนั้นนำมาแยกผลึกน้ำแข็งโดยใช้เครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm แยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำส้มเขียวหวาน ทำการวัดความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานพบว่า การทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น โดยกระบวนการแช่แข็งสามารถเพิ่มความหนืดได้ประมาณ 15.1% โดยมีสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นประมาณ 37.28%

รศ.ดร. ธิรเดช คำรง โกวรรณ

เอกพล เดิศจนารกุล

ลายมือชื่อนักศึกษา

อ. พัสกร เขียวตระกูล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

27/03/2549

วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเรื่อง การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำส้มเขียวหวานโดยกระบวนการแช่แข็ง สามารถสำเร็จลงได้ เนื่องมาจากการได้รับความกรุณาจาก อ. ธีรเดช คำรงโกวรรณ และ อ. พัสกร เขียวตระกูล ซึ่งให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษแก่ทางคณะผู้จัดทำ และสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำ ด้านการดำเนินงาน ข้อคิดเห็น แนวทางแก้ไขปัญหา ตลอดจนดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างมาก เพื่อให้รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่คอยแนะนำ และช่วยให้ปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ทางคณะผู้จัดทำรายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้ กราบขอบพระคุณบุพการีที่เป็นกำลังใจ เป็นกำลังทรัพย์ให้ทางคณะผู้จัดทำประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด และที่ขาดไม่ได้คือ คุณปวีณา แสงหิรัญวัฒนา คุณนุศรา เจริญประดิษฐ์ คุณสุภาพร ศิริงาม และคุณศิมันส นิภูสกาญจน์ ที่คอยให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกมาโดยตลอด

นายประณิส พงษ์วิจิตร
นายสุทัศน์ รัตนาภากร
นายเอกพล เกียรติกรกุล

27 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฎ
รายการสัญลักษณ์	ณ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ด
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
2. ทฤษฎี	2
2.1 สัมเขี้ยวหวาน	2
2.2 กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำสัมเขี้ยวหวาน โดยกระบวนการแช่แข็ง	6
3. วิธีการดำเนินการ	21
3.1 วัตถุประสงค์	21
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	21
3.3 วิธีการทดลองการเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน	22
3.4 วิธีการทดลองการทำน้ำสัมเขี้ยวหวานเข้มข้น โดยกระบวนการแช่แข็ง	23
4. ผลการทดลอง	25
4.1 ผลการทดลองการเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน	25
4.2 ผลการทดลองการทำน้ำสัมเขี้ยวหวานเข้มข้น โดยกระบวนการแช่แข็ง	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุปผลการทดลอง	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	
ก อุปกรณ์การทดลอง	44
ข ผลการทดลองกระบวนการแช่แข็งตัวอย่างมาตรฐาน	51
ค การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำส้มเจียวโดยกระบวนการแช่แข็ง	86
ง ผลการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง	116
จ กระบวนการแช่เยือกแข็ง	125
ประวัติผู้วิจัย	128



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
ข.1	52
ข.2	53
ข.3	54
ข.4	55
ข.5	56
ข.6	57
ข.7	58
ข.8	59
ข.9	60
ข.10	61
ข.11	62
ข.12	63
ข.13	64
ข.14	65
ข.15	66
ข.16	79
ข.17	79
ข.18	79
ข.19	80
ข.20	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่

หน้า

ข.21 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 55 นาที	80
ข.22 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 60 นาที	81
ข.23 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 65 นาที	81
ข.24 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 70 นาที	81
ข.25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 75 นาที	82
ข.26 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 80 นาที	82
ข.27 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 85 นาที	82
ข.28 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส	83
ข.29 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส	83
ข.30 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของความสูงของน้ำเชื่อม	83
ข.31 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำเชื่อม	84
ข.32 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของความสูงของน้ำส้มเขียวหวาน	84
ข.33 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำส้มเขียวหวาน	84
ข.34 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน	85
ข.35 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน	85
ค.1 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 90 rpm ครั้งที่ 1	87
ค.2 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 90 rpm ครั้งที่ 2	88
ค.3 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 90 rpm ครั้งที่ 3	89
ค.4 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 120 rpm ครั้งที่ 1	90
ค.5 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 120 rpm ครั้งที่ 2	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่

หน้า

ค.6 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 120 rpm ครั้งที่ 3	92
ค.7 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 150 rpm ครั้งที่ 1	93
ค.8 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 150 rpm ครั้งที่ 2	94
ค.9 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 150 rpm ครั้งที่ 3	95
ค.10 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วรอบที่ 90, 120 และ 150 rpm ของน้ำส้มเขียวหวาน ร่วมกับ เวลา ที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12%	96
ค.11 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) ครั้งที่ 1	103
ค.12 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) ครั้งที่ 2	104
ค.13 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) ครั้งที่ 3	105
ค.14 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) เฉลี่ย	106
ค.15 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 16.2) ครั้งที่ 1	107
ค.16 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 15.8) ครั้งที่ 2	108
ค.17 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 16.6) ครั้งที่ 3	109
ค.18 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 16.2) โดยเฉลี่ย	110
ค.19 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าความหนืดระหว่างน้ำส้มเขียวหวาน กับ น้ำเขียวหวานเข้มข้น	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของส้มเขียวหวาน	3
2.2 แผนภาพแสดงกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็ง	9
2.3 เส้นโค้งการแช่แข็งของสารละลายกาแฟสกัด น้ำแอปเปิล และสารละลายน้ำตาลบางชนิด	10
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวมกับขนาดวิกฤตของผลึก	12
2.5 ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่มีต่อการเติบโตของผลึกของสารละลายเดกโตส	13
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของผลึกกับปริมาณของเหลวที่จะติดไปบนผิวผลึก	14
2.7 แผนภูมิกระบวนการผลิตผลึกด้วยการระเหยน้ำแบบสูญญากาศ	15
2.8 เครื่องผลิตผลึกน้ำแข็งแบบใบพัด	16
2.9 ลักษณะของการเกิดผลึกพร้อมกับการดูดผลึกของใบพัด	17
2.10 รูปแบบของเครื่องผลิตผลึกแบบเลี้ยงผลึกภายนอก	18
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น (Xi) กับเวลา (นาท)	25
4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เวลา และ แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ที่เวลาต่างๆ ของตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่าง	27
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ปริมาณความร้อนที่ถูกกำจัดออกจากระบบ และ แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ที่เวลาต่างๆ ของตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่าง	29
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำคีมรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน	30
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำคีมรีเวอร์สออสโมซิส , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน	31
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาท) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาท) กับ อุณหภูมิ ที่ความเร็ว 90 rpm	32
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาท) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาท) กับ อุณหภูมิ ที่ความเร็ว 120 rpm	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่

หน้า

4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทึ) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) และความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทึ) กับ อุณหภูมิ ที่ความเร็ว 150 rpm	34
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทึ) อุณหภูมิ (° C) ที่ความเร็ว 90, 120 และ 150 rpm	35
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำส้มเขียวหวาน และ น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น	36
ก.1	แสดงการเตรียมตัวอย่างมาตรฐาน (น้ำส้มเขียวหวานมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%) บรรจุลงในหลอดทดลองเป็นปริมาตร 10 มิลลิลิตร	45
ก.2	แสดงการเตรียมตัวอย่างมาตรฐาน (น้ำส้มเขียวหวานมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%) บรรจุลงในหลอดทดลอง ก่อนเข้าสู่กระบวนการแช่แข็ง	45
ก.3	แสดงการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ ลงในหลอดทดลองมาตรฐาน (น้ำส้มเขียวหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%) บรรจุลงในหลอดทดลอง ก่อนเข้าสู่กระบวนการแช่แข็ง	46
ก.4	แสดงเครื่อง Mixer ตั้งค่าความเร็วรอบ 120 rpm	46
ก.5	แสดงติดตั้งเครื่อง Mixer ใบพัด ชนิดใบพายกวน (Turbine) และ เครื่องวัดอุณหภูมิ ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ภายในบีกเกอร์	47
ก.6	แสดงน้ำส้มเข้มข้นที่มีสภาพคล้ายโคลน (Slurry) ภายหลังจากการแช่แข็ง	47
ก.7	แสดงเครื่องวัดความหนืดชนิด Brookfield	48
ก.8	แสดงการทดลองการวัดความหนืดด้วยหัววัด ชนิด Small sample	48
ก.9	ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25 °c	49
ก.10	ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25 °c	49
ก.11	เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง	50
ข.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่ม รีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 1	67
ข.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่ม รีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 2	67
ข.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่ม รีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 3	68
ข.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่ม รีเวอร์สออสโมซิส โดยเฉลี่ย	68

ภาพที่

หน้า

ข.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม ครั้งที่ 1	69
ข.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม ครั้งที่ 2	69
ข.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม ครั้งที่ 3	70
ข.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม โดยเฉลี่ย	70
ข.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 1	71
ข.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 2	71
ข.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 3	72
ข.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน โดยเฉลี่ย	72
ข.13	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำ คัมรีเวอร์สออส โมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน	73
ข.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งที่เกิดขึ้น(Xi) กับเวลา (นาทึ) ของน้ำคัมรีเวอร์สออส โมซิส	73
ข.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งที่เกิดขึ้น(Xi) กับเวลา (นาทึ) ของน้ำเชื่อม	74
ข.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งที่เกิดขึ้น(Xi) กับเวลา (นาทึ) ของน้ำส้มเขียวหวาน	74
ข.17	กราฟค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำคัมรีเวอร์สออส โมซิส ประมวลผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความสูงระหว่างทำการทดลองแช่แข็ง น้ำคัมรีเวอร์สออส โมซิส ทั้งหมด 3 ครั้ง	74
ข.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำคัมรีเวอร์สออส โมซิส	75
ข.19	กราฟค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำเชื่อม	76
ข.20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำเชื่อม	76
ข.21	กราฟค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำส้มเขียวหวาน	77
ข.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำส้มเขียวหวาน	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่	หน้า
ข.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำคัมรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน	78
ข.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำคัมรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน	78
ค.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 90 rpm ครั้งที่ 1	96
ค.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 90 rpm ครั้งที่ 2	97
ค.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 90 rpm ครั้งที่ 3	97
ค.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 90 rpm โดยเฉลี่ย	98
ค.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 120 rpm ครั้งที่ 1	98
ค.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 120 rpm ครั้งที่ 2	99
ค.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 120 rpm ครั้งที่ 3	99
ค.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทิจ) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 120 rpm โดยเฉลี่ย	100
ค.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทิจ) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 150 rpm ครั้งที่ 1	100
ค.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทิจ) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 150 rpm ครั้งที่ 2	101
ค.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทิจ) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 150 rpm ครั้งที่ 3	101
ค.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาทิจ) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 150 rpm โดยเฉลี่ย	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่	หน้า
ค.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 1	111
ค.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 2	111
ค.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 3	112
ค.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน โดยเฉลี่ย	112
ค.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน เข้มข้น ครั้งที่ 1	113
ค.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน เข้มข้น ครั้งที่ 2	113
ค.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน เข้มข้น ครั้งที่ 3	114
ค.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน เข้มข้น โดยเฉลี่ย	114
ค.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน และ น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น	115
ง.1 แผนภาพกระบวนการแช่แข็งของอาหาร	117
จ.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของกระบวนการแช่เยือกแข็ง น้ำบริสุทธิ์ (ABCDE) และอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (A'B'C'D'E')	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

- d_c = characteristic dimension (slab = thickness/2 or cylinder/sphere = diameter/2), m
- E_f = shape factor
- g = is gravity, 9.80665 m/s²
- h = is the convective heat transfer coefficient at the surface of the material, W/[m² °C]
- ΔH_1 = is the change in volumetric enthalpy, j/m³ for the precooling, obtained as

$$\Delta H_1 = \rho_u c_u (T_i - T_{fm})$$
- ΔH_2 = is the change in volumetric enthalpy, j/m³ for the phase change and subcooling obtained from the following expression:

$$\Delta H_2 = \rho_f [L_f + C_f (T_{fm} - T_c)]$$
- N_{Bi} = Biot number; hd/k , dimensionless
- N_{Gr} = Grashof number
- N_{Nu} = Nusselt number
- N_{Pr} = Prandtl number
- N_{Ra} = Rayleigh
- t = freezing time, °C
- T_a = freezing medium temperature, °C
- T_c = final center temperature of food item, °C
- T_i = initial freezing temperature of food item, °C
- T_{fm} = mean freezing temperature, °C, obtained from following equation

$$T_{fm} = 1.8 + 0.263T_c + 0.105T_a$$
- T_i = initial temperature of food item, °C
- ΔT_1 = obtained from following equation, °C

$$\Delta T_1 = \frac{(T_i + T_{fm})}{2} - T_a$$
- ΔT_2 = obtained from following equation, °C

$$\Delta T_2 = T_{fm} - T_a$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ρ_f = is the density of the frozen material, kg/m^3
 β = is coefficient of volumetric expansion, K^{-1}
 μ = is viscosity, Pa s
 SD. = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

Agitation	=	การกวน
% Brix	=	เปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้
brush drive	=	แปรงถ่าน
Bulk supercooling	=	อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวม
°C	=	องศาเซลเซียส
center of rotation	=	การหมุนรอบจุดหมุน
centrifuge force	=	แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
Centrifuge	=	เครื่องหมุนเหวี่ยง
Centrifuge	=	วิธีใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
Contact Nucleation	=	นิวคลีเอชันแบบสัมผัส
Critical diameter	=	เส้นผ่าศูนย์กลางวิกฤต
Crystal growth	=	การเติบโตของผลึก
Crystallization Process	=	กระบวนการผลิตผลึก
Crystallization	=	การผลิตผลึกน้ำแข็ง
Crystallizers with direct heat removal	=	การผลิตผลึกโดยการถ่ายการผลิตผลึกโดยการ
Crystallizers with indirect heat removal	=	การผลิตผลึกโดยการถ่ายเทความร้อนทางอ้อม
Eutectic point	=	ยูเทกติก
External cooled crystallizer	=	แบบตกผลึกภายนอกกระบวน
Fluid shear nucleation	=	นิวคลีเอชันแบบการเฉือนของของไหล
Freezing point depression	=	อุณหภูมิของจุดเยือกแข็งลดต่ำลง
Freezing Time Estimation Methods	=	วิธีการคำนวณหาเวลาที่ใช่แช่เยือกแข็ง
Heat Removal	=	ความร้อนที่ถูกกำจัดออก
Heterogeneous Nucleation	=	เฮเทอโรจีเนียส นิวคลีเอชัน
Heterogeneous	=	มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
High-speed centrifuge	=	มีความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 10,000 – 21,000 rpm
Homogeneous Nucleation	=	โฮโมจีเนียส นิวคลีเอชัน
Homogeneous	=	มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Latent heat = ความร้อนแฝง
 ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low-speed centrifuge	=	มีความเร็วรอบสูงสุดไม่เกิน 10,000 รอบต่อนาที
mean freezing temperature	=	อุณหภูมิเยือกแข็งกลาง
Microtube	=	หลอดไมโครทิวบ์
Mixing	=	เครื่องผสม
Motor and Gear box	=	มอเตอร์และอุปกรณ์ทดรอบ
Nucleation	=	นิวคลีเอชัน
pan balance	=	เครื่องชั่งแบบจาน
Phase Change Time	=	ช่วงระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนสถานะ
Precooling Time	=	ช่วงระยะเวลาเริ่มต้นก่อนที่จะมีการเปลี่ยนสถานะ
Pressing	=	วิธีกดทับ
Primary Nucleation	=	ไพรมารีนิวคลีเอชัน
Refrigerated system	=	เป็นระบบทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ แรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์
Resident time	=	ระยะเวลาในการเลี้ยงผลึก
Ripening	=	การบ่ม
rpm	=	rpm
Secondary Nucleation	=	เซกอนดารี นิวคลีเอชัน
Separation	=	การแยกผลึก
Slurry	=	สภาพคล้ายโคลน
SSHE	=	ตัวถ่ายเทความร้อนแบบชุดผิว
Standard	=	ชุดการทดลองที่ใช้เป็นตัวมาตรฐาน
Subcooling Time	=	ช่วงระยะเวลาสุดท้ายหลังจากเปลี่ยนสถานะ
Supercooling	=	อุณหภูมิที่จุดเย็นตัวยิ่งยวด
Super-speed centrifuge	=	มีความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 21,000 - 50,000 rpm
The Freezing Process	=	กระบวนการแช่แข็ง
Turbulence	=	เทอร์บูเลนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ultra speed centrifuge	=	ทำความเร็วรอบได้มากกว่า 50,000 รอบต่อนาที
Unfrozen	=	สถานะที่ไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง
Volatile Constituents	=	สารระเหย
Wash Column	=	วิธีกระบอกล้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ปัจจุบันน้ำผลไม้จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงจากผู้บริโภค แต่ในน้ำผลไม้มีองค์ประกอบบางชนิดที่มีความไวต่อความร้อน หรือ มีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้ต่ำ ได้แก่ ี วิตามิน และคุณค่าทางโภชนาการต่างๆ ซึ่งการทำให้เข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง (Frozen Concentration) เป็นวิธีการทำให้เข้มข้นประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถรักษา วิตามิน และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้นที่ได้มีคุณภาพสูง

การทำให้เข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็งยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนักในประเทศไทย แต่ได้รับความนิยมอย่างมากในต่างประเทศ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางวัตถุดิบที่สูง เช่น ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้บางประเภท เป็นต้น ทำให้มีแนวโน้มในอนาคตว่ากระบวนการเพิ่มความเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็งจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในประเทศไทย และมีการนำกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็งมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. ศึกษาปริมาณของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแช่แข็งที่เวลาต่างๆกัน ของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวานที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%
2. ศึกษาวิธีการทำน้ำส้มเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 สัมเขียวหวาน

2.1.1 โครงสร้างของสัมเขียวหวาน (Matthew K. Veldhuis)

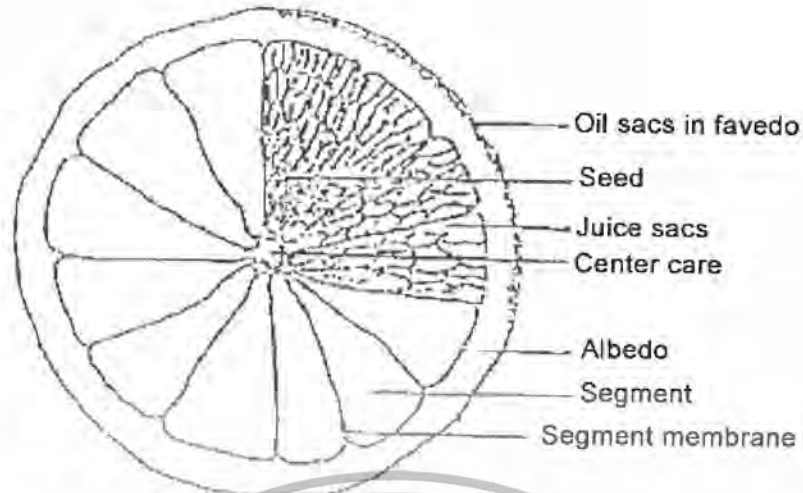
โครงสร้างของมะนาวประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.1.1 เอปิคาร์ป (Epicarp) หรือเฟลวิโด (Flavedo) ภายในประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ ทำหน้าที่เป็นส่วนผลิตสีของเปลือก ซึ่งจะทำให้พืชตระกูลส้มมีสีที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ภายในจะมีต่อมน้ำมันหอมระเหย (Oil gland) อยู่ด้วย โดยที่เซลล์ในชั้นผิวหนังของเฟลวิโดจะมีการผลิตสารจำพวกขี้ผึ้ง (Wax) (Baldwin, 1993) เคลือบที่ผิวเปลือกของผล เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ

2.1.1.2 มีโซคาร์ป (Mesocarp) หรือเอลบิโด (Albedo) จะอยู่ถัดจากส่วนเอปิคาร์ป จะมีลักษณะหนา เป็นชั้น อ่อนนุ่ม มีสีขาว ประกอบด้วยเซลล์พารENCHYMATOUS (Parenchymatous cell) ขนาดใหญ่มากมาย มีสารประกอบจำพวกเพคติน (Pectin substance) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) อยู่ โดยส่วนของเฟลวิโดและเอลบิโดรวมกัน จะเรียกว่า เพอริคาร์ป (Pericarp) หรือ เปลือก (Peel) นั่นเอง

2.1.1.3 เอนโดคาร์ป (Endocarp) เป็นส่วนที่สามารถนำมารับประทานได้ ประกอบด้วยกลีบหลายกลีบ ซึ่งภายในแต่ละกลีบจะประกอบด้วยถุงน้ำ (Juice vesicle) อยู่มากมายซึ่งจะติดอยู่กับผนังกลีบด้วยก้านถุง (Vesicle stalk)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของส้มเขียวหวาน

ที่มา : Kale และ Adsule, 1995

2.1.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของส้มเขียวหวาน

องค์ประกอบทางเคมีของส้มเขียวหวานขึ้นอยู่กับปัจจัยมากมาย เช่น สภาพการเจริญเติบโต ภูมิอากาศ ความแก่อ่อนของส้มเขียวหวาน โดยส้มเขียวหวานมีองค์ประกอบ ดังนี้

1. โปรตีน (Protein) ส้มเขียวหวานมีส่วนประกอบของโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจน เช่น เปปไทด์อย่างง่าย (Simple peptide) กรดอะมิโน ฟอสฟาไทด์ (Phosphatide) เป็นต้น พบได้ในส่วนของเมล็ด เพลวีโด เอลบีโด Pulp และในน้ำส้มเขียวหวาน

2. ไขมัน (Lipid) โดยส่วนมากจะพบสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัวในเมล็ดส้มเขียวหวาน

3. น้ำตาล (Sugar) ส้มเขียวหวานจะมีส่วนประกอบของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแก่อ่อนของส้มเขียวหวาน

4. กรดอินทรีย์ (Organic acid) กรดอินทรีย์ที่พบมากในน้ำส้มเขียวหวาน คือ กรดซิตริก (Citric acid) และกรดมาลิก (Malic acid) แต่ที่มีในปริมาณมากคือกรดซิตริก ดังนั้นความเป็นกรดของน้ำส้มเขียวหวานจึงมักวัดออกมาในรูปของปริมาณกรดซิตริก

5. เอนไซม์ (Enzyme) ในน้ำส้มเขียวหวานมีเอนไซม์เพกทีเนสเทอร์ส (Pectinesterase) ซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียความชุ่ม

6. สารให้รสขม (Bitter substance) ในส้มเขียวหวานจะมีสารพกลิโมนิน (Limonin) และไอโซลิโมนิน (Isolimonin) ทำให้เกิดความขม ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นเอลบีโด มีบางส่วนอยู่ในเมล็ด และเนื้อเยื่อส่วนนอกของถุงน้ำส้มเขียวหวาน (Juice sack)

7. วิตามิน (Vitamin) วิตามินที่พบมากในส้มเขียวหวานคือ วิตามินซี (Ascorbic acid)

8. สารประกอบแร่ธาตุ (Mineral constituent) ส้มเขียวหวานมีส่วนประกอบของโปแตสเซียม โซเดียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้ม

Composition of natural orange juice essence	
Aldehydes and Ketones	Linalool
Acetone	3-Hepten-1-ol
Acetaldehyde	1-Octanol
n-Hexanal	Terpinen-4-ol
2-Hexenal	1-Nonanol
1-Octanal	α -Terpineol
1-Nonanal	1-Decanol
1-Decanol	Citronellol
Neral	Nerol
Geranial	Geraniol
Carvone	Carveol
2-Octenal	Terpene Hydrocarbons
Methyl heptenone	α -Pinene
Undecanal	β -Pinene
Citronellal	D-Limonene
Esters	Myrcene
Ethyl butyrate	γ -Terpinene
Ethyl caproate	α -Terpinene
Ethyl caprylate	Valencene
Linalyl acetate	Acids
Terpinyl formate	Formic
Citronellyl butyrate	Acetic
Alcohols	Propionic
Methanol	Butyric
Ethanol	Caproic
1-Propanol	Capric
2-Butanol	Valeric

ที่มา : Deshpande, 1982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางด้านกายภาพของส้ม

Physical composition of oranges	
Juice	40-45%
Flavedo (outer peel)	8-10%
Albedo (inner peel)	15-30%
Rag and pulp	20-30%
Seeds	0-4%

ที่มา : Deshpande, 1982

2.1.1.3 ประโยชน์ของส้มเขียวหวาน

การใช้ประโยชน์ของส้มเขียวหวานอาจแบ่งเป็น

- 1. ทางด้านโภชนาการ** ส้มเขียวหวานจัดเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง
- 2. ทางด้านการแพทย์** พบว่าน้ำส้มเขียวหวานมีสารซาโรนอยด์ (Saronoid) กรดอินทรีย์ (Organic acid) ซิตรอล (Citral) และวิตามินซี ช่วยรักษา โรคตับปิดล็กเปิด ขับเสมหะ และแก้ไอ (เพื่อสุขภาพ ทรีพีเจริญ และ กัทร่าพร ตั้งสุภฤทัย, 2544)
- 3. ทางด้านอุตสาหกรรม** สามารถนำส้มเขียวหวานมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมที่สำคัญๆหลายอย่าง ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้กำลังขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำอัดลมที่ต้องใช้ส้มเขียวหวานเป็นเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส รวมไปถึงอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง สบู่ น้ำมัน ไล่ผมและอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ส้มเขียวหวานเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น
- 4. ทางด้านเศรษฐกิจ** สามารถส่งเป็นสินค้าออกจำหน่ายได้ให้ประเทศไทยปีละไม่น้อย โดยส่งออกในลักษณะอบแห้ง ตากแห้ง ผลสด และน้ำส้มเขียวหวาน

2.1.1.4 การเก็บรักษาในรูปของน้ำส้มเขียวหวาน

เนื่องการเก็บรักษาผลส้มเขียวหวานมักเกิดปัญหาการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดเนื่องจากเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ทำให้ผลผลิตได้รับความเสียหาย นอกจากนี้การเก็บรักษาส้มเขียวหวานทั้งผลยังเป็นวิธีที่ใช้พื้นที่ในการเก็บรักษามาก และไม่สะดวกในการนำมาใช้ ซึ่งการเก็บรักษาในรูปน้ำส้มเขียวหวานจะมีความสะดวกในการนำมาใช้มากกว่า อีกทั้งยังสามารถประหยัดพื้นที่ในการเก็บรักษาและการขนส่งได้อีกด้วย วิธีการเก็บรักษาน้ำ

ส้มเขียวหวานมีหลายวิธี เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การให้ความร้อน ความร้อนที่ใช้อยู่ในระดับที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ แต่ไม่ต้องสูงมากนัก โดยทั่วไปเรียกกันว่า การพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90°C เป็นเวลา 30 วินาที ก็เพียงพอที่จะทำลาย ยีสต์ รา และแบคทีเรีย แต่อาจจะมีสปอร์ของแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Bacillus subtilis* รอดชีวิตอยู่ แต่แบคทีเรียเหล่านี้จะไม่เจริญถ้าพีเอชต่ำกว่า 4.5 ความร้อนที่ใช้ นอกจากจะช่วยให้ทำลายจุลินทรีย์แล้วยังช่วยทำลายเอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติของผลผลิตด้วย อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนมีข้อเสีย คือจะทำให้สีและกลิ่นรสของน้ำส้มเขียวหวานเปลี่ยนแปลงไป ไม่เหมือนผลสด

2. การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากจะเป็นการช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์แล้ว ยังสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางเคมีให้กับผลผลิต โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำมี 2 แบบคือ การเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง และ ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ซึ่งการเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งมักใช้ร่วมกับการถนอมอื่นๆ เช่น การทำให้เข้มข้นและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

3. การใช้วัตถุเจือปนในอาหาร (Food additive) ในที่นี้หมายถึง วัตถุที่ตามปกติไม่ได้ใช้เป็นอาหาร แต่ใช้เจือปนในอาหารตามความจำเป็นแก่กรรมวิธีการผลิต การเก็บรักษา และการบรรจุ ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ป้องกันการเน่าเสียของอาหารอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์หรือเอนไซม์ในอาหารหรือปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ มักเรียกกันว่า สารกันบูด (Chemical preservative) สารกันบูดบางชนิด นอกจากจะไปรบกวนการทำงานของเซลล์เมมเบรน กิจกรรมของเอนไซม์และกลไกทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์แล้วยังทำหน้าที่เป็นสารกันหืน หรือเป็นสารที่ทำให้เกิดการงอกตัวอีกด้วย

4. การทำให้เข้มข้น เป็นการดึงน้ำออกจากผลผลิต ซึ่งอาจทำได้โดยการระเหยแบบสุญญากาศ (Vacuum evaporation) หรือ การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง (Frozen concentration) ซึ่งผลิตภัณฑ์เข้มข้นที่ได้นิยมเก็บในที่เย็น เพราะนอกจากจะยืดเวลาการเน่าเสียจากจุลินทรีย์แล้ว ยังช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Browning) อีกด้วย

2.2 กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง

น้ำผลไม้เข้มข้น อาจเรียกได้ว่าเป็น ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ (Semi-finished) ซึ่งสามารถนำไปเจือจางเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ชนิดนั้นๆ นำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องดื่มชนิดต่างๆ และยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์แบบผงได้อีกด้วย (Ramteke และคณะ, 1993) ได้มีการศึกษาและพบว่าต้นทุนในการผลิตน้ำผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์ผง โดยการใช้วิธีอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้โดยกระบวนการแช่แข็ง (Frozen concentration) ถึง 5 เท่า แต่ในการใช้ระบบการทำงานทั้ง 2 ระบบร่วมกันเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งนั้น จะช่วยลดต้นทุนลงได้มาก เช่น การผลิตคาเฟอีนโดยการอบแห้งแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหิด หากขั้นตอนแรกได้มีการทำให้สารละลายกาแฟมีความเข้มข้นขึ้นจาก 20% เป็น 40% โดยการใช้ระบบการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งก่อน แล้วจึงนำไปอบแห้งด้วยวิธีการระเหิดนั้น จะช่วยประหยัดต้นทุนลงได้ 25% (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535) นอกจากนี้ น้ำผลไม้เข้มข้นยังมีข้อดีต่างๆ คือ ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อีกด้วย

โดยทั่วไปการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ นั้น จะใช้วิธีการระเหย (Evaporation) วิธีการใช้เยื่อเลือกผ่าน (Membrane process) เช่น กระบวนการออสโมซิส (Osmosis) กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) และวิธีการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง (Frozen concentration) (Ramteke และคณะ, 1993)

วิธีเพิ่มความเข้มข้นโดยการระเหยน้ำ (Evaporation) เป็นวิธีที่นิยมกันมาก เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำแต่อย่างไรก็ตาม ความร้อนที่ใช้จะทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสได้ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสในน้ำผลไม้โดยส่วนใหญ่จะไวต่อความร้อน ดังนั้นกระบวนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นที่ต้องการคุณภาพสูงๆ จึงต้องพยายามให้เกิดการระเหยน้ำ หรือแยกน้ำออกไปที่อุณหภูมิต่ำๆ และต้องไม่ให้เกิดการสูญเสียองค์ประกอบอื่นๆ ในน้ำผลไม้ ซึ่งการระเหยน้ำที่อาศัยความร้อนปกตินั้น สารประกอบให้กลิ่นรสในอาหารจะสูญเสียไปกับไอน้ำเกือบหมด แม้ว่าจะมีการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถแยกกลิ่นรสออกจากไอน้ำเพื่อนำกลับ ไปผสมในผลิตภัณฑ์แล้วก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถนำองค์ประกอบเหล่านั้นกลับมากลับมาได้ทั้งหมด ซึ่งโดยปกติแล้วจะสามารถนำองค์ประกอบกลับมากลับมาได้ไม่เกิน 50% คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงยังต่ำกว่าวัตถุดิบเริ่มต้น (Thijssen, 1975)

วิธีการใช้เยื่อเลือกผ่าน (Membrane process) การเพิ่มความเข้มข้นโดยวิธีนี้ ความเข้มข้นของน้ำผลไม้ที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อเลือกผ่านที่ใช้ หากองค์ประกอบที่ต้องการในน้ำผลไม้ที่นำมาเพิ่มความเข้มข้นนั้นมีอนุภาคเล็กกว่าอนุภาคน้ำก็สามารถไหลผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ โดยการแยกน้ำด้วยวิธีรีเวอร์สออสโมซิส จะมีการสูญเสียกลิ่นรสไปบ้าง ซึ่งของเหลวที่มีกลิ่นรสแรงๆ จะไม่เหมาะที่จะใช้วิธีนี้

วิธีการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง (Frozen concentration) เป็นอีกวิธีที่มีการนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำผลไม้ซึ่งผลิตภัณฑ์เข้มข้นที่จะได้มีคุณภาพที่สูง เนื่องจากวิธีนี้จะอุณหภูมิต่ำในการแยกน้ำออกจากของเหลวในรูปของผลึกน้ำแข็ง อาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็งเป็นกระบวนการที่สามารถแยกน้ำออกโดยที่ สีส กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจึงไม่ต้องมีระบบนำกลับ (Draw back) ขององค์ประกอบที่สูญเสียไปเหมือนกระบวนการระเหยน้ำดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นโดยวิธีนี้ จะเหมาะสำหรับน้ำผลไม้ที่มีสารให้กลิ่นรสที่ไวต่อความร้อน

จากการศึกษาของ Thijssen (1970) ที่ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น 3 แบบ คือ กระบวนการระเหยพร้อมดูดซับกลิ่นกลับคืน กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส และกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยการแช่แข็ง สำหรับของเหลวและน้ำผลไม้ที่มีองค์ประกอบของสารระเหย (Volatile) และกลิ่น (Aroma) พบว่ากระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยการแช่แข็งจะให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า 2 แบบที่เหลือ

Braddock และ Marcy (1984) ได้ทำการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของน้ำสับประรดด้วยวิธีการ 2 แบบคือ การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็ง และวิธีการระเหย พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ร้อยละของกรด ปริมาณเฮกโซส ปริมาณวิตามินซี ดัชนีบ่งชี้ความเป็นสีน้ำตาล สี และความหนืด แต่จะมีความแตกต่างทางด้านกลิ่นรสที่เกิดขึ้น โดยกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งจะให้กลิ่นรสดีกว่า

กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งไม่ใช่วิธีการใหม่ แต่ตามหลักฐานแล้ว Zane Gray กล่าวว่า พวกอเมริกันอินเดียรู้จักการทำสารละลายน้ำตาลเมเปิล (Maple syrup) จากน้ำหล่อเลี้ยงต้นไม้ของต้นเมเปิล โดยการนำน้ำหล่อเลี้ยงมามีสีทึบๆ กันไว้ในฤดูหนาว น้ำจะเกิดการแข็งตัว แต่ยังมีพวกน้ำตาลและน้ำบางส่วนเป็นของเหลวอยู่ จากนั้นทำการทุบน้ำแข็งทิ้งไป ทำเช่นนี้หลายครั้ง จนได้สารละลายน้ำตาลเมเปิลที่มีคุณภาพดี กระบวนการนี้มีมานานมากกว่า 200 ปีแล้ว โดยในปัจจุบันนี้ ได้มีการนำกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งมาใช้ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น น้ำผลไม้เข้มข้น น้ำส้มสายชู เบียร์ ไวน์ นม น้ำชาสกัด (Schwartzberg, 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หลักการของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยการแช่แข็ง

โดยทั่วไปกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งสามารถแยกได้เป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนของการผลิตผลึกน้ำแข็ง (Crystallization) และส่วนของการแยกผลึกออกจากของเหลวเข้มข้น (Separation) (ดังแสดงในภาพที่ 2.2) โดยส่วนของการผลิตผลึกน้ำแข็ง จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของเหลวจนกระทั่งน้ำในของเหลวเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง ในส่วนของของเหลวจะเป็นส่วนผสมระหว่างผลึกน้ำแข็งกับของเหลวที่เข้มข้นซึ่งจะมีสภาพคล้ายโคลน (Slurry) จากนั้นจะทำการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากของเหลวเข้มข้น โดยการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากของเหลวเข้มข้นนี้จะใช้วิธีการใช้แรงเหวี่ยง (Centrifuge)



ภาพที่ 2.2 แผนภาพแสดงกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็ง

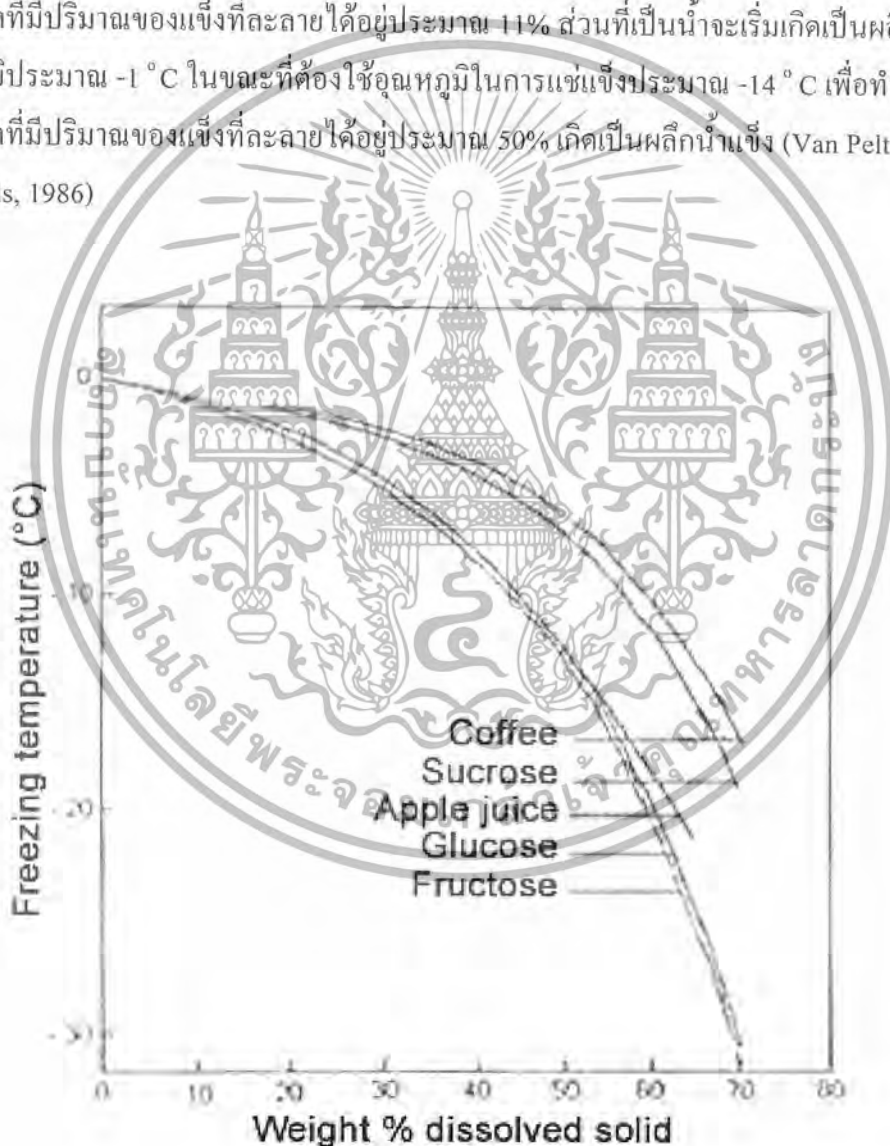
ที่มา : Thijssen, 1975.

ในขั้นตอนของการลดอุณหภูมิของของเหลวเพื่อให้ของเหลวเกิดผลึกน้ำแข็งนั้น เมื่อความร้อนถูกกำจัดออกจากระบบจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของของเหลว ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเกิดซูเปอร์คูลลิ่ง (Supercooling : การทำให้เย็นยิ่งยวด คืออุณหภูมิของน้ำลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์แต่ยังไม่เกิดผลึก) ในช่วงนี้ความร้อนจะถูกกำจัดออกไปในรูปความร้อนแฝงของน้ำ ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง หลังจากนั้นน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็งจนหมดแล้ว ถ้าความร้อนถูกกำจัดออกจากระบบต่อไป อุณหภูมิก็จะลดลงอีก ซึ่งการแช่แข็งช่วงเริ่มต้นจะก่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งของน้ำ เป็นผลให้สารละลายที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จุดเยือกแข็งของส่วนที่ยังไม่แข็งตัว (Unfrozen) จะลดต่ำลงไปอีก ซึ่งกระบวนการแช่แข็งที่ดำเนินต่อไป จะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายเข้มข้นลดลงจนถึงจุดที่เรียกว่า ยูเทกติก (Eutectic point) หลังจากนั้นเมื่อกำจัดความร้อนออกไปอีกจะเกิดผลึกของตัวถูกละลายขึ้นมา (รุ่งนภา พงศ์-สวัสดิ์ มานิต, 2535) กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งควรยุติก่อนถึงอุณหภูมิยูเทกติก แต่โดยปกติกระบวนการจะต้องหยุดก่อนถึงจุดยูเทกติกเสมอ เนื่องจากกระบวนการจะมีปัญหาที่เกิดจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆเนื่องมาจากความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง ซึ่งหากของเหลวมีความหนืดมากเกินไป จะเป็นผลให้ไม่สามารถแยกน้ำแข็งออกจากสารละลายเข้มข้นได้ (Deshpande และ กณะ 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิของจุดเยือกแข็งจะมีค่าลดต่ำลง (Freezing point depression) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากตัวถูกละลายโมเลกุลต่ำ เช่น เกลือ น้ำตาล ที่มีอยู่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายเปลี่ยนแปลง ทำให้สารละลายนั้นมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำกว่า 0 °C ซึ่งจุดเยือกแข็งจะมีอุณหภูมิเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของตัวถูกละลายในสารละลายนั้น (Thijssen, 1975)

โดยเมื่อพิจารณาเส้น โค้งการแช่แข็ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจุดเยือกแข็งกับความเข้มข้นกับความเข้มข้นของน้ำผลไม้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.3) พบว่า เมื่อทำการแช่แข็งน้ำแอปเปิลที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ประมาณ 11% ส่วนที่เป็นน้ำจะเริ่มเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -1 °C ในขณะที่ต้องใช้อุณหภูมิต่ำกว่า -14 °C เพื่อทำให้น้ำแอปเปิลที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ประมาณ 50% เกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง (Van Pelt and Swinkels, 1986)



ภาพที่ 2.3 เส้น โค้งการแช่แข็งของสารละลายกาแฟสกัด น้ำแอปเปิล และสารละลายน้ำตาลบางชนิด

ที่มา: Thijssen, 1975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กระบวนการผลิตผลึก (Crystallization Process)

กระบวนการผลิตผลึกจะมี 2 ขั้นตอน คือ การเกิดผลึก หรือที่เราเรียกว่า นิวคลีเอชัน (Nucleation) และการเติบโตของผลึก (Crystal growth)

2.2.2.1 นิวคลีเอชัน (Nucleation)

เมื่อสารละลายถูกลดอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็ง น้ำจะเริ่มกลายเป็นของแข็ง โดยธรรมชาติของการลดอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อนไม่สามารถที่จะทำให้ทุกจุดในสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากันได้ ผลึกน้ำแข็งจะเริ่มจากจุดเล็กๆ ที่มีอุณหภูมิเย็นยิ่งยวด (Supercooling) ซึ่งจะต่ำกว่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของสารละลาย อัตราการเกิดจุดผลึกเล็กๆ เหล่านี้ จะมีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย คือถ้ามีอัตราการเกิดจุดผลึกเล็กๆ มากจะเป็นผลให้ความเข้มข้นของสารละลายสูง เนื่องจากน้ำบริสุทธิ์ในสารละลายเปลี่ยนรูปไปเป็นของแข็งมาก โดยทั่วไปแล้วนิวคลีเอชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.2.2.1.1 ไพรมารีนิวคลีเอชัน (Primary Nucleation)

1. โฮโมจีเนียส นิวคลีเอชัน (Homogeneous Nucleation) จะเกิดขึ้นเฉพาะกับสารละลายที่มีความบริสุทธิ์อย่างมาก เช่น สารละลายที่ประกอบด้วยน้ำแข็งบริสุทธิ์และน้ำบริสุทธิ์ หรือตัวถูกละลายบริสุทธิ์และน้ำบริสุทธิ์ โดยนิวคลีเอชันจะเป็นกลุ่มของ โมเลกุลน้ำที่รวมตัวกันอย่างสมส่วน ซึ่งเกิดขึ้นได้ต้องใช้อุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วโฮโมจีเนียส นิวคลีเอชัน มักไม่ค่อยเกิดและไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากควบคุมได้ยาก (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2544)

2. เฮเทอโรจีเนียส นิวคลีเอชัน (Heterogeneous Nucleation) เกิดขึ้นได้เมื่อ โมเลกุลของน้ำหรืออาจเป็น โมเลกุลของตัวถูกละลาย ไปจับตัวกับสิ่งแปลกปลอม เช่น อนุภาคเล็กๆ ที่มีอยู่ในสารละลาย ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะกระทำตัวเป็นนิวคลีเอ โดยอนุภาคเหล่านี้ต้องมีโครงสร้างคล้ายกับผลึกน้ำแข็ง

2.2.2.1.2 เซคอนดารี นิวคลีเอชัน (Secondary Nucleation)

1. นิวคลีเอชันแบบการเฉือนของของไหล (Fluid shear nucleation) เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลหรือหน่วยต่างๆ ที่รวมกันอยู่อย่างหลวมๆ ถูกแยกออกมาจากผิวของผลึก หรือถูกฉีกขาด โดยแรงลากของของเหลวหนืดที่เคลื่อนที่ผ่านผิวของผลึกที่กำลังโตด้วยความเร็วสูง

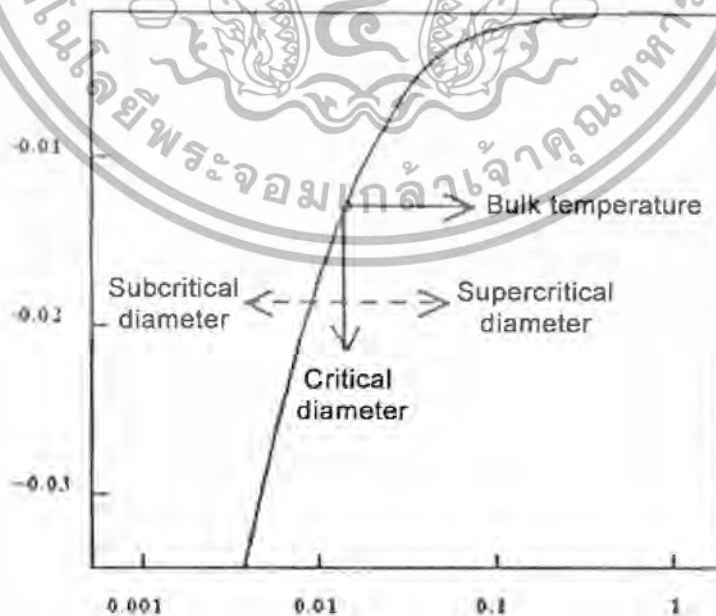
2. นิวคลีเอชันแบบสัมผัส (Contact Nucleation) เกิดจากการที่ผลึกที่มีอยู่เกิดการชนกันเองหรือชนกับผนังใบกวนแล้วชิ้นส่วนเล็กๆ แยกออกจากผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปอัตราการเกิดผลึกหรือนิวคลีโอซันของอาหารเหลวจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดผลึกจะแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวม (Bulk Supercooling) ของสารละลาย และขึ้นอยู่กับ การกวนของสารละลาย การกวนจะมีผลทำให้อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดของจุดผลึกเล็กๆ ลดลง (Thijssen, 1975)

2.2.2.2 การเติบโตของผลึก (Crystal growth)

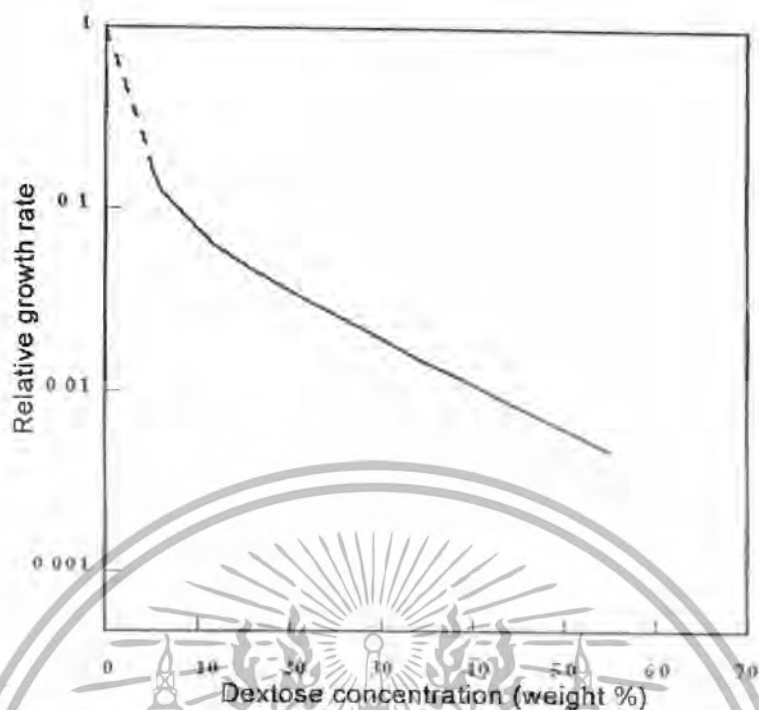
การเติบโตของผลึกจะเกิดขึ้นหลังจากมีการเกิดจุดผลึกเล็กๆ จำนวนหนึ่งขึ้นมาพอ โดยผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งเล็กๆ เหล่านั้น การรวมตัวกันจะเกิดขึ้นเนื่องจากความสามารถในการละลายที่ไม่เท่ากันของผลึกก้อนเล็กและผลึกก้อนใหญ่ที่มีในระบบ ผลึกก้อนเล็กสามารถละลายได้ง่ายกว่าผลึกก้อนใหญ่ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวและพลังงานอิสระที่ผิวที่ต่ำกว่าและโดยทั่วไปอุณหภูมิเฉลี่ยของระบบ จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของผลึกก้อนใหญ่ เป็นผลให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งผลึกที่สามารถเติบโตต่อไปได้นั้น จะต้องมีความไม่น้อยกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางวิกฤต (Critical diameter) ของผลึกในระบบ (ดังแสดงในภาพที่ 2.4) โดยปรากฏการณ์ที่ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการรวมตัวของผลึกเล็กๆ นี้จะเรียกว่า การบ่ม (Ripening) ซึ่งขนาดของผลึกที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสารละลาย (ดังแสดงในภาพที่ 2.5) อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวม (Bulk Supercooling) ระยะเวลาในการเลี้ยงผลึก (Resident time) และความเป็นเทอร์บูเลนต์ (Turbulence) ของสารละลาย



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวมกับขนาดวิกฤตของผลึก

ที่มา: Thijssen, 1975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



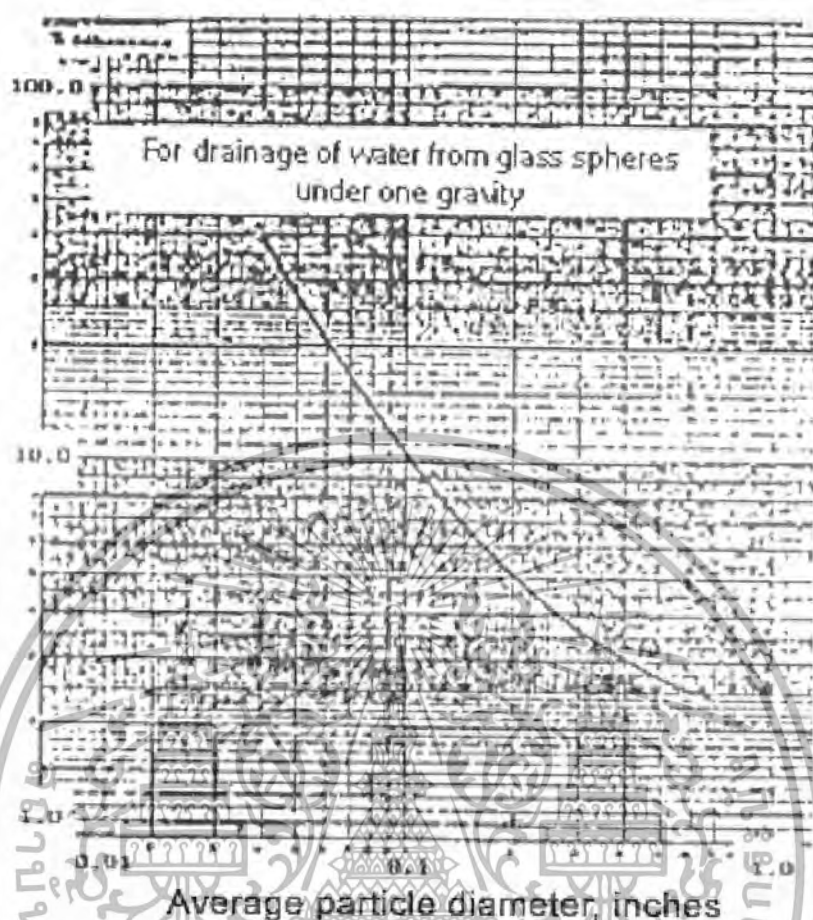
ภาพที่ 2.5 ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่มีต่อการเติบโตของผลึกของสารละลายเดกโตส
ที่มา : Thijssen, 1975

2.2.2.3 ลักษณะของผลึกน้ำแข็ง

ในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งต้องการผลึกน้ำแข็งที่มีลักษณะดังนี้

2.2.2.3.1 ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการแช่แข็งและความเข้มข้นพบว่า หากอัตราเร็วในการแช่แข็งช้าจะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้อัตราการแช่แข็งที่เร็ว สารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าจะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้สามารถแยกออกจากสารละลายเข้มข้นได้ง่ายขึ้น และจะมีการสูญเสียของสารละลายที่ติดไปกับผลึกลดลง (ดังแสดงในภาพที่ 2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของผลึกกับปริมาณของเหลวที่จะติดไปบนผิวผลึก
ที่มา : สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535

2.2.2.3.2 ความสมมาตรของผลึกน้ำแข็ง จะขึ้นอยู่กับกระบวนการกระจายตัวของตัวถูกละลาย พื้นที่ในการแช่แข็งกับอุณหภูมิในการแช่แข็ง โดยการที่จะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีความสมมาตรกันนั้น ต้องมีการกระจายตัวของตัวถูกละลายที่ดีและมีพื้นที่ในการแช่แข็งน้อยที่เพียงพอ ผลึกน้ำแข็งที่มีความสมมาตรจะช่วยลดการสูญเสียของตัวถูกละลายและของแข็งที่ติดไปกับผลึก โดยการกวน (Agitation) จะช่วยให้สารละลายเกิดการผสมกันอย่างทั่วถึง เป็นผลให้ได้ผลึกที่มีลักษณะคล้ายกัน และมีความกลม ซึ่งจะทำให้ลดการสูญเสียของตัวถูกละลายจากกระบวนการแยก (Schwarzberg, 1990)

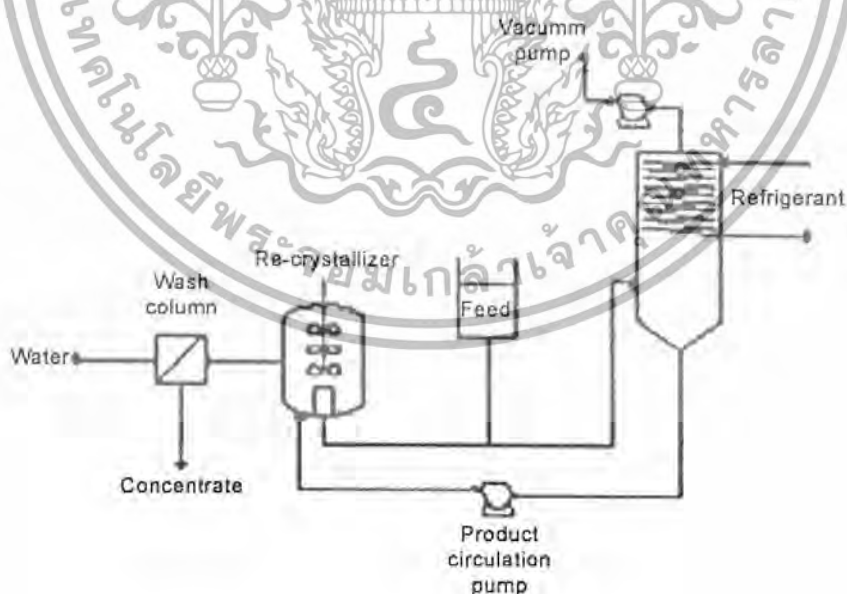
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เครื่องผลิตผลึกน้ำแข็ง

เครื่องผลิตผลึกน้ำแข็งทำหน้าที่ดึงความร้อนแฝงของการกลายเป็นน้ำแข็ง (Heat of Crystallization) ออกจากของเหลว ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆคือ การดึงความร้อนออกจากสารละลายโดยตรง วิธีนี้ได้แก่ การใช้การระเหยน้ำแบบสูญญากาศ อีกวิธีหนึ่งคือการดึงความร้อนออกโดยผ่านผนังเย็นจากระบบทำความเย็น ดังนี้

2.2.3.1 การผลิตผลึกโดยการถ่ายเทความร้อนโดยตรง (Crystallizers with direct heat removal)

การผลิตผลึกจะอาศัยหลักการระเหยของน้ำเมื่อความดันบรรยากาศลด ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในสารละลายลดลง เนื่องจากในขณะที่น้ำมีการระเหยจะมีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปพร้อมกับการระเหย ส่งผลให้อุณหภูมิของสารละลายลดลง ภาวะที่น้ำที่อยู่ในสารละลายมีอุณหภูมิลดลงจนกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง จะพบว่า การผลิตผลึกโดยการถ่ายเทความร้อน โดยตรง มีข้อดีคือสิ้นเปลืองพลังงานและเงินทุนน้อยกว่าการผลิตผลึก โดยการถ่ายเทความร้อนทางอ้อม แต่มีข้อเสียคือ ทำให้กลิ่นที่มีอยู่ในสารละลายระเหยไปพร้อมกับไอน้ำด้วย ทั้งนี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการดูดซับกลิ่นกลับคืน แผนภาพแสดงการทำงานของกรทำความเข้มข้นโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนโดยตรง (ดังแสดงในภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 แผนภูมิกระบวนการผลิตผลึกด้วยการระเหยน้ำแบบสูญญากาศ

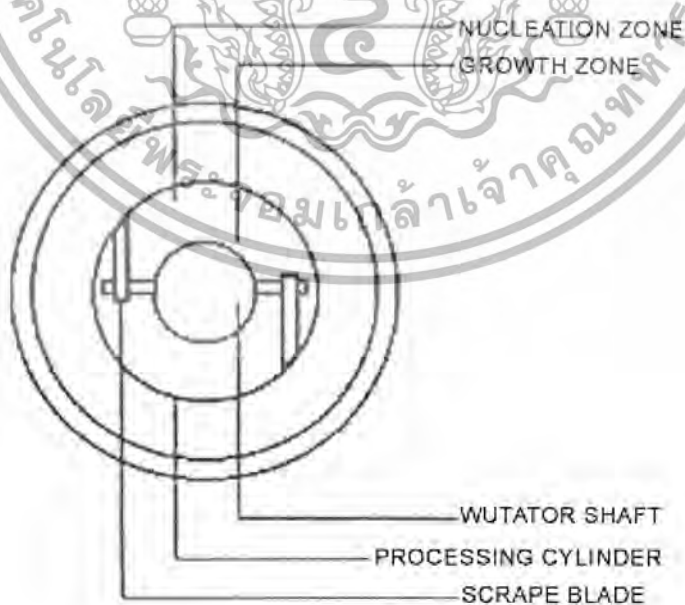
ที่มา : Verschuere และคณะ, 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 การผลิตผลึกโดยการถ่ายเทความร้อนทางอ้อม (Crystallizers with indirect heat removal)

การผลิตผลึกจะอาศัยหลักการดึงความร้อนออกจากสารละลาย ให้สารละลายผ่านผนังเย็น และนำความร้อนออกโดยใช้ระบบทำความเย็น โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่าตัวถ่ายเทความร้อนแบบขูดผิว (Scraped surface heat exchanger: SSHE) ในการทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งภายในประกอบด้วย ใบมีดทำหน้าที่ขูดผลึกน้ำแข็งไม่ให้เกาะติดกับผนังเย็น ซึ่งอุปกรณ์ทำผลึกชนิดนี้แบ่งได้เป็น 2 ระบบ ตามรูปแบบของการทำงาน คือ

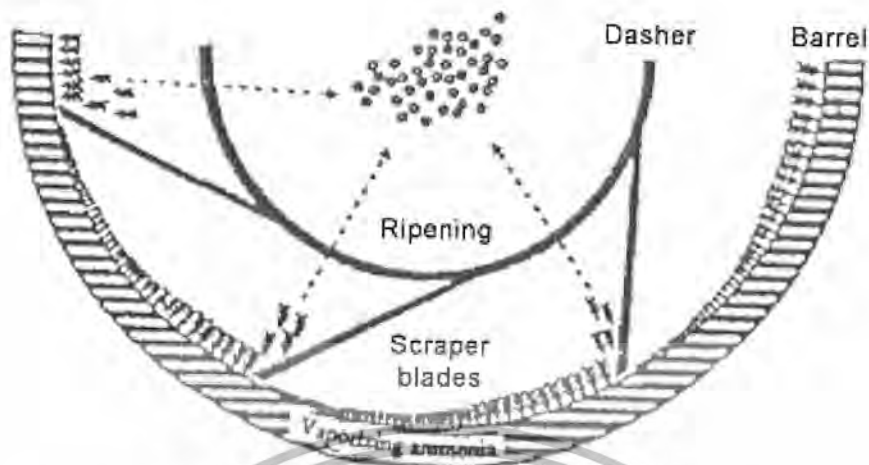
1. แบบผลิตพร้อมกับเลี้ยงผลึก (Internal cooled crystallizer) ลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์ชนิดนี้คือจะมีส่วนของการสร้างผลึกและส่วนของการเลี้ยงผลึกอยู่ในตัวเดียวกัน ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ โดยมีการทำงานของเครื่องมือ คือ เมื่อผิวเย็นทำหน้าที่ของการสร้างผลึกเล็กๆ (Nucleation zone) แล้วผลึกเล็กๆเหล่านั้นจะถูกใบขูดทำการขูดผลึกเหล่านั้นออกมาให้อยู่ในส่วนของการเลี้ยงผลึก (Growth zone) (ดังแสดงในภาพที่ 2.8 และ 2.9) ใบขูดของอุปกรณ์ชนิดนี้จะทำหน้าที่ในการกวนสารละลายเพื่อเพิ่มความเป็นเทอร์บูเลนต์ให้กับสารละลายด้วย ข้อดีของการผลิตผลึกแบบนี้คือการลงทุนของอุปกรณ์มีราคาถูกจึงเหมาะสำหรับการผลิตแบบแบทช์ (Batch type) สามารถควบคุมกระบวนการได้ง่าย ข้อเสียของอุปกรณ์นี้คือจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบตกผลึกภายนอก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมพลังงานของการกวนได้เพราะใบกวนและใบขูดติดอยู่ในชุดเดียวกัน



ภาพที่ 2.8 เครื่องผลิตผลึกน้ำแข็งแบบใบขูด

ที่มา: Van Pelt, 1975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 ลักษณะของการเกิดผลึกพร้อมกับการขูดผลึกของใบปาด

ที่มา : Hartel, 1996

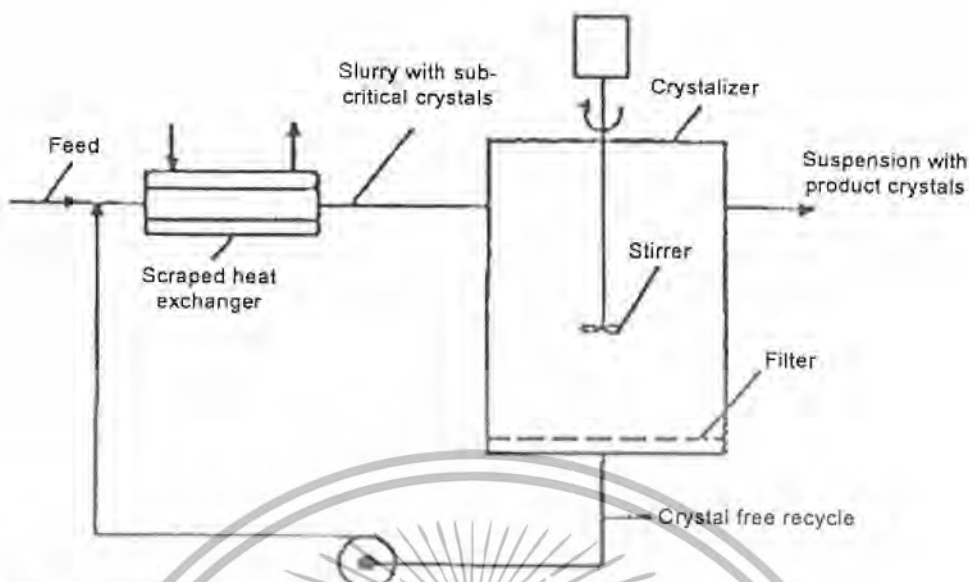
2. แบบตักผลึกภายนอก (External cooled crystallizer)

หลักการผลิตผลึกด้วยเครื่องผลิตผลึกด้วยวิธีนี้คือ การแยกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำเนิดผลึกออกจากถังกวน เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะได้ดีกว่าแบบแรก เหมาะสำหรับการผลิตที่เป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous type) แต่มีการลงทุนที่สูงและต้องการการควบคุมสภาวะที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก โดยวิธีผลิตผลึกแบบนี้มีอุปกรณ์ที่สำคัญ 3 ชนิดคือ

1. เครื่อง Scrap surface heat exchanger อัตราทำความเย็นสูง
2. ถังบ่มผลึก (Ripening tank)
3. ปั๊ม (Pump) ที่ทำหน้าที่ส่งสารละลายที่เป็นของเหลวกลับมาทำความเย็นได้อีก

ในกระบวนการผลิตผลึก ความร้อนจะถ่ายเทผ่านผนังของ Scrap surface heat exchanger ในอัตราที่สูง ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของ subcritical crystal เวลาที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้จะใช้เพียงไม่กี่วินาที จากนั้นผลึกน้ำแข็งเหล่านั้นจะถูกส่งอย่างต่อเนื่อง ไปสู่เครื่องผลิตผลึก (Crystallizer) ผลึกที่ถูกส่งมาจะเกิดการละลายไปรวมกับผลึกที่มีขนาดใหญ่กว่าที่มีอยู่แล้วอยู่ในระบบ โดยในส่วนของกระบวนการผลิตผลึกนี้จะใช้เวลาไม่ต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง แผนภาพแสดงการทำงาน (ดังแสดงในภาพที่ 2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 รูปแบบของเครื่องผลิตผลึกแบบผลิตผลึกภายนอก
ที่มา : Thijssen, 1975

2.2.4 การแยกผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal separation)

เมื่อน้ำผลไม้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งแล้ว จะได้สารละลายที่อยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้นผสมกับผลึกน้ำแข็ง แต่เนื่องจากต้องการสารละลายเข้มข้นเพียงอย่างเดียวจึงจำเป็นต้องมีการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลาย ซึ่งกระบวนการแยกผลึกน้ำแข็งมีหลายวิธี เช่น วิธีกดบีบ (Pressing) วิธีใช้แรงเหวี่ยง (Centrifuge) และวิธีใช้กระบอกล้าง (Wash column)

2.2.4.1 วิธีกดบีบ (Pressing) เป็นวิธีที่นำความดันเข้ามาช่วยในการแยกผลึกน้ำแข็ง โดยที่จะใช้ความดันอัดผ่านชั้นกรองหรือ Filter press ทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลายได้ แต่ในอุตสาหกรรมไม่นิยมใช้ เนื่องจากจะมีสารละลายเข้มข้นปนอยู่ในน้ำแข็งมาก ข้อดีของวิธีนี้คือ จะมีการสูญเสียกลิ่นน้อยมาก เนื่องจากเป็นระบบปิด กลิ่นไม่สามารถกระจายออกไปได้

2.2.4.2 วิธีใช้แรงเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นวิธีแยกผลึกโดยอาศัยแรงเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และมีแผ่นกรองเป็นตัวกั้นมิให้น้ำแข็งกลับไปผสมกับสารละลายเข้มข้นอีก บัจจุบันที่มีผลต่อการแยกได้แก่ ความเร็วการหมุนของตะแกรงแยก ขนาดของผลึกและความหนืดของสารละลายที่จะนำมาแยก หากเปรียบเทียบกับวิธีแรกแล้วจะพบว่า การแยกผลึกน้ำแข็งโดยวิธีใช้แรงเหวี่ยงนี้มีประสิทธิภาพในการแยกผลึกสูงกว่า ในอุตสาหกรรมมีการใช้วิธีนี้อยู่บ้างแต่ไม่กว้างขวางเนื่องจากวิธีนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียรสชาติและกลิ่นได้ง่าย เพราะมีการสัมผัสกับอากาศโดยตรงขณะทำการแยกผลึกน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 วิธีกระบอกล้าง (Wash Column) เป็นวิธีการแยกผลึกน้ำแข็งที่มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบปิดและไม่มีส่วนช่องว่างของอากาศอยู่เลย จึงสามารถรักษากลิ่นรสของสารละลายเข้มข้นได้เป็นอย่างดี วิธีการแยกผลึกน้ำแข็งทำได้โดยจะทำการส่งสารละลาย (Crystal slurry) เข้ามาทางด้านล่างของคอลัมน์ จากนั้นจะบังคับให้ผลึกน้ำแข็งเคลื่อนที่ไปยังส่วนบนซึ่งอาจจะใช้สกรูหรือลูกสูบที่มีรูพรุน ซึ่งจะมีน้ำล้างที่ได้มาจากการละลายของผลึก น้ำแข็งบางส่วนไหลสวนทางมากับผลึกน้ำแข็ง โดยส่วนของผลึกน้ำแข็งจะถูกแยกออกทางส่วนบนของคอลัมน์ ส่วนสารละลายเข้มข้นนั้นจะถูกแยกออกทางส่วนล่างของคอลัมน์

2.2.5 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง

ในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็งมีข้อดีและข้อเสีย ดังต่อไปนี้ (ทะนง ภัครวัช พันธ์ชู, 2524)

2.2.5.1 ข้อดีของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง

1. ลดการเสื่อมเสียที่เกิดจากความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูง
2. สามารถเก็บรักษากลิ่นหอมระเหยได้มากกว่าวิธีอื่นๆ ดังนั้นเมื่อเจือจางแล้วจะได้ น้ำผลไม้ที่มีรสชาติใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สดมากที่สุด
3. การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปฏิกิริยาเอนไซม์ช้าลง
4. สามารถนำน้ำแข็งกลับมาใช้ในกระบวนการได้ เช่น นำกลับมามาควบแน่นสารทำความเย็น

2.2.5.2 ข้อเสียของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง

1. ระดับความเข้มข้นที่ต้องการมักทำได้อย่างจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของของเหลว โดยเฉพาะความหนืด โดยปกติปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ของน้ำผลไม้ต่างๆจะมีค่าต่ำ และที่อุณหภูมิห้อง ของเหลวจะมีค่าความหนืดที่ต่ำ เมื่อทำให้ของเหลวเข้มข้นขึ้นในขณะอุณหภูมิต่ำๆนั้น จะมีผลึกปนอยู่ด้วยจำนวนมาก ส่งผลให้ของเหลวมีความหนืดสูงมาก ทำให้การทำงานของระบบต่างๆลำบากขึ้น เครื่องตกผลึกน้ำแข็งโดยทั่วไปจะออกแบบให้สามารถทำให้เข้มข้นได้ถึง 50% ของน้ำหนักทั้งหมด แต่ในการทำงานจริงไม่สามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้นทุนการผลิตสูง กระบวนการนี้จะมีต้นทุนสูงกว่าระบบอื่นๆมาก แม้ว่าระบบนี้จะใช้พลังงานน้อยกว่า โดยต้องการพลังงานเพียง 144 บีทียูต่อปอนด์ เพื่อให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ในขณะที่การระเหยน้ำปกตินั้นต้องการพลังงานสูงถึง 1,000 บีทียูต่อปอนด์
3. ถ้าทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัวอย่างรวดเร็ว จะทำให้ส่วนของของแข็งที่ละลายได้และเป็นที่ต้องการบางส่วนติดและหลุดออกไปพร้อมผลึกน้ำแข็งแทนที่จะอยู่ในส่วนที่เข้มข้น โดยสารแขวนลอยที่นำเข้าสู่ระบบจะทำหน้าที่เป็นนิวคลีไอแทน ทำให้สารละลายที่เข้มข้นมีสีเขียวและขุ่นคลั่ง เนื่องจากอนุภาคสารที่ให้สีและอนุภาคน้ำมันหอมระเหย ซึ่งอยู่ศูนย์กลางผลึกน้ำแข็งถูกกำจัดออกจากระบบด้วย
4. ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ เพียงแค่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ

3.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1 น้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส
- 3.1.2 น้ำส้มเขียวหวาน ยี่ห้อทิปโก้ ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%
- 3.1.3 น้ำเชื่อม ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

- 3.2.1 ตู้แช่แข็ง อุณหภูมิ ประมาณ -25°C
- 3.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค (Thermocouple Type K)
- 3.2.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์
- 3.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 3.2.5 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand Refractometer)
- 3.2.6 อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น หลอดทดลอง บีกเกอร์ แท่งแก้ว ล้าตี
- 3.2.7 เครื่องกวนผสม (Mixer) ใช้ใบพัด ชนิดใบพายกวน
- 3.2.8 เครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield)
- 3.2.9 เครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

3.3 วิธีการทดลองการเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน

3.3.1 วิธีการทดลองการเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน

1. ชั่งน้ำหนักหลอดทดลอง ตะแกรง และ ที่ใส่หลอดทดลอง (Rack) ทั้งหมด วัสดุอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่าง และวัสดุอุณหภูมิของตู้แช่แข็ง แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง
2. เปิดตัวอย่างน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิสปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ทั้งหมด
3. ทำการชั่งน้ำหนักหลอดทดลองที่บรรจุตัวอย่างเรียบร้อยแล้วทั้งหมด และทำการติดเบอร์ประจำหลอดแต่ละหลอด
4. ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ (เทอร์โมคัปเปิล, เทอร์มิสเตอร์) ที่หลอดทดลองมาตรฐาน (Standard) โดยให้แทงโลหะที่ใช้วัดอุณหภูมิอยู่บริเวณตรงกลางหลอด
5. นำหลอดทดลองทั้งหมดที่จัดเรียงในที่ใส่หลอดทดลอง (Rack) เรียบร้อยแล้วใส่ลงในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -25°C แล้วเริ่มจับเวลาจับเวลาทุกๆ 10 นาที
6. เมื่อถึงเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองออกจากตู้แช่แข็ง 1 หลอด ทำการบันทึกอุณหภูมิพร้อมทั้งชั่งน้ำหนัก
7. เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงจุดที่เป็นยิ่งยวด (Supercooling) จะเปลี่ยนมาทำการจับเวลาทุกๆ 3 นาที โดยทุกๆ 3 นาที จะทำการบันทึกอุณหภูมิพร้อมทั้งนำหลอดทดลอง 1 หลอดออกมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งพิจารณาว่าเกิดผลึกน้ำแข็งหรือไม่ ถ้าเกิดผลึกน้ำแข็งจะทำการกรองน้ำส่วนที่ยังไม่แข็งตัวออกแล้วทำการชั่งน้ำหนักน้ำแข็งที่เกิดขึ้น แล้วบันทึกผลการทดลอง
8. เมื่ออุณหภูมิของน้ำแข็งลดต่ำลงถึงประมาณ -11°C จะหยุดทำการทดลองแล้วนำหลอดทดลองที่เหลือออกจากตู้แช่แข็ง เพื่อป้องกันหลอดทดลองแตกเสียหาย เนื่องจากการขยายตัวของน้ำแข็งในหลอดทดลอง
10. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง ข้อ 9 โดยเปลี่ยนตัวอย่างเป็นน้ำเชื่อม(Syrup) และน้ำส้มเขียวหวาน (Tangerine juice) ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4% ตามลำดับ

3.3.1.1 การวิเคราะห์ผล

จากกราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ปริมาณความร้อนที่ถูกกำจัดออกจากระบบ และ กราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น กับ เวลา นำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อศึกษาแนวโน้มในการเกิดผลึกน้ำแข็ง และวิเคราะห์ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นที่เวลาทั้งหมด และ เวลาต่างๆ ว่ามีความแตกต่างกันเชิงสถิติอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง

1. เตรียมตัวอย่างน้ำส้มเขียวหวานที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4% บรรจุในบีกเกอร์ เป็นปริมาตร 200 มิลลิลิตร
2. ติดตั้งเครื่องมือกวนผสมโดยใช้ใบพัดชนิดใบพายกวน กับตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25°C
3. ทำการแช่แข็งตัวอย่าง โดยเลือกใช้ความเร็วรอบของเครื่องมือกวนผสมที่ 90, 120 และ 150 rpm
4. ทำการวิเคราะห์หาความเร็วรอบที่เหมาะสม
5. นำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งร่วมกับวิธีการกวนผสม โดยใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสม ไปทำการแยกผลึกน้ำแข็งออก ด้วยเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง(Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที
6. นำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น ที่ผ่านการกรองแยกผลึกน้ำแข็งออก ภายหลังจากการเหวี่ยง แยกด้วยเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง(Centrifuge) มาทำการวัดค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield)

3.4.1 วิธีการทดลองกระบวนการแช่แข็งน้ำส้มเขียวหวาน ร่วมกับวิธีการกวน

1. เตรียมตัวอย่างน้ำส้มเขียวหวานปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ พร้อมทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของน้ำส้มเขียวหวานก่อนทำการแช่แข็ง
2. ติดตั้งเครื่อง Mixer ใบพัดชนิดใบพายกวน (Turbine) และ เครื่องวัดอุณหภูมิให้อยู่ใน ตำแหน่งที่เหมาะสม
3. ตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่อง Mixer ที่ 90 rpm เปิดเครื่อง Mixer และเริ่มทำการจับเวลา
4. จับเวลาทุกๆ 5 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำการวัดอุณหภูมิและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของน้ำส้มเขียวหวานขณะนั้น แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง ให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ตามความต้องการ
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง ข้อ 4 โดยเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่อง Mixer เป็น 90, 120 และ 150 rpm ตามลำดับ

3.4.1.1 การวิเคราะห์ผล

จากกราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ นำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อศึกษาความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนผสม ที่ส่งผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ว่ามีความแตกต่างกันเชิงสถิติอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิธีการทดลองการวัดค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวาน

1. ทำการวัดค่าความหนืดน้ำส้มเขียวหวานก่อนทำการแช่แข็งด้วยเครื่องวัดค่าความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield) ที่ความเร็วรอบ 0.5, 1, 2, 4, 5, 10, 20, 50, 100, 150 และ 200 rpm ตามลำดับ พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง
2. ทำตามขั้นตอนของกระบวนการแช่แข็งน้ำส้มเขียวหวาน ร่วมกับวิธีการกวนโดยใช้ใบพายข้างต้น โดยเลือกใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นต้น
3. ปล่อยทิ้งไว้จนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มเขียวหวานได้ตามที่ต้องการ จึงนำบีกเกอร์ออกจากตู้แช่แข็ง แล้วทำการแบ่งน้ำส้มในบีกเกอร์ใส่ลงในกระบอกหมุนเหวี่ยงที่จัดเตรียมไว้
4. ทำการหมุนเหวี่ยงน้ำส้มเขียวหวานเพื่อทำการแยกน้ำแข็ง โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 rpm โดยเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นถึง 3,000 rpm แล้วจะปล่อยให้ความเร็วคงที่เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงทำการปรับความเร็วให้ลดลงสู่ศูนย์
5. นำน้ำส้มเขียวหวานที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงเรียบร้อยแล้ว ทำการกรองแยกผลึกน้ำแข็งออก พร้อมทั้งทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น
6. นำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นมาวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดค่าความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield) โดยทำการวัดที่ความเร็วรอบ 0.5, 1, 2, 4, 5, 10, 20, 50, 100, 150 และ 200 rpm ตามลำดับ พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

3.4.2.1 การวิเคราะห์ผล

จากกราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ทำให้สามารถทราบค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานและน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นได้ จากนั้นนำค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานและน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นมาวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติ เพื่อวิเคราะห์ถึงปริมาณความหนืดที่เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

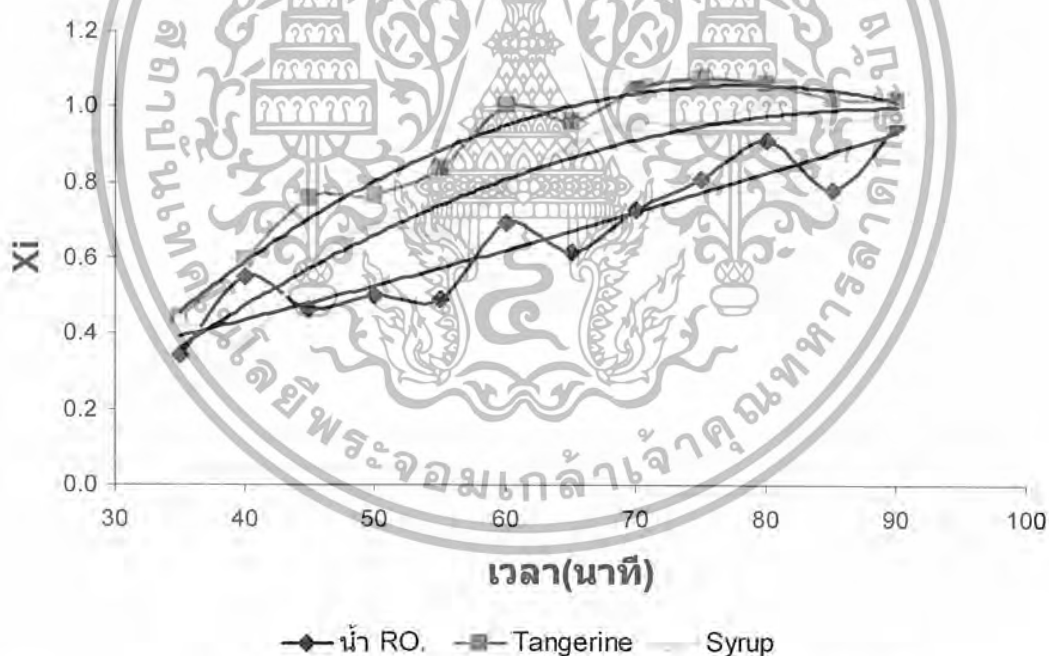
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน

4.1.1 ผลการทดลองการเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน

เมื่อทำการแช่แข็งตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และน้ำส้มเขียวหวาน (น้ำเชื่อมและน้ำส้มเขียวหวาน ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%) ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25°C มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $7.79\text{ W/m}^2\text{K}$ (ดังแสดงในภาคผนวก ง.) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น (Xi) กับเวลา (นาฬิกา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเวลาในการแช่แข็งเพิ่มขึ้น ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็ง ทั้ง 3 ตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเชิงบวก (ดังแสดงในภาพที่ 4.1) ตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่าง มีอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะ supercooling เมื่อเวลาในกระบวนการแช่แข็งผ่านไปประมาณ 35 นาที จะเริ่มเกิดการเปลี่ยนสถานะจากน้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ช่วงเวลา 45 ถึง 80 นาที ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น (X_i) ของตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันเชิงสถิติ ที่เวลา 45, 55 และ 65 นาที ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำส้มเขียวหวานมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ตามลำดับ โดยที่เวลา 45 นาที ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส มีค่าเท่ากับ 0.76, 0.58 และ 0.46 ตามลำดับ, เวลา 55 นาที ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส มีค่าเท่ากับ 0.84, 0.67 และ 0.49 ตามลำดับ และที่เวลา 65 นาที ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส มีค่าเท่ากับ 0.97, 0.90 และ 0.62 ตามลำดับ (ดังแสดงในภาคผนวก ข.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



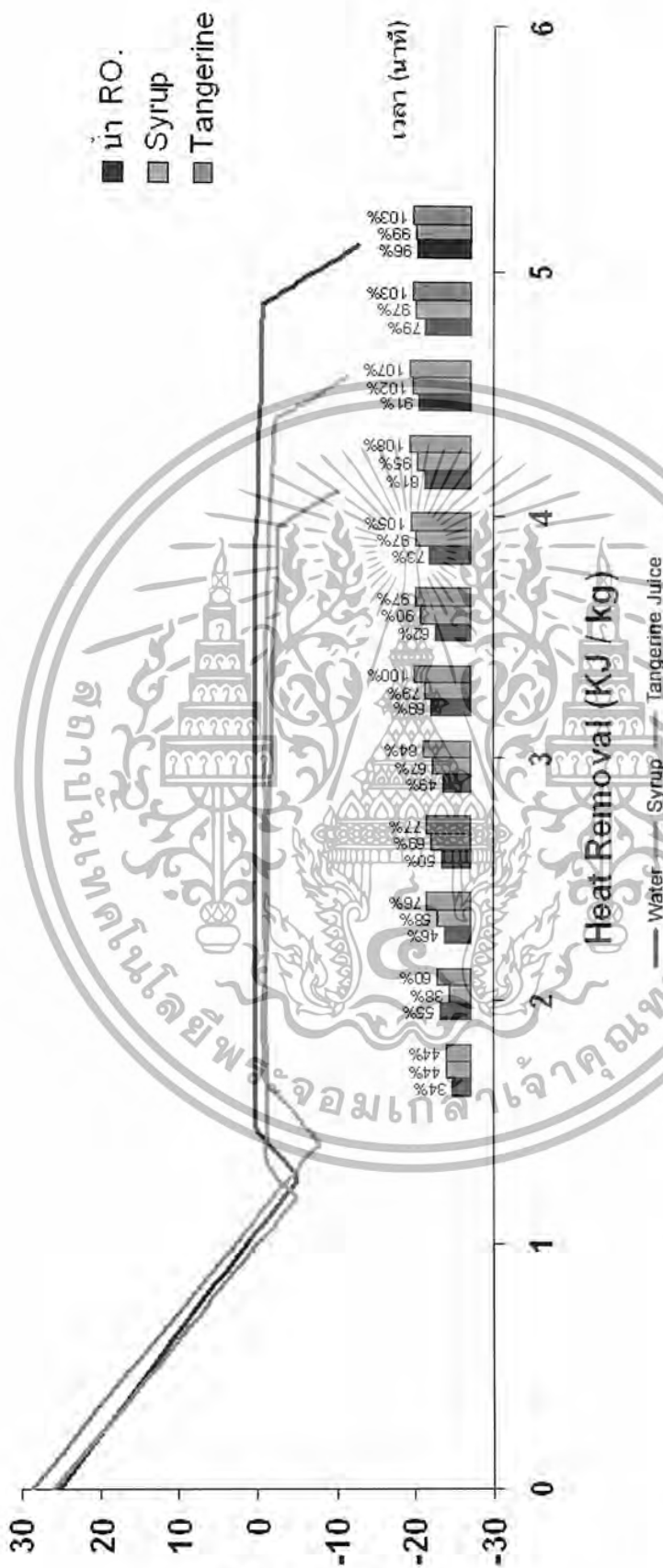
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพัทธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เวลา และ แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสัดส่วนของ ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ที่เวลาต่างๆ ของตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าที่เวลาเท่ากัน ตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่าง จะมีอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำแข็งที่แตกต่างกัน (ดังแสดงในภาพที่ 4.2) เนื่องจากน้ำส้มเขียวหวานมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็ง เช่น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ มากกว่าน้ำเชื่อมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่านั้น และ น้ำคั้นรีเวอร์สออสโมซิส ที่ไม่มีองค์ประกอบของของแข็งอยู่เลย จึงส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของน้ำส้มเขียวหวานมีค่ามากกว่าน้ำเชื่อมและ น้ำคั้นรีเวอร์สออสโมซิส ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น จึงสามารถคายความร้อนออกจากระบบได้เร็วที่สุด ทำให้ใช้เวลาในการแช่แข็งน้อยที่สุดด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



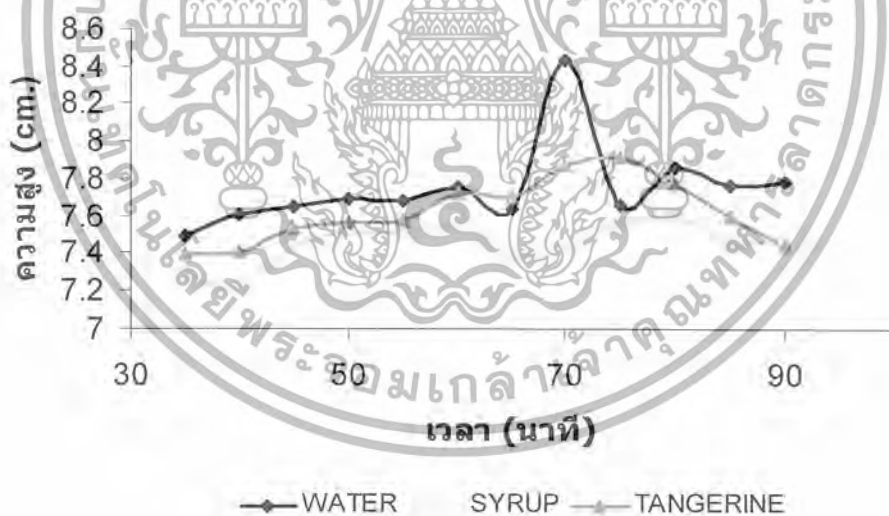
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพัทธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ปริมาณความร้อนที่ถูกกำจัดออกจากระบบ และ แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ที่เวลาต่างๆ ของตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ (๖) ๒๕๖๒
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย ค่าปริมาณความร้อนที่ถูกกำจัดออก (Heat Removal) ของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิสเท่ากับ 3.96, 4.14 และ 5.08 KJ/kg ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และ ภาคผนวก ข.) และเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส มีค่าเท่ากับ 70, 80 และ 90 นาทีตามลำดับ

4.1.2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าความสูงที่เปลี่ยนแปลงของน้ำดื่ม Reverse osmosis , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ขณะทำการแช่แข็ง

ทำการบันทึกความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส ที่บรรจุอยู่ภายในหลอดทดลองในระหว่างกระบวนการแช่แข็ง เพื่อเปรียบเทียบความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการขยายตัวหรือเพิ่มปริมาตรของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง นำค่าเฉลี่ยของความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน มาทำการเปรียบเทียบ เพื่อศึกษาแนวโน้ม และวิเคราะห์ความแตกต่างของความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน

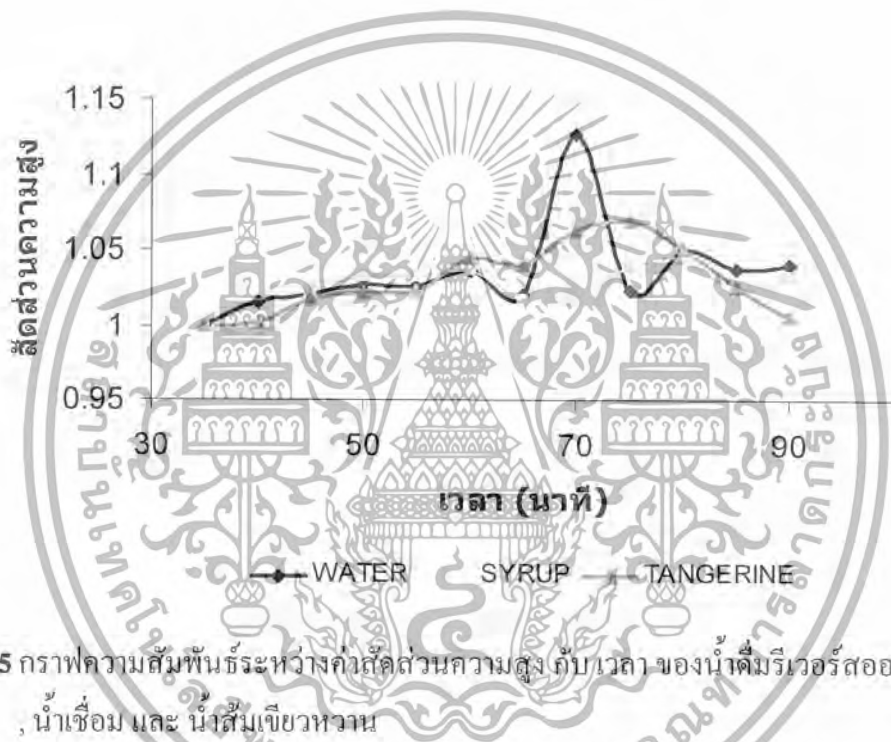


ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำดื่ม และ น้ำส้มเขียวหวาน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำค่าเฉลี่ยของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน มาทำการเปรียบเทียบ เพื่อศึกษาแนวโน้ม และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน



ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนความสูง กับเวลา ของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน

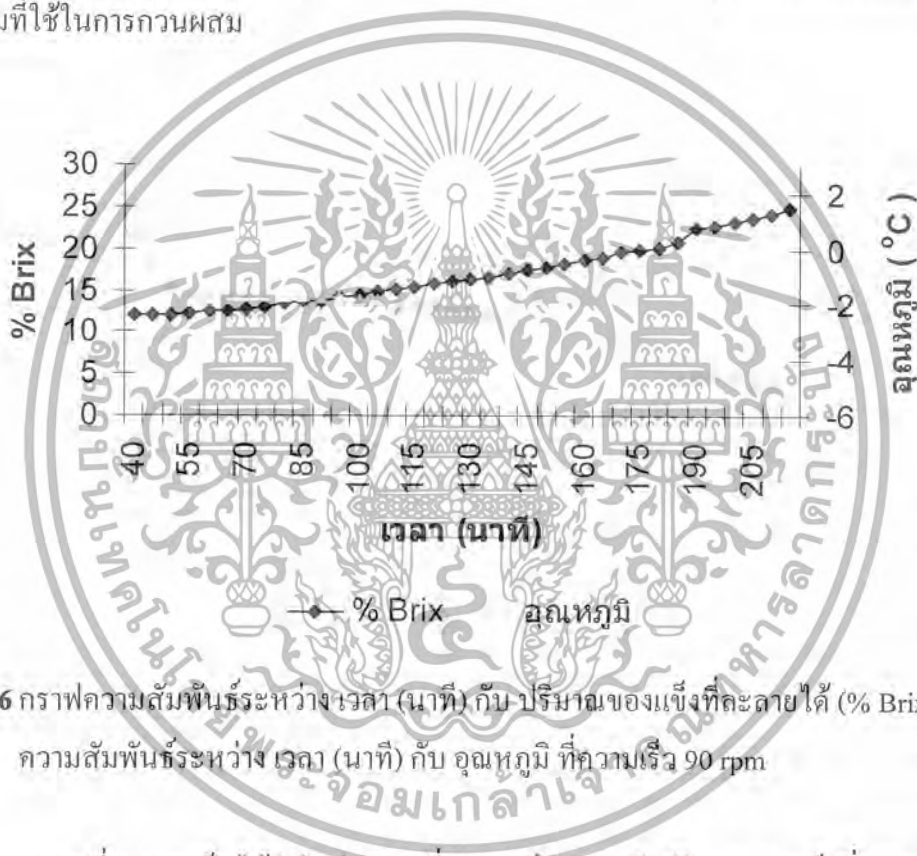
จากผลการวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำดื่ม และ น้ำส้มเขียวหวาน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง

4.2.1 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น โดยกระบวนการแช่แข็ง ร่วมกับวิธีการกวน

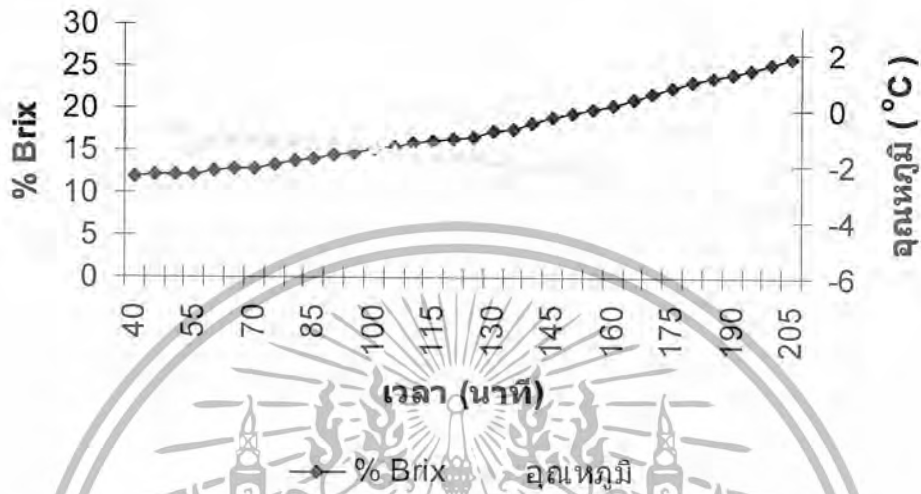
การทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นด้วยการแช่แข็งร่วมกับวิธีการกวน เนื่องจาก การลงทุนของ อุปกรณ์มีราคาถูกและสามารถควบคุมกระบวนการได้ง่าย โดยที่ความเร็วรอบมีผลต่อการอัตราการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นจึงต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ อุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 90, 120 และ 150 rpm เพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้ในการกวนผสม



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ อุณหภูมิ ที่ความเร็ว 90 rpm

จากภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่เวลา 0 ถึง 55 นาที ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอยู่ในช่วงการคายความร้อนสัมผัส หลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงนี้ความร้อนจะถูกกำจัดออกไปในรูปความร้อนแฝงของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำจะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง เป็นผลให้น้ำส้มเขียวหวานที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยใช้เวลา 215 นาที สามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ จาก 11.9% เป็น 24.9%

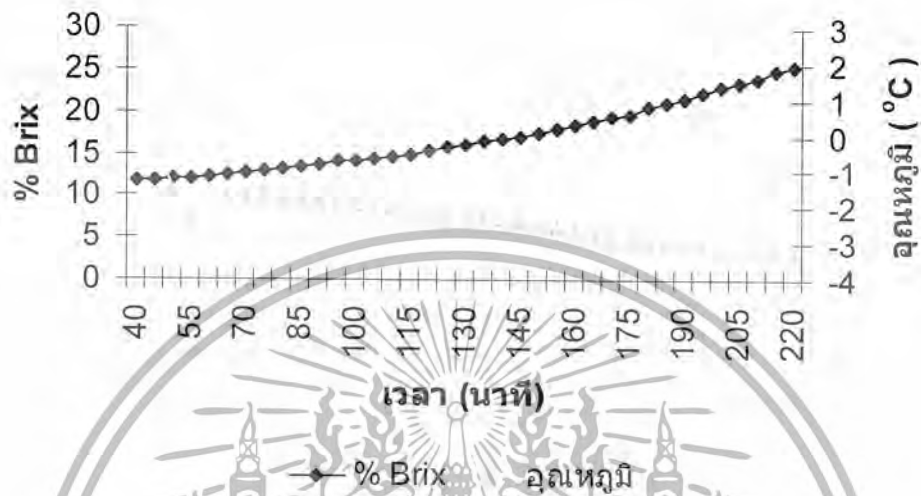
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ อุณหภูมิจนเย็นยิ่งยวด ที่ความเร็ว 120 rpm

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่เวลา 0 ถึง 55 นาที ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอยู่ในช่วงการคายความร้อนสัมผัส หลังจากผ่านจุดอุณหภูมิจนเย็นยิ่งยวด (Supercooling) ในช่วงนี้ความร้อนจะถูกกำจัดออกไปในรูปความร้อนแฝงของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นน้ำแข็ง เป็นผลให้น้ำส้มเขียวหวานที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยใช้เวลา 205 นาที สามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ จาก 12% เป็น 25.1%

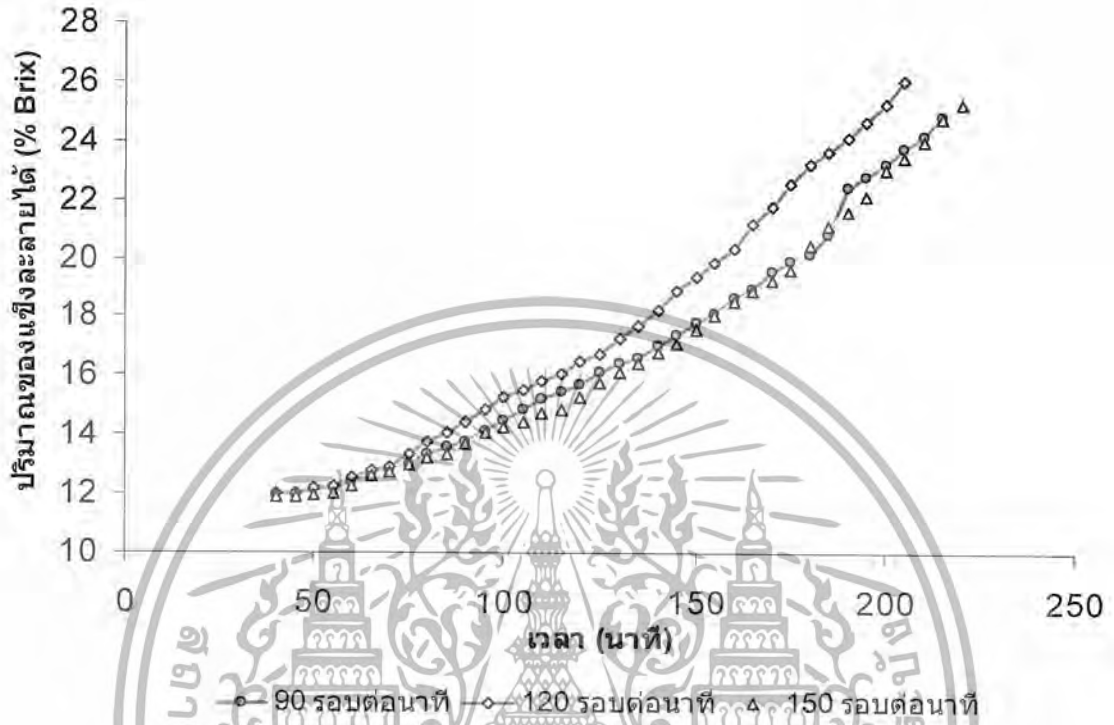
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ อุณหภูมิ ที่ความเร็ว 150 rpm

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่เวลา 0 ถึง 60 นาที ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอยู่ในช่วงการคายความร้อนสัมผัส หลังจากผ่านจุดอุณหภูมิต่ำยิ่งยวด (Supercooling) ในช่วงนี้ความร้อนจะถูกกำจัดออกไปในรูปความร้อนแฝงของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำจะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง เป็นผลให้น้ำส้มเขียวหวานที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยใช้เวลา 220 นาที สามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ จาก 11.9% เป็น 25.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (นาที) อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็ว 90, 120 และ 150 rpm

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 25% ความเร็วรอบ 120 rpm จะใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 200 นาที ความเร็วรอบ 90 และ 150 rpm ใช้เวลาใกล้เคียงกันประมาณ 215 นาที

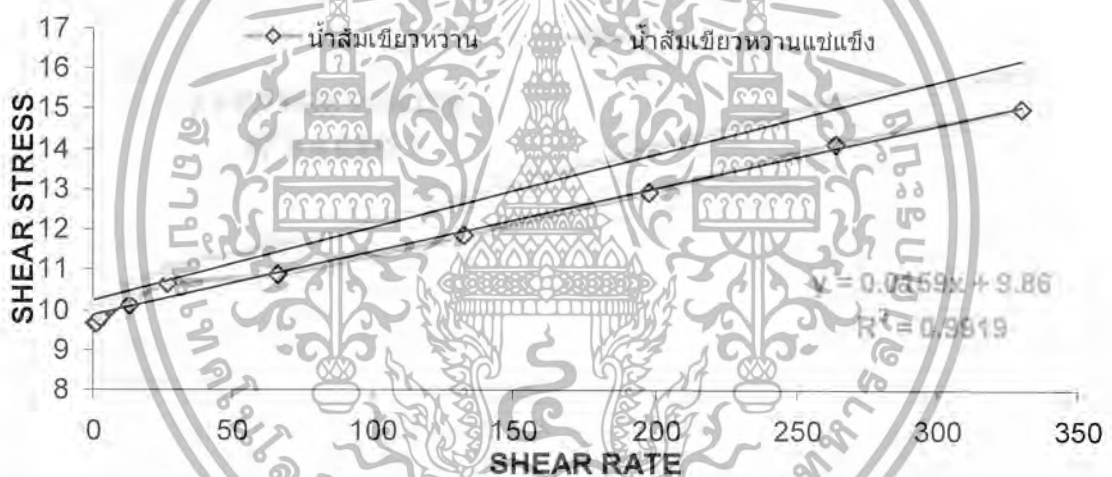
ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ ปันตดา นนทนา (2546) ที่ได้ทำการศึกษาผลของความเร็วรอบการกวนน้ำมะนาว ที่มีผลต่อปริมาณผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่า การใช้ความเร็วรอบในการสูง (150 rpm) จะทำให้เกิดการชนของผลึกน้ำแข็งได้มากกว่าการใช้ความเร็วรอบต่ำ (50 rpm) ส่งผลให้การใช้ความเร็วรอบที่สูงมีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นในปริมาณที่มากกว่า แต่ถ้าใช้ความเร็วรอบในกวนที่สูงเกินไป จะทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีการละลายไปบางส่วน

เมื่อนำมาประมวลผลเชิงสถิติ พบมีว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 22% ความเร็วรอบ 120 rpm จะใช้เวลาน้อยที่สุดคือ 166 นาที ความเร็วรอบ 90 และ 150 rpm ใช้เวลา 188 และ 189 นาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวาน และน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น

นำน้ำส้มเขียวหวานเข้าสู่กระบวนการแช่แข็งพร้อมกับการกวนผสม แล้วทำการแยกผลึกน้ำแข็งออกโดยเครื่องหมุนเหวี่ยง โดยใช้ความเร็วรอบของเครื่องหมุนเหวี่ยงเท่ากับ 3,000 rpm โดยใช้ความเร็วรอบคงที่เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ผ่านการแยกผลึกน้ำแข็งเรียบร้อยแล้วมาทำการวัดค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น ด้วยเครื่องวัดค่าความหนืดแบบ Brookfield ที่ความเร็วรอบต่างๆกัน พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) และค่าอัตราเฉือน (Shear rate) ที่ความเร็วรอบนั้นๆ จากนั้นทำการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) กับค่าอัตราเฉือน (Shear rate) เพื่อหาค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานจากค่าความชันของกราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) กับค่าอัตราเฉือน (Shear rate)



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำส้มเขียวหวาน และ น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น

จากกราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับค่า Shear rate สามารถทราบค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานได้เท่ากับ 0.0159 P หรือ 1.59 cP และค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นเท่ากับ 0.0183 P หรือ 1.83 cP นั่นคือค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานที่ผ่านการทำให้เข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็งมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นประมาณ 0.24 cP หรือประมาณ 15.1%

ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าความหนืดระหว่างน้ำส้มเขียวหวานและน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นพบว่าค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานและน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลองเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน

5.1.1 สรุปผลการทดลองการเกิดผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างมาตรฐาน

เมื่อเวลาในการแช่แข็งผ่านไปประมาณ 35 นาที น้ำส้มเขียวหวาน, น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส จะมีอุณหภูมิตกลงเข้าสู่ภาวะ supercooling และเริ่มผลิตผลึกน้ำแข็งขึ้น โดย น้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส จะมีปริมาณการผลิตผลึกน้ำแข็ง 34% ,น้ำส้มเขียวหวานและน้ำเชื่อมจะมีปริมาณการผลิตผลึกน้ำแข็งที่เท่ากันคือ 44% ในส่วนนี้จะมีกระบวนการคายความร้อนแฝงเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งน้ำส้มเขียวหวานจะมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็ง เช่น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ มากกว่าน้ำเชื่อมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่านั้น และ น้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ที่ไม่มีองค์ประกอบของของแข็งอยู่เลย จึงทำให้น้ำส้มเขียวหวานสามารถคายความร้อนออกจากระบบได้เร็วที่สุด ทำให้ใช้เวลาในการแช่แข็งสั้นที่สุด โดยค่าปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถูกกำจัดออก (Heat Removal) ของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส เท่ากับ 3.96, 4.14 และ 5.08 KJ/kg ตามลำดับ และเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส เท่ากับ มีค่าเท่ากับ 70, 80 และ 90 นาทีตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้นี้ใกล้เคียงกับการคำนวณเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง โดยผลการคำนวณเวลาในการแช่แข็งของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำเชื่อม และน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส มีค่าเท่ากับ 104.9, 106.7 และ 119.6 นาที ตามลำดับ

5.1.2 สรุปผลการทดลองของค่าความสูงและค่าสัดส่วนความสูงของตัวอย่างมาตรฐาน

ค่าความสูงและค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่ม Reverse osmosis , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวานมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการแช่แข็ง ค่าความสูงและค่าสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของปริมาตรของน้ำดื่ม Reverse osmosis , น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวานในระหว่างกระบวนการแช่แข็ง โดยน้ำดื่ม Reverse osmosis มีค่าความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 3% และน้ำเชื่อมมีค่าความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 2% และน้ำส้มเขียวหวานมีค่าความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็ง

5.2.1 สรุปผลการทดลองของการทำน้ำส้มเขียวหวานให้เข้มข้น

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ในระยะแรกคือในช่วงเวลาก่อนที่จะถึงจุดอุณหภูมิเย็นยิ่งยวด (Supercooling) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอยู่ในช่วงการคายความร้อนสัมผัส หลังจากนั้นผ่านไป แล้ว ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการคายความร้อนแฝงของน้ำส้มเขียวหวาน น้ำจะเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง เป็นผลให้น้ำส้มเขียวหวานที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยความเร็วรอบที่ 120 rpm สามารถเพิ่มความเข้มข้น จาก 12.4% เป็น 25% ได้ จะใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 200 นาที รองลงมาคือ 90 และ 150 rpm ใช้เวลาประมาณ 215 rpm ซึ่งในเวลาที่ทำกลั่นนั้นสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าจะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ และจะมีการสูญเสียของสารละลายที่ติดไปกับผลึกที่น้อยกว่าด้วย เมื่อคิดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 22% เท่ากันพบว่า ที่ความเร็วรอบ 120 rpm จะใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 161 นาที รองลงมาคือที่ความเร็วรอบ 90 และ 150 rpm โดยใช้เวลา 188 และ 189 ตามลำดับ ผลการคำนวณ ห้วงเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของน้ำส้มเขียวหวานที่ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใช้เวลาประมาณ 8.74 ชั่วโมง แต่จากผลการทดลองใช้เวลาประมาณ 3.5 ชั่วโมง เพราะว่าการกวนจะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน เป็นผลให้ใช้เวลาในการแช่แข็งน้อยลงประมาณ 2.5 เท่า

5.2.2 สรุปผลการทดลองการวัดค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวาน และน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น

1. การทำให้เข้มข้น โดยกระบวนการแช่แข็งส่งผลให้น้ำส้มเขียวหวานมีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน เพราะน้ำส้มเขียวหวานมีส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น

2. น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งและกระบวนการแยกผลึกน้ำแข็งเรียบร้อยแล้วมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นประมาณ 15.1%

3. ค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นมีความแตกต่างทางสถิติจากค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.3 สรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์

1. ในขั้นตอนของการทดลองศึกษาปริมาณของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแช่แข็งพบว่าสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำส้มเขียวหวานมีค่ามากกว่าน้ำเชื่อม และน้ำคัมนิรีเวอร์สออสโมซิส ตามลำดับ เนื่องจากในน้ำส้มเขียวหวานมีองค์ประกอบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของน้ำส้มเขียวหวานสูงกว่าน้ำเชื่อม และ น้ำคัมนิรีเวอร์สออสโมซิส

2. การทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นโดยกระบวนการแช่แข็งมีขั้นตอนหลักๆ คือ การทำการแช่แข็งพร้อมกับการกวนผสมเพื่อทำให้น้ำส้มเขียวหวานมีสภาพคล้ายโคลน (Slurry) ซึ่งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอ ขั้นตอนถัดมาคือการแยกผลึกน้ำแข็ง โดยจากการทดลองใช้วิธีการแยกผลึกน้ำแข็งโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง โดยการใช้ความเร็วรอบของเครื่องหมุนเหวี่ยงที่สูงจะส่งผลให้เกิดแรงเหวี่ยงที่สูงเพิ่มขึ้น แต่จำเป็นต้องใช้เวลาในการไต่ระดับความเร็วจนถึงระดับความเร็วรอบที่ต้องการเพิ่มขึ้นด้วย และในการหมุนเหวี่ยงจะเกิดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีระหว่างผลึกน้ำแข็ง ซึ่งจะส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งบางส่วนละลายได้ ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกใช้ค่าความเร็วรอบของเครื่องหมุนเหวี่ยงที่มากหรือน้อยจนเกินไป

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ผลการทดลองตัวอย่างมาตรฐาน

1. การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิควรทำการติดตั้งอยู่บริเวณกลางหลอด โดยส่วนของโลหะที่ใช้วัดอุณหภูมิไม่สัมผัสกับผิวของหลอดบรรจุ ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าของอุณหภูมิที่อ่านได้เกิดความคลาดเคลื่อน

2. การชั่งน้ำหนักผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นควรทำในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการละลายของผลึกน้ำแข็งในระหว่างการนำผลึกน้ำแข็งออกจากหลอดทดลอง

3. การชั่งน้ำหนักผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ควรชั่งหลังจากตัวอย่างผ่านจุด supercooling เพราะในช่วงก่อนหน้านั้น เมื่อนำแท่งแก้วทิ่มไปในหลอดทดลองที่บรรจุตัวอย่าง เป็นผลให้ตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของเหลวมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป โดยมีสภาพคล้ายโคลน (Slurry) ทำให้ที่ชั่งได้น้ำหนักผลึกน้ำแข็งที่มากกว่าความเป็นจริง เนื่องจากอุปกรณ์ที่มีไม่สามารถทำการวัดค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อมูลในด้านความสูงและสัดส่วนความสูงของตัวอย่าง ขึ้นกับความแม่นยำในการตวง ปริมาตรของตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุ การผันแปรของข้อมูลหรือความไม่สม่ำเสมอของการ บรรจุตัวอย่างลงในหลอดทดลอง สามารถส่งผลให้ค่าความสูงและค่าสัดส่วนความสูงที่เปลี่ยนแปลง ไประหว่างกระบวนการแช่แข็งเกิดการคลาดเคลื่อนได้

5.4.2 ผลการทดลองกระบวนการแช่แข็งน้ำส้มเขียวหวาน ร่วมกับวิธีการกวน

1. ในระหว่างการทดลองนั้น ได้มีการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิล เนื่องจากมี ปัญหาในการขอใช้งาน ดังนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้
2. ในระหว่างการทดลอง ได้มีสิ่งของอื่นมาเข้าร่วมด้วย ดังนั้นอาจทำให้ผลคลาดเคลื่อนได้

5.4.3 ผลการทดลองวัดค่าความหนืดของน้ำส้มเขียวหวานทั้งที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการแช่แข็ง

1. การแยกผลึกด้วยการใช้แรงเหวี่ยง ต้องคำนึงถึงความเร็วรอบในการหมุน ซึ่งจะส่งผลต่อ แรงเหวี่ยง แต่แรงเหวี่ยงที่เกิดจากความเร็วยิ่งมากเกินไป จะมีผลทำให้น้ำแข็งละลาย เนื่องจาก ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีระหว่างผลึกนั้นแข็ง และเวลาที่ใช้ในการ ได้ระดับความเร็วรอบ จนถึงความเร็วรอบที่ต้องการจะใช้เวลานานขึ้นเมื่อกำหนดค่าความเร็วรอบที่สูง
2. การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ค่าความหนืดที่อ่านได้จาก เครื่องวัดค่าความหนืดไม่สามารถนำมาใช้อ้างอิงถึงค่าความหนืดของตัวอย่างได้ เนื่องจากค่าความ หนืดที่แสดงบนเครื่องวัดค่าความหนืดจัดเป็น Apparent Viscosity ซึ่งเป็นค่าความหนืดที่ขึ้นอยู่กับ ความเร็วหนึ่งๆเท่านั้น ต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความหนืดออกมาในรูปของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่า Shear stress และ Shear rate โดยความชันของกราฟคือค่าความหนืดในหน่วยพอยส์ (P) (สำหรับของไหลนิวโตเนียน) ซึ่งค่าความหนืดที่ได้สามารถนำไปอ้างอิงถึงค่าความหนืดของตัวอย่าง ได้ เพราะจัดเป็นค่าความหนืดแบบ Absolute Viscosity
3. อุณหภูมิภายในห้องหมุนเหวี่ยงของเครื่องหมุนเหวี่ยง ต้องมีการควบคุมให้ต่ำ และมีการ ผันแปรของอุณหภูมิให้น้อยที่สุด ดังนั้นในการเลือกใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงควรเลือกเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่มีระบบในการทำความเย็นและมีการควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ทะนง ภักดิ์ชัพพันธุ์, 2524, **อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม**, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 135 หน้า.

เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ และ ภักดิ์ชัพพันธุ์, 2544, “สมุนไพรรักษา มะเร็ง”, **หมอนามัย**, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, กรกฎาคม-สิงหาคม, หน้า 51.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535, **วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร**, สำนักพิมพ์ โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ, หน้า 121-157

สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535, **การพัฒนาระบบวิธีการผลิต : ผลิตภัณฑ์อาหารเหลว**, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 304 หน้า.

Anon. 2000. “**Theoretical aspects of the freezing process.**” University of Guelph: [Online]. Available: <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/freezetheor.html>

Braddock, R.J. and Marcy, J.E., 1985, “Freeze Concentration of Pineapple Juice”, **Journal of Food Science**, Vol.50, No. 6, pp. 1636-1639

Baldwin, E.A., 1993, “Citrus Fruit”, In **Biochemistry of Fruit Ripening**, 1st ed., Seymour, G.B., Taylor, J.E. and Tucker, G.A. (Eds.), Chapman & Hall, London, pp. 115-116.

Deshpande, S.S., Bolin, H.R. and Salunkhe, D.K., 1982, “Freeze Concentration of Fruit Juices”, **Food Technology**, Vol. 36, pp. 68-82.

Jie, W., Lite, L. and Yang, D., 2003, “The Correlation between Freezing Point and Soluble Solids of Fruits”, **Journal of Food Engineering**, Vol. 60, pp. 481-484.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ramteke, R.S., Singh, N.L., Rekha, M.N. and Eipeson, W.E., 1993. "Method for Concentration of Fruit Juice : A Critical Evaluation", **Journal of Food Science and Technology**, Vol. 30, No. 6, pp. 391-402.

Schwartzberg, H.G. and Rao, M.A., 1990, "Food Freeze Concentration", In **Biotechnology and Food Process Engineering**, Marcel Dekker, New York, pp. 129-196.

Thijssen, H.A.C., 1975, "Current Development in the Freeze Concentration of Liquid Foods", In **Freeze Drying and Advanced Food Technology**, Goldblith, S.A., Rey, L. and Rothmayr, W.W. (Eds.), Academic Press, London, pp. 481-501.

Van Pelt, W.H.J.M., 1975, "Freeze Concentration of Vegetable Juices" In **Freeze Drying and Advanced Food Technology**, Goldblith, S.A., Rey, L. and Rothmayr, W.W. (Eds.), Academic Press, London, pp. 549-563.

Van Pelt, W.H.J.M. and Swinkels, W.J., 1986, "Recent Developments in Freeze Concentration", In **Food Engineering and Processing Application**, LeMaguer, M. and Jelen, P. (Eds.), Elsevier Applied Science Publishers, London, pp. 261-273.

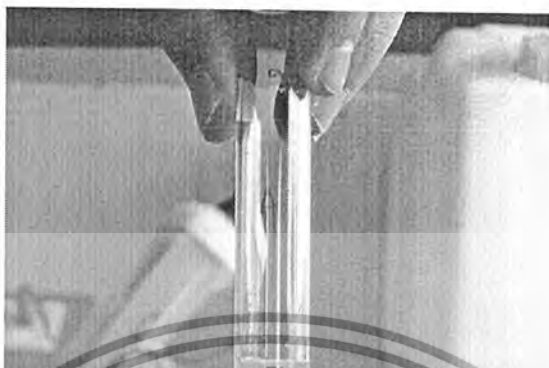
Verschuur, R.J., Scholz, R., Nistelrooij, M.V. and Schreurs, B., 2002. **Innovation in Freeze Concentration Technology**, Niro Process Technology, Netherlands.

"Supercooling." [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Supercooling>

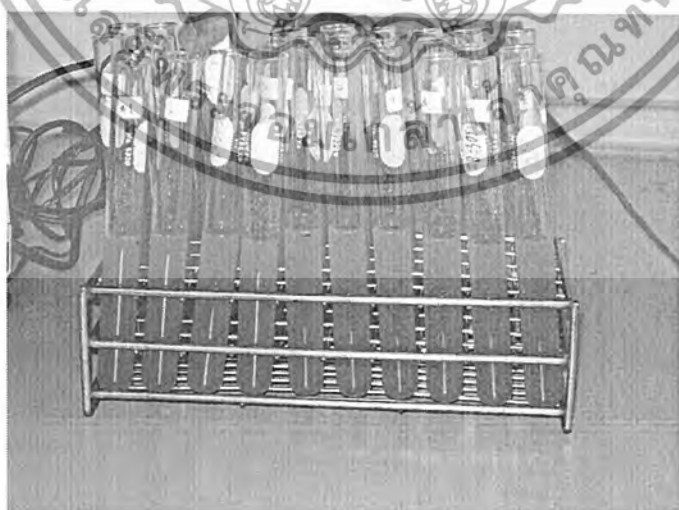
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

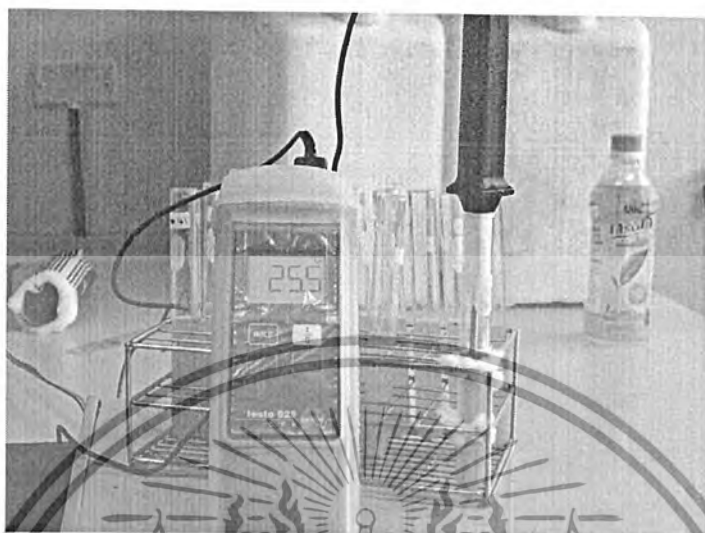


ภาพที่ ก.1 แสดงการเตรียมตัวอย่างมาตรฐาน (น้ำส้มเขียวหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%) บรรจุลงในหลอดทดลองเป็นปริมาตร 10 มิลลิลิตร



ภาพที่ ก.2 แสดงการเตรียมตัวอย่างมาตรฐาน (น้ำส้มเขียวหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้

12.4%) บรรจุลงในหลอดทดลอง ก่อนเข้าสู่กระบวนการแช่แข็ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

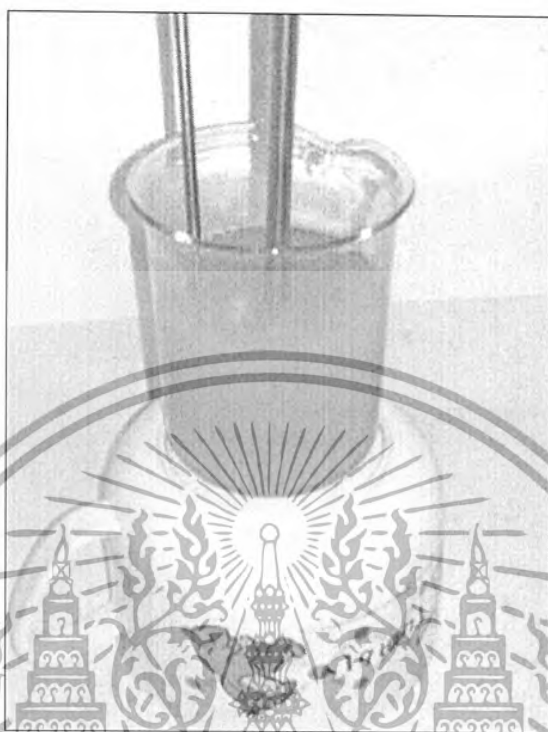


ภาพที่ ก.3 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ ลงในหลอดทดลองมาตรฐาน (น้ำส้มเขียวหวาน มีปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้ 12.4%) บรรจุลงในหลอดทดลอง ก่อนเข้าสู่กระบวนการแช่แข็ง



ภาพที่ ก.4 แสดงเครื่อง Mixer ตั้งค่าความเร็วรอบ 120 rpm

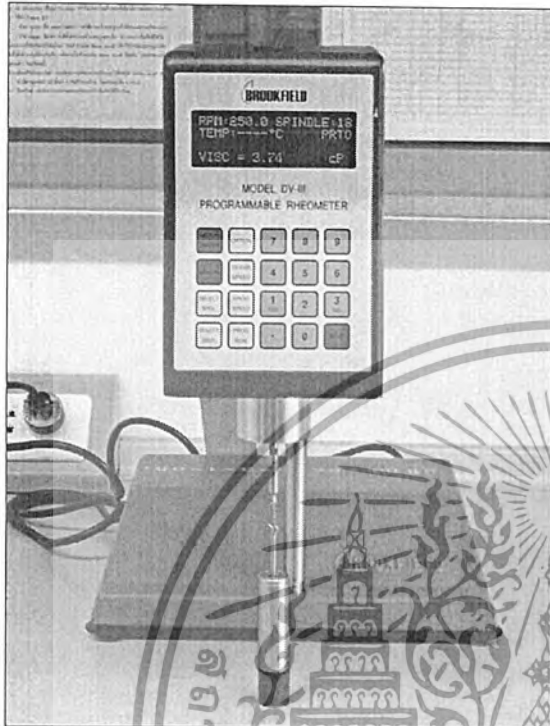
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.5 แสดงติดตั้งเครื่อง Mixer ใบพัด ชนิดใบพายกวน (Turbine) และ เครื่องวัดอุณหภูมิให้อยู่
ในตำแหน่งที่เหมาะสม ภายในบีกเกอร์



ภาพที่ ก.6 แสดงน้ำส้มเข้มข้นที่มีสภาพคล้ายโคลน (Slurry) ภายหลังจากแช่แข็ง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

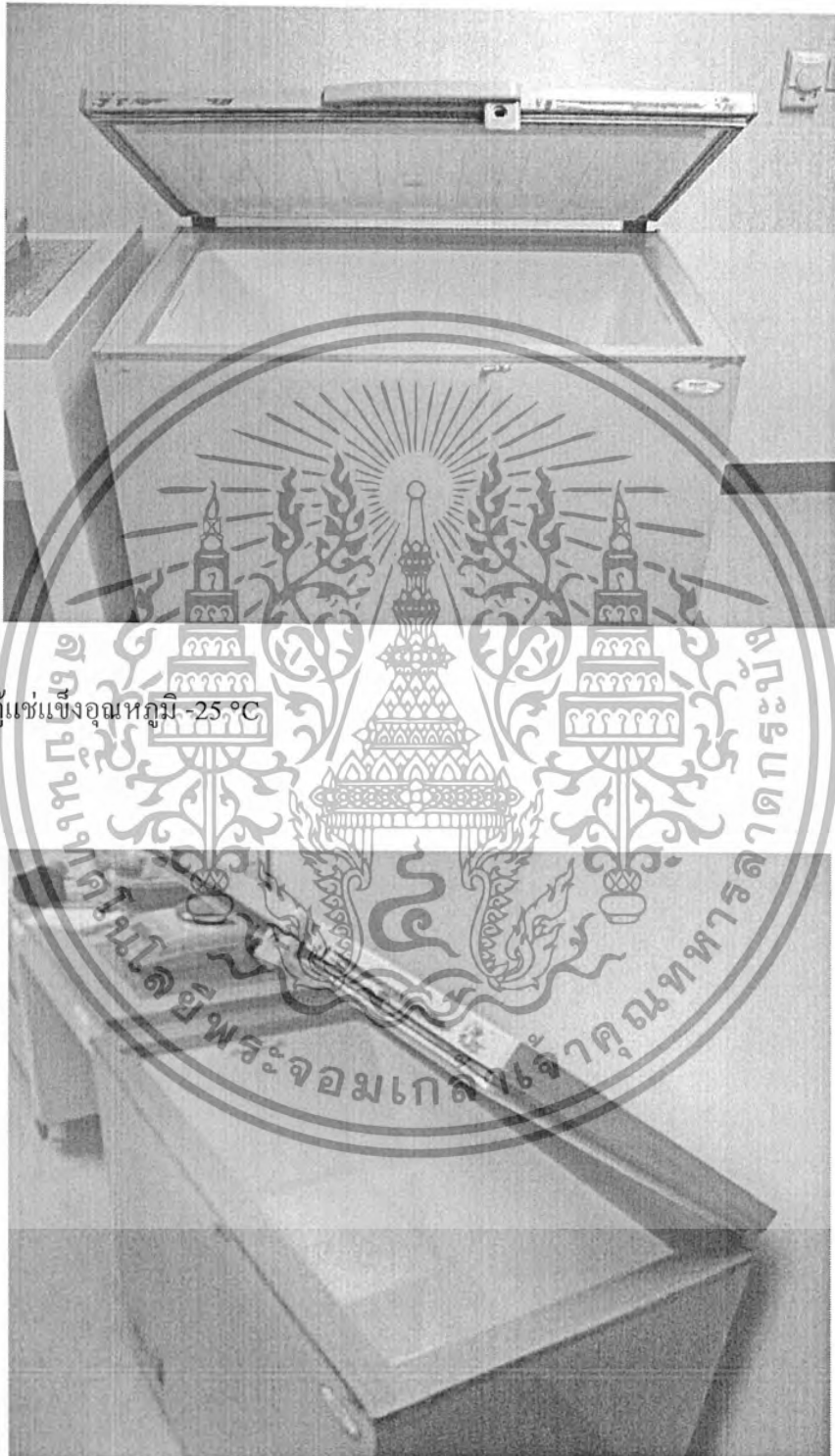


ภาพที่ ก.7 แสดงเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield)

ภาพที่ ก.8 แสดงการทดลองการวัดค่าความหนืดด้วยหัววัด ชนิด Small sample



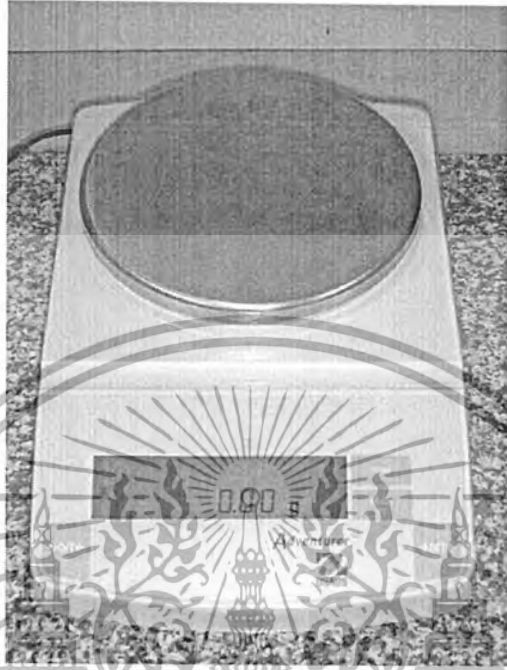
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.9 ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25 °C

ภาพที่ ก.10 ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.11 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองตัวอย่างมาตรฐานน้ำคีมรีเวอร์สออสโมซิส

	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	SD.	ค่าเฉลี่ย
เวลา	Xi	Xi	Xi	Xi	Xi
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.4430	0.3481	0.2320	0.1057	0.3410
40	0.5580	0.5960	0.4930	0.0521	0.5490
45	0.5225	0.4535	0.4128	0.0555	0.4629
50	0.5170	0.5400	0.4470	0.0484	0.5013
55	0.4090	0.5765	0.4910	0.0838	0.4922
60	0.5520	0.6790	0.8490	0.1490	0.6933
65	0.5310	0.5570	0.7690	0.1306	0.6190
70	0.8880	0.7280	0.5730	0.1575	0.7297
75	0.9140	0.7865	0.7305	0.0940	0.8103
80	0.9200	0.9190	0.9050	0.0084	0.9147
85	0.9260	0.7265	0.7040	0.1222	0.7855
90	0.9320	0.9450	0.9970	0.0344	0.9580

หมายเหตุ

เวลา : หน่วยเป็น นาที

Xi : สัดส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองตัวอย่างมาตรฐานน้ำเชื่อม มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%

	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	SD.	ค่าเฉลี่ย
เวลา	Xi	Xi	Xi	Xi	Xi
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.4415	0.4285	0.4440	0.0083	0.4380
40	0.3900	0.3820	0.3640	0.0133	0.3787
45	0.7170	0.5750	0.4605	0.1285	0.5842
50	0.7340	0.7830	0.5460	0.1251	0.6877
55	0.6910	0.7475	0.5590	0.0967	0.6658
60	0.6950	0.9400	0.7470	0.1291	0.7940
65	0.9095	0.8765	0.9245	0.0246	0.9035
70	0.9900	1.0110	0.9000	0.0590	0.9670
75	0.8790	0.9710	0.9950	0.0612	0.9483
80	1.0240	0.9870	1.0420	0.0280	1.0177
85	1.0280	0.8965	0.9900	0.0677	0.9715
90	0.9940	0.9370	1.0290	0.0464	0.9867

หมายเหตุ

เวลา : หน่วยเป็น นาที

Xi : สัดส่วนของผลึกน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองตัวอย่างมาตรฐานน้ำส้มเขียวหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12.4%

	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	SD.	ค่าเฉลี่ย
เวลา	Xi	Xi	Xi	Xi	Xi
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.6255	0.3280	0.3730	0.1604	0.4422
40	0.5800	0.3810	0.8255	0.2227	0.5955
45	0.7250	0.7270	0.8230	0.0560	0.7583
50	0.8000	0.7790	0.7275	0.0373	0.7688
55	0.9660	0.8225	0.7270	0.1203	0.8385
60	0.9840	0.9610	1.0685	0.0566	1.0045
65	1.0490	0.9735	0.8740	0.0878	0.9655
70	1.1340	1.0300	0.9950	0.0723	1.0530
75	1.0915	1.0415	1.1125	0.0365	1.0818
80	1.0520	1.1170	1.0450	0.0397	1.0713
85	1.0300	1.0095	1.0430	0.0169	1.0275
90	1.0490	1.0060	1.0220	0.0217	1.0257

หมายเหตุ

เวลา : หน่วยเป็น นาที

Xi : สัดส่วนของผลึกน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 1

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal
0	25.0	0	0	56	0.1	0.13	3.26
10	10.1	0.62	0.62	58	0.2	0.13	3.39
20	-2.7	0.53	1.16	60	0.1	0.13	3.52
23	-4.9	0.09	1.25	62	0.1	0.13	3.65
25	-6.4	0.06	1.31	64	0.1	0.13	3.78
27	-2.1	0.18	1.49	66	0.1	0.13	3.91
29	0.0	0.09	1.58	68	0.1	0.13	4.04
31	0.1	0.13	1.71	70	0.1	0.13	4.17
33	0.0	0.13	1.84	72	0.0	0.13	4.30
35	0.0	0.13	1.97	74	0.0	0.13	4.43
38	0.1	0.13	2.10	76	0.0	0.13	4.55
40	0.1	0.13	2.23	78	-0.1	0.13	4.69
42	0.1	0.13	2.36	80	-0.2	0.13	4.82
44	0.1	0.13	2.49	82	-0.3	0.13	4.95
46	0.2	0.13	2.62	84	-1.9	0.03	4.98
48	0.2	0.13	2.75	86	-4.9	0.06	5.04
50	0.2	0.13	2.87	88	-9.4	0.09	5.13
52	0.2	0.13	3.00	90	-11.8	0.05	5.18
54	0.1	0.13	3.13	92	-13.6	0.04	5.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 2

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	25.2	0	0	56	0.1	0.22	4.86
10	8.4	0.70	0.70	58	-0.2	0.01	4.86
20	-3.7	0.51	1.21	60	-0.8	0.01	4.87
23	-5.1	0.06	1.27	62	-0.9	0.00	4.88
25	0.2	0.22	1.49	64	-1.6	0.01	4.89
27	0.2	0.22	1.71	66	-2.0	0.01	4.90
29	0.1	0.23	1.94	68	-2.4	0.01	4.91
31	0.2	0.23	2.16	70	-3.0	0.01	4.92
33	0.1	0.23	2.39	72	-3.4	0.01	4.93
35	0.2	0.23	2.61	74	-3.9	0.01	4.94
38	0.2	0.22	2.84	76	-4.5	0.01	4.95
40	0.1	0.23	3.06	78	-5.0	0.01	4.96
42	0.1	0.22	3.29	80	-5.7	0.01	4.97
44	0.2	0.23	3.51	82	-6.4	0.01	4.99
46	0.3	0.23	3.74	84	-7.3	0.02	5.00
48	0.2	0.23	3.96	86	-8.2	0.02	5.02
50	0.2	0.22	4.19	88	-9.5	0.03	5.05
52	0.1	0.23	4.41	90	-11.0	0.03	5.08
54	0.1	0.22	4.63	92	-12.3	0.03	5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 3

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	25.5	0	0	56	0.1	0.15	3.79
10	8.7	0.70	0.70	58	0.2	0.16	3.95
20	-3.4	0.51	1.21	60	0.2	0.15	4.10
23	-5.1	0.07	1.28	62	0.1	0.16	4.26
25	0.0	0.21	1.49	64	0.1	0.15	4.41
27	0.0	0.15	1.64	66	0.1	0.15	4.56
29	0.2	0.16	1.80	68	0.1	0.15	4.71
31	0.2	0.15	1.95	70	-0.1	0.16	4.87
33	0.2	0.15	2.11	72	-0.6	0.01	4.88
35	0.2	0.15	2.26	74	-1.6	-0.02	4.90
38	0.2	0.15	2.41	76	-3.1	0.03	4.93
40	0.2	0.15	2.56	78	-4.7	0.03	4.96
42	0.2	0.15	2.71	80	-6.1	0.03	4.99
44	0.1	0.16	2.87	82	-7.5	0.03	5.02
46	0.1	0.15	3.02	84	-9.3	0.04	5.05
48	0.2	0.16	3.17	86	-11.1	0.04	5.09
50	0.1	0.16	3.33	88	-11.7	0.01	5.10
52	0.2	0.16	3.49	90	-12.3	0.01	5.11
54	0.1	0.16	3.64	92	-12.9	0.01	5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำดื่มรีเวสต์ออสโมซิส โดยเฉลี่ย

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	25.5	0	0	56	0.1	0.15	3.79
10	8.7	0.70	0.70	58	0.2	0.16	3.95
20	-3.4	0.51	1.21	60	0.2	0.15	4.10
23	-5.1	0.07	1.28	62	0.1	0.16	4.26
25	0.0	0.21	1.49	64	0.1	0.15	4.41
27	0.0	0.15	1.64	66	0.1	0.15	4.56
29	0.2	0.16	1.80	68	0.1	0.15	4.71
31	0.2	0.15	1.95	70	-0.1	0.16	4.87
33	0.2	0.15	2.11	72	-0.6	0.01	4.88
35	0.2	0.15	2.26	74	-1.6	0.02	4.90
38	0.2	0.15	2.41	76	-3.1	0.03	4.93
40	0.2	0.15	2.56	78	-4.7	0.03	4.96
42	0.2	0.15	2.71	80	-6.1	0.03	4.99
44	0.1	0.16	2.87	82	-7.5	0.03	5.02
46	0.1	0.15	3.02	84	-9.3	0.04	5.05
48	0.2	0.16	3.17	86	-11.1	0.04	5.09
50	0.1	0.16	3.33	88	-11.7	0.01	5.10
52	0.2	0.16	3.49	90	-12.3	0.01	5.11
54	0.1	0.16	3.64	92	-12.9	0.01	5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำเชื่อม ครั้งที่ 1

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	28.8	0	0	68	-1.3	0.11	3.53
10	12.6	0.63	0.63	70	-1.3	0.11	3.64
20	1.7	0.42	1.05	72	-1.5	0.12	3.75
25	-2.0	0.14	1.19	74	-1.5	0.11	3.86
30	-5.8	0.15	1.34	76	-1.6	0.11	3.98
32	-7.0	0.05	1.38	78	-1.7	0.11	4.09
34	-7.9	0.03	1.42	80	-1.9	0.12	4.21
36	-0.9	0.27	1.69	82	-2.1	0.12	4.32
38	-0.9	0.11	1.80	84	-2.4	0.12	4.44
40	-0.9	0.11	1.91	86	-2.9	0.01	4.45
42	-0.7	0.12	2.03	88	-3.1	0.00	4.46
44	-0.9	0.12	2.14	90	-3.8	0.01	4.47
46	-1.6	0.14	2.28	92	-4.2	0.01	4.48
48	-0.9	0.14	2.42	94	-5.1	0.02	4.50
50	-0.9	0.11	2.53	96	-5.8	0.01	4.51
52	-1.0	0.11	2.64	98	-7.0	0.02	4.53
54	-1.0	0.11	2.75	100	-7.8	0.02	4.55
56	-1.0	0.11	2.86	102	-8.8	0.02	4.57
58	-1.0	0.11	2.97	104	-9.7	0.02	4.59
60	-1.0	0.11	3.08	106	-10.6	0.02	4.60
62	-1.0	0.11	3.19	108	-11.5	0.02	4.62
64	-1.2	0.12	3.30	110	-12.2	0.01	4.64
66	-1.2	0.11	3.41				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำเชื่อม ครั้งที่ 2

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	28.2	0	0	68	-1.1	0.11	3.48
10	12.9	0.59	0.59	70	-1.3	0.12	3.60
20	1.5	0.44	1.03	72	-1.4	0.11	3.71
25	-1.8	0.13	1.16	74	-1.4	0.11	3.82
30	-6.1	0.17	1.33	76	-1.5	0.11	3.93
32	-7.2	0.04	1.37	78	-1.8	0.12	4.05
34	-8.1	0.03	1.40	80	-1.8	0.11	4.16
36	-0.8	0.28	1.69	82	-2.0	0.12	4.28
38	-0.9	0.11	1.80	84	-2.1	0.11	4.39
40	-0.8	0.11	1.91	86	-2.7	0.01	4.41
42	-0.8	0.11	2.02	88	-3.0	0.01	4.41
44	-0.7	0.11	2.14	90	-3.9	0.02	4.43
46	-0.9	0.12	2.25	92	-4.3	0.01	4.44
48	-0.9	0.11	2.36	94	-5.0	0.01	4.45
50	-0.9	0.11	2.47	96	-5.6	0.01	4.46
52	-0.8	0.11	2.59	98	-7.1	0.03	4.49
54	-0.9	0.11	2.70	100	-7.7	0.01	4.50
56	-1.0	0.11	2.81	102	-8.5	0.02	4.52
58	-1.0	0.11	2.92	104	-9.3	0.02	4.53
60	-1.0	0.11	3.03	106	-10.2	0.02	4.55
62	-1.1	0.11	3.14	108	-11.7	0.03	4.58
64	-1.0	0.11	3.26	110	-12.5	0.02	4.60
66	-1.0	0.11	3.37				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำเชื่อม ครั้งที่ 3

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	28.9	0	0	68	-1.2	0.12	3.47
10	13.4	0.60	0.60	70	-1.2	0.11	3.59
20	2.5	0.42	1.02	72	-1.2	0.11	3.70
25	-1.4	0.15	1.17	74	-1.4	0.12	3.82
30	-5.1	0.14	1.31	76	-1.5	0.12	3.94
32	-6.8	0.07	1.38	78	-1.7	0.12	4.06
34	-7.5	0.03	1.41	80	-1.7	0.11	4.18
36	-8.3	0.03	1.44	82	-2.0	0.13	4.30
38	-1.0	0.28	1.72	84	-2.2	0.12	4.43
40	-1.0	0.11	1.84	86	-2.7	0.01	4.43
42	-0.9	0.12	1.95	88	-3.2	0.01	4.44
44	-1.0	0.12	2.07	90	-3.6	0.01	4.45
46	-0.9	0.12	2.19	92	-4.1	0.01	4.46
48	-1.0	0.12	2.31	94	-4.8	0.01	4.48
50	-0.9	0.12	2.43	96	-5.4	0.01	4.49
52	-0.9	0.11	2.54	98	-6.0	0.01	4.50
54	-0.9	0.11	2.65	100	-6.8	0.02	4.51
56	-1.0	0.12	2.77	102	-7.3	0.01	4.52
58	-1.1	0.12	2.89	104	-8.1	0.02	4.54
60	-1.0	0.12	3.01	106	-8.9	0.02	4.56
62	-1.0	0.11	3.12	108	-9.5	0.01	4.57
64	-1.1	0.12	3.24	110	-10.1	0.01	4.58
66	-1.1	0.11	3.35				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำเชื่อม โดยเฉลี่ย

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	28.6	0	0	68	-1.2	0.12	3.43
10	13.0	0.61	0.61	70	-1.3	0.12	3.55
20	1.9	0.43	1.03	72	-1.4	0.12	3.67
25	-1.7	0.14	1.17	74	-1.4	0.12	3.78
30	-5.7	0.15	1.33	76	-1.5	0.12	3.90
32	-7.0	0.05	1.38	78	-1.7	0.12	4.02
34	-7.8	0.03	1.41	80	-1.8	0.12	4.14
36	-3.3	0.17	1.58	82	-2.0	0.12	4.26
38	-0.9	0.09	1.68	84	-2.2	0.12	4.39
40	-0.9	0.12	1.79	86	-2.8	0.01	4.40
42	-0.8	0.12	1.91	88	-3.1	0.01	4.40
44	-0.9	0.12	2.03	90	-3.8	0.01	4.42
46	-1.1	0.12	2.15	92	-4.2	0.01	4.42
48	-0.9	0.12	2.27	94	-5.0	0.01	4.44
50	-0.9	0.12	2.39	96	-5.6	0.01	4.45
52	-0.9	0.11	2.50	98	-6.7	0.02	4.47
54	-0.9	0.12	2.62	100	-7.4	0.01	4.49
56	-1.0	0.12	2.74	102	-8.2	0.01	4.50
58	-1.0	0.12	2.85	104	-9.0	0.02	4.52
60	-1.0	0.12	2.97	106	-9.9	0.02	4.53
62	-1.0	0.12	3.08	108	-10.9	0.02	4.55
64	-1.1	0.12	3.20	110	-11.6	0.01	4.57
66	-1.1	0.11	3.31				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 1

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	25.5	0	0	54	-1.8	0.14	3.14
10	8.7	0.65	0.65	56	-1.9	0.14	3.28
15	2.8	0.23	0.87	58	-2.0	0.14	3.42
20	-2.0	0.18	1.06	60	-2.2	0.14	3.56
22	-3.5	0.06	1.11	62	-2.5	0.15	3.71
24	-5.1	0.06	1.18	64	-2.7	0.14	3.85
26	-6.4	0.05	1.23	66	-2.8	0.14	3.99
28	-7.8	0.05	1.28	68	-3.2	0.15	4.14
30	-9.0	0.05	1.33	70	-3.6	0.15	4.29
32	-1.4	0.29	1.62	72	-4.0	0.01	4.30
34	-1.3	0.14	1.76	74	-4.6	0.01	4.31
36	-1.0	0.15	1.90	76	-5.4	0.02	4.33
38	-1.1	0.14	2.04	78	-6.2	0.02	4.34
40	-1.1	0.13	2.18	80	-7.0	0.02	4.36
42	-1.1	0.13	2.31	82	-8.3	0.03	4.38
44	-1.3	0.14	2.45	84	-9.3	0.02	4.40
46	-1.4	0.14	2.59	86	-10.5	0.02	4.42
48	-1.4	0.13	2.73	88	-12.0	0.03	4.45
50	-1.6	0.14	2.87	90	-12.2	0.00	4.46
52	-1.7	0.14	3.01				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 2

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	24.4	0	0	54	-1.8	0.10	2.87
10	6.9	0.67	0.67	56	-1.9	0.10	2.97
15	0.2	0.26	0.93	58	-2.0	0.10	3.07
20	-4.6	0.18	1.12	60	-2.2	0.11	3.18
22	-1.6	0.12	1.23	62	-2.5	0.11	3.29
24	-1.3	0.11	1.34	64	-2.7	0.11	3.39
26	-1.4	0.10	1.44	66	-2.8	0.10	3.49
28	-1.3	0.10	1.54	68	-3.2	0.11	3.61
30	-1.3	0.10	1.64	70	-3.6	0.11	3.72
32	-1.3	0.10	1.74	72	-4.0	0.11	3.83
34	-1.3	0.10	1.84	74	-4.6	0.12	3.96
36	-1.4	0.10	1.94	76	-5.4	0.02	3.97
38	-1.4	0.10	2.04	78	-6.2	0.02	3.99
40	-1.1	0.11	2.15	80	-7.0	0.02	4.00
42	-1.1	0.10	2.25	82	-8.3	0.03	4.03
44	-1.3	0.11	2.35	84	-9.3	0.02	4.05
46	-1.4	0.10	2.46	86	-10.5	0.02	4.07
48	-1.4	0.10	2.55	88	-12.0	0.03	4.10
50	-1.6	0.11	2.66	90	-12.2	0.00	4.10
52	-1.7	0.10	2.76				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 3

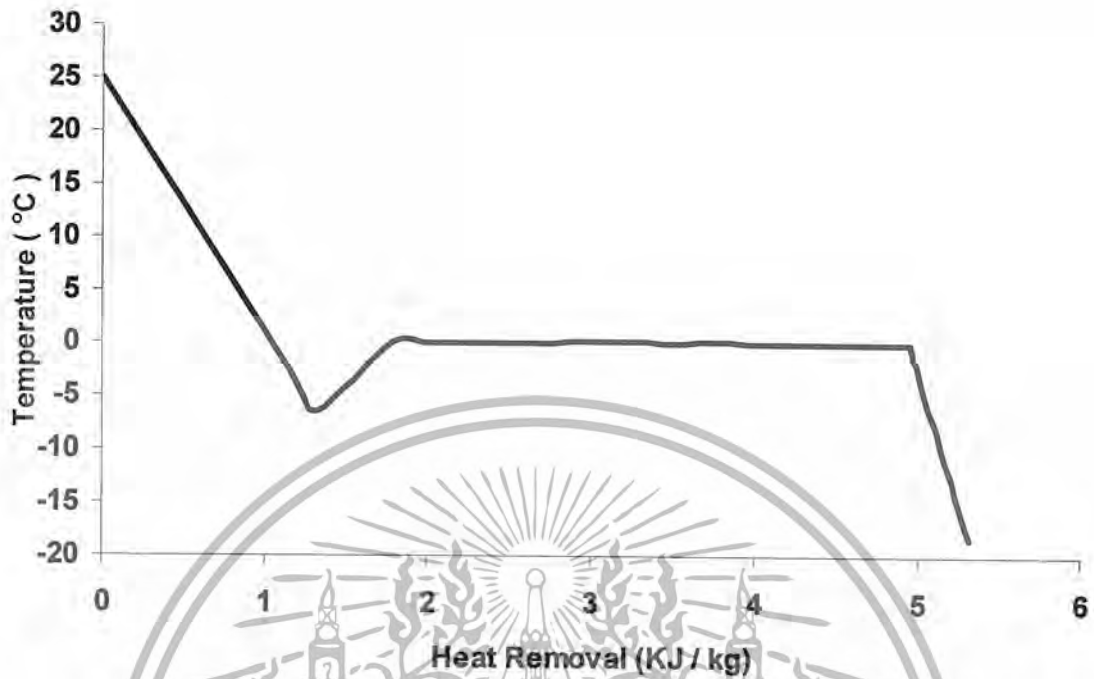
Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	27.8	0	0	54	-1.8	0.11	2.71
10	12.0	0.61	0.61	56	-1.9	0.11	2.82
15	6.3	0.22	0.83	58	-1.9	0.11	2.94
20	0.6	0.22	1.05	60	-2.0	0.11	3.05
22	-0.9	0.06	1.10	62	-2.1	0.12	3.17
24	-2.4	0.06	1.16	64	-2.2	0.12	3.28
26	-4.0	0.06	1.22	66	-2.4	0.12	3.40
28	-5.8	0.07	1.29	68	-2.5	0.11	3.52
30	-4.1	0.07	1.36	70	-2.7	0.12	3.63
32	-1.4	0.11	1.46	72	-2.8	0.11	3.75
34	-1.3	0.11	1.58	74	-3.0	0.12	3.87
36	-1.3	0.11	1.69	76	-3.2	0.12	3.99
38	-1.3	0.11	1.80	78	-3.3	0.11	4.10
40	-1.3	0.11	1.91	80	-3.6	0.01	4.11
42	-1.3	0.11	2.02	82	-4.0	0.01	4.12
44	-1.3	0.11	2.14	84	-4.5	0.01	4.13
46	-1.5	0.12	2.25	86	-5.0	0.01	4.13
48	-1.6	0.11	2.37	88	-5.6	0.01	4.15
50	-1.6	0.11	2.48	90	-6.3	0.01	4.16
52	-1.7	0.11	2.59				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

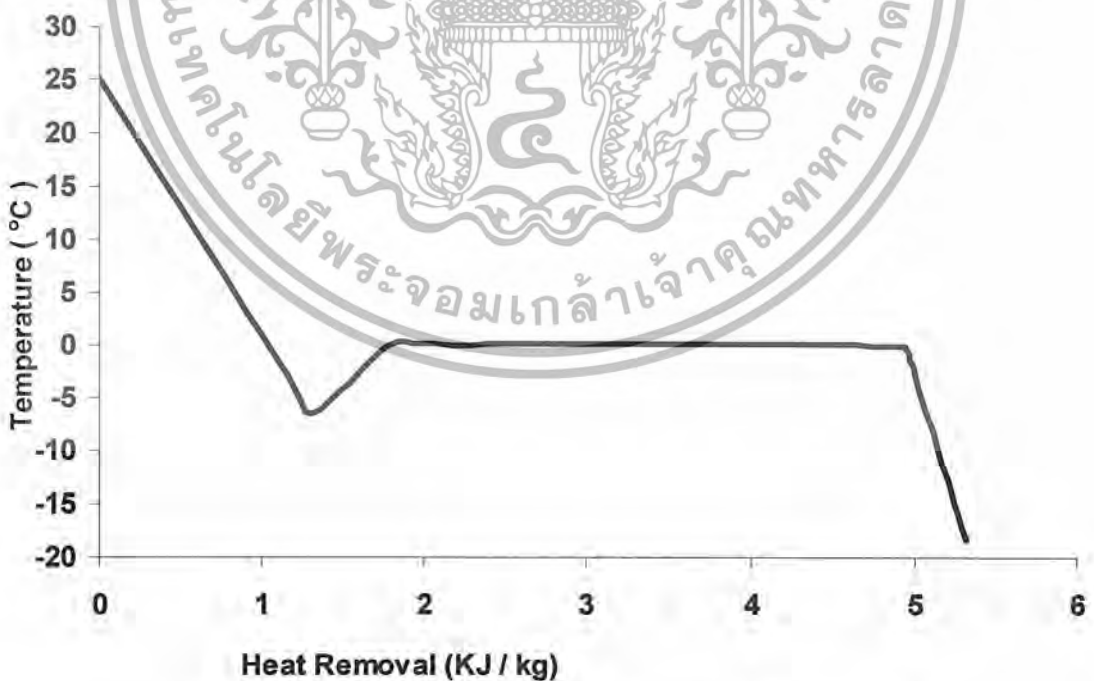
ตารางที่ ข.15 แสดงค่าการคายความร้อนของ น้ำส้มเขียวหวาน โดยเฉลี่ย

Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH removal	Time(min)	Temp.(°C)	ΔH	ΔH Removal
0	25.9	0	0	54	-1.8	0.15	3.01
10	9.2	0.64	0.64	56	-1.9	0.15	3.17
15	3.1	0.23	0.88	58	-2.0	0.15	3.32
20	-2.0	0.20	1.07	60	-2.1	0.16	3.48
22	-2.0	0.00	1.07	62	-2.4	0.16	3.64
24	-2.9	0.04	1.11	64	-2.5	0.16	3.79
26	-3.9	0.04	1.15	66	-2.7	0.16	3.95
28	-5.0	0.04	1.19	68	-3.0	0.01	3.96
30	-4.8	0.01	1.19	70	-3.3	0.01	3.96
32	-1.4	0.13	1.33	72	-3.6	0.01	3.97
34	-1.3	0.15	1.48	74	-4.1	0.01	3.98
36	-1.2	0.15	1.63	76	-4.7	0.01	3.99
38	-1.3	0.15	1.78	78	-5.2	0.01	4.00
40	-1.2	0.15	1.94	80	-5.9	0.01	4.01
42	-1.2	0.15	2.09	82	-6.9	0.02	4.03
44	-1.3	0.16	2.24	84	-7.7	0.02	4.05
46	-1.4	0.15	2.40	86	-8.7	0.02	4.07
48	-1.5	0.15	2.55	88	-9.9	0.02	4.09
50	-1.6	0.16	2.71	90	-10.2	0.01	4.10
52	-1.7	0.15	2.86				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

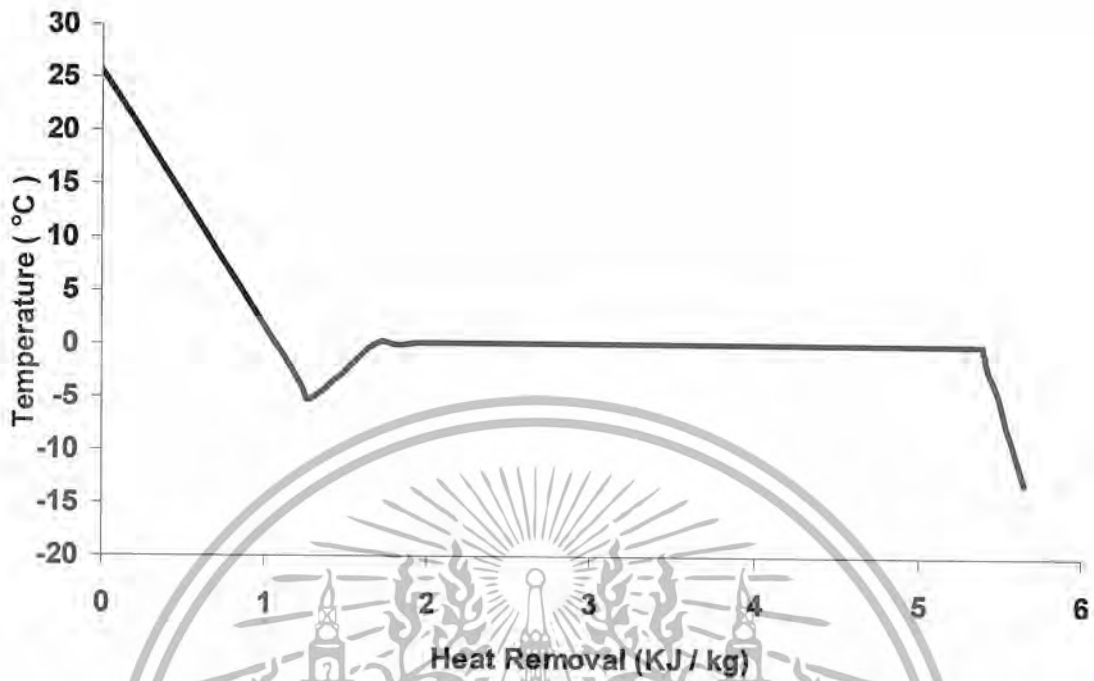


ภาพที่ ข.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 1

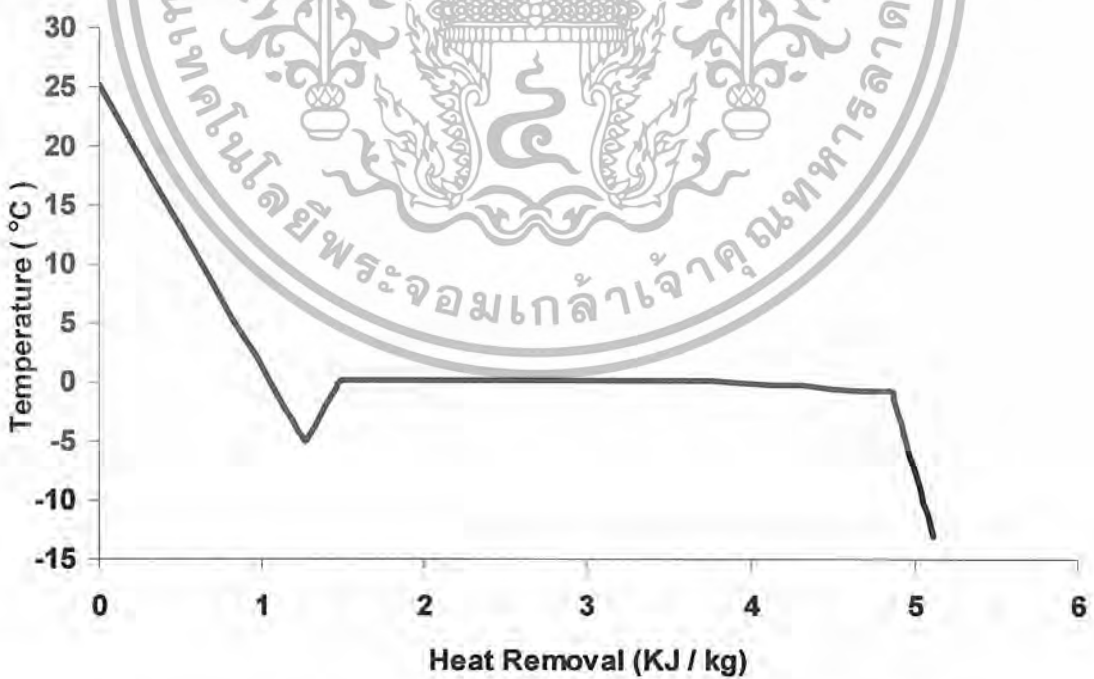


ภาพที่ ข.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

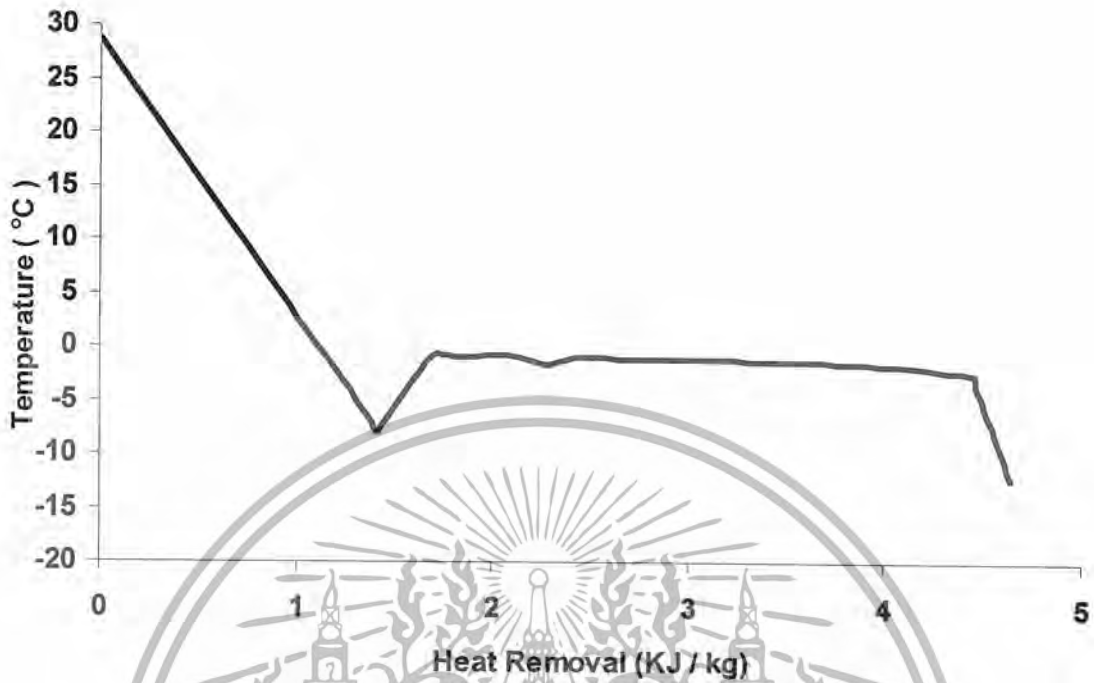


ภาพที่ ข.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส ครั้งที่ 3

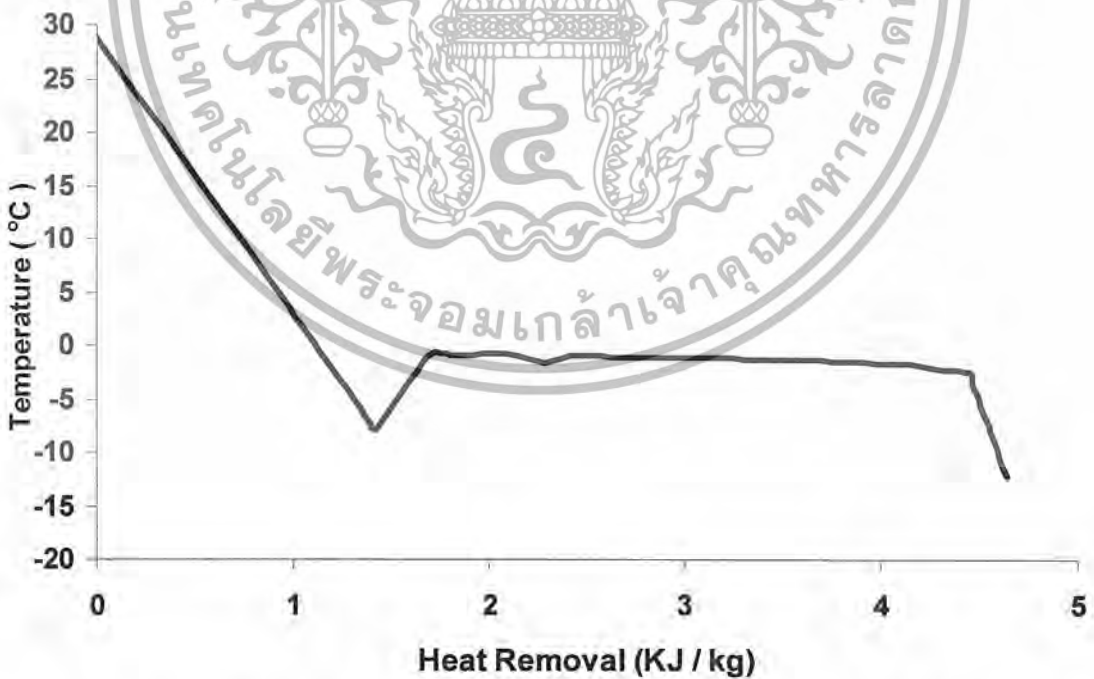


ภาพที่ ข.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

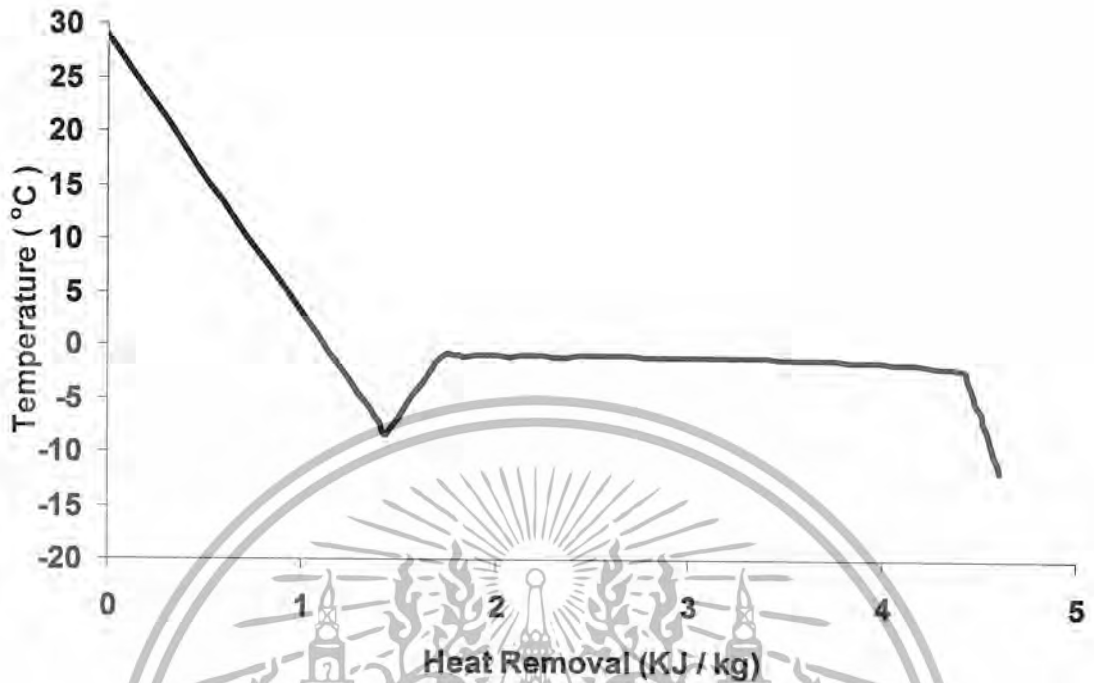


ภาพที่ ข.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม ครั้งที่ 1

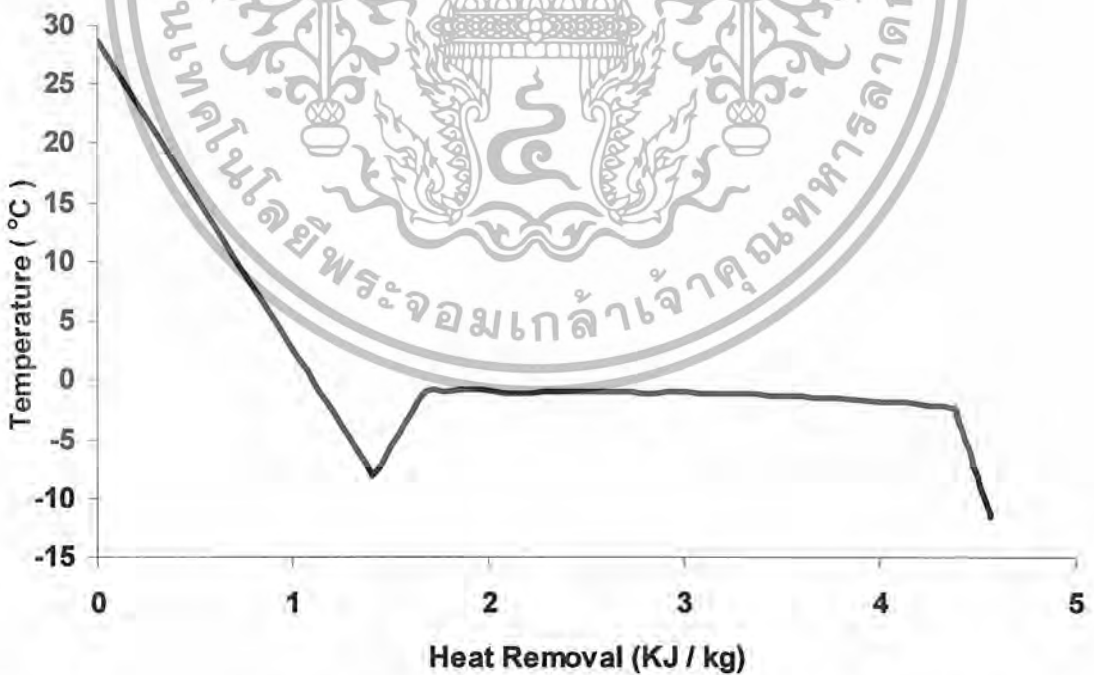


ภาพที่ ข.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

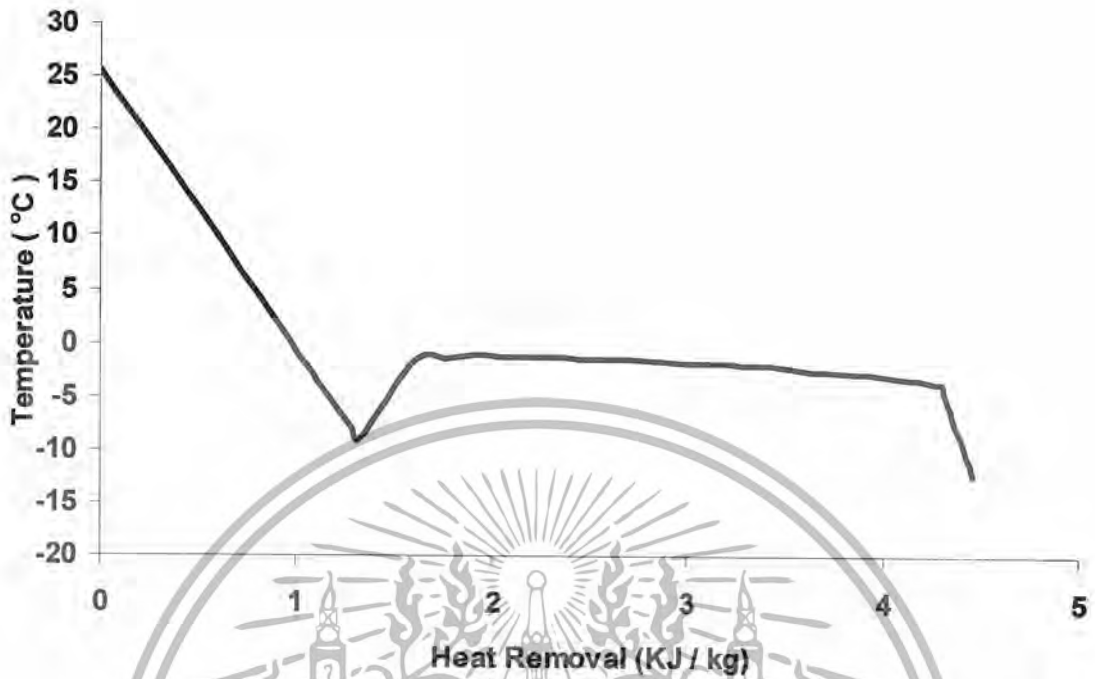


ภาพที่ ข.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม ครั้งที่ 3

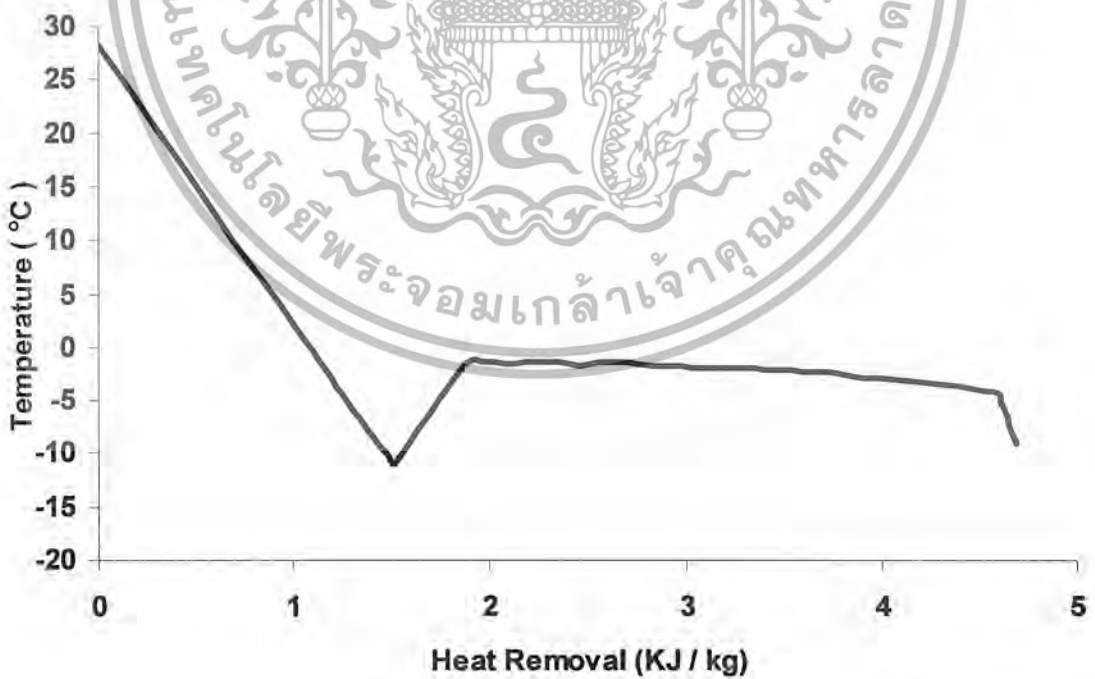


ภาพที่ ข.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออก ของน้ำเชื่อม โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

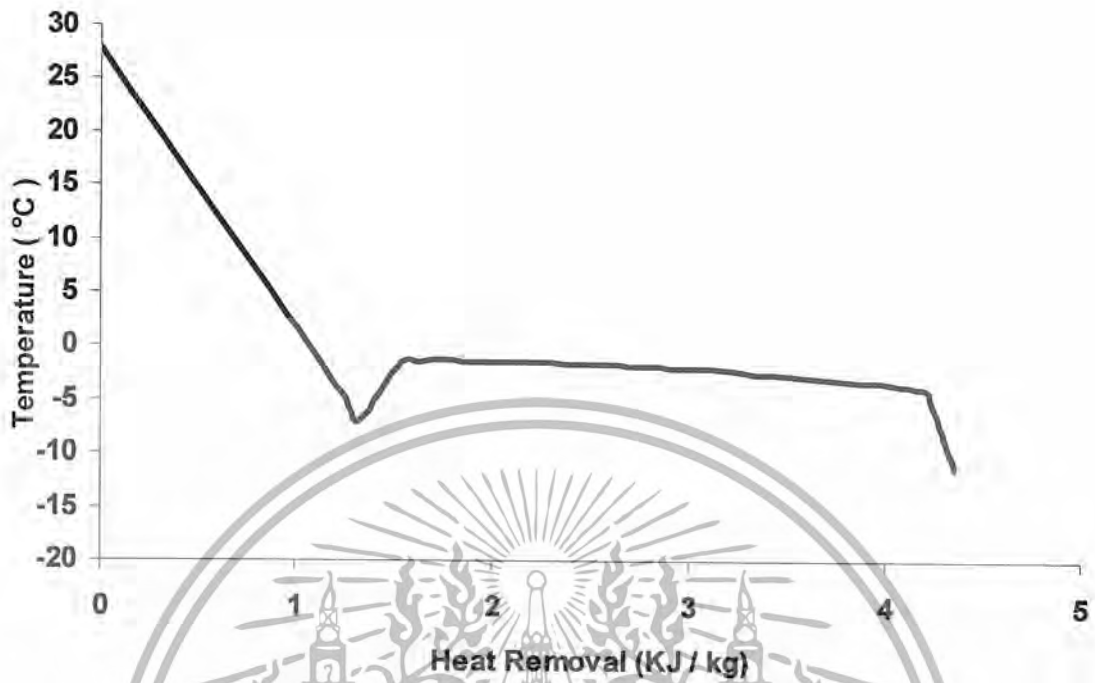


ภาพที่ ข.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน
ครั้งที่ 1

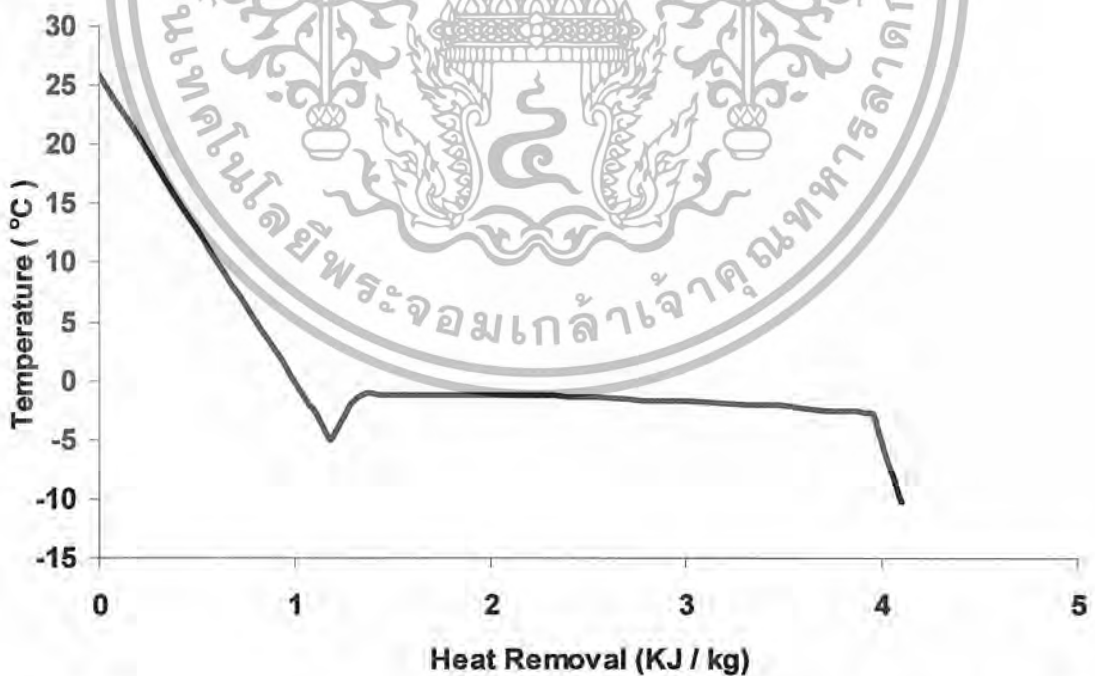


ภาพที่ ข.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน
ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

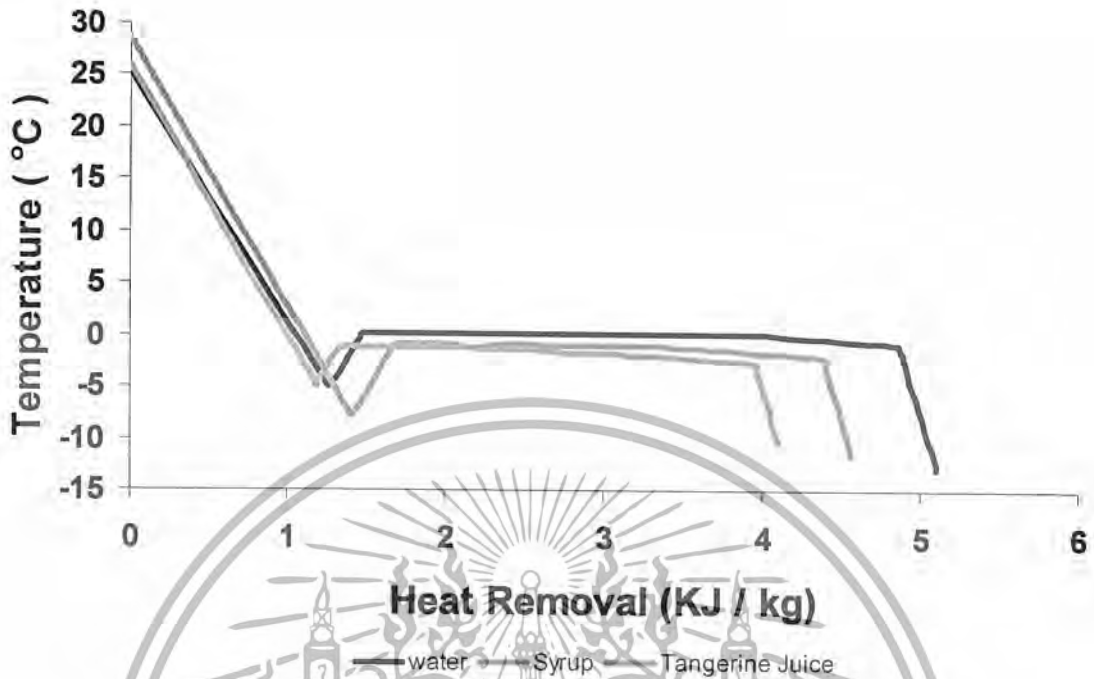


ภาพที่ ข.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน
ครั้งที่ 3

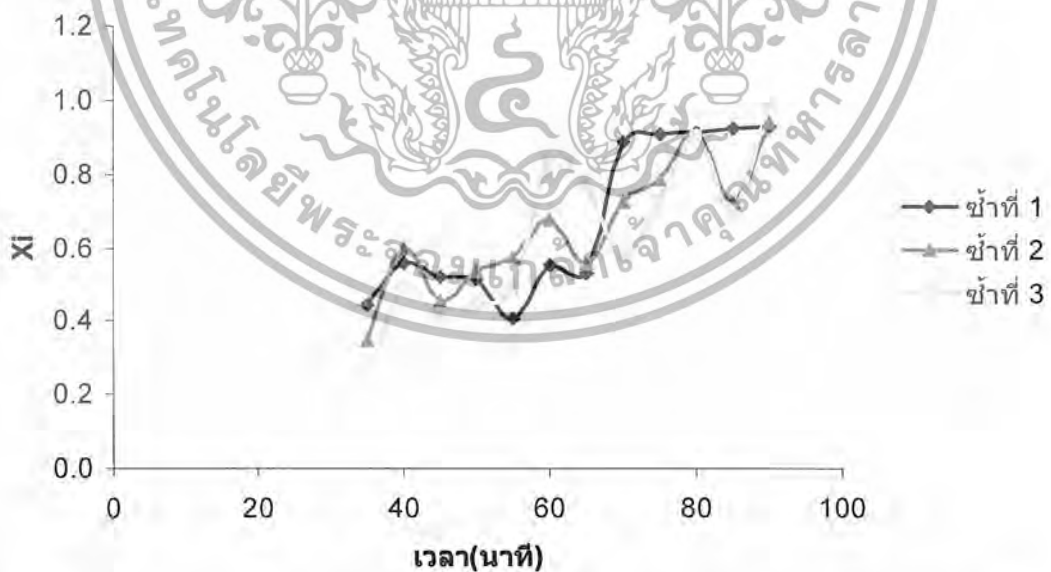


ภาพที่ ข.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำส้มเขียวหวาน
โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

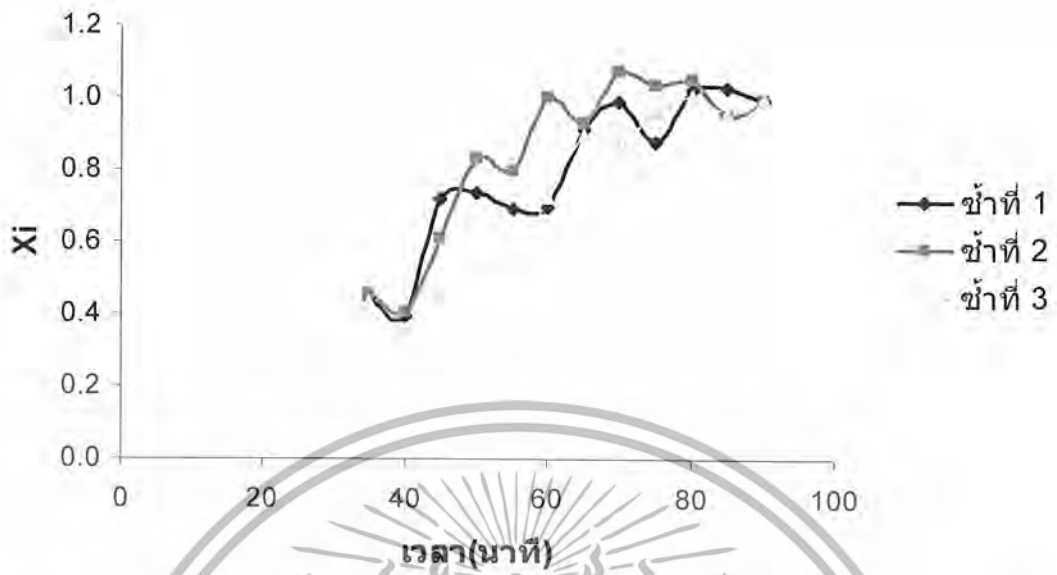


ภาพที่ ข.13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ความร้อนที่ถูกกำจัดออกของน้ำ คัมนรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเจียวหวาน

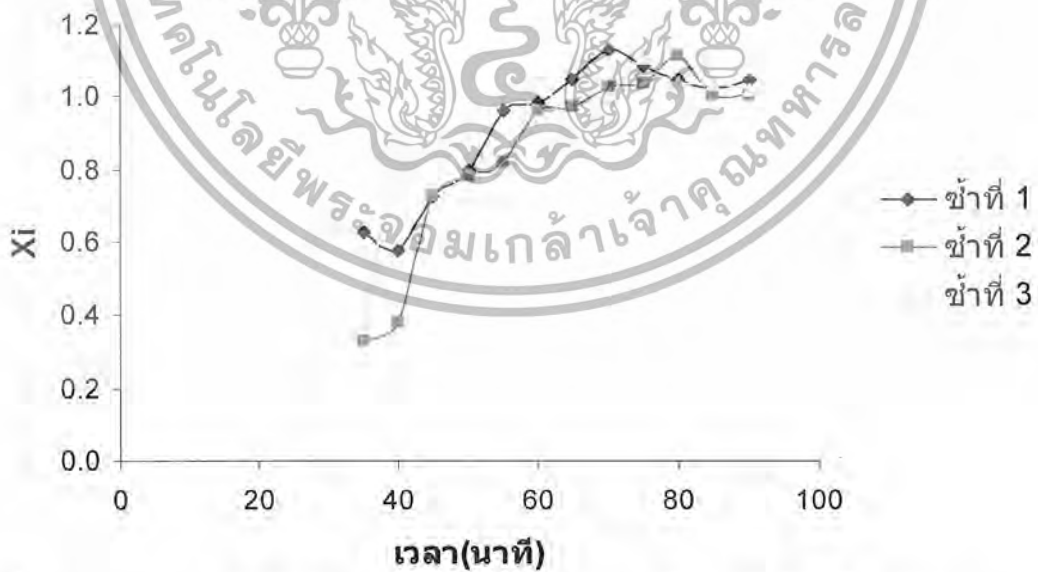


ภาพที่ ข.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น(Xi) กับเวลา (นาท) ของน้ำคัมนรีเวอร์สออสโมซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

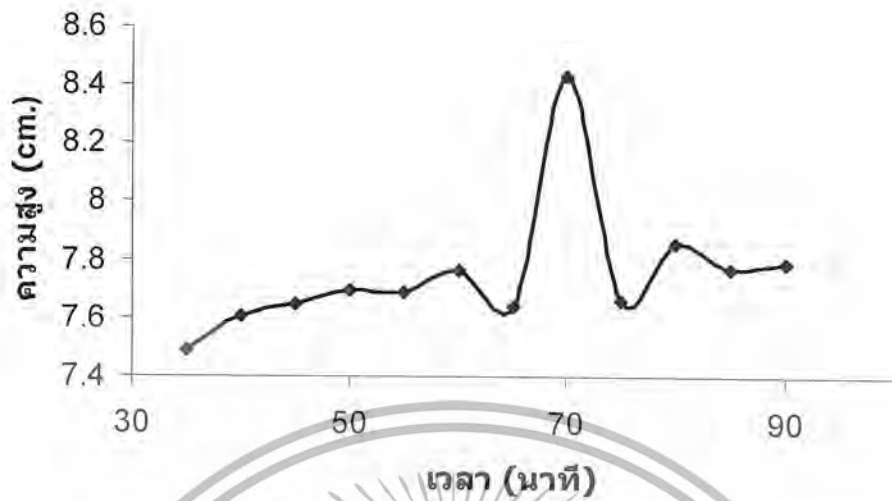


ภาพที่ ข.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น(Xi) กับเวลา (นาท) ของน้ำเชื่อม

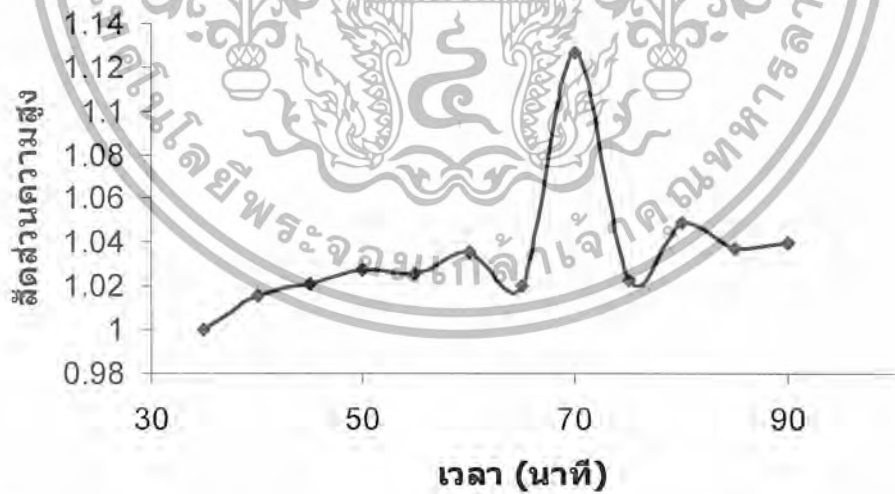


ภาพที่ ข.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสัดส่วนของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น(Xi) กับเวลา (นาท) ของน้ำส้มเขียวหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

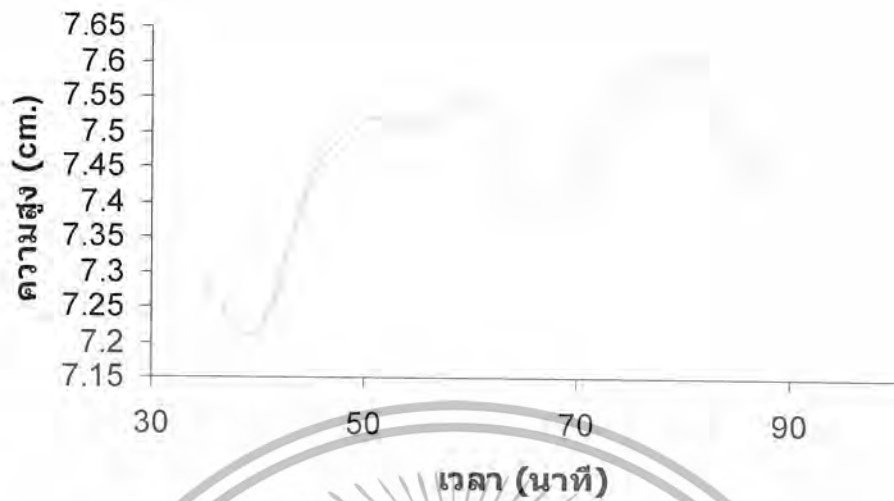


ภาพที่ ข.17 กราฟค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิสประมวลผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความสูงระหว่างทำการทดลองแช่แข็งน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส ทั้งหมด 3 ครั้ง



ภาพที่ ข.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

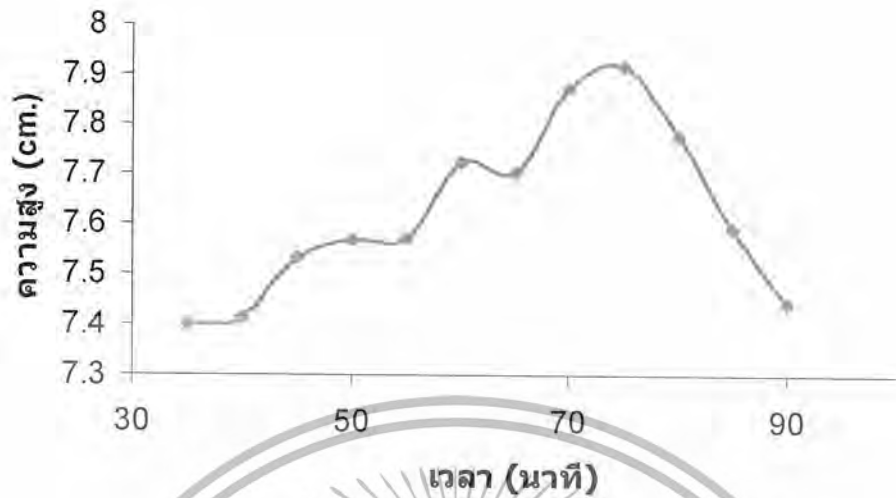


ภาพที่ ข.19 กราฟค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำเชื่อม



ภาพที่ ข.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

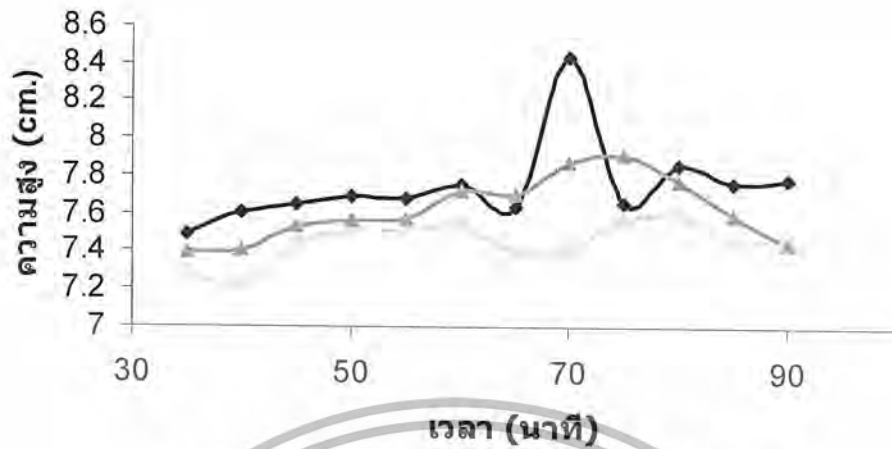


ภาพที่ ข.21 กราฟค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำส้มเขียวหวาน

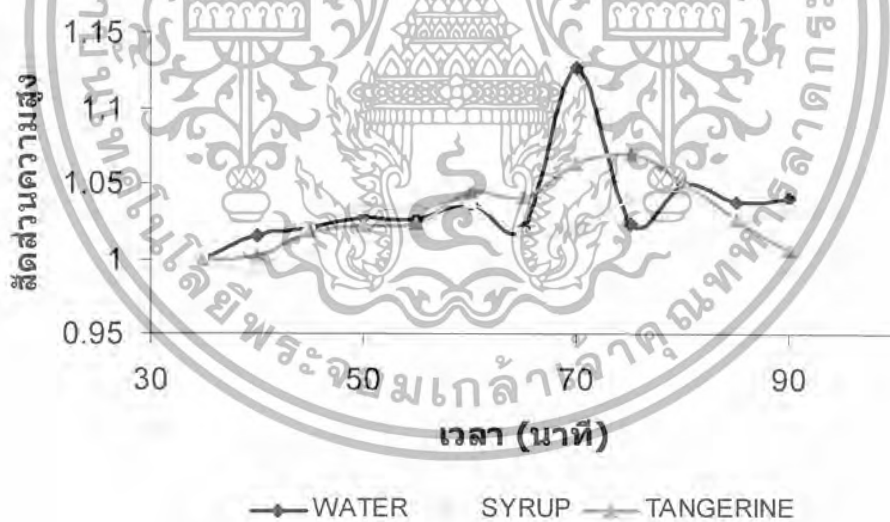


ภาพที่ ข.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำส้มเขียวหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับ เวลา ของน้ำคัมรีเวอร์สออสโมซิส,น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน



ภาพที่ ข.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนความสูง กับ เวลา ของน้ำคัมรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลาในการแช่แข็งทั้งหมด

ICE

Duncan^{a,b}

TRT	N	Subset		
		1	2	3
Water	36	.684522		
Syrup	36		.790936	
Tangerine	36			.863628
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 9.735E-03.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 36,000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ข.17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 35 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05
		1
Water	3	.358800
Tangerine	3	.429100
Syrup	3	.444333
Sig.		.392

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

ตารางที่ ข.18 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 40 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05
		1
Syrup	3	.384600
Water	3	.574633
Tangerine	3	.579767
Sig.		.131

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ภายในเท่านั้น และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.19 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 45 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Water	3	.484833	
Syrup	3	.594167	.594167
Tangerine	3		.739700
Sig.		.214	.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.20 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 50 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Water	3	.524800	
Syrup	3	.701533	.701533
Tangerine	3		.749600
Sig.		.073	.577

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.21 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 55 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Water	3	.513800	
Syrup	3	.678733	.678733
Tangerine	3		.816633
Sig.		.111	.169

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.22 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 60 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	
Water	3	.720800	
Syrup	3	.809433	
Tangerine	3	.979600	
Sig.			.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.23 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 65 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Water	3	.643467	
Syrup	3	.916267	
Tangerine	3	.940967	
Sig.		1.000	.713

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.24 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออส โมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 70 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	
Water	3	.765967	
Syrup	3	.983200	
Tangerine	3	1.026167	
Sig.			.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 75 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Water	3	.848567	
Syrup	3	.962533	.962533
Tangerine	3		1.054800
Sig.		.156	.237

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.26 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 80 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Water	3	.955767	
Syrup	3	1.032067	1.032067
Tangerine	3		1.045233
Sig.		.071	.719

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.27 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน ที่เวลา 85 นาที

ICE

Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = .05
		1
Water	3	.822833
Syrup	3	.984367
Tangerine	3	1.001967
Sig.		.060

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.28 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส

HEIGHT

Duncan^a

WATER	N	Subset for alpha = .05
		1
1	12	7.659714
2	12	7.794341
3	12	7.810189
Sig.		.370

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

ตารางที่ ข.29 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส

RATIO

Duncan^a

WATER	N	Subset for alpha = .05
		1
3	12	1.021190
1	12	1.031460
2	12	1.053512
Sig.		.156

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

ตารางที่ ข.30 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของความสูงของน้ำเชื่อม

HEIGHT

Duncan^a

SYRUP	N	Subset for alpha = .05
		1
3	12	7.434158
1	12	7.457270
2	12	7.465122
Sig.		.553

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.31 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำเชื่อม

RATIO

Duncan^a

SYRUP	N	Subset for alpha = .05
		1
3	12	1.019066
1	12	1.026725
2	12	1.028161
Sig.		.211

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

ตารางที่ ข.32 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของความสูงของน้ำส้มเขียวหวาน

HEIGHT

Duncan^a

ORANGE	N	Subset for alpha = .05
		1
3	12	7.540870
2	12	7.656444
1	12	7.683011
Sig.		.156

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

ตารางที่ ข.33 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำส้มเขียวหวาน

RATIO

Duncan^a

ORANGE	N	Subset for alpha = .05
		1
1	12	1.026319
2	12	1.026639
3	12	1.039405
Sig.		.331

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.34 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสถิติของความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน

HEIGHT

Duncan^a

SAMPLE	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	12	7.452184	
3	12		7.626775
1	12		7.754748
Sig.		1.000	.093

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

ตารางที่ ข.35 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าสัดส่วนความสูงของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส, น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน

RATIO

Duncan^a

SAMPLE	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	12	1.024650	
3	12		1.030787
1	12		1.035387
Sig.			.321

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 90 rpm ครั้งที่ 1

เวลา	อุณหภูมิ	% Brix	เวลา	อุณหภูมิ	% Brix
40	0.3	12.2	130	-1.6	16.7
45	-0.2	12.3	135	-1.7	17.1
50	-0.9	12.5	140	-1.9	17.5
55	-1.0	12.6	145	-2.0	17.9
60	-1.1	12.8	150	-2.1	18.4
65	-1.1	13.0	155	-2.4	18.8
70	-1.1	13.2	160	-2.6	19.3
75	-1.1	13.4	165	-2.8	19.8
80	-1.2	13.6	170	-3.1	20.3
85	-1.2	13.9	175	-3.5	20.8
90	-1.2	14.1	180	-4.0	21.3
95	-1.2	14.4	185	-4.8	21.9
100	-1.3	14.7	190	-5.1	22.4
105	-1.3	15.0	195	-5.1	23.0
110	-1.4	15.3	200	-5.2	23.6
115	-1.4	15.6	205	-5.4	24.2
120	-1.4	16.0	210	-5.5	24.8
125	-1.5	16.3	215	-5.6	25.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 90 rpm ครั้งที่ 2

เวลา	อุณหภูมิ	% Brix	เวลา	อุณหภูมิ	% Brix
40	1.0	11.8	130	-3.3	16.4
45	-0.7	11.8	135	-3.4	16.4
50	-2.2	11.8	140	-3.5	16.8
55	-2.7	12.0	145	-3.1	17.2
60	-2.7	12.2	150	-3.4	17.6
65	-2.7	12.4	155	-3.7	17.8
70	-2.7	12.6	160	-3.8	18.4
75	-2.8	12.8	165	-3.7	18.6
80	-2.7	13.2	170	-3.8	19.4
85	-2.6	13.4	175	-3.9	19.6
90	-2.8	13.6	180	-3.9	19.6
95	-2.9	14.0	185	-4.0	20.4
100	-3.0	14.4	190	-3.6	22.6
105	-3.0	14.8	195	-3.5	22.8
110	3.3	15.2	200	-3.4	23.2
115	-2.9	15.4	205	-3.6	23.6
120	-3.2	15.6	210	-3.7	24.0
125	-3.3	16.0	215	-4.9	24.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 90 rpm ครั้งที่ 3

เวลา	อุณหภูมิ	% Brix	เวลา	อุณหภูมิ	% Brix
40	0.4	11.8	130	-1.6	16.2
45	-0.6	11.8	135	-1.7	16.4
50	-0.9	12.0	140	-1.9	16.8
55	-1.0	12.0	145	-2.0	17.2
60	-1.1	12.2	150	-2.1	17.6
65	-1.1	12.4	155	-2.3	17.8
70	-1.1	12.6	160	-2.6	18.4
75	-1.2	12.8	165	-2.8	18.6
80	-1.2	13.2	170	-3.1	19.2
85	-1.2	13.4	175	-3.8	19.6
90	-1.2	13.6	180	-4.0	19.8
95	-1.2	14.0	185	-4.4	20.4
100	-1.3	14.4	190	-4.8	22.6
105	-1.3	14.8	195	-4.9	22.8
110	-1.4	15.2	200	-5.1	23.2
115	-1.4	15.4	205	-5.3	23.8
120	-1.4	15.6	210	-5.4	24.0
125	-1.5	16.2	215	-5.4	24.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 120 rpm ครั้งที่ 1

เวลา	อุณหภูมิ	%Brix	เวลา	อุณหภูมิ	%Brix
40	-1.1	12.4	125	-2.1	18.0
45	-1.1	12.5	130	-2.3	18.5
50	-1.1	12.7	135	-2.4	19.1
55	-1.1	12.9	140	-2.4	19.6
60	-1.2	13.2	145	-2.4	20.2
65	-1.2	13.4	150	-2.6	20.8
70	-1.2	13.7	155	-2.6	21.4
75	-1.3	14.0	160	-2.7	22.0
80	-1.3	14.3	165	-2.9	22.7
85	-1.3	14.6	170	-3.1	23.4
90	-1.3	15.0	175	-3.2	24.1
95	-1.5	15.4	180	-3.4	24.8
100	-1.8	15.8	185	-3.6	25.5
105	-2.0	16.2	190	-3.7	26.3
110	-2.1	16.6	195	-3.8	27.0
115	-2.4	17.1	200	-3.8	27.8
120	-2.1	17.5	205	-3.8	28.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 120 rpm ครั้งที่ 2

เวลา	อุณหภูมิ	%Brix	เวลา	อุณหภูมิ	%Brix
40	3.3	11.8	125	-1.4	16.4
45	1.4	11.8	130	-1.4	17.4
50	-0.5	12.0	135	-1.5	17.6
55	-1.6	12.0	140	-1.6	18.2
60	-1.0	12.2	145	-1.6	19.0
65	-0.9	12.6	150	-1.7	19.5
70	-1.0	12.6	155	-1.7	20.0
75	-1.0	13.0	160	-1.8	20.2
80	-1.0	13.8	165	-1.8	21.2
85	-1.2	14.2	170	-1.9	21.6
90	-1.1	14.6	175	-2.0	22.2
95	-1.1	15.2	180	-2.1	22.8
100	-1.2	15.6	185	-2.2	23.0
105	-1.2	15.8	190	-2.3	23.4
110	-1.3	16.0	195	-2.4	24.0
115	-1.3	16.0	200	-2.5	24.4
120	-1.3	16.4	205	-2.6	25.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 120 rpm ครั้งที่ 3

เวลา	อุณหภูมิ	%Brix	เวลา	อุณหภูมิ	%Brix
40	3.5	11.8	125	-1.5	15.8
45	1.3	11.8	130	-1.6	16.0
50	-0.2	11.8	135	-1.6	16.4
55	-1.8	11.8	140	-1.7	17.0
60	-0.9	12.2	145	-1.8	17.6
65	-1.0	12.4	150	-1.8	18.0
70	-1.0	12.4	155	-2.1	18.4
75	-1.0	13.0	160	-2.3	19.0
80	-1.1	13.2	165	-2.3	19.8
85	-1.1	13.4	170	-2.6	20.6
90	-1.1	13.8	175	-2.8	21.6
95	-1.1	14.0	180	-3.1	22.2
100	-1.1	14.4	185	-3.4	22.8
105	-1.2	14.6	190	-3.7	23.0
110	-1.3	15.0	195	-3.8	23.4
115	-1.4	15.2	200	-3.8	24.0
120	-1.4	15.6	205	-3.8	24.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 150 rpm ครั้งที่ 1

เวลา	อุณหภูมิ	% Brix	เวลา	อุณหภูมิ	% Brix
40	2.0	11.6	135	-1.5	15.6
45	0.4	11.6	140	-1.6	16.0
50	-1.0	11.8	145	-1.6	16.4
55	-2.7	12.0	150	-1.7	17.2
60	-3.9	12.0	155	-1.7	18.0
65	-1.0	12.2	160	-1.8	18.4
70	-1.1	12.6	165	-1.9	18.6
75	-1.1	12.6	170	-2.1	19.0
80	-1.1	12.6	175	-2.1	19.4
85	-1.2	12.8	180	-2.1	19.6
90	-1.2	13.2	185	-2.2	21.1
95	-1.2	13.6	190	-2.3	21.7
100	-1.2	13.8	195	-2.3	22.3
105	-1.3	14.0	200	-2.4	22.8
110	-1.3	14.2	205	-2.5	23.4
115	-1.4	14.2	210	-2.5	24.1
120	-1.4	14.4	215	-2.6	24.7
125	-1.4	15.0	220	-2.7	25.3
130	-1.5	15.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 150 rpm ครั้งที่ 2

เวลา	อุณหภูมิ	% Brix	เวลา	อุณหภูมิ	% Brix
40	1.8	11.8	135	-2.5	16.6
45	0.0	11.8	140	-2.5	16.8
50	-1.9	11.8	145	-2.5	16.8
55	-2.0	11.8	150	-2.7	17.4
60	-2.0	12.2	155	-2.7	17.6
65	-2.1	12.6	160	-2.8	18.2
70	-2.1	12.6	165	-2.8	18.8
75	-2.1	13.0	170	-2.9	19.0
80	-2.2	13.2	175	-3.0	19.4
85	-2.2	13.4	180	-3.1	19.8
90	-2.2	13.8	185	-3.2	20.2
95	-2.2	14.0	190	-3.3	20.4
100	-2.3	14.0	195	-3.2	20.6
105	-2.3	14.2	200	-3.2	22.4
110	-2.3	14.4	205	-3.3	22.6
115	-2.4	14.6	210	-3.3	23.2
120	-2.4	15.0	215	-3.5	24.6
125	-2.5	15.6	220	-3.7	25.0
130	-2.5	16.0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ผลการทดลองการทำน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นที่ความเร็วรอบ 150 rpm ครั้งที่ 3

เวลา	อุณหภูมิ	% Brix	เวลา	อุณหภูมิ	% Brix
40	1.1	12.2	135	-2.8	17.2
45	-0.8	12.2	140	-2.9	17.6
50	-1.7	12.2	145	-3.0	18.2
55	-1.8	12.2	150	-3.1	18.2
60	-1.8	12.6	155	-3.2	18.6
65	-1.8	13.0	160	-3.3	19.2
70	-1.9	13.0	165	-3.5	19.4
75	-1.8	13.4	170	-3.7	20
80	-2.0	13.8	175	-3.7	20.2
85	-2.0	13.8	180	-4.0	22.2
90	-2.1	14.2	185	-3.2	22.2
95	-2.2	14.6	190	-3.3	23
100	-2.3	15.0	195	-3.5	23.8
105	-2.3	15.2	200	-3.7	24.2
110	-2.4	15.6	205	-3.7	24.6
115	-2.5	15.8	210	-3.6	25
120	-2.5	16.4	215	-3.7	25.4
125	-2.6	16.8	220	-3.8	25.8
130	-2.7	17.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วรอบที่ 90, 120 และ 150 rpm ของน้ำส้มเขียวหวาน ร่วมกับ เวลา ที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12%

เวลา

Duncan^{a,b}

RPM	N	Subset	
		1	2
120	3	166.100	
150	3		187.967
90	3		189.067
Sig.		1.000	.898

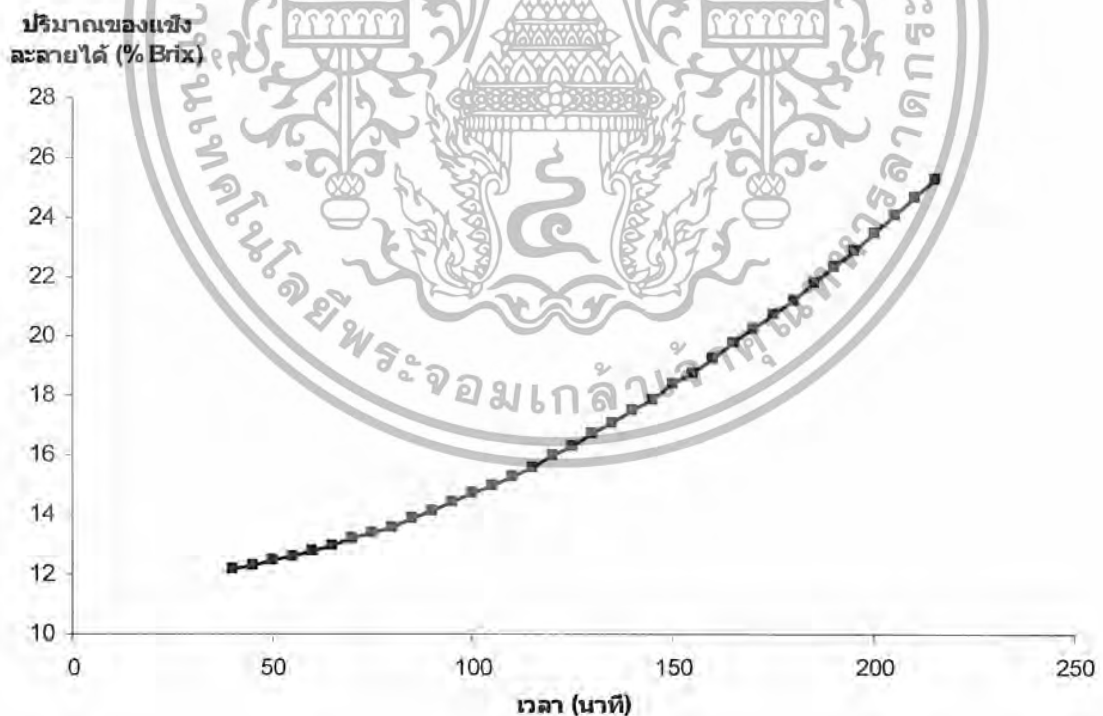
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 100.646.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

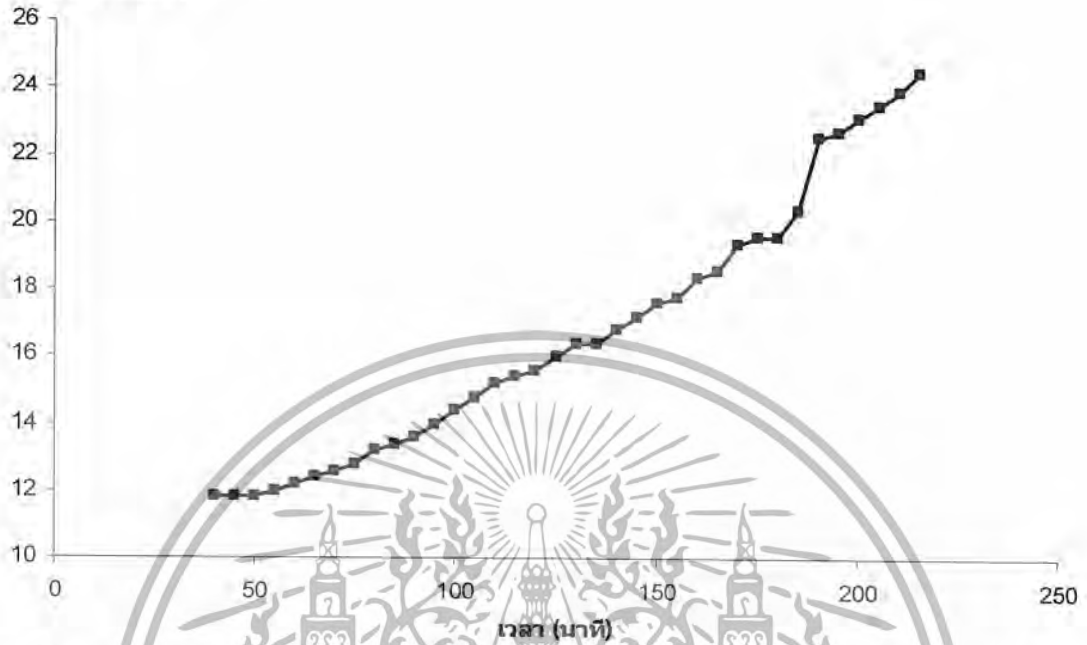
b. Alpha = .05.



ภาพที่ ค.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ความเร็ว 90 rpm ครั้งที่ 1

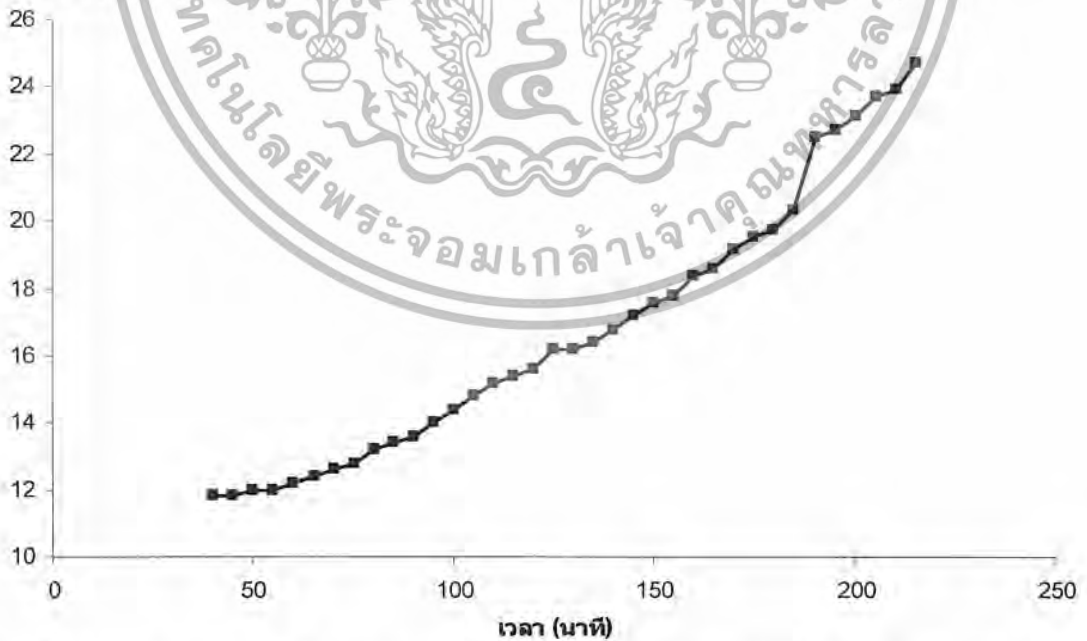
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)**



ภาพที่ ค.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 90 rpm ครั้งที่ 2

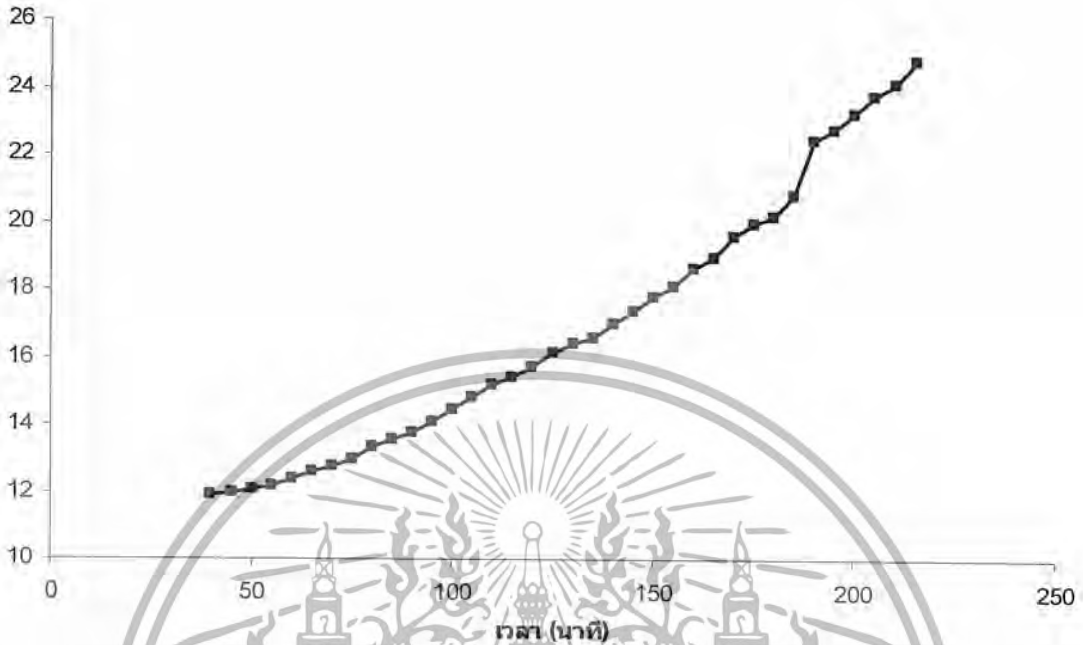
**ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)**



ภาพที่ ค.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 90 rpm ครั้งที่ 3

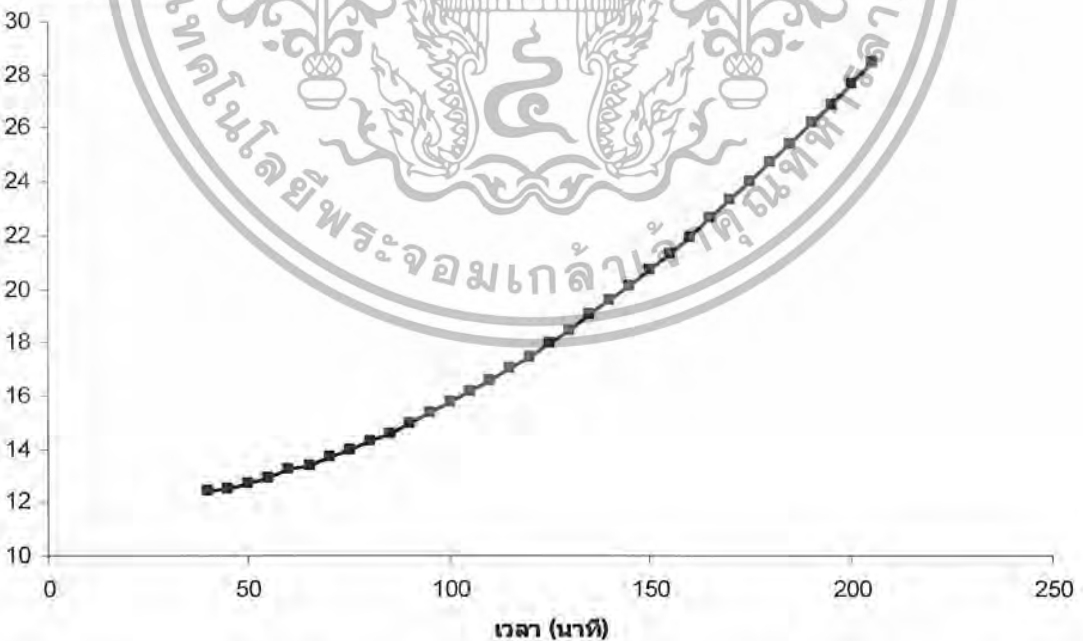
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)



ภาพที่ ค.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 90 rpm โดยเฉลี่ย

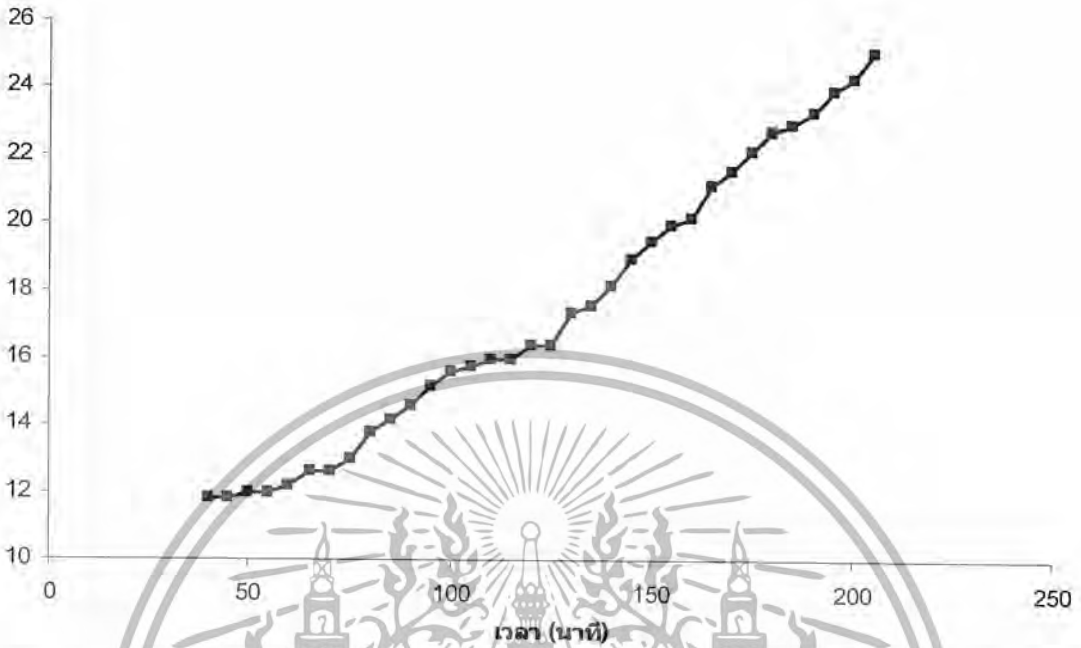
ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)



ภาพที่ ค.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 120 rpm ครั้งที่ 1

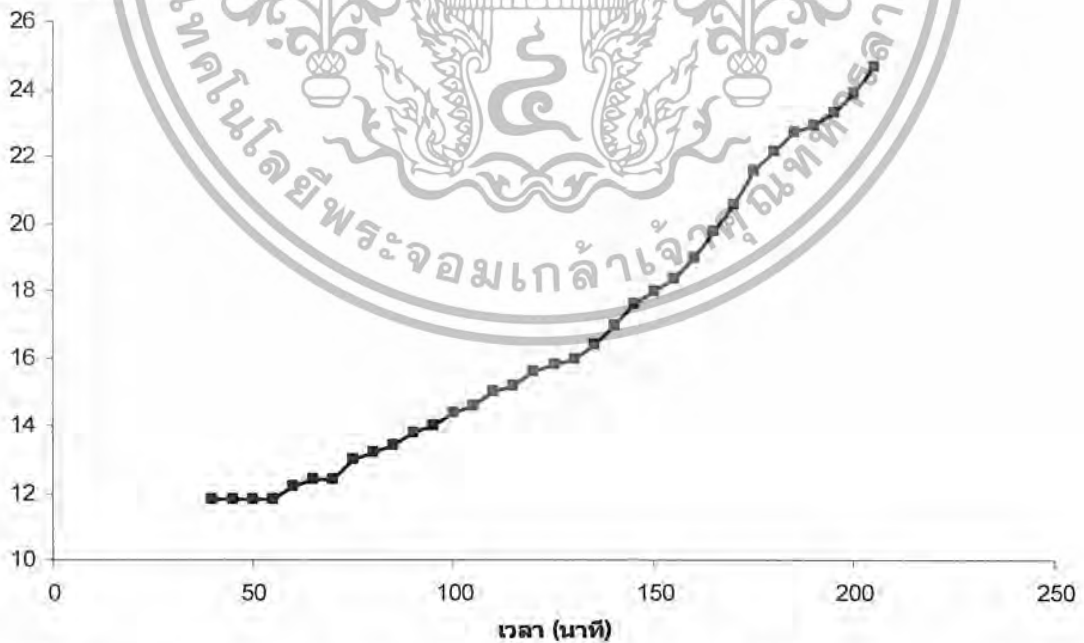
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)**



ภาพที่ ๑๖.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 120 rpm ครั้งที่ 2

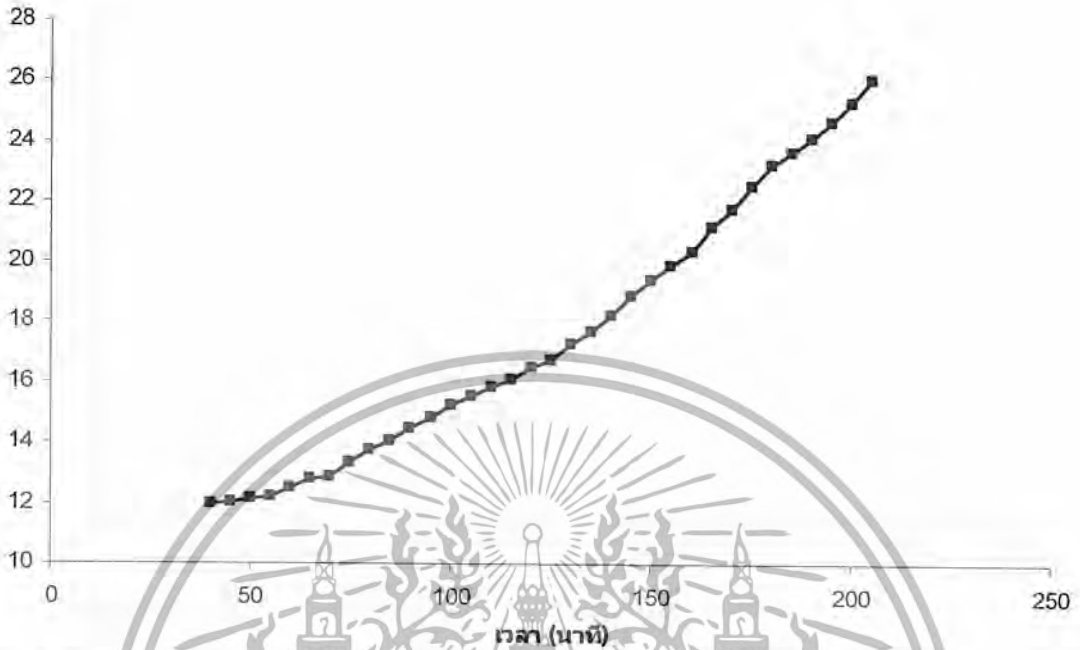
**ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)**



ภาพที่ ๑๖.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 120 rpm ครั้งที่ 3

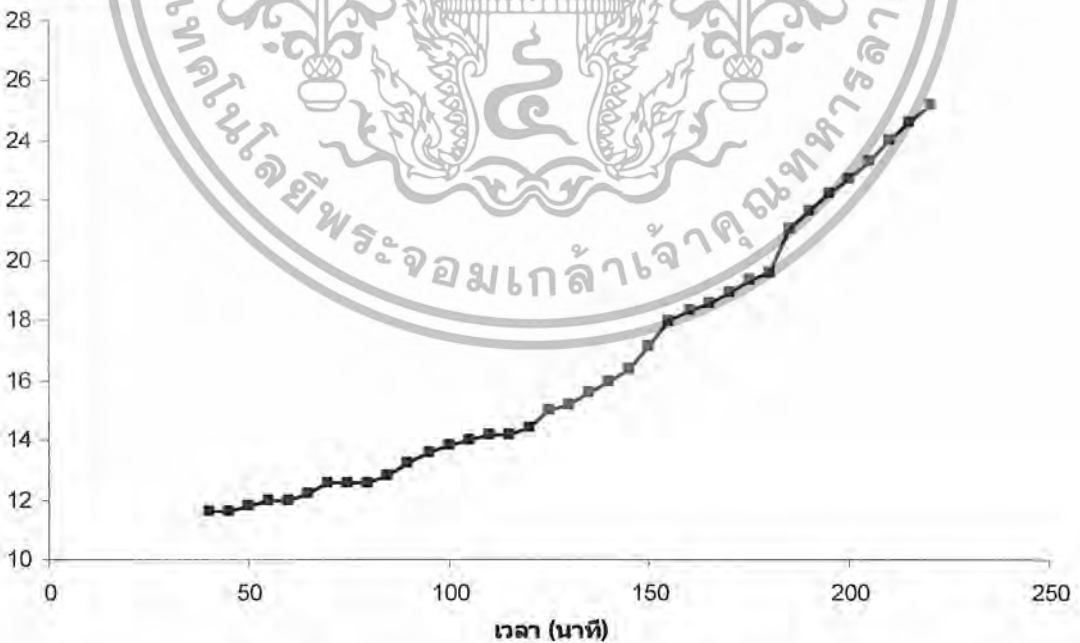
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)



ภาพที่ ค.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 120 rpm. โดยเฉลี่ย

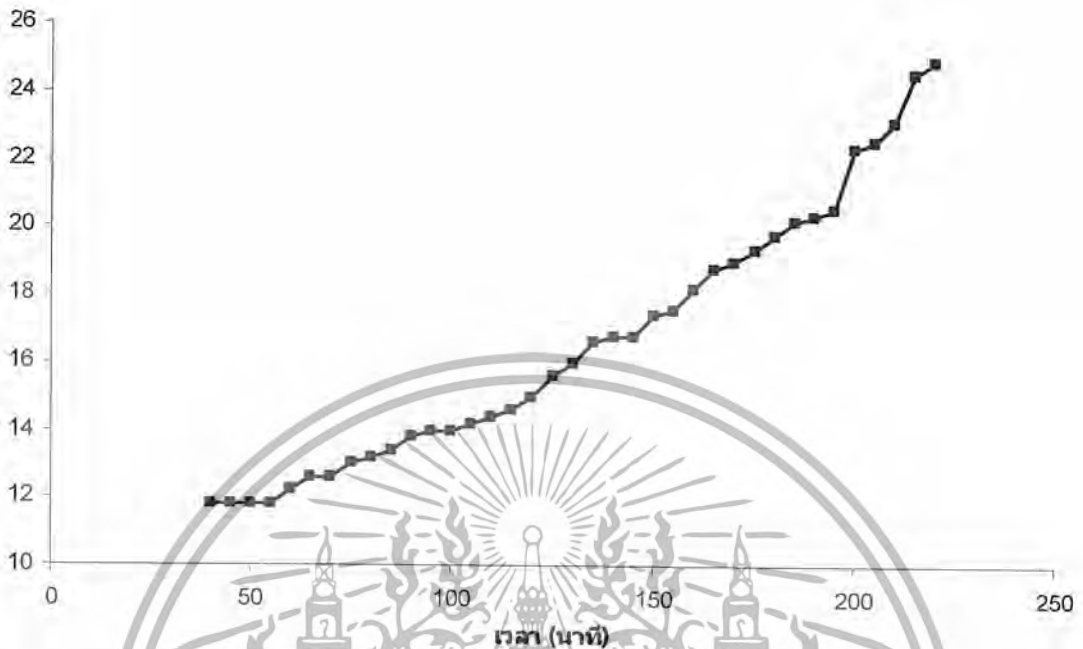
ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)



ภาพที่ ค.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 150 rpm ครั้งที่ 1

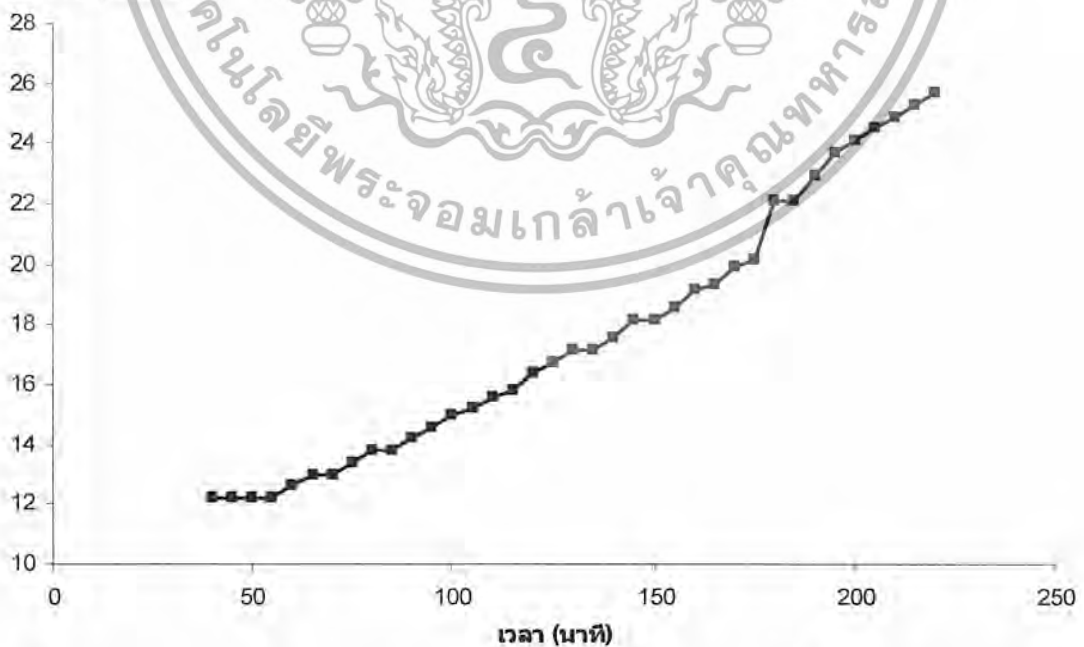
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)



ภาพที่ ค.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 150 rpm ครั้งที่ 2

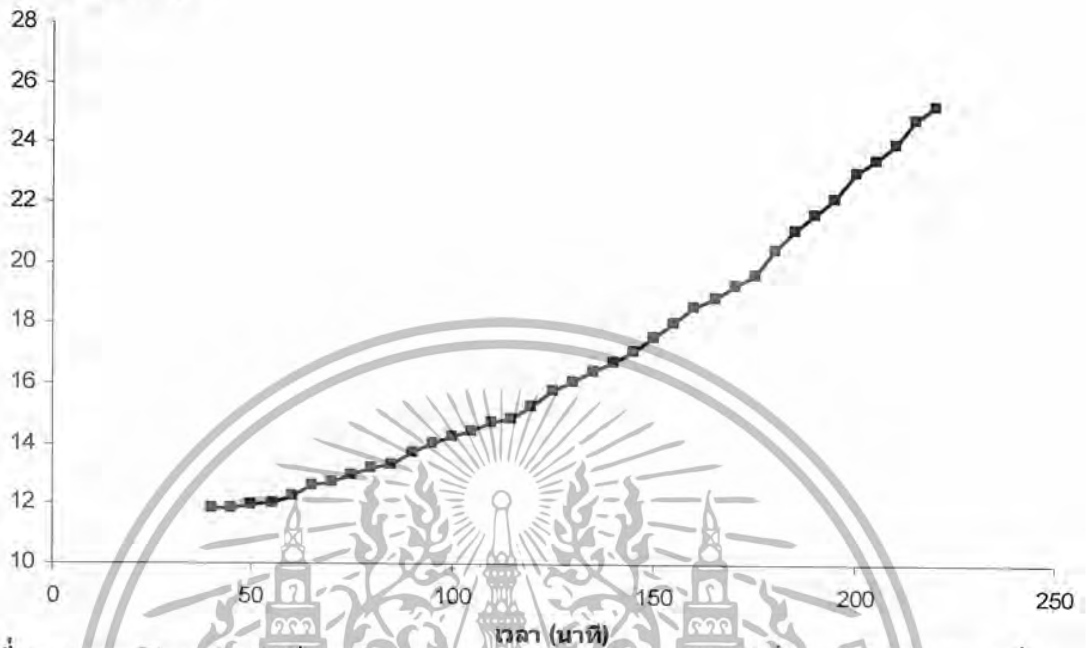
ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)



ภาพที่ ค.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 150 rpm ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็ง
ละลายได้ (% Brix)



ภาพที่ ค.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (นาที) กับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ที่ ความเร็ว 150 rpm โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) ครั้งที่ 1

น้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 1		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	9.66	0.66
1	9.66	1.32
2	9.82	2.64
4	10.10	5.28
5	9.98	6.60
10	10.10	13.20
20	10.60	26.40
50	10.90	66.00
100	11.90	132.00
150	12.90	198.00
200	14.10	264.00
250	15.10	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) ครั้งที่ 2

น้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 2		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	9.66	0.66
1	9.66	1.32
2	9.80	2.64
4	10.20	5.28
5	10.10	6.60
10	10.10	13.20
20	10.70	26.40
50	10.90	66.00
100	11.80	132.00
150	13.00	198.00
200	14.20	264.00
250	15.00	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) ครั้งที่ 3

น้ำส้มเขียวหวาน ครั้งที่ 3		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	9.65	0.66
1	9.66	1.32
2	9.81	2.64
4	9.86	5.28
5	10.10	6.60
10	10.20	13.20
20	10.70	26.40
50	10.80	66.00
100	11.90	132.00
150	12.90	198.00
200	14.20	264.00
250	15.10	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน (%Brix 11.8) เฉลี่ย

น้ำส้มเขียวหวาน เฉลี่ย		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	9.66	0.66
1	9.66	1.32
2	9.81	2.64
4	10.05	5.28
5	10.06	6.60
10	10.13	13.20
20	10.67	26.40
50	10.87	66.00
100	11.87	132.00
150	12.93	198.00
200	14.17	264.00
250	15.07	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 16.2) ครั้งที่ 1

น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น ครั้งที่ 1		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	10.10	0.66
1	10.10	1.32
2	10.20	2.64
4	10.20	5.28
5	10.30	6.60
10	10.50	13.20
20	11.00	26.40
50	11.60	66.00
100	12.80	132.00
150	14.00	198.00
200	15.20	264.00
250	16.00	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 15.8) ครั้งที่ 2

น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น ครั้งที่ 2		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	10.10	0.66
1	10.10	1.32
2	10.10	2.64
4	10.20	5.28
5	10.20	6.60
10	10.50	13.20
20	10.90	26.40
50	11.60	66.00
100	12.70	132.00
150	14.00	198.00
200	15.20	264.00
250	15.80	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.17 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 16.6) ครั้งที่ 3

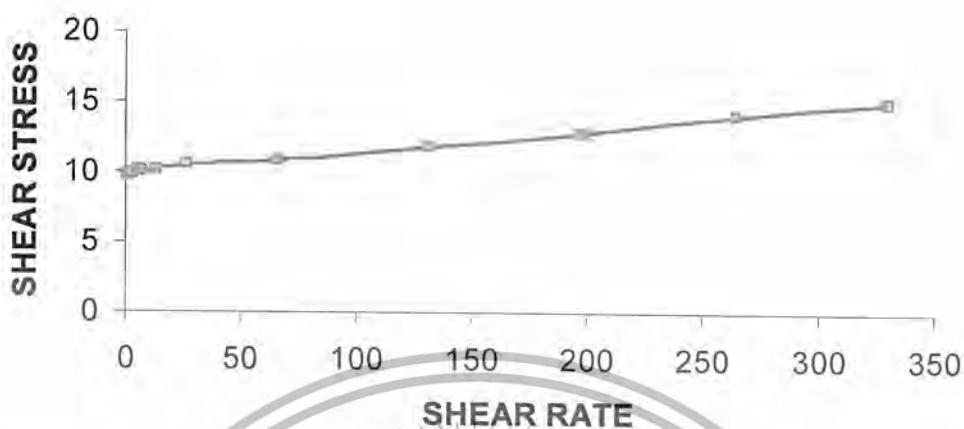
น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น ครั้งที่ 3		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	10.10	0.66
1	10.10	1.32
2	10.20	2.64
4	10.30	5.28
5	10.40	6.60
10	10.60	13.20
20	11.10	26.40
50	11.60	66.00
100	12.80	132.00
150	14.10	198.00
200	15.30	264.00
250	16.10	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.18 แสดงค่าความเร็วรอบ ค่า Shear stress และ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น (%Brix 16.2) โดยเฉลี่ย

น้ำส้มเขียวหวานเข้มข้น เฉลี่ย		
RPM	Shear stress	Shear rate
0.5	10.10	0.66
1	10.10	1.32
2	10.17	2.64
4	10.23	5.28
5	10.30	6.60
10	10.53	13.20
20	11.00	26.40
50	11.60	66.00
100	12.77	132.00
150	14.03	198.00
200	15.23	264.00
250	15.97	330.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

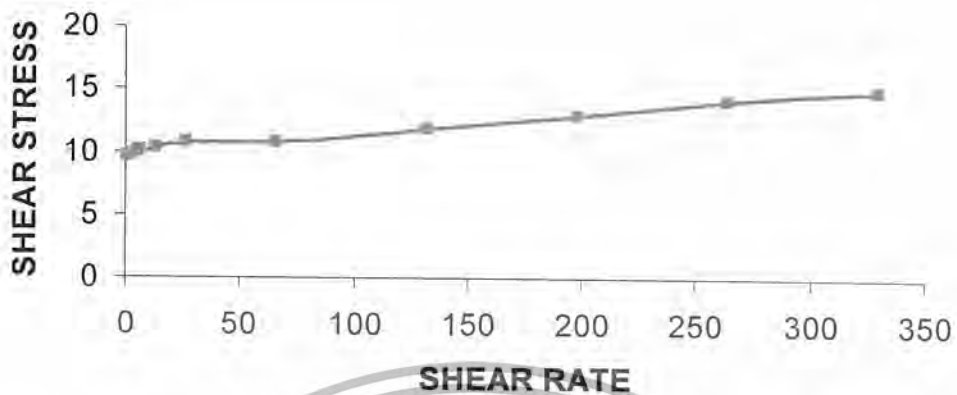


ภาพที่ ค.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน
ครั้งที่ 1



ภาพที่ ค.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน
ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

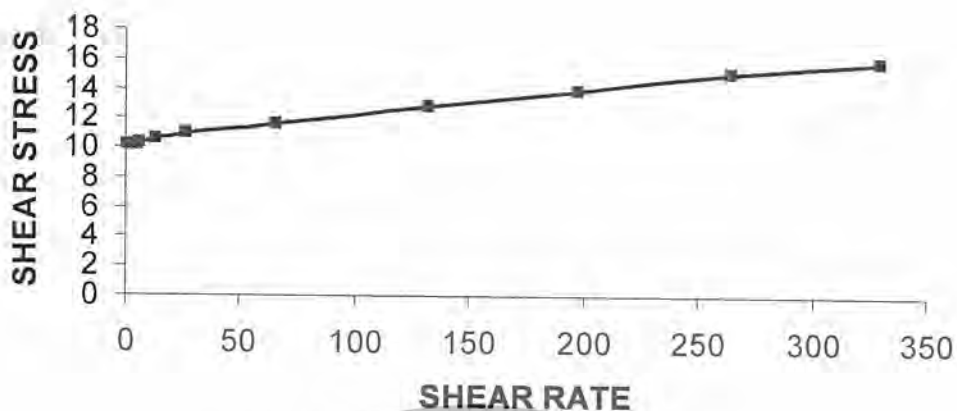


ภาพที่ ๑๕ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำสีผสมสีวาทวนครั้งที่ 3



ภาพที่ ๑๖ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำสีผสมสีวาทวนโดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

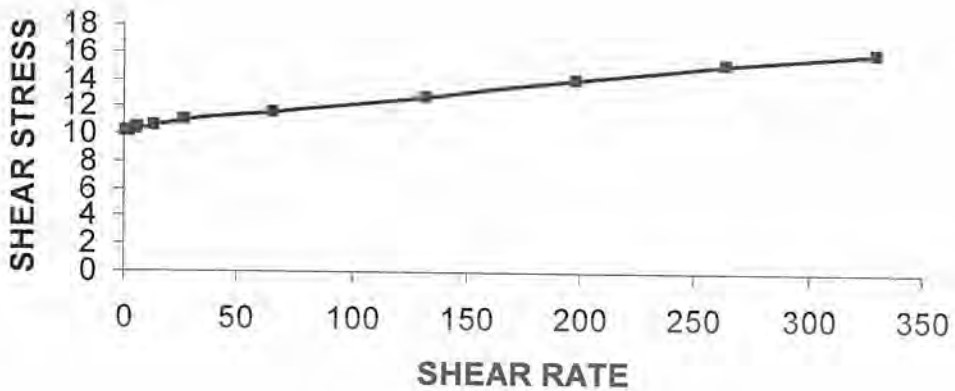


ภาพที่ ค.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำสีเขียวหวาน
เข้มข้น ครั้งที่ 1

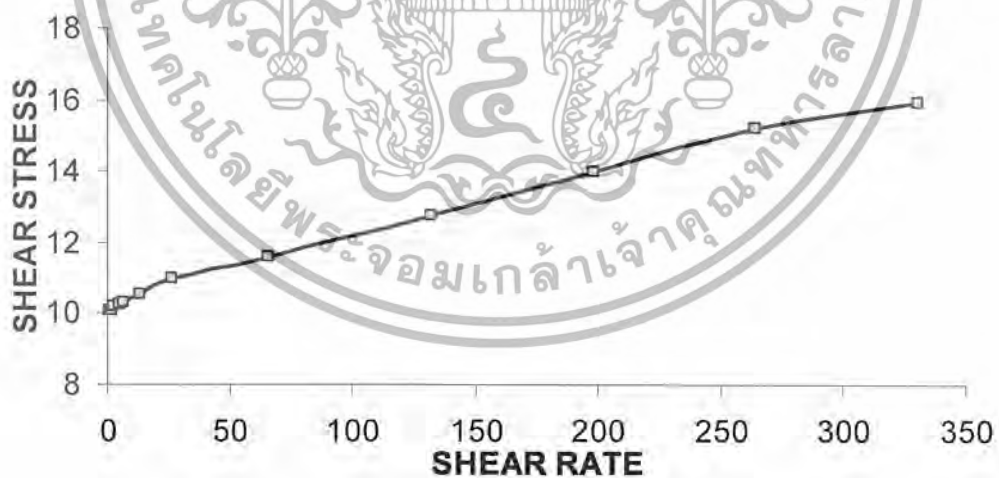


ภาพที่ ค.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำสีเขียวหวาน
เข้มข้น ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำสีเขียวหวาน
เข้มข้น ครั้งที่ 3



ภาพที่ ค.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับ ค่า Shear rate ของน้ำสีเขียวหวาน
เข้มข้น โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress กับค่า Shear rate ของน้ำส้มเขียวหวาน และ น้ำส้มเขียวหวานแช่แข็ง

ตารางที่ ค.19 วิเคราะห์ความแตกต่างเชิงสถิติของค่าความหนืดระหว่างน้ำส้มเขียวหวาน กับ น้ำส้มเขียวหวานแช่แข็ง

ANOVA

VISCOS					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.089	1	.089	280.474	.000
Within Groups	.001	4	.000		
Total	.090	5			

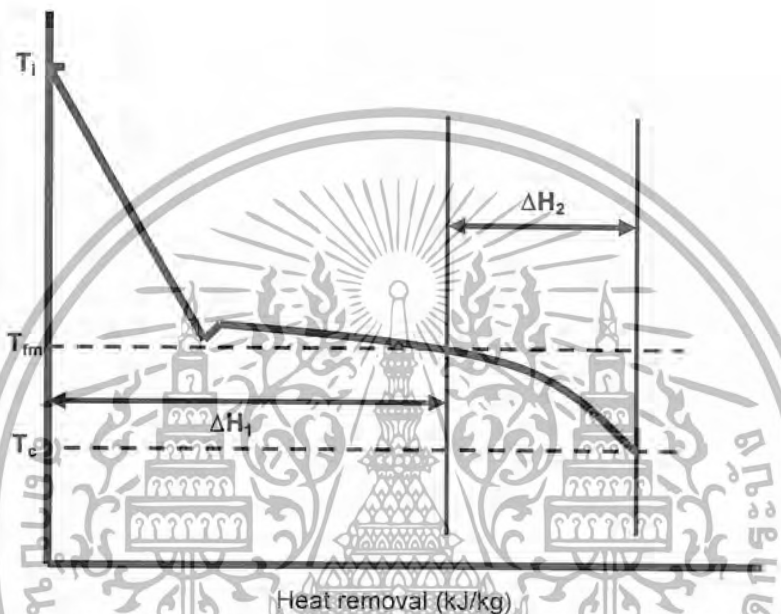
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณหาเวลาที่แช่แข็งอาหาร (Freezing Time Estimation Methods)

Pham (1986) ได้คิดวิธีการคำนวณหาเวลาที่แช่แข็ง ได้คล้าย ๆ กับ สมการของ Plank แต่ได้พิจารณาในส่วนของความร้อนสัมผัส โดยแยกคิดเป็น Precooling Time, Phase Change Time และ Subcooling Time ซึ่งได้กำหนดค่าอุณหภูมิเยือกแข็งกลาง (mean freezing temperature, T_{fm}) ดังในภาพที่ ง.1



ภาพที่ ง.1 แผนภาพการแช่แข็งของอาหาร ของ Pham (1986b)

สมการของ Pham (1986)

$$t = \frac{d_c}{E_f h} \left[\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right] \left[1 + \frac{N_{Bi}}{2} \right]$$

- E_f = shape factor โดยถ้าเป็น
 - แบบแผ่น ค่า $E_f = 1$
 - ทรงกระบอก ค่า $E_f = 2$
 - ทรงกลม ค่า $E_f = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่า h ของน้ำดีมีรีเวอร์สออสโมซิส น้ำเชื่อม และ น้ำส้มเขียวหวาน

อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 25°C , อุณหภูมิอากาศเท่ากับ -28°C , อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ -10°C

เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดทดลองเท่ากับ 0.013217 m

มีความสูงเท่ากับ 0.073 m

$$N_{Gr} = \frac{d_c^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}$$

$$N_{Gr} = \frac{(0.0066)^3 (1.260475)^2 (9.81)(0.003674)(25 - (-28))}{(17.368 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$N_{Gr} = 3900425.54$$

$$N_{Ra} = N_{Gr} \times N_{Pr}$$

$$N_{Ra} = 3900425.54 \times 0.71$$

$$N_{Ra} = 2769302.14$$

$$N_{Nu} = a(N_{Ra})^b$$

$$N_{Nu} = 0.59(2769302.14)^{0.25}$$

$$N_{Nu} = 24.0682546$$

$$h_c = \frac{N_{Nu} \times k}{d_c}$$

$$h_c = \frac{24.068 \times 0.0236}{0.0729}$$

$$h_c = 7.79\text{ W/m}^2\text{K}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ของน้ำดีมีรีเวอร์สออสโมซิส

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{h_c} + \sum \frac{X_p}{k_p}$$

$$= \frac{1}{7.79} + \frac{0.0066}{2.29} + \frac{0.001}{0.78}$$

$$h = 7.55\text{ W/m}^2\text{K}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ของน้ำเชื่อม

$$\begin{aligned}\frac{1}{h} &= \frac{1}{h_c} + \sum \frac{X_p}{k_p} \\ &= \frac{1}{7.79} + \frac{0.0066}{2.04} + \frac{0.001}{0.78} \\ h &= 7.53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}\end{aligned}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ของน้ำส้มเขียวหวาน

$$\begin{aligned}\frac{1}{h} &= \frac{1}{h_c} + \sum \frac{X_p}{k_p} \\ &= \frac{1}{7.79} + \frac{0.0066}{2.02} + \frac{0.001}{0.78} \\ h &= 7.53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}\end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส

$$\begin{aligned}
 N_{Bi} &= \frac{hR}{k_f} \\
 &= \frac{(7.55)(0.0066)}{2.292} \\
 &= 0.0217 \approx 0.02
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{fm} &= 1.8 + 0.263T_f + 0.105T_a \\
 &= 1.8 + 0.263(-10) + 0.105(-28) \\
 &= -3.77
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 &= \rho_U C_{pU} (T_i - T_{fm}) \\
 &= (994.910)(4177.349)(25 - (-3.77)) \\
 &= 119,570,602.7 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_2 &= \rho_f (L_f + C_{p_f} (T_{fm} - T_f)) \\
 &= (918.197)(333200 + 2001.531(-3.77 - (-10))) \\
 &= 317,392,732.9 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= 0.5(T_i + T_{fm}) - T_a \\
 &= 0.5(25 + (-3.77)) - (-28) \\
 &= 38.615
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_2 &= T_{fm} - T_a \\
 &= -3.77 - (-28) \\
 &= 24.23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_f &= \left[\frac{0.0066}{(2)(7.55)} \right] \left[\frac{119570602.7}{38.615} + \frac{917392732.9}{24.23} \right] \left[1 + \frac{0.02}{2} \right] \\
 &= 7,175 \text{ sec.} = 119.6 \text{ min.}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของน้ำเชื่อม

$$\begin{aligned}
 N_{Bi} &= \frac{hR}{k_f} \\
 &= \frac{(7.53)(0.0066)}{2.04} \\
 &= 0.02436 \approx 0.02
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{fm} &= 1.8 + 0.263T_f + 0.105T_a \\
 &= 1.8 + 0.263(-10) + 0.105(-28) \\
 &= -3.77
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 &= \rho_U C_{pU} (T_i - T_{fm}) \\
 &= (1066.482)(3867.365)(25 - (-3.77)) \\
 &= 118,661,150.4 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_2 &= \rho_f (L_f + C_{p_f} (T_{fm} - T_f)) \\
 &= (1000.278)(262695 + 1944.777(-3.77 - (-10))) \\
 &= 274,887,358.2 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= 0.5(T_i + T_{fm}) - T_a \\
 &= 0.5(25 + (-3.77)) - (-28) \\
 &= 38.615
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_2 &= T_{fm} - T_a \\
 &= -3.77 - (-28) \\
 &= 24.23
 \end{aligned}$$

$$t_f = \frac{0.0066}{(2)(7.53)} \left[\frac{118661150.4}{38.615} + \frac{274887358.2}{24.23} \right] \left[1 + \frac{0.02}{2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของน้ำส้มเขียวหวาน

$$\begin{aligned}
 N_{Bi} &= \frac{hR}{k_f} \\
 &= \frac{(7.53)(0.0066)}{2.016} \\
 &= 0.02465 \approx 0.02
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{fm} &= 1.8 + 0.263T_f + 0.105T_a \\
 &= 1.8 + 0.263(-10) + 0.105(-28) \\
 &= -3.77
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 &= \rho_U C_{pU} (T_i - T_{fm}) \\
 &= (1069.677)(3843.505)(25 - (-3.77)) \\
 &= 118,282,357 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_2 &= \rho_f (L_f + C_{p_f} (T_{fm} - T_f)) \\
 &= (1004.496)(255659 + 1944.395(-3.77 - (-10))) \\
 &= 268,976,486.4 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= 0.5(T_i + T_{fm}) - T_a \\
 &= 0.5(25 + (-3.77)) - (-28) \\
 &= 38.615
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_2 &= T_{fm} - T_a \\
 &= -3.77 - (-28) \\
 &= 24.23
 \end{aligned}$$

$$t_f = \left[\frac{0.0066}{(2)(7.53)} \right] \left[\frac{118282357}{38.615} + \frac{268976486.4}{24.23} \right] \left[1 + \frac{0.02}{2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่า h ของ น้ำส้มเขียวหวาน ร่วมกับวิธีการกวน

อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 25°C , อุณหภูมิอากาศเท่ากับ -28°C , อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ -5°C

เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดทดลองเท่ากับ 0.065 m

มีความสูงเท่ากับ 0.073 m

$$N_{Gr} = \frac{d_c^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}$$

$$N_{Gr} = \frac{(0.0603)^3 (1.260475)^2 (9.81)(0.003674)(25 - (-28))}{(17.368 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$N_{Gr} = 2,205,561.53$$

$$N_{Ra} = N_{Gr} \times N_{Pr}$$

$$N_{Ra} = 2,205,561.53 \times 0.71$$

$$= 1,565,948.69$$

$$N_{Nu} = a(N_{Ra})^m$$

$$N_{Nu} = 0.59(1565948.69)^{0.25}$$

$$N_{Nu} = 20.8711507$$

$$h_c = \frac{N_{Nu} \times k}{d_c}$$

$$h_c = \frac{20.87 \times 0.024}{0.0603}$$

$$h_c = 8.17\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ของน้ำส้มเขียวหวาน ร่วมกับวิธีการกวน

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{h_c} + \sum \frac{X_p}{k_p}$$

$$= \frac{1}{8.17} + \frac{0.0603}{2.02} + \frac{0.001}{0.78}$$

$$h = 7.16\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของน้ำส้มเขียวหวานเข้มข้นร่วมกับวิธีการกวนผสม

$$\begin{aligned}
 N_{Bi} &= \frac{hR}{k_f} \\
 &= \frac{(7.17)(0.0325)}{2.016} \\
 &= 0.1156 \approx 0.12
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{fm} &= 1.8 + 0.263T_f + 0.105T_a \\
 &= 1.8 + 0.263(-5) + 0.105(-28) \\
 &= -2.46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 &= \rho_U C_{pU} (T_f - T_{fm}) \\
 &= (1069.677)(3843.505)(25 - (-2.46)) \\
 &= 112896542.3 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_2 &= \rho_f (L_f + C_{p_f} (T_{fm} - T_f)) \\
 &= (1004.496)(255659 + 1944.395(-2.46 - (-5))) \\
 &= 261769410.8 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= 0.5(T_f + T_{fm}) - T_a \\
 &= 0.5(25 + (-2.46)) - (-28) \\
 &= 39.27
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_2 &= T_{fm} - T_a \\
 &= -2.46 - (-28) \\
 &= 25.54
 \end{aligned}$$

$$t_f = \left[\frac{0.0325}{(2)(7.16)} \right] \left[\frac{112,896,542.3}{39.27} + \frac{261,769,410.8}{25.54} \right] \left[1 + \frac{0.12}{2} \right]$$

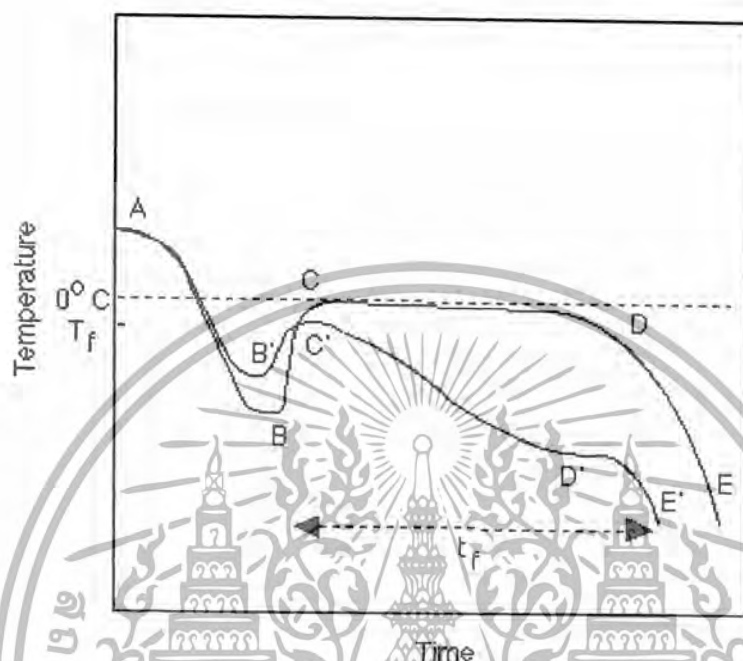
$$= 31,458 \text{ sec.} = 524.3 \text{ min.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแช่เยือกแข็ง (The Freezing Process)



ภาพที่ จ.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของกระบวนการแช่เยือกแข็ง น้ำบริสุทธิ์ (ABCDE) และอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (A'B'C'D'E')

ที่มา : Anon, 2000: <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/freezetheor.html>

จากภาพที่ จ.1 พบว่าน้ำบริสุทธิ์มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่จุด A เมื่อถูกลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์นั้น อุณหภูมิของระบบจะลดลงอย่างต่อเนื่องจากจุด A ไปยังจุด B เป็นผลมาจาก ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ถูกดึงออกจากระบบจึงทำให้มีอุณหภูมิลดลง สังเกตได้ว่า ที่อุณหภูมิ 0°C น้ำบริสุทธิ์ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง เนื่องจากระบบต้องการปรับสภาพทำให้มีอุณหภูมิลดลงใกล้กับอุณหภูมิของอากาศเย็นที่เป็นตัวกลางให้ความเย็นมากที่สุด เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า “ปรากฏการณ์เย็นตัวยิ่งยวด” (Supercooling) โดยน้ำบริสุทธิ์จะเกิดปรากฏการณ์นี้ที่อุณหภูมิ -4°C ที่จุด B แล้วจะเข้าสู่ช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนสถานะที่จุดเยือกแข็งที่อุณหภูมิ 0°C ณ จุด C ช่วงระยะเวลาตั้งแต่จุด C ถึงจุด D เรียกช่วงเวลานี้ว่า “เวลาที่ใช้ในการเกิดผลึกน้ำแข็ง” โดยความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (Latent heat) จะถูกดึงออกจากระบบด้วยอัตราที่คงที่ จนกระทั่งที่จุด D เป็นจุดที่เกิดผลึกน้ำแข็งอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบูรณ์แล้ว และจะไม่มีการเกิดผลึกน้ำแข็งอีก จากนั้น ความร้อนสัมผัสก็จะถูกดึงออกจากระบบ ให้มีอุณหภูมิลดลงเข้าใกล้อุณหภูมิจากอากาศเย็นมากที่สุด ที่จุด E

ในทำนองเดียวกันกับอาหารที่มีอุณหภูมิลดลงที่จุด A เมื่อถูกลดอุณหภูมิลงให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของอาหาร อุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องจากจุด A ไปยังจุด B' เนื่องมาจากความร้อนสัมผัสถูกดึงออกจากระบบในช่วงนี้และระบบจะเข้าสู่สภาวะ Supercooling ที่จุด B' ก่อนเกิดการเปลี่ยนสถานะ เช่นเดียวกันกับน้ำบริสุทธิ์ แต่เนื่องด้วยองค์ประกอบต่างๆที่เป็นส่วนประกอบในอาหาร มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) มีส่วนช่วยเร่งปฏิกิริยาให้ระบบเกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่าน้ำบริสุทธิ์ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) อาหารจึงเข้าสู่สภาวะ Supercooling ได้เร็วกว่าน้ำบริสุทธิ์เป็นผลให้จุด B' อยู่สูงกว่าจุด B และจะเริ่มต้นเปลี่ยนสถานะที่จุดเยือกแข็งของอาหารที่จุด C' ช่วง C' ถึง D' เป็นช่วงการเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวจะถูกดึงออกจากระบบ แต่ด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนในอาหาร ส่งผลให้ช่วงการเปลี่ยนสถานะมีอุณหภูมิลดลงจนกระทั่งจุด D' เป็นจุดที่เกิดผลึกน้ำแข็งในอาหารอย่างสมบูรณ์แล้ว ความร้อนสัมผัสจะถูกดึงออกจากระบบ ให้มีอุณหภูมิลดลงเข้าใกล้กับอุณหภูมิจากอากาศเย็นมากที่สุดเช่นกัน (Supercooling, [n.p.]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Supercooling>)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นาย ประณิส พงษ์วิจิตร
วัน เดือน ปีเกิด	20 มิถุนายน 2527
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น – มัธยมศึกษาตอนปลาย
ระดับปริญญาตรี	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2 ปีการศึกษา 2544
	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548
ชื่อ – สกุล	นาย ดุฑ์ศน์ รัตนภากร
วัน เดือน ปีเกิด	15 ตุลาคม 2527
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น – มัธยมศึกษาตอนปลาย
ระดับปริญญาตรี	โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต ปีการศึกษา 2544
	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548
ชื่อ – สกุล	นาย เอกพล เลิศชนาครกุล
วัน เดือน ปีเกิด	26 มิถุนายน 2526
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น – มัธยมศึกษาตอนปลาย
ระดับปริญญาตรี	โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ปีการศึกษา 2544
	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้