



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์  
(A Study on the Rheological Properties of Biopolymer-water System)

โดย

นางสาวดารารัตน์ อมรสวัสดิวัฒนา

นางสาวนิภา ลีลาเอกเลิศ

นายรณชาติ กรงกรต

นางสาวสุชีลินทร์ โชคชัยกสิกร

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

*สมชาย ธีรพัฒน์*  
(ผอ.ดร. รุ่งนภา วชิรจตุรณ)

๒๕ มิถ. ๒๕๔๐

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

*[Signature]*  
ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ  
(หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร)  
หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 30 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2540

21 ส.ค. 2541

รพ.  
๐๔๒๖  
๒๕๓๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
- 8 ส.ค. 254๑

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของระบบสารละลายไบโอโพลิเมอร์

(A Study on the Rheological Properties of Biopolymer-water System)



T096660

นางสาวดารารัตน์ อมรสวัสดิ์วัฒนา

นางสาวนิภา ลีลาเอกเลิศ

นายรณชาติ กรงกรด

นางสาวสุชีลินทร์ โชคชัยกสิกร

ปพ.

๑A26ก

2539

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....96660

วัน,เดือน,ปี..... 4 JUN 2009

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดารารัตน์ อมรสวัสดิ์วัฒนา , นิภา ลีลาเอกเลิศ , รณชาติ กรงกรวด และสุชีลินทร์ โชคชัยกสิกร.  
 2540 : การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์ ( A study on the  
 rheological properties of biopolymer-water system). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะ  
 เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.รุ่งนภา วิสิษฐอุตรการ, 90 หน้า.

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์ ผลของอุณหภูมิ  
 ความเข้มข้นของสารไบโอโพลีเมอร์ และความเข้มข้นของซูโครสที่มีต่อความหนืดของสารละลาย  
 ไบโอโพลีเมอร์ 3 ชนิด คือ ไฮเดียมอัลจิเนต K - คาร์ราจีแนน และ แซนแทนกัม โดยศึกษาที่  
 อุณหภูมิ 10 , 20 , 40 , 60 , 80 และ 95 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารไบโอโพลีเมอร์ 1 , 2  
 และ 3 เปอร์เซ็นต์ และมีความเข้มข้นของซูโครส 0 , 10 , 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำการวัดความ  
 หนืดของสารละลายไบโอโพลีเมอร์เหล่านี้ ด้วยเครื่องบรูคฟิลด์ ( Brook field ) โดยใช้ความเร็วรอบ  
 ต่อกันที่ต่าง ๆ กัน พบว่าในระบบของสารละลายไบโอโพลีเมอร์ สารละลายให้ความหนืดมากขึ้น  
 เมื่อความเข้มข้นของสารไบโอโพลีเมอร์เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของซูโครสเพิ่มขึ้น แต่ความหนืด  
 จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

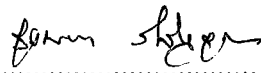
ดารารัตน์ อมรสวัสดิ์วัฒนา

นิภา ลีลาเอกเลิศ

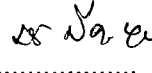
รณชาติ กรงกรวด



ลายมือชื่อนักศึกษา



ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. รุ่งนภา วิสิษฐอุดรการ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำและตรวจแก้ ปัญหาพิเศษฉบับนี้โดยเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณอาจารย์ศรัณย์ โปษยะจินดา ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทดลอง พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ขอขอบคุณภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อน้ำปราชจาก ไอออนเพื่อใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

นางสาวดารารัตน์ อมรสวัสดิ์วัฒนา

นางสาวสุชีลินทร์ ไชคชัยกลิกร

นางสาวนิภา ลีลาเอกเลิศ

นายธรรชาติ กรงกรต

24 มีนาคม 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์	
2.1 ไชเตียมอัลจิเนต.....	2
2.2 K - คาราจีแนน.....	19
2.3 แชนแทนกัม.....	25
2.4 การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer.....	40
2.5 การวัดค่าโมดูลัสด้วยเครื่อง DMA (Dynamic Mechanical Analysis).....	42
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมี.....	48
3.2 อุปกรณ์.....	48
3.3 เครื่องมือ.....	49
3.4 การเตรียมสารละลายไบโอโพลีเมอร์.....	50
3.5 การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield .....	53
3.6 การวัดค่าโมดูลัสด้วยเครื่อง DMA.....	55
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ระบบไชเตียมอัลจิเนตกับน้ำ.....	56
4.1.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของระบบไชเตียมอัลจิเนตกับน้ำต่อ ความหนืดของระบบมาโครโมเลกุลกับน้ำ.....	56
4.1.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของซูโครสต่อระบบของไชเตียมอัลจิเนต กับน้ำ.....	57
4.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อระบบของไชเตียมอัลจิเนตกับน้ำ.....	59
4.2 ระบบ K - คาราจีแนนกับน้ำ.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของ K - คาราจีแนนกับน้ำต่อระบบ มาโครโมเลกุลกับน้ำ.....	61
4.2.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของซูโครสต่อระบบ K - คาราจีแนนกับน้ำ..	62
4.2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ ต่อระบบ K - คาราจีแนนกับน้ำ.....	64
4.3 ระบบแซนแทนกัมกับน้ำ.....	66
4.3.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของแซนแทนกัมต่อระบบแซนแทนกัมกับน้ำ	66
4.3.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของซูโครสต่อระบบแซนแทนกัมกับน้ำ.....	67
4.3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อระบบแซนแทนกัมกับน้ำ.....	69
4.4 ผลการทดลอง DMA .....	71
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
เอกสารอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	81
ภาคผนวก ข.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในทางการค้า.....	4
2.2 แสดงผลกระทบของสารซีเคออสเตรนที่ต่อความหนืดของอัลจิเนต.....	11
2.3 ความหนืดของอัลจิเนต (mPas) โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer model RVT	13
2.4 ความแข็งแรงของเจลเป็นค่า FIRA.....	15
2.5 สารละลายที่สร้างคาราจีแนน.....	20
2.6 คุณสมบัติของเซนแทนท์ตามกำหนดของ F.C.C และ N.F.....	27
2.7 ประสิทธิภาพของเครื่อง Brookfield model DV III.....	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หน่วยย่อยของอัลจิเนต.....	3
2.2 ชนิดของการจัดเรียงตัวของหน่วยย่อยในอัลจิเนต.....	3
2.3 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตไฮเดียมอัลจิเนต.....	5
2.4 โครงสร้างของ Propylene glycol alginate.....	6
2.5 ผลิตภัณฑ์ทางการค้าของกรดอัลจิินิก.....	6
2.6 แผนภาพแสดงผลกระทบของแคลเซียมต่อความเข้มข้นและคุณสมบัติทางรีโอโลยี.....	9
2.7 สมการของ Standinger (Mark Houwink) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและมวลโมเลกุล.....	12
2.8 ตำแหน่งของแคลเซียมไอออนที่อยู่ระหว่างโมเลกุลของกรด gluluronic.....	14
2.9 การเกิดเจลของอัลจิเนต.....	14
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัลจิเนตชนิด high-G และชนิด high-M ที่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงแคลเซียมที่ระดับต่างๆ.....	16
2.11 เซลของสาหร่ายสีแดง.....	19
2.12 กระบวนการในการผลิตคาราจีแนน.....	21
2.13 โครงสร้างทางเคมีของ K - คาราจีแนน.....	22
2.14 ความสัมพันธ์ของสารละลายเกลือ คาราจีแนน กับมวลโมเลกุล.....	23
2.15 ผลกระทบของโปรแตสเซียมไอออนต่อความแข็งแรงของเจล K - คาราจีแนน.....	23
2.16 การเกิดเกลียวคู่ของ K - คาราจีแนน.....	24
2.17 การผลิตระดับอุตสาหกรรม (การหมัก).....	26
2.18 การผลิตระดับอุตสาหกรรม (Downstream processing).....	27
2.19 โครงสร้างปฐมภูมิของแซนแทนกัม.....	29
2.20 ลักษณะคอนฟอร์เมชันของแซนแทนกัม.....	30
2.21 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคอนฟอร์เมชันของสารละลายแซนแทนกัม.....	31
2.22 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคอนฟอร์เมชัน (order conformation) ของสารละลายแซนแทนกัม.....	31
2.23 ผลของความเข้มข้นของโพลิเมอร์ที่มีผลต่อความหนืดของแซนแทนกัม.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
2.24 ผลของความเข้มข้นและอัตราแรงเฉือนที่มีผลต่อสารละลายแซนแทนกัม.....	33
2.25 ผลของความเข้มข้นของอิเลกโตรไลต์ที่มีต่อความหนืดของสารละลายแซนแทนกัม ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของแซนแทนกัม.....	34
2.26 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดของสารละลายแซนแทนกัม.....	35
2.27 การเปรียบเทียบความคงตัวต่อความร้อนของสารละลายที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ ต่างชนิดกันที่ความเข้มข้น 0.6% ใน 2.5% NaCl โดยให้อุณหภูมิ 120 °C 50 นาที	35
2.28 ผลของพีเอชที่มีต่อความหนืดของสารละลายที่มีความเข้มข้นของ แซนแทนกัมต่างๆ.....	36
2.29 ผลของพีเอชที่มีต่อความหนืดของสารละลายที่มีความเข้มข้นของ แซนแทนกัมที่มี 0.1 % อิเลกโตรไลต์.....	37
2.30 ความคงตัวต่อไมโครเวฟ การแช่แข็งและละลายน้ำแข็งของแซนแทนกัม ใน 1 % NaCl .....	38
2.31 เครื่อง Brookfield Model DV III.....	42
2.32 การวัดค่าโมดูลัสด้วยระบบ Parallel Plate .....	43
2.33 เครื่อง DMA (Dynamic Mechanical Analyser).....	44
2.34 แร่ง การเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัต, อัมพล และ เฟสลดลง.....	45
2.35 ส่วนประกอบของเครื่อง DMA.....	46
2.36 สัญญาณควบคุมและการทำงานของเครื่อง.....	47
3.1 ชูโครสและสารไปโอโพลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	49
3.2 การติดตั้งเครื่อง Cooling Bath เข้ากับเครื่อง Brookfield.....	54
4.1 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตต่อความหนืดที่ Shear rate ต่างๆ กันที่ 20°C.....	56
4.2 ผลของความเข้มข้นของชูโครสต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 1% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20°C.....	57
4.3 ผลของความเข้มข้นของชูโครสต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 2% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20°C.....	58
4.4 ผลของความเข้มข้นของชูโครสต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 3% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20°C.....	58

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 1% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ....	59
4.6 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 2% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ....	60
4.7 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 3% ที่ Shear rate ต่างๆกัน.....	60
4.8 ผลของความเข้มข้นของ K - คาราจีแนนความหนืดที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 40° C.....	61
4.9 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน 1%ที่ 10° C ที่ Shear rate ต่างๆกัน .....	62
4.10 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน 1%ที่ 20° C ที่ Shear rate ต่างๆกัน .....	63
4.11 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน1%ที่ 40° C ที่ Shear rate ต่างๆกัน .....	63
4.12 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน1%ที่ 60° C ที่ Shear rate ต่างๆกัน .....	64
4.13 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน 1% ที่Shear rate ต่างๆกัน .....	65
4.14 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน 2% ที่Shear rate ต่างๆกัน .....	65
4.15 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน 3% ที่Shear rate ต่างๆกัน .....	66
4.16 ผลของความเข้มข้นของแซนแทนกัมต่อความหนืดที่ Shear rate ต่างๆกันที่ 20° C.	67
4.17 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของแซนแทนกัม 1%ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20° C.....	68
4.18 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของแซนแทนกัม 2%ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20° C.....	68
4.19 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของแซนแทนกัม 3%ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20° C.....	69
4.20 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของแซนแทนกัม 1% ที่Shear rate ต่างๆกัน .....	70
4.21 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของแซนแทนกัม 2% ที่Shear rate ต่างๆกัน .....	70
4.22 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของแซนแทนกัม 3% ที่Shear rate ต่างๆกัน.....	71

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear loss modulus กับความถี่ที่อุณหภูมิ 40 °C 5% K - คาราจีแนน.....	72
4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear storage modulus กับความถี่ที่อุณหภูมิ 40 °C 5% K - คาราจีแนน.....	73
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear loss modulus กับความถี่ที่อุณหภูมิ 20 °C 5% K - คาราจีแนน + 20% ซูโครส.....	73
4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear storage modulus กับความถี่ที่อุณหภูมิ 20 °C 5% K - คาราจีแนน+ 20% ซูโครส.....	74



# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันสารไบโอโพลีเมอร์ เป็นที่นิยมแพร่หลายในอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำไปใช้ในกรรมวิธีการผลิตอาหารเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหารให้ดีขึ้นอย่างกว้างขวาง โดยใช้ในรูปของสารให้ความหนืด (thickening agent) สารทำให้เกิดเจล (jelling agent) และสารให้ความคงตัว (Stabilizer) (Harris,1990; Urdacher และ Dalbe,1992; Onsoyen,1990) ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นในอุตสาหกรรมไอศกรีม เบเกอรี่ เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์นม ซอสต่างๆ เป็นต้น สารไบโอโพลีเมอร์ที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป มีอยู่หลายชนิด และโซเดียมอัลจิเนต K - คาราจีแนน และแซนแทนกัมนับเป็นสารไบโอโพลีเมอร์ที่นิยมใช้กันมากกลุ่มหนึ่ง

การนำเอาสารไบโอโพลีเมอร์มาใช้งาน ควรจะมีการศึกษาหาคุณสมบัติของสารละลายที่ได้ก่อน ว่ามีปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตมีผลต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์อย่างไรเมื่อให้สามารถนำเอาสารไบโอโพลีเมอร์ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง มาใช้งานได้เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด (Bourne,1990)กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของโพลีแซคคาไรด์คือ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย มวลโมเลกุลของตัวถูกละลาย ความดัน และสารแขวนลอย มีการศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์ในด้านต่างๆ เช่นการศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตต่อความหนืดของสารละลายที่ Shear rate ต่างๆ(Cottrell และKovac,1980) , การศึกษาอิทธิพลของซูโครสต่อคุณสมบัติทางกล(Mechanical properties) ของK - คาราจีแนน (Fizman และDuran,1989) และ การศึกษาผลของ Shear rate ต่อความหนืดของสารละลายแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ (Kelco,1975) เป็นต้น การทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความหนืดของสารละลาย จะช่วยให้ทราบคุณสมบัติของระบบสารละลายในแต่ละสถานะและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้เหมาะสมดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์ 3 ชนิดคือ โซเดียมอัลจิเนต K - คาราจีแนน และแซนแทนกัม
2. ศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของสารไบโอโพลีเมอร์ ความเข้มข้นของซูโครส และอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 อัลจิเนต

อัลจิเนตเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ซึ่งเป็นสาหร่ายที่เจริญในแถบน้ำตื้นในเขตร้อน ซึ่งต่างจากสารสกัดจากสาหร่ายทั่วๆ ไปที่ ส่วนใหญ่มีสกัดได้จากสาหร่ายสีแดง อัลจิเนตจึงมีคุณสมบัติและส่วนประกอบต่างจากสารที่ทำให้เกิดเจลชนิดอื่นๆ

อัลจิเนตถูกนำมาสกัดได้ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1880 โดย British Chemist E.C.C. Stanford (Stanford 1881,1883,1884,1885) แล้วในปี ค.ศ. 1896 Krefling ได้นำมาทำการสกัดให้บริสุทธิ์ (Krefling 1896) แต่ไม่ได้นำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม จนกระทั่งในปี 1934 Kelco Company ในรัฐ California ได้นำเสนอ อัลจิเนตที่ละลายได้ในนม เพื่อใช้เป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ใน ไอศกรีม ( Lucas 1937a, 1937b; Lucas และ Green 1937 ; Goodman, 1935) หลังจากนั้นก็ได้มีการนำเอาอัลจิเนตมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจากนั้นก็ได้มีการพัฒนา Propylene glycol alginate(PGA) ในปี 1944 อัลจิเนตและ PGA ได้กลายเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่สำคัญที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง (Steiner, 1947; Steiner และ McNeely, 1949, 1950a, 1950b, 1951; Kelco Co., 1952)

สาหร่ายสีน้ำตาลหลายชนิดมีอัลจิเนตเป็นองค์ประกอบ แต่ชนิดที่พบอัลจิเนตมากและนำมาใช้ในการผลิตทางการค้าก็คือ *Lamimaria hyperborea*, *Macrocystis pyrifera* และ *Ascophyllum nodocum*

ในสภาพธรรมชาติ อัลจิเนตเป็นส่วนประกอบในผนังเซลล์ในรูปของเกลือต่างๆ ของกรดอัลจินิก เช่น เกลือแคลเซียม โซเดียม โปรแตสเซียม และแมกเนเซียม ในการนำไปใช้ผลิตทางการค้า จะผลิตอัลจิเนตในรูปของเกลือโซเดียม ได้เป็นโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำให้สารละลายที่มีความหนืด สารอนำมาใช้เป็นสารให้ความหนืด (Thickening) และสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ทั้งในวงการอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ

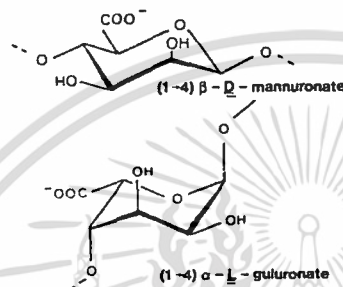
คุณสมบัติพิเศษของอัลจิเนตก็คือสามารถสร้างเจลในสารละลายที่มี แคลเซียมไอออนได้ ทำให้สามารถนำไปใช้งานต่างๆ ได้กว้างขึ้น

#### โครงสร้าง

กรดอัลจินิกเป็นสายยาวของหน่วยย่อย 2 ชนิดคือ D-manuronic acid และ L-guluronic acid สายยาวอาจประกอบด้วย หน่วยย่อยชนิดเดียวกัน หรือ ต่างชนิดกันก็ได้ โดยจะเรียกชื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

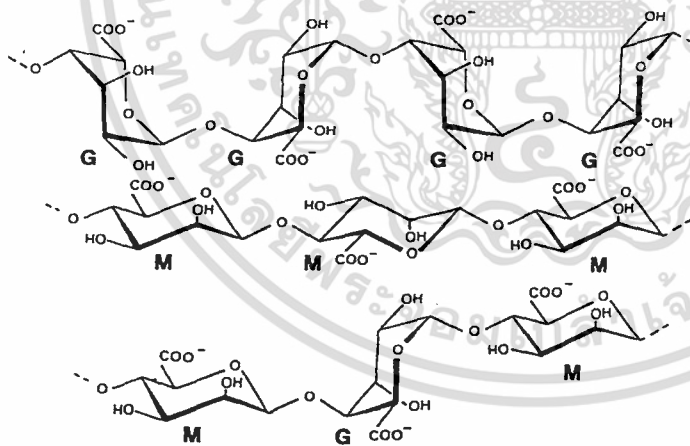
ตามชนิดของหน่วยย่อยเป็น M-block (MMMM) และ G-block (GGGG) เมื่อหน่วยย่อยเป็น mannuronic acid หรือ guluronic acid อย่างเดียว หรือ อาจเป็น MG-block (MGMG) เมื่อสายยาวประกอบด้วย ทั้ง mannuronic และ guluronic (Haug 1966, 1967a, 1967b)

สำหรับ G-G จะมีรูปแบบเป็นโครงสร้างแบบเก้าอี้  ${}^1C_4$  ( ${}^1C_4$  chair form) มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -(1,4) glycosidic ส่วน M-M เป็นโครงสร้างเก้าอี้แบบ  ${}^4C_1$  ( ${}^4C_1$  chair form) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -(1,4) glycosidic (Atkins, 1970)



ภาพที่ 2.1 หน่วยย่อยของอัลจิเนต

ที่มา : Onsoyen ,1990



ภาพที่ 2.2 ชนิดของการจัดเรียงตัวของหน่วยย่อยในอัลจิเนต

บน: G-block , กลาง: M-block , ล่าง: MG-block

ที่มา : Onsoyen ,1990

เนื่องจากอนุภาคที่ประกอบเป็นโพลีเมอร์ แตกต่างกัน ทำให้ G-block M-block และ MG-block มีลักษณะแตกต่างกัน โดยเฉพาะ G-block จะจับกันแน่นเป็นมัดขณะที่ M-block จะมีลักษณะคล้ายริบบิ้น (Atkins, 1971) คุณสมบัติของอัลจิเนตจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนและการจัดเรียงตัวของกรด mannuronic และ guluronic ซึ่งการจัดเรียงตัวและอัตราส่วนนั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากชนิดของสาหร่ายที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ สาหร่ายต่างชนิดกันจะมีส่วนประกอบและโครงสร้างของหน่วยย่อยแตกต่างกัน ในตารางที่ 2.1 จะแสดงอัตราส่วนของกรด mannuronic และ guluronic ที่มีพบในสาหร่ายแต่ละชนิด เราสามารถเรียกสาหร่ายตามส่วนประกอบได้เป็นอัลจีเนตชนิด high-M หรือ high-G เช่น *Macrocystis pyrifera* และ *Accophyllum nodosum* จะเป็นพวก high-M ส่วน *Laminaria hyperborea* จะเป็นพวก high-G

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของสาหร่ายสีน้ำตาลที่ใช้ในทางการค้า

	<i>Macrocystis pyrifera</i>	<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Laminaria hyperborea</i>
Mannuronic acid (%)	61.0	65.0	31.0
Guluronic acid (%)	39.0	35.0	69.0
M-block (%)	40.6	38.4	12.7
G-block (%)	17.7	20.7	60.5
Alternating segments (%)	41.7	41.0	26.8

ที่มา : Haug ,1908 และHaug, 1964

## กรรมวิธีการผลิต

### วัตถุดิบ

อัลจีเนตสามารถสกัดได้จากสาหร่ายหลายชนิด การเลือกชนิดของสาหร่ายที่นำมาสกัดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมทางด้านปริมาณและแหล่งที่เกิดของสาหร่าย สำหรับการผลิตทางการค้านิยมใช้สาหร่ายดังต่อไปนี้

- *Laminaria hyperborea* : พบในแถบชายฝั่งแอตแลนติกเหนือ ซึ่งเป็นที่ที่สาหร่ายถูกพัดพาขึ้นมาบนฝั่ง โดยเฉพาะส่วนของกิ่งของสาหร่าย จะถูกเก็บมาจากชายฝั่งนี้

- *Macrocystis pyrifera* : การเก็บเกี่ยวสาหร่ายชนิดนี้ ทำโดยการเก็บจากชายฝั่งตะวันตกของอเมริกา

- *Ascophyllum nodosum* : เจริญในบริเวณที่น้ำมีระดับขึ้นลง และพบในยุโรปตอนเหนือและแคนาดา สาหร่ายจะถูกตัดด้วยมือตอนน้ำลด และจะถูกพาให้ลอยขึ้นมาเมื่อน้ำขึ้น แล้วจะถูกเก็บรวบรวมด้วยการลากตาข่าย จากนั้นก็นำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตหรือการทำแห้ง

สาหร่ายเหล่านี้เมื่อถูกรวบรวมแล้ว อาจจะนำเอาไปทำการผลิตได้เลยหรืออาจทำแห้งก่อนนำไปใช้ผลิตก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการผลิต



ภาพที่ 2.3 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตโซเดียมอัลจิเนต

ที่มา : Sime ,1990

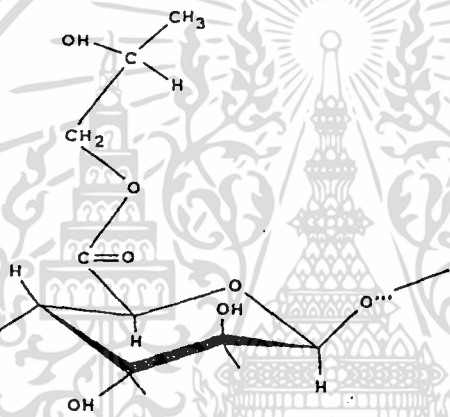
ขั้นตอนในการผลิตโซเดียมอัลจิเนตเป็นดังแผนภาพ อัลจิเนตที่สกัดได้ จะต้องเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยสาหร่ายที่เป็นวัตถุดิบจะถูกนำมาบดและล้าง แล้วอัลจิเนตก็จะถูกนำออกมาในรูปของสารละลายในตัวทำละลายโดยการใช้อ่างแก่ และความร้อน จากนั้นก็จะมีการเติม แคลเซียมคลอไรด์ลงไป เพื่อตกตะกอนของอัลจิเนตให้อยู่ในรูปแคลเซียมอัลจิเนต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเพื่อให้สามารถนำมาทำปฏิกิริยากับกรด เพื่อให้กลายเป็นกรดอัลจิินิกได้ และกรดอัลจิินิกก็จะถูกนำมาทำปฏิกิริยากับ สารต่างๆ ให้สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ต้องการได้ เช่น

1. ทำปฏิกิริยากับ โซเดียมคาร์บอเนต หรือ สารประกอบโซเดียมอื่น ก็จะได้เกลือโซเดียมอัลจิเนต

2. ทำปฏิกิริยากับ Propylene Oxide เพื่อผลิต Propylene glycol alginate หมูคาร์บอกซีลจะถูกทำปฏิกิริยา เอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ได้มากกว่า 90 %

ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปกรดอิสระหรืออาจทำให้เป็นกลางโดยการใส่ เกลือโซเดียมหรือแคลเซียมก็ได้ PGA ที่มีองค์ประกอบของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันต่างกัน จะมีคุณภาพแตกต่างกัน แล้วแต่ความเหมาะสมของการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของ Propylene glycol alginate

ที่มา: Sime ,1990

<i>Alginic acid</i> +		<i>Alginate</i>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	→	Na-alginate
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	→	K-alginate
NH <sub>3</sub> OH	→	NH <sub>4</sub> -alginate
Mg(OH) <sub>2</sub>	→	Mg-alginate
CaCl <sub>2</sub>	→	Ca-alginate
Propylene oxide	→	Propylene glycol alginate (PGA)

ภาพที่ 2.5 ผลิตภัณฑ์ทางการค้าจากกรดอัลจิินิก

ที่มา : Onsoyen ,1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การผลิตอัลจินเตจากแบคทีเรีย

อัลจินเตไม่เพียงแต่พบในสาหร่ายสีน้ำตาลเท่านั้น แต่ยังถูกสร้างขึ้นมาในรูปของสารที่ขับออกมาจากเซลล์ โดยแบคทีเรียอีกหลายชนิด อัลจินเตสามารถสกัดได้จาก *Pseudomonas aeruginosa* (Linker, 1966) สายโพลีเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายๆ กันสามารถ พบในแบคทีเรียในดินที่ชื่อ *Azotobacter Vinelandii* (Gorin, 1966) มีโครงสร้างคล้ายๆ กับอัลจินเตที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล (LarzenและHaug,1971) และยังมีกรายงานอีกว่า สามารถพบการผลิตอัลจินเตในจุลินทรีย์ พวก *Pseudomonas* 3 ชนิด คือ *P. mendocina*, *P. putida* และ *P. fluorescens* (Govan, 1981)

### การปรับปรุงอัลจินเตด้วยเอนไซม์

มีความเป็นไปได้ที่จะทำการปรับปรุงโครงสร้างของอัลจินเตโดยใช้เอนไซม์ในพวก *Vibrio* สามารถปรับปรุงอัลจินเตที่มีมวลโมเลกุลสูง และมีองค์ประกอบต่างๆ กันด้วยเอนไซม์ Mannuronan-C5- epimerase จาก *Azotobacter vinelandii* เพื่อให้ได้โพลีเมอร์ที่มี guluronic acid ในปริมาณสูงได้ ทำให้ คุณสมบัติความสามารถในการเกิดเจลกับแคลเซียมไอออน (Skjakและ Brack, 1986) ได้ดีขึ้น เทคนิคนี้จะใช้ในห้วงปฏิบัติการเท่านั้น ไม่นิยมมาใช้เพื่อการผลิตทางการค้า

### การละลายและการเตรียมสารละลาย

กรดอัลจินิกและแคลเซียมอัลจินเตไม่ละลายในน้ำ และไม่ให้อาละลายที่เรียบเป็นเนื้อเดียว แต่สามารถดูดซับน้ำได้ปริมาณมากจนบวมและมีลักษณะเป็นเม็ดบวม หนืด ส่วน โซเดียมอัลจินเตจะสามารถละลายได้ในน้ำให้อาละลายที่เรียบโดยน้ำนั้นจะต้องมีปริมาณแคลเซียมในน้ำปริมาณต่ำ

เมื่อจะทำการเตรียมสารละลายของอัลจินเตจะต้องทำให้อัลจินเตกระจายตัวในน้ำก่อนที่มันจะเริ่มละลาย ในการเตรียมจะใช้เวลาดั้งๆ (5-10 นาที) ต้องให้ความสำคัญในขั้นตอนของการใส่ อัลจินเตลงในน้ำ การปฏิบัติที่เหมาะสม ในการเตรียมโซเดียมอัลจินเตให้ละลายอย่างเป็นเนื้อเดียวอย่างรวดเร็ว มี 2 แนวทางคือ

#### 1. การกวนด้วยแรงเฉือนสูง ๆ ( High-shear Stirring)

น้ำควรจะถูกกวนเป็น Vortex จากนั้นค่อยๆ โรยอัลจินเตลงใน Vortex นั้น การเตรียมวิธีนี้มีหลักการที่สำคัญคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การเติมอัลจินเตจะต้องช้าและสม่ำเสมอ เพื่อให้อนุภาคของอัลจินเตกระจายตัวได้ และละลายได้อย่างรวดเร็ว แต่ต้องระวังไว้ว่าอัลจินเตทั้งหมดจะต้องถูกเติมลงไปให้หมด ก่อนที่สารละลายจะหนืดขึ้นและ Vortex หายไป

ข. ตัวกวนจะต้องจุ่มอยู่ในสารละลายเพื่อไม่ให้ตีเอาอากาศเข้าสู่สารละลาย

## 2. ผสมอัลจินเตที่แห้งกับส่วนผสมอื่นๆ

อาจผสมอัลจินเตที่แห้งร่วมกับส่วนผสมที่เป็นผงอื่นๆ เช่น แป้ง น้ำตาล หรือให้กระจายตัวในของเหลวที่ไม่ใช่น้ำ เช่น น้ำมันพืช หรือ กลีเซอรอล ก่อนที่จะใส่ลงในน้ำ การผสมเช่นนี้ทำให้แน่ใจได้ว่า อนุภาคอัลจินเตมีการแตกตัวดีพอ ซึ่งจะทำให้สามารถละลายในน้ำได้ง่ายขึ้น การละลายวิธีนี้ต้องการการตีผสมบ้างแต่ไม่ต้องการแรงเฉือนสูง

ถ้าทั้งสองแนวทางนี้ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ก็อาจจะใช้ไซเดียมอัลจินเตที่ผ่านการพัฒนาเพื่อให้แตกตัวได้ดีและละลายได้ในเวลานานขึ้น แต่ก็จะมีราคาสูงขึ้นไปด้วย

ไซเดียมอัลจินเตที่ไม่แตกตัวจะจับกันเป็นก้อน แล้วพองตัวด้านนอก ทำให้น้ำไม่สามารถเข้ามาสัมผัสตรงส่วนกลางของก้อนอัลจินเตได้ เรียกว่า “blinding” เราไม่ต้องการให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ การแก้ปัญหาโดยการใช้เครื่องตีที่มีแรงเฉือนสูงๆ เช่นใช้เครื่องผสม Silver mixer ต้องคอยดูควบคุมไม่ให้ส่วนผสมได้รับความร้อนสูงเกินไป การใช้ความร้อนสูง ร่วมกับการให้แรงเฉือนสูงๆ จะทำให้อัลจินเตสลายตัวได้ ผลที่ตามมาคือความหนืดของสารละลายลดลง วิธีแก้ข้อนี้วิธีหนึ่งคือ ตั้งส่วนผสมทิ้งไว้โดยการกวนสม่ำเสมอ ในกรณีนี้สามารถทำให้ละลายได้ภายใน 24 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของปัญหา

ถ้าเป็นไปได้แนะนำให้ใช้น้ำปราศจากไอออนในการเตรียมสารละลายอัลจินเต เพื่อหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาของแคลเซียมไอออนที่มีอยู่ในน้ำกระด้างกับอัลจินเต ความกระด้างของน้ำที่ใช้ยิ่งมีผลให้การละลายของอัลจินเตลดลง และนำไปสู่การวัดค่าความหนืดที่ผิดพลาดจากความเป็นจริงได้ เพราะว่าจะเกิดสายโพลีเมอร์เกาะเกี่ยวกันขัดขวางการละลายได้

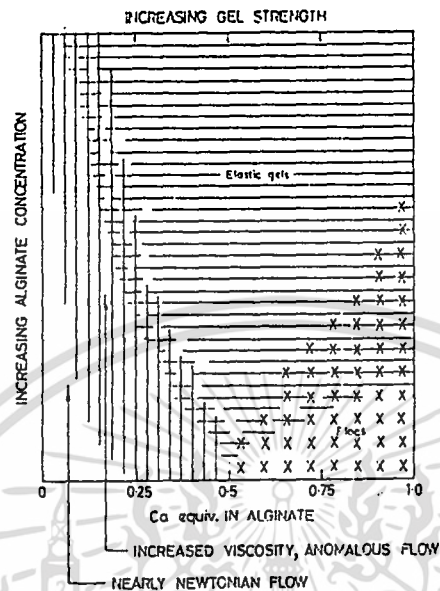
ในรูปที่ 2.6 เป็นแผนภาพแสดงผลกระทบของไซเดียมและแคลเซียมโดยการศึกษาคืออัตราส่วนของเกลือโลหะต่อสารละลาย พบว่า ปริมาณของเกลือโลหะมีผลต่อคุณสมบัติของสารละลายมาก

## คุณสมบัติของสารละลาย

### การวัดค่าความหนืด

ความหนืดของสารละลายอัลจินเตสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดสารละลาย Non-newtonian ได้โดยทั่วไปจะใช้เป็น Rotational viscometer ซึ่งมี 2 แบบ ที่นิยมใช้กันคือ Brookfield Synchro-Lectric และ Haake Rotovisco

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 แผนภาพแสดงผลของแคลเซียมต่อความเข้มข้นและคุณสมบัติทางรีโอโลยี  
ที่มา : McDowell, 1960

### ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของสารละลาย

เมื่อนำอัลจินเนตมาละลายน้ำ อัลจินเนตที่บริสุทธิ์จะทำให้เกิดสารละลายที่เรียบที่มีคุณสมบัติในการไหล คุณสมบัติของสารละลายยังขึ้นอยู่กับทั้งตัวแปรทางฟิสิกส์และทางเคมี ตัวแปรทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อคุณลักษณะของสารละลายอัลจินเนตคือ ขนาดของโพลีเมอร์ ( มวลโมเลกุล) , อุณหภูมิ, อัตราการเจือปน, ความเข้มข้นของสารละลาย และตัวทำละลาย ส่วนตัวแปรทางเคมีที่มีผลต่อคุณลักษณะของสารละลายอัลจินเนตก็คือ pH, สารแย่งจับ (Sequestrants), เกลือเชิงเดี่ยว, ไอออนบวกของอนุภาคสายยาว และสารประกอบ Amonium quaternary

#### 1. มวลโมเลกุล

ความหนืดของสารละลายมีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุล (Donnan และ Rose, 1950) แต่สิ่งที่มีผลต่อความหนืดอย่างเด่นชัดก็คือระดับของแคลเซียมที่มีอยู่ในระบบ อัลจินเนตที่ให้ความหนืดสูงที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปมีมวลโมเลกุลมากกว่า 150,000 และเกี่ยวข้องกับองศาของการเกิดโพลีเมอร์ (degree of polymerization: DP) ซึ่งมีค่าประมาณ 750 ในสารบางตัวอาจจะมีค่า DP ในช่วงประมาณ 80 ความหนืดของสารละลายอาจเกิดจากสารที่มีมวลโมเลกุลของทุกๆโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากันหมด หรือสารที่มีมวลโมเลกุลบางส่วนต่ำบางส่วนสูงก็ได้ สารละลายทั้งสองอาจมีค่าความหนืดเท่ากันได้ คุณสมบัติที่ต่างกันสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในกรณีต่างๆกันไป

## 2. อุณหภูมิ

สารละลายอัลจินเตตก็มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับโพลีแซคคาไรด์ส่วนใหญ่ก็คือความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายอัลจินเตตจะลดลงประมาณ 15% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5.5 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนแก่สารละลายไซเตียมอัลจินเตตมีผลต่อการสลายตัวของโพลีเมอร์ด้วยความร้อน (thermal depolymerization) และปริมาณของการเกิดการสลายตัวด้วยความร้อน ขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ และ pH ถ้ามีค่า pH ต่ำมาก ก็จะมีผลให้เกิดการสลายตัวได้เร็วมากขึ้นไปด้วย

การลดอุณหภูมิมิมีผลต่อการเพิ่มความหนืดในสารละลายอัลจินเตต แต่ไม่มีผลต่อการเกิดเจล การนำสารละลายไซเตียมอัลจินเตตที่นำมาแช่แข็งแล้วละลายน้ำแข็ง จะไม่ทำให้ลักษณะปรากฏและความหนืดเปลี่ยนแปลง

## 3. ตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ

การเติมของเหลวที่ไม่ใช่น้ำลงไปเพื่อละลายอัลจินเตต เช่น แอลกอฮอล์ โกลคอลลและอื่นๆ จะส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น และเกิดการตกตะกอนอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการเติมตัวทำละลายสามารถทำได้ในปริมาณน้อยที่ไม่ทำให้เกิดการตกตะกอน ไซเตียมอัลจินเตต 1% สามารถทนต่อเอทานอลได้ 20 % และโกลคอลลได้ถึง 70% สิ่งที่มีผลต่อความทนทานของไซเตียมอัลจินเตตก็คือองศาของการเกิดโพลีเมอร์ (degree of polymerization) แคทไอออน และความเข้มข้นของสารละลาย

## 4. ผลจากความเป็นกรด-เบส

อัลจินเตตที่มีค่ามวลโมเลกุลต่ำเท่าใด ก็จะมีค่าเสถียรต่อสารละลายที่มี pH ต่ำมากขึ้นเท่านั้น สารละลายไซเตียมอัลจินเตตจึงมีความทนทานต่อสภาพ pH ต่าง ความเสถียรจะมีค่าต่ำมากที่สุดที่  $\text{pH} > 10$

## 5. ผลจากสารแย่งจับ (Sequestrants)

สารแย่งจับที่ใช้ในสารละลายอัลจินเตตไซเพื่อป้องกันไม่ให้อัลจินเตตไปทำปฏิกิริยากับไอออนของสารในสารละลาย หรือเพื่อไปจับกับแคลเซียมที่มีอยู่ในอัลจินเตต การใช้สารแย่งจับมีการใช้อย่างกว้างขวางในหลายๆ กรณี เพื่อป้องกันไม่ให้อัลจินเตตไปทำปฏิกิริยากับไอออนของสารในสารละลายหรือเพื่อไปจับกับแคลเซียมที่มีอยู่ในอัลจินเตต การใช้สารแย่งจับมีการใช้อย่างกว้างขวางในหลายๆกรณี เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารต่างๆ ในน้ำ สารเคมี เม็ดสี หรือ สารที่เกิดจากธรรมชาติอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดของสารละลายอัลจิเนตขึ้นอยู่กับมวลโมกุล และระดับแคลเซียมตกค้าง สาร  
แย่งจับจะทำให้หาความหนืดที่แท้จริงเมื่อไม่มีแคลเซียมได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงผลกระทบของสาร Sequestrant ต่อ ค่าความหนืดของ อัลจิเนตทางการค้า  
ชนิด high-M และ high-G

Alginate	Type	Claimed viscosity (mPas <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Viscosity in sequestrant (mPas <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>
A	M	250	55.5
B	M	175	47.5
C	M	25	14.5
D	M	4	6.5
E	G	800-1000	217.5
F	G	400-600	153
G	G	200-300	81.5
H	G	100-150	65
I	G	50-60	26.5
J	G	5-10	9.5

a = Manufacturer's claim of viscosity of a 1% solution using a Brookfield LV  
Synchro-Lectric Viscometer (60 rpm, spindle2, 20 °C)

b = Viscosity measured as in a but in this instance using a solvent of 0.12 %  
sodium phosphate and 0.03 % sodium carbonate.

ที่มา : Sime, 1990

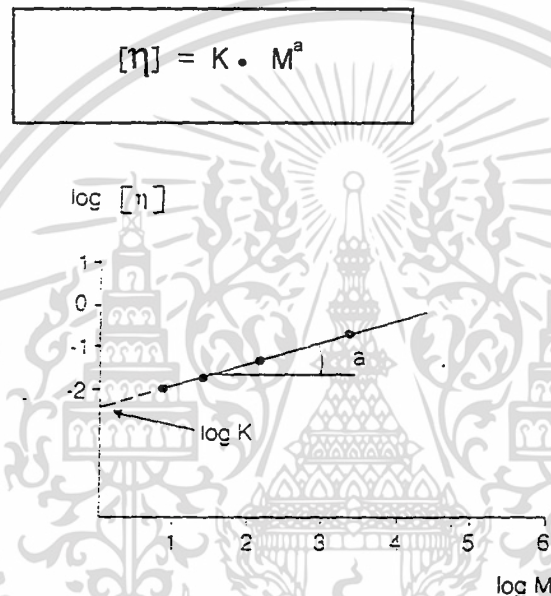
## 6. ผลของเกลือเชิงเดี่ยว

ความหนืดของสารละลาย โซเดียมอัลจิเนตที่เจือจางจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติม  
เกลือเชิงเดี่ยวลงไป พันธะของสารโพลีเมอร์ของอัลจิเนตในลักษณะของแรงทางไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น  
ปริมาณเกลือ ที่มีผลกระทบต่อความหนืดมากที่สุดคือที่ 0.1 N เมื่อความเข้มข้นของอัลจิเนตเพิ่ม  
ขึ้น ผลกระทบของสารอิโคไตรไลท์ ก็จะลดลง ยกเว้นในกรณีที่มีแคลเซียมมาก ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นสูง  
ความหนืดก็จะสูงขึ้นด้วย ผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากการกักไว้เป็นเวลานาน เกลือมีผล  
กระทบต่อทั้งอัลจิเนตที่มาจากต่างแหล่งที่มา และมีองค์การเกิดโพลีเมอร์ต่างกัน มีผลต่อความ  
เข้มข้นของสารละลายและชนิดของเกลือเชิงเดี่ยวที่ใช้ แคลเซียม ที่มีอยู่ในอัลจิเนตอาจแทนที่ได้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยโซเดียมในสารละลายของเกลือโซเดียมที่เข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของสารละลาย

### ความหนืดของสารละลาย

เมื่อเกลือที่ละลายน้ำได้ของกรดอัลจินิคเริ่มดูดซับน้ำเข้ามา สารละลายก็จะมีความหนืดสูงขึ้น ความหนืดนี้ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยมวลโมเลกุลของอัลจินิต ในทางการค้าจะใช้อัลจินิตที่มีมวลโมเลกุลช่วงหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถหาความหนืดของสารได้จากสมการของ Staudinger ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของความหนืดกับมวลโมเลกุล



ภาพที่ 2.7 สมการของ Staudinger (Mark Houwink) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด  $[\eta]$  และมวลโมเลกุล  $M$

ที่มา : Onsoyen, 1990

สารละลายของอัลจินิตมีคุณสมบัติเป็น Shear thinning หรือ Pseudoplastic โดยสรุปได้จากพฤติกรรมของโมเลกุลของอัลจินิตที่ละลายน้ำ ถ้าเราให้อัตราแรงเฉือน (Shear rate) ต่ำ ๆ โมเลกุลของอัลจินิตจะอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อเพิ่มอัตราแรงเฉือนขึ้น โมเลกุลเริ่มที่จะจัดเรียงตัวตามแนวขนาน มีความเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้ความหนืดลดลง และสรุปได้ว่าสารละลายอัลจินิตมีคุณสมบัติเป็น Shear thinning

ความหนืดที่แท้จริงของอัลจินิตที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ สามารถเลือกได้ตามคุณภาพของอัลจินิตแต่ละชนิด และนอกจากนี้ความเข้มข้นของอัลจินิตยังสามารถปรับให้เข้ากับความต้องการแต่ละงานได้ ดังตาราง ที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความหนืดของอัลจิเนต (mPas) โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer model RVT 20 rpm 20 °C

Concentration(%)	Alginate viscosity grade			
	Low	Medium	High	Very high
0.25	9	15	21	27
0.5	17	41	75	110
0.75	33	93	245	355
1.0	58	230	540	800
1.5	160	810	1950	3550
2.0	375	2100	5200	8750

ที่มา : Onsoyen, 1990

การเพิ่มความหนืดของสารละลายอัลจิเนตที่ความเข้มข้นต่ำ สามารถทำได้โดย การใส่สารละลายเจือจางของเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมทาร์เตรต หรือแคลเซียมซิเตรต ไอออนของแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับอัลจิเนตเกิดโครงสร้างเกี่ยวพันกันขึ้น ทำให้มวลโมเลกุลและความหนืดสูงขึ้น

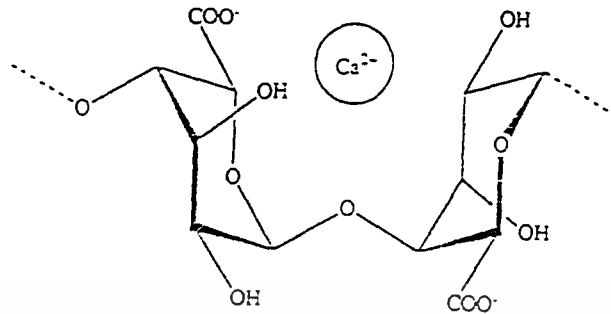
#### การเกิดเจล

ผลของโครงสร้างที่เป็นสายยาวทำให้อัลจิเนตสามารถเกิดเจลได้ และประโยชน์หลักของเจลที่ได้จากอัลจิเนตก็คือ เจลที่ได้มีความทนต่อความร้อน (Heat stable gels) ที่สามารถเกิดได้ อุณหภูมิห้อง ในการใช้งานทางด้านอาหาร เจลจะเกิดจากการจับกันของแคลเซียมไอออน

การสร้างเจลของอัลจิเนต โดยการจับตัวกับแคลเซียม อัลจิเนตจะต้องมีอัตราส่วนของ guluronic acid ที่คงที่ และมีการจัดเรียงตัวของ guluronic acid เป็นสายยาว สายยาวของ guluronic acid ของอัลจิเนต 1 โมเลกุล จะเชื่อมต่อกับสายยาวสายอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน โดยแคลเซียมเป็นตัวจับ ดังนั้นความสามารถในการเกิดเจล และ ความแข็งแรงของเจลจึงขึ้นอยู่กับปริมาณของ G-block และความยาวโดยเฉลี่ยของ G-block อัลจิเนตชนิด high-G และมี G-block ยาว จะจับตัวกับแคลเซียมได้ดี และให้เจลที่มีความแข็งแรง

ประจุบวกแคลเซียม  $Ca^{2+}$  จะจับตัวกับ guluronic acid ในลักษณะคล้ายไขในกล่องไข่ ดังแสดงในภาพที่ 2.8 และภาพที่ 2.9.(Grantและคณะ, 1973)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ตำแหน่งของแคลเซียมไอออนที่อยู่ระหว่างโมเลกุลของกรด guluronic

ที่มา : Onsoyen, 1990



ภาพที่ 2.9 การเกิดเจลของอัลจิเนต

ที่มา : Onsoyen, 1990

การเกิดโครงสร้างตาข่ายเชื่อมต่อกันยาวของอัลจิเนตเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเจลในสารละลายอัลจิเนตขึ้น เจลของอัลจิเนตสามารถเป็นได้ทั้งสถานะของแข็ง และของเหลว ส่วนที่มีการยึดเกี่ยวกัน จะมีสถานะเป็นของแข็ง หลังจากการเกิดเจลโมเลกุลของน้ำจะถูกจับไว้ในโครงร่างตาข่าย แต่ยังสามารถเคลื่อนที่ได้ตามปกติ ซึ่งคุณสมบัตินี้เองที่นำมาใช้งานต่างๆ ได้มากมาย ความสามารถในการอุ้มน้ำขึ้นอยู่กับแรงคาร์บิลารี

แหล่งที่มาของอัลจิเนตจะเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของเจลได้ จากตารางที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าแต่ละส่วนของสาหร่ายชนิดเดียวกัน ให้ความแข็งแรงของเจลในช่วงที่แตกต่างกัน โดยแสดงเป็นค่า FIRA วัดสารละลายอัลจิเนตที่เป็นเนื้อเดียว (Toft, 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.4 ความแข็งแรงของเจลเป็นค่า(FIRA)

Alginate	Gel strength
<u>L. hyperborea</u>	
Stem	65-75
Whole plant	55-65
Double leaf	45-55
Pure leaf	40-50
<u>A. nodosum</u>	25-35

ที่มา : Onsoyen, 1990

### การเตรียมเจล

นักเทคนิคด้านปฏิบัติการอาหารอธิบายว่า การเกิดเจลของอัลจิเนตมีความซับซ้อนมากกว่าแค่การเติมแคลเซียมลงไป สารละลายอัลจิเนตจะมีความสามารถในการเกิดเจลที่มีความแข็งแรง ไม่เท่ากันและเนื้อสัมผัสก็ต่างกันไปมาก สามารถนำไปใช้ได้กว้างขวาง คุณสมบัติของเจล ถูกกำหนดโดยตัวแปรต่อไปนี้

1. ชนิดของอัลจิเนตที่ใช้
2. องศาของการเปลี่ยนเป็นแคลเซียมอัลจิเนต
3. ที่มาของไอออนของแคลเซียม และวิธีการเตรียม

#### 1. ชนิดของอัลจิเนต

อัลจิเนตชนิด high-G จะให้เจลที่แข็งแรงและเปราะ มีความยืดหยุ่น ในขณะที่อัลจิเนตชนิด high-M จะให้เจลที่ยืดหยุ่นได้ดีกว่า และเกิดการชินเนอร์เรซิส น้อยกว่า

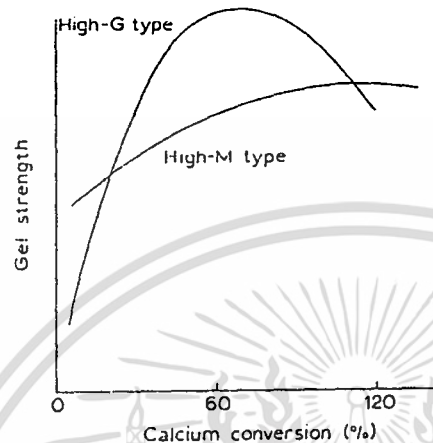
#### 2. องศาของการเปลี่ยนเป็นแคลเซียมอัลจิเนต

การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียม เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนของไอออนของแคลเซียมคือ โซเดียมอัลจิเนต มีอัตราส่วน 0.5 โดยโมล จะเป็นจุดที่แคลเซียมเข้าไปแทนที่โซเดียมได้อย่างเพียงพอ ทำให้แคลเซียมเปลี่ยนเป็นแคลเซียมอัลจิเนตได้ 100%

การเติมแคลเซียมเพียงปริมาณเล็กน้อยมีผลให้เกิดการเพิ่มความหนืดและเมื่ออัตราส่วนของแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น สารละลายที่จะมีความหนืดสูงขึ้น และพัฒนาเป็นโครงสร้างเจลในที่สุด แคลเซียมที่เหลือจะมีผลให้เจลมีความแข็งแรงขึ้น แต่เมื่อถึงจุดคงที่จุดหนึ่ง เจลจะคงสภาพเป็น thixotropic คือจะกลายเป็นของไหล เมื่อถูกแรงกระทำและจะจับตัวเป็นเจลอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มแคลเซียมต่อไปจะทำให้เกิด เจลถาวร (Irreversible gel) ในรูปของสารแขวนลอยหรือกลุ่มก้อน ขึ้นอยู่กับวิธีในการเตรียม เจลที่เกิดจากการให้แคลเซียมในปริมาณมากเกินไป จะแตกออกมาเป็นสารแขวนลอยหรือครีม และโครงสร้างของเจลจะไม่มีอาการกลับมาจับกันอีกครั้ง (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัลจินเตชนิด high-G และ high-M ที่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงแคลเซียมต่าง ๆ

ที่มา : Sime, 1990

อัตราส่วนของแคลเซียมอัลจินเตที่ทำให้เกิด thixotropic gel นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอัลจินเต, pH และปริมาณของแข็งในระบบ ทั้งการลด pH และการเพิ่มปริมาณของแข็งในระบบ ทั้งการลด pH และการเพิ่มปริมาณของแข็งจะทำให้ช่วงของการเกิด thixotropic ของการเปลี่ยนแปลงแคลเซียมต่างด้วย สำหรับอัลจินเตชนิด high-M จะมีช่วงกว้างกว่า ชนิด high-G การจับแคลเซียมจะเกิดมากใน G-block มากกว่า M-block และ MG-block มาก เพราะแคลเซียมจะชอบจับกับ G-block มากกว่า และจะจับกับตัวอื่นเมื่อให้แคลเซียมมากเกินไป พบในอัลจินเตที่มี G-block ในปริมาณน้อย แคลเซียมจะถูกจับน้อย ส่วนที่เหลือจะไม่มีผลต่อโมเลกุลของอัลจินเต ส่วนอัลจินเตชนิด high-G จะจับกับแคลเซียมทำให้เกิดโครงสร้างของเจลขึ้นได้ ดังภาพที่ 2.9

### การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ได้มีการรวบรวมการนำอัลจินเตไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (McDowell, 1960 ; Glicksman, 1969 ; McDermott, 1962 ) อัลจินเตถูกนำมาใช้ในการบริโภคโดยตรงก่อนที่จะมีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเอาอัลจินเตมาประยุกต์ใช้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อาหารว่างแช่เยือกแข็ง ( Frozen dessert )

อัลจินเตถูกนำมาใช้เป็นสารให้ความคงตัว ( stabilizer ) ในการผลิตไอศกรีมเมื่อหลายปีที่ผ่านมา ประโยชน์ของอัลจินเตในไอศกรีม คือ การป้องกันการจับตัวกันของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม ทำให้เนื้อสัมผัสเรียบ และช่วยให้ละลายได้ช้าลงมี overrun ที่ต้องการ ( Sperry, 1995 ) สารให้ความคงตัวในไอศกรีมที่เป็นอัลจินเตส่วนใหญ่ประกอบด้วยอัลจินเตนี้ผ่านการสกัดด้วยโพลีฟอสเฟต ซึ่งช่วยให้สามารถละลายได้ดีในสภาวะที่มีแคลเซียมสูง สารที่ช่วยในการกระจายตัวคือพวก เด็กโตสหรือซูโครส และอาจมีการเติมสารคอลลอยด์ป้องกันการรวมตัวเช่น คาราจีแนน กัม ลูคัสปีนกัน ปริมาณเล็กน้อย สารให้ความคงตัวคุณภาพสูงในไอศกรีมประกอบด้วย PGA ( Sperry, 1953 ) ซึ่งจะสามารถละลายในนมได้โดยไม่ต้องใช้ polyphosphate ความเข้มข้นของอัลจินเตที่ใช้ในไอศกรีมนำไปใช้ในช่วง 0.1 - 0.5 %

สารให้ความคงตัวพวกอัลจินเตยังถูกนำมาใช้ในการผลิต ice milk , ice water , sherbet และ milk shake ในพวก ice milk จะต้องใส่อัลจินเตเป็นสารให้ความคงตัว จะมีลักษณะแห้งแข็งและละลายได้ช้าลง นอกจากนั้นการจับตัวกันช้าจะทำให้ การควบคุมความหนืดในระหว่างการผลิตทำได้ดี ความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวจะใช้ในช่วง 0.2 - 0.5% สารให้ความคงตัวพวกอัลจินเตที่ละลายได้ในนมช่วยให้ overrun ที่ดี และให้คุณสมบัติเป็นเม็ดน้ำแข็งที่ดีเวลารับประทาน ice milk ชนิด hard - frozen หรือ milk shake สารให้ความคงตัวพวก PGA ใน sherbet ช่วยในการปลดปล่อยกลิ่น และทำให้เนื้อสัมผัสเรียบและดูใหม่สด การใส่น้ำตาลไว้รับลงไปจะช่วยป้องกันการแยกตัวของสารให้ความคงตัว

สารให้ความคงตัวพวกอัลจินเตต้องนำมาใช้ใน process cheese , cream cheese , sour cream , ผลิตภัณฑ์นมพืชนานาชาติ , whipped cream และนมชอคโกแลต ใน process cheese และ cream cheese ใช้อัลจินเตเป็นสารให้ความคงตัว โดยส่วนใหญ่ใช้ PGA ปริมาณที่ใส่อยู่ในช่วง 0.3 - 0.8 % ใน whipped cream ใช้โซเดียมอัลจินเตประมาณ 0.15% เป็นสารให้ความคงตัวและสารให้ความหนืด และใช้คาราจีแนนผสมกับอัลจินเต เพื่อทำให้นมชอคโกแลตคงตัว สามารถแขวนลอยอยู่ได้ ปริมาณที่ใช้ประมาณ 0.25 % สารอัลจินเตที่ใช้เป็นสารให้ความคงตัวที่ละลายได้ในนม สามารถใช้เป็นสารให้ความหนืดและช่วยเพิ่มความ เป็นเนื้อสารในผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

## ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

อัลจินเนตถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ ได้ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในส่วนที่ แต่งหน้าและไอซิ่ง เช่น เป็นสารให้ความคงตัวของไอซิ่งในเลเยอร์เค้ก ( SteinerและRothe, 1949 ) ช่วยป้องกันไม่ให้เนื้อเค้กติดกับกระดาษที่ห่อ ( Edlin, 1967 ; Ellis, 1967 ) และป้องกันไม่ให้ไอซิ่ง แห้งแตกในระหว่างการเก็บรักษา ( Gibsen และ Rothe, 1955 ) คุณสมบัติดังกล่าวนี้เกิดจาก คุณสมบัติของแผ่นฟิล์มและคุณสมบัติการอุ้มน้ำของอัลจินเนต

ปัญหาที่สำคัญในเค้ก ก็คือ การเกิดการสูญเสียน้ำจากโครงสร้าง ( syneresis ) มักพบในขนมที่มีส่วนผสมของไข่ขาว น้ำตาล น้ำ และอาหารหวานที่มี overrun 300 % แต่ พบว่า PGA 0.2% เป็นสารให้ความคงตัวที่มีประสิทธิภาพ การนำอัลจินเนตไปใช้ในอาหารชนิด ต่างๆจะมีการใช้ในปริมาณต่างๆกันไป ในไส้ของพายผลไม้ใช้ 0.3 - 0.5 % ในส่วนผสมของครีม วิปป์สำหรับทำชิฟฟอนจะใช้ 0.7 - 1.5% ( McDermodt, 1963 )

## เครื่องดื่ม

ในเครื่องดื่มผลไม้ที่ไม่อัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องการให้เนื้อผลไม้แขวน ลอยอยู่ได้มากที่สุดสิ่งที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของสารให้ความหนืดก็คือ ความคงที่ของ pH แต่พบว่า PGA ที่มีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการใช้งานในกรณีนี้ การเพิ่มความหนืดเพียงเล็กน้อยด้วย PGA ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ดี สามารถใช้ในเครื่องดื่มที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ๆ ได้ ความเข้มข้นของ PGA ที่นิยมใช้คือ 0.10-0.25 % นอกจากนี้ PGA ที่ 40-50 ppm ยัง ช่วยให้ความคงตัวแก่ฟองเบียร์ PGA สามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวแก่ฟองสปูและน้ำยา ล้างจานได้ ทำให้ฟองนุ่มละมุน น่าสัมผัส ไม่เหนียวเหนอะหนะ ดูเป็นธรรมชาติ ( Steiner, 1953 ; Nordman และ Mohr, 1963 )

## เจล

โซเดียมอัลจินเนตสามารถใช้ในการเตรียมอาหารว่างพวกเจล ซึ่งความคงตัวไม่ เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ มีความใสและยืดหยุ่นดี เจลสามารถเกิดได้รวดเร็วภายใต้อุณหภูมิ ต่ำ แต่ก็สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิห้องเช่นเดียวกัน เวลาในการเกิดเจลขึ้นอยู่กับความเข้มข้น , pH , การปลดปล่อยแคลเซียมและสารแย่งจับ ( Sequestering agent )

( Steiner, 1948 a ) เจลชนิดนี้มีความคงตัวต่อการแช่แข็ง ( Glicksman, 1962 ) การพัฒนาและ การนำระบบของเจลนี้ไปใช้ ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการเตรียมที่ต้องรวดเร็วและสามารถกระจายตัวใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ได้ดี ( Poarch และ Tweig, 1957 ) สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย ( Gibson, 1959 )

การเตรียมอาหารว่างพวกพุดดิ้งและคัสตาร์ด ซึ่งมีนมเป็นส่วนประกอบสามารถเตรียมได้โดยใช้อัลจินเตลละลายในน้ำนม ( Hunter และ Rocks, 1966 ) โดยใช้ความเข้มข้น 0.50 % ขนพุดดิ้งนี้เตรียมโดยเอาส่วนผสมที่แห้งและอัลจินเตลมาละลายในน้ำนมเย็นหรือร้อนแล้วเติมแคลเซียมลงไป แคลเซียมที่เติมลงไปและส่วนที่อยู่ในนมจะทำปฏิกิริยากับอัลจินเตลทำให้ได้เจลที่เรียบเนียนนุ่ม คุณเป็นธรรมชาติและให้กลิ่นรสที่ดี โดยไม่ทำให้เกิดลักษณะแข็ง และรู้สึกเหมือนเป็นแป้งเมื่อรับประทาน ผิวของพุดดิ้งก็ยังคงนุ่มและไม่เกิดการแข็งตัวของผิวด้านนอกอีกด้วย

## 2.2 K-คาราจีแนน

คาราจีแนนเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบในสาหร่ายสีแดง ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 เซลล์ของสาหร่ายสีแดง

ที่มา: Thomas, 1990

จากการที่คาราจีแนนเป็นโครงสร้างที่สำคัญแก่พืชน้ำซึ่งแตกต่างจากพืชบก โครงสร้างของพืชน้ำนั้นต้องการความอ่อนตัว ง่ายต่อการพัดพาของกระแสน้ำและการขึ้นลงของน้ำ แต่พืชบกต้องการโครงสร้างที่แข็งแรงเพื่อตั้งตรงภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งคาราจีแนนจะเป็นสารที่ให้คุณลักษณะของความอ่อนไหวแก่พืชน้ำ

คาราจีแนนแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ K-คาราจีแนน  $\lambda$ -คาราจีแนน I-คาราจีแนนซึ่งทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถสกัดได้จากสาหร่ายต่างชนิดกันและทั้ง 3 ชนิดมีข้อแตกต่างกันตรงที่

1. ปริมาณของ 3,6anhydro- $\alpha$ -D-galactopyranosyl
2. ปริมาณและตำแหน่งของ sulphate group
3. ประจุบวกที่เชื่อมกับ sulphate group
4. conformation ของ pyranose ring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ K-คาราจีแนนจะมีปริมาณ sulphate group อยู่ประมาณ 25% และมี 3,6-anhydro- $\alpha$ -D-galactopyranosyl อยู่ประมาณ 34% K-คาราจีแนนสามารถสร้างเจลที่แข็งแรงได้แต่จะเสียน้ำง่ายปัจจุบันมีการใช้ K-คาราจีแนนในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง แต่การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมนั้นมีความจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของK-คาราจีแนน เช่น ความหนืดของสารละลายที่ใช้ ความเข้มข้นที่ใช้ อิทธิพลต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของสารละลาย เพื่อทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้ K-คาราจีแนน

## แหล่งที่มา

สาหร่ายที่สามารถผลิตคาราจีแนนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.5 คาราจีแนนแต่ละชนิดก็สามารถผลิตได้จากสาหร่ายแตกต่างกันดัง

ตารางที่ 2.5 สาหร่ายที่สร้างคาราจีแนน

Name	Location	Exp.
<i>Laurencia costata</i>	Philippines, Indonesia	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup>
<i>Laurencia sparsosa</i>	Philippines, Indonesia	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup>
<i>Coelastrium crispum</i>	Canada (Maritimes), USA (New England), France	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Coelastrium cellulosum</i>	Korea	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gelidium stellatum</i>	France, Spain	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gelidium aculeatum</i>	France, Spain, Portugal, Morocco	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gelidium postillatum</i>	France, Spain, Portugal, Morocco	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gelidium coulteri</i>	Mexico	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gelidium chilense</i>	Mexico	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gelidium coulteri</i>	Chile	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gelidium Scottsborgii</i>	Chile	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gracilaria tikvahiae</i>	Denmark, Canada (Maritimes)	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>
<i>Gracilaria lemaneiformis</i>	North Carolina, Brazil	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> 1-year diploid plants (tetrasporophytes).

<sup>2</sup> 1-year haploid plants (gametophytes).

ที่มา : Stanley, 1990

## การผลิต

ในการผลิตK-คาราจีแนน กรรมวิธีการผลิตนั้นเหมือนกับการผลิตคาราจีแนนชนิดอื่นๆ เนื่องจากK-คาราจีแนนจะอยู่ในรูปของเจลภายในสาหร่ายที่อุณหภูมิปกติ(25°C) การสกัดK-คาราจีแนนจึงสามารถทำได้โดยการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของเจล และการสกัดK-คาราจีแนนควรสกัดภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง เพื่อป้องกันการทำลายโครงสร้างของK-คาราจีแนนจากกรดและช่วยการกำจัดโครงสร้างของK-คาราจีแนนให้ง่ายต่อการเกิดเจลด้วย หลังจากที่เราทำการสกัดK-คาราจีแนนออกจากเซลล์ของสาหร่ายแล้ว เราจึงนำมาทำให้บริสุทธิ์ โดยการให้บริสุทธิ์นี้สามารถทำได้3 วิธีคือ

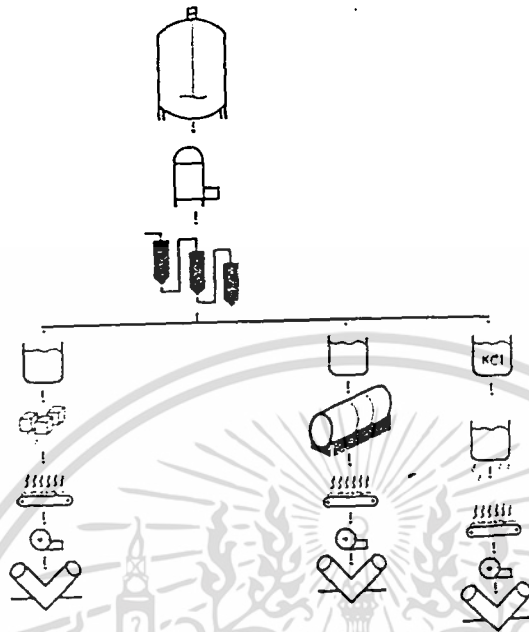
### 1.การตกตะกอนโดยใช้อัลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การทำกร Freeze-thaw

3.การทำ Gel press

การสกัดK-คาราจีแนนจะแสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 กระบวนการในการผลิตคาราจีแนน

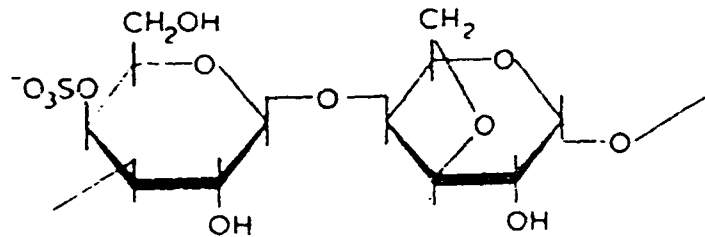
ที่มา : Thomas 1990

**โครงสร้างทางเคมี**

คาราจีแนนทุกชนิดมีโครงสร้างหลักๆเหมือนกันคือ D-galcto-pyranosyl อนุภาคจะเชื่อมโดยพันธะ Glycosidically เชื่อมกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่  $\beta$ -(1,3)และคาร์บอนตำแหน่งที่  $\alpha$ (1,4)โครงสร้างแต่ละชนิดของคาราจีแนนจะแตกต่างกันตรงที่ 3,6anhydro- $\alpha$ -D-galactopyranosyl และปริมาณตำแหน่งของ sulphate group K-คาราจีแนนจะประกอบไปด้วย 1,3-linked- $\beta$ -D galactopylanosyl-4-sulphate กับ 1,4-linked 3,6-anhydro- $\alpha$ -D-galactopyranosyl ดังภาพที่ 2.13

K-คาราจีแนน จะมีปริมาณของ 3,6-anhydro- $\alpha$ -D-galactopyranosyl อยู่ประมาณ 34% และมีปริมาณของ sulphate group อยู่ 25% โดยน้ำหนัก เมื่อมีปริมาณของ 3,6-anhydro- $\alpha$ -D-galactopyranosyl อยู่สูง จะทำให้K-คาราจีแนนมีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ดี แต่โครงสร้างของK-คาราจีแนนจะไม่เสถียรต่อความเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



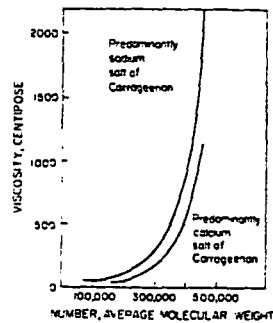
ภาพที่ 2.13 โครงสร้างทางเคมีของK - คาราจีแนน

ที่มา : George,1990

### คุณสมบัติต่างๆของ K-คาราจีแนน

#### 1.คุณสมบัติทาง Function properties

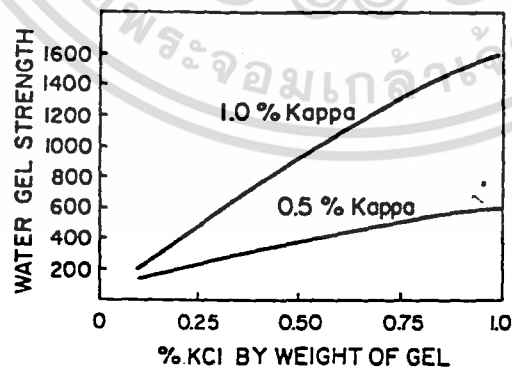
1.1 ความหนืด K-คาราจีแนนสามารถให้ความหนืดแก่สารละลายได้ เพราะK-คาราจีแนน เป็นโมเลกุลที่เป็นสายยาว ไม่มีแตกสาขา และมีประจุไอออนของโลหะมาก ความหนืดของ สารละลายจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นน้ำหนักโมเลกุลของสารละลาย ความเข้มข้น อุณหภูมิ ปริมาณและชนิดของสารเจือปนในสารละลาย ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มแบบ exponentially กับมวลโมเลกุลของสารละลายดังภาพที่ 2.14 ปฏิกิริยาของเกลือกับความหนืดนั้น เมื่อทำการเติมเกลือลงไปจะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง เนื่องจากเกลือจะไปลดแรงผลักระหว่าง sulphate group ภายในสายโซ่โมเลกุลทำให้สายโซ่ของ K-คาราจีแนนกางออกไปไม่มากมีผลทำให้ความหนืดมีค่าลดลง และจะเป็นผลทำให้เกิดเจลขึ้นได้อีกด้วยK-คาราจีแนน มีsulphate group อยู่ในปริมาณที่น้อย ทำให้แรงผลักระหว่างประจุไอออนลบของ sulphate groupภายในสายโซ่โมเลกุลมีอยู่ในปริมาณที่น้อย เป็นผลให้การกางออกของสายโซ่โมเลกุลภายในสารละลายมีน้อย ทำให้ค่าความหนืดของK-คาราจีแนนมีค่าน้อยเมื่อเปรียบกับคาราจีแนนชนิดอื่นๆ



ภาพที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของความหนืดของสารละลายเกลือคาร์ราจีแนนกับมวลโมเลกุล  
ที่มา : George, 1990

1.2 การเกิดเจล การเกิดเจลสามารถเกิดได้ทั้งในน้ำและในน้ำมัน ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณอิออนของโลหะ ความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิเมื่อทำการให้ความร้อนแก่สารละลาย K-คาร์ราจีแนน สารละลายจะสามารถเกิดเจลได้เมื่อสารละลายเย็นลง เจลที่เกิดขึ้นจะแข็งแรงและมีสมบัติเป็น Thermoreversible เจลที่เกิดขึ้นจะเปราะบางและมีการเสียน้ำได้ง่าย สามารถลดการสูญเสียน้ำได้โดยการเติม K-คาร์ราจีแนนกับ hydrocolloid ชนิดอื่นๆ เจลของ K-คาร์ราจีแนนที่เกิดขึ้นจะได้เจลที่มีความแข็งแรงประมาณ 1000 กรัม/ลบ.ซม.ที่ 25°C ในธรรมชาติอิออนบวก จะเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของเจล เจลที่แข็งแรงจะเกิดจาก  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{K}^+$   $\text{NH}_4^+$   $\text{Rb}^+$  และ  $\text{Cs}^+$  weak gel จะเกิดจากอิออนบวกของ  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Li}^+$  เพราะว่าคุณสมบัติของอิออนทั้งสองโมเลกุล จะไม่สามารถทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่ทำให้เกิดเจลที่แข็งแรงได้

$\text{K}^+$  จะทำให้เกิดเจลแข็งแรงที่สุด ซึ่งความแข็งแรงของเจลจะขึ้นกับความเข้มข้นของ K-คาร์ราจีแนน และความเข้มข้นของ  $\text{K}^+$  แสดงดัง ภาพที่ 2.15

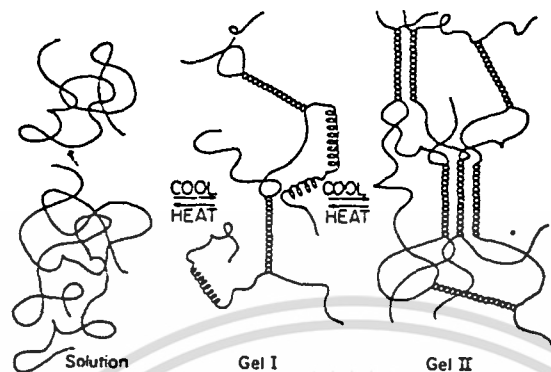


ภาพที่ 2.15 ผลกระทบของ  $\text{K}^+$  ต่อความแข็งแรงของเจล K-คาร์ราจีแนน

ที่มา : George, 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดเจลจะเกิดขึ้นโดยพันธะอิออนิกระหว่างประจุบวกของอิออนโลหะกับประจุลบของ ester group จะมีการลดไฟฟ้าสถิตย์จาก ester group และเหนียวน้ำทำให้เกิดเจล เมื่อทำควบคู่ไปกับการลดอุณหภูมิการเกิดเจลจะเกิดขึ้นดัง ภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 การเกิด Double helices ของK - คาราจีแนน

ที่มา : Rees,1972

โครงสร้างของเจลจะประกอบไปด้วยเกลียว(helix)ของdisaccharide 3 โมเลกุล แต่ละเกลียว (helix) จะรวมตัวกันเป็นเกลียวคู่ (Double helix) โดยการสายเกลียว(helix)สองสายมาเกาะกันโดยใช้พันธะไฮโดรเจน และจุดระหว่างที่เกลียวคู่(Double helix) จะมาเชื่อมต่อกันเรียกว่า Junction Zone

## 2.คุณสมบัติทางกายภาพ(Physical property)

การละลายของสารละลาย K-คาราจีแนนสามารถทำให้ละลายได้โดยการกระทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการอุ่นสารที่จะทำการละลายประมาณ60-70องศาเซลเซียส
2. ทำการกวนน้ำให้มีลักษณะการไหลแบบ (Vortex)
3. ถ้าต้องการให้ K-คาราจีแนนละลายในสารละลายได้ดีควรมีการเติมน้ำตาลใน

ปริมาณ 3 ส่วนกับปริมาณK-คาราจีแนน 1 ส่วน

### 4.ควรเลือกใช้สารละลายที่ดี

K-คาราจีแนนสามารถละลายน้ำได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส ถ้ามีการเติมอิออนเช่น  $\text{Na}^+$  จะทำให้มีการละลายน้ำได้ดีขึ้น แต่ถ้าเติม  $\text{K}^+$  จะทำให้เกิดการบวมน้ำและเป็นเจลในที่สุด ปัญหาในการเตรียมสารละลายK-คาราจีแนนนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเทสารในปริมาณที่ละมากๆโดยไม่ค่อยๆเทสารลงในสารละลายที่ละเล็กน้อย จะทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนของสาร เนื่องจากเมื่อทำการใส่สารที่ละมากๆ สารที่อยู่ภายนอกจะดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีมน้ำอย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดความหนืดมากในบริเวณริมอกของสาร ความหนืดจะเป็นตัวป้องกันไม่ให้น้ำที่อยู่ภายนอกเข้ามาละลายสารที่อยู่ภายในได้ เกิดเป็นก้อนไม่ละลายน้ำ การแก้ไขต้องมีการใส่สารลงในตัวทำละลายที่ละน้อยเพื่อ ไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าว

### การนำไปใช้

1. ใช้ K-คาราจีแนนที่ความเข้มข้น 0.05% ในการเป็นสารคงตัว (stabilizer) ใน skim milk
2. ใช้ K-คาราจีแนนในนมที่ผ่านขบวนการ HTST (high temperature shot time) 0.0075-0.20%
3. ใช้ K-คาราจีแนนประมาณ 0.03% ในอาหารสำหรับเด็ก ซึ่งเติมไปเพื่อป้องกันการแยกชั้นของไขมัน butterfat น้ำมันพืชและ whey จากโปรตีนนม
4. เป็นสารแขวนลอยในผลิตภัณฑ์ chocolate drink ที่ความเข้มข้นประมาณ 0.1%-0.15%
5. ใช้เป็นสารคงตัว (stabilizer) ในผลิตภัณฑ์ ไอศกรีม เพื่อป้องกันการแยกของ whey protein ควบคุมการโตของน้ำแข็ง ลดการละลายของน้ำแข็งในไอศกรีม

### 2.3 Xanthan gum

แซนแทนกัมเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดใหม่ชนิดแรกที่ได้จากการผลิตทางเทคโนโลยีชีวภาพ โดยโพลีเมอร์ของแซนแทนกัมได้ถูกค้นพบโดย the United States Drug Administration ( USDA ) และมีชื่อว่า B 1459 ( xanthan gum ) ซึ่งกัมชนิดนี้สร้างขึ้นโดย Xanthomonas campestris NRRL B-1459 (Jeanes และคณะ, 1961;Urlacher และDalbe,1992) ซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษต่างๆขึ้นเป็นกัมที่เกิดจากธรรมชาติ การผลิต xanthan gum เริ่มขึ้นในช่วงศตวรรษที่ 1960s ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตในญี่ปุ่น , ยุโรปและอเมริกา

ข้อได้เปรียบของไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากการหมักมีมากมาย เช่น การผลิตไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาพอากาศ คุณภาพสμάเสมอ และมีความแน่นอนในการเป็นสารที่เปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

ในหลายๆประเทศตามกฎหมายอาหารระบุให้แซนแทนกัมเป็น "สารเจือปนอาหาร ( food additive ) " ที่ไม่เป็นอันตรายสามารถใช้ได้ในระดับที่เหมาะสมกับการผลิต แซนแทนกัมอนุญาตให้ใช้ในอเมริกาตั้งแต่ปี 1969 และในยุโรปตั้งแต่ปี 1974 ใช้เป็นสารทำให้ข้นและสารที่ทำให้เกิดเจล ( thickening and gelling agent ) - ในยุโรปโดยใช้หมายเลข E 415 (Urlacher และ Dalbe,1992)

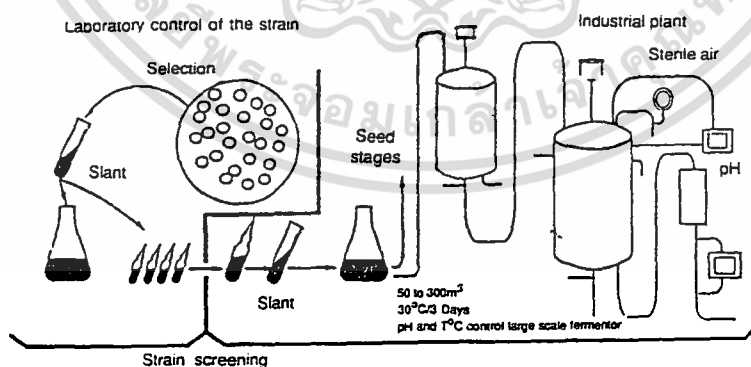
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กระบวนการผลิต

เซนแทนกัมเป็น anionic heteropolysaccharide ที่ผลิตขึ้นโดยการหมักโดยใช้แบคทีเรียชื่อ *Xanthomonas campestris* ในสภาวะที่ปลอดเชื้อโดยอาหารที่ใช้ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต, แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม, โปตัสเซียม, ฟอสเฟต และเกลือแร่อื่นๆที่เหมาะสม โดยการเพาะลงใน Flask และนำมาบ่มต่อในถังหมักเป็นเวลา 3 วันที่  $30^{\circ}\text{C}$  ( ภาพที่ 2.17 ) แล้วผลิตภัณฑ์จะถูกเก็บใน holding tank และใช้ความร้อนเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ให้มีเหลือน้อยที่สุด ( ภาพที่ 2.18 ) ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็น extracellular polysaccharide (Kovacs และ Kang,1977 ; Pettitt,1982 และ Morris,1994)

ผลิตภัณฑ์ถูกตกตะกอนด้วย isopropylalcohol ( IPA ) และเยื่อใยจะถูกแยกจาก IPA โดยการปั่นแยก (centrifugation) เมื่อเยื่อใยนั้นถูกทำให้แห้ง นำไปบด และร่อนก่อนที่จะนำไปบรรจุ สามารถผลิตผลิตภัณฑ์แตกต่างกันได้ดังนี้ ( Uriacher และ Dalbe, 1992 )

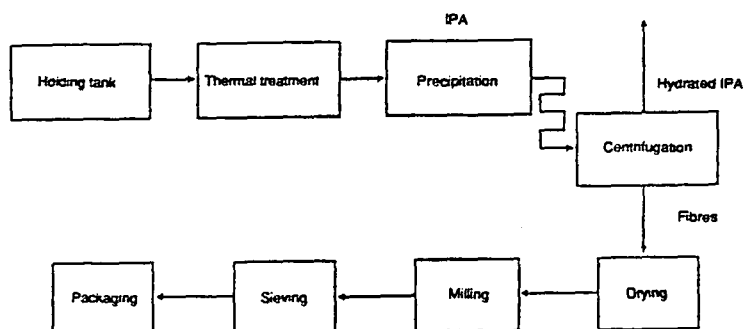
- \* ระดับมาตรฐาน ( a standard grade ) มีขนาดอนุภาค 80 mesh ( 175  $\mu\text{m}$  )
- \* ระดับละเอียด ( a fine-mesh grade ) มีขนาดอนุภาค 200 mesh ( 75  $\mu\text{m}$  ) ซึ่งจะสามารถละลายน้ำได้อย่างรวดเร็ว แต่กระจายตัว ( disperse ) ได้ยากและมีลักษณะเป็นผงรูด ( dusty )
- \* ผลิตภัณฑ์เป็นเม็ด ( a granulated product ) ที่ทำการปรับปรุงการกระจายตัว โดยเฉพาะเพิ่มประสิทธิภาพในการกวนโดยไม่ฟุ้งกระจาย
- \* ลักษณะโปร่งใส ( a transparent grade ) โดยการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ



ภาพที่ 2.17 การผลิตระดับอุตสาหกรรม ( การหมัก )

ที่มา : Uriacher และ Dalbe, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.18 การผลิตระดับอุตสาหกรรม ( Downstream processing )

ที่มา : Urlacher และ Dalbe, 1992

เมื่อแซนแทนกัมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัย จำนวน total microbial count ของกัมชนิดนี้จะมีจำนวนน้อยมากซึ่งน้อยกว่าระดับที่กฎหมายกำหนด เราจึงสามารถใช้แซนแทนกัมเป็นสารเจือปนอาหารที่สามารถใช้ได้โดยไม่จำกัดปริมาณ ซึ่งทาง the Food Chemicals Codex and the National Formulary ได้กำหนดลักษณะ ของแซนแทนกัม ( food grade ) ดังตารางที่ 2.6 (Pettitt, 1982)

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของแซนแทนกัมตามกำหนดของ F.C.C. และ N.F.

Assay	91 - 108%
Viscosity	600 cP *minimum
Loss on drying	≤ 15%
Ash	6.5 - 16%
Pyruvic acid assay	≥ 1.5%
Isopropyl alcohol	≤ 750 ppm
Arsenic	≤ 3 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heavy metal ( as Pb )  $\leq$  30 ppm

Lead  $\leq$  5 ppm

Microbial limits Passes tests for Salmonella  
species and E.coli

\* 1% แชนแทนกัม+ 1%KCl วัดด้วย Brookfield Model LVF viscometer ที่ 60

rpm

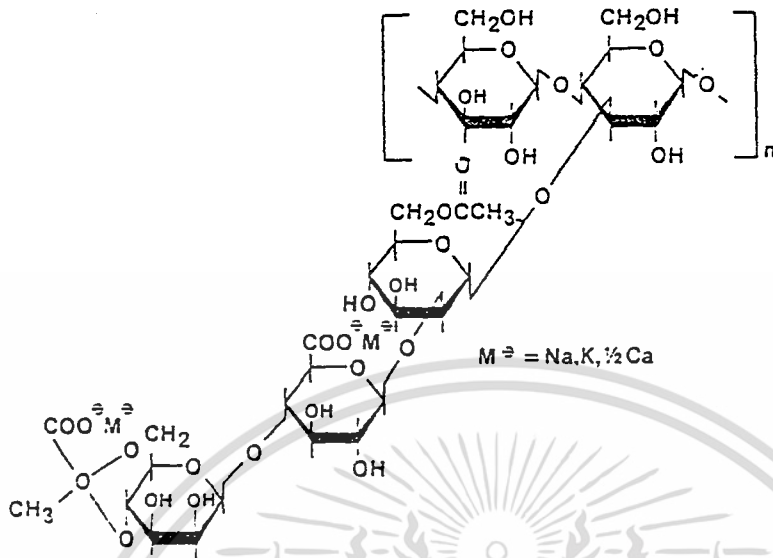
ที่มา : Food Chemicals Codex, 2 nd ed.,1972

### โครงสร้างโมเลกุล

แสดงได้ดังรูปที่ 2.19 ( Jansson และคณะ ,1975 ) โครงสร้างทางปฐมภูมิของโมเลกุล แชนแทนกัม ซึ่งประกอบขึ้นด้วยโครงสร้างหลักคือ 1,4 - linked  $\beta$ -D-glucose ( เช่นเดียวกับ เซลลูโลส ) ซึ่งสายโซ่ข้างๆ (side chains) ประกอบด้วยแมนโนส 2 ตัว ( mannose ) และกรด กลูคูโรนิก 1 ตัว ( glucuronic acid ) ครึ่งหนึ่งของหน่วยแมนโนสปลายโซ่จะประกอบด้วยกรด ไพรูวิก ซึ่งโซ่นี้จะมีเป็นสัดส่วนใหญ่ของโมเลกุล ( ประมาณ 60% ) และเป็นส่วนที่แสดงคุณสมบัติ เด่น ๆ ของแชนแทนกัม แชนแทนกัมมีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ  $2.5 \times 10^6$  (RinaudoและMilas, 1982) แต่การกระจายตัวต่ำ ( low polydispersity ) เนื่องมาจากการที่โมเลกุลมีสายโซ่ข้าง ทำให้ โพลีเมอร์ละลายได้สมบูรณ์แม้แต่ในน้ำเย็น

โครงสร้างทุติยภูมิและตติยภูมิไม่คงตัวเท่าโครงสร้างปฐมภูมิ ซึ่งโครงสร้างคอนฟอร์เมชัน ( conformation ) ของโมเลกุลศึกษาโดยใช้ X-ray diffraction มีรูปร่างเป็นเกลียวคู่ ( double helix ) ( Morris, 1982 ) และมีความคงตัวเนื่องจากพันธะไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

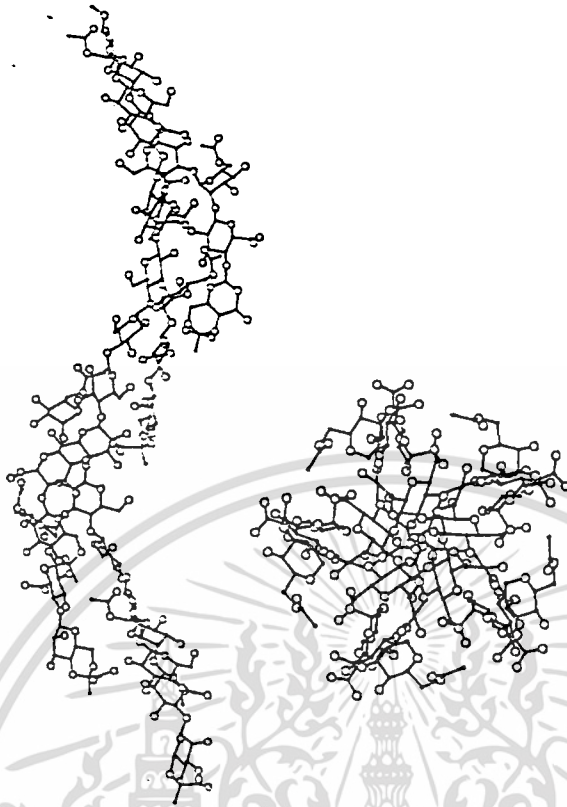


ภาพที่ 2.19 โครงสร้างปฐมภูมิของแทนแทนกัม

ที่มา : Jansson และคณะ ,1975.

เมื่อเกลียวมาต่อกันเป็น fivefold helical conformation จะได้โพลีเมอร์มีลักษณะคล้ายรูปดาว 5 แฉก ซึ่งลักษณะเป็นรูปปิดของแนวเส้นสาขาของ  $\beta$ -1,4-glucan ทำให้แทนแทนกัมมีความเสถียรสูง ทนต่อความร้อน , กรด และด่าง

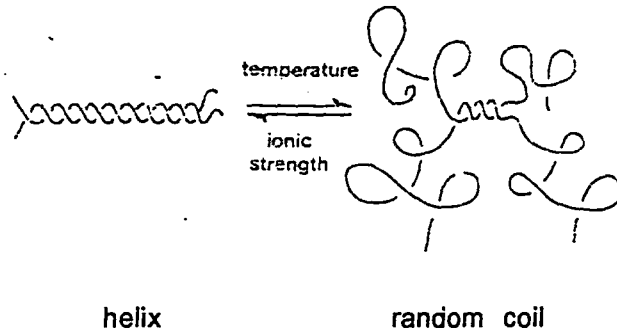
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.20 ลักษณะคอนฟอร์มเมชันของแขนแทนกัม

ที่มา : Moorhouse และคณะ, 1977.

สารละลายแขนแทนกัมมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะคอนฟอร์มเมชัน ซึ่งมี 2 ประเภท คือ ลักษณะแข็ง ( ordered conformation ) และลักษณะยืดหยุ่น ( disordered conformation ) (ภาพที่ 2.21)ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิและความแข็งแรงไอออน ( ion strength ) ที่อุณหภูมิต่ำ ( $15^{\circ}\text{C}$ ) รูปร่าง โมเลกุลจะเป็นลักษณะแข็ง มีรูปร่างเกาะเกี่ยวกันเป็นเกลียว มีความแข็งแรงไอออนสูง ที่อุณหภูมิสูง ( $70^{\circ}\text{C}$ ) ( Rinaudo และ Milas, 1982 ) รูปร่างโมเลกุลจะเป็นลักษณะยืดหยุ่น มีรูปร่างเป็นขด ( Random coil ) มีความแข็งแรงไอออนลดลง การเจือจางสารละลายแขนแทนกัมจะไปลดความแข็งแรงไอออนเหนี่ยวนำให้เกิดลักษณะยืดหยุ่นขึ้น ( Morris, 1994 )



ภาพที่ 2.21 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคอนฟอร์มเมชันของสารละลายแซนแทนกัม

ที่มา : Morris , 1994



ภาพที่ 2.22 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคอนฟอร์มเมชัน ( order conformation ) ของสารละลายแซนแทนกัม

ที่มา : HolztwarthและPrestridge, 1977

ภาพที่ 2.22 แซนแทนกัมมี 2 ordered conformation คือชนิด A ( native ) และชนิด B ( renatured ) ชนิด B จะมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับชนิด A แต่จะมีความหนืดมากกว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงลักษณะดั้งเดิม ( native A ) จนเสียสภาพ ( denatured ) เป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงลักษณะคืนกลับ ( renatured B ) ไปเป็นลักษณะเสียสภาพ ( denatured ) เป็นกระบวนการย้อนกลับได้ ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (  $T_m$  ) ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ ความเข้มข้นของกัม , ความแข็งแรงของไฮออน ซึ่งแตกต่างกันตามปริมาณกรดไพรูวิก และกรดอะซิติก ที่มีอยู่ในมาโครโมเลกุลของแซนแทนกัม

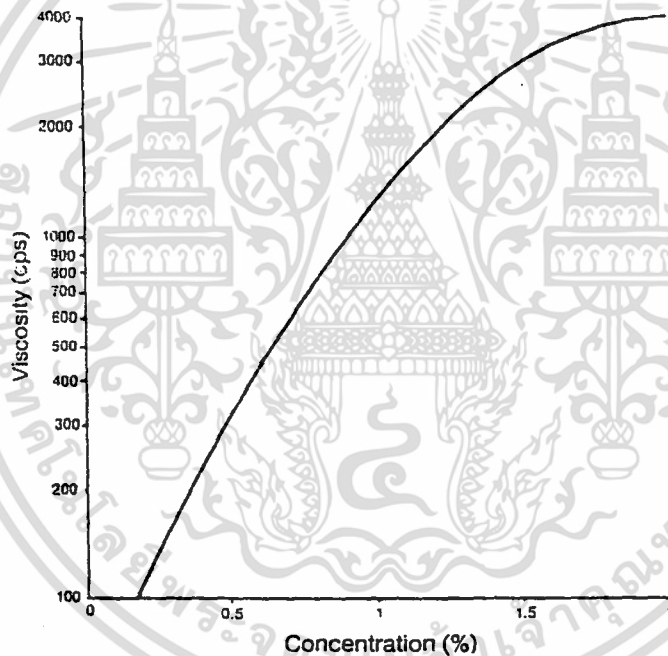
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิความร้อนที่เปลี่ยนแปลงลักษณะ ( $T_m$ ) ที่ความเข้มข้นต่ำๆ (0.1 - 0.3%) ในน้ำกลั่น โดยทั่วไปประมาณ  $40^\circ\text{C}$  แต่ถ้ามีปริมาณเกลือเล็กน้อย และใช้ความเข้มข้นที่ใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหาร อุณหภูมิ  $T_m$  จะสูงกว่า  $40^\circ\text{C}$  ปกติจะสูงกว่า  $90^\circ\text{C}$  (Uriacher และ Dalbe, 1992)

### คุณสมบัติของสารละลายแซนแทนกัม

#### 1 คุณสมบัติทางรีโอโลยี ( Rheological properties )

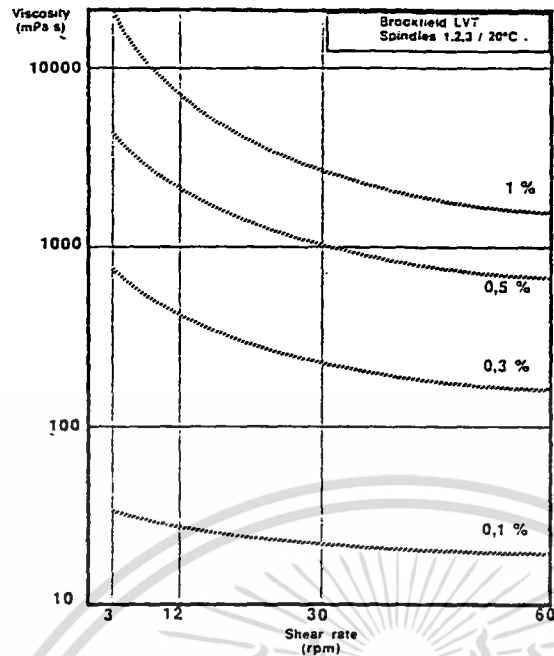
แซนแทนกัมละลายได้ดีในน้ำร้อนและน้ำเย็น ทำให้สารละลายมีความหนืดสูงแม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นต่ำ ( ภาพที่ 2.23 ) มีลักษณะเป็น pseudoplastic ที่แข็งแรงและไม่มีลักษณะเป็น thixotropy เนื่องจากลักษณะความแข็งของโพลีเมอร์ โดยการที่มี  $\beta$  ( 1,4 ) linkages , โครงสร้างรูปแท่ง ( rod - like conformation ) และน้ำหนักโมเลกุลที่สูงของแซนแทนกัม (Kovacs และ Kang, 1977)



ภาพที่ 2.23 ผลของความเข้มข้นของโพลีเมอร์ที่มีต่อความหนืดของแซนแทนกัม

ที่มา :Kovacs และ Kang, 1977

การที่เกิดลักษณะ thixotropy ของแซนแทนกัมเกิดได้จากการเติม ไดหรือไตรวาเลนต์ ( di or trivalent cation ) แคทไอออน หรือ บอเรท แอนไอออน ( borate anions ) ที่อัตราแรงเจือปนต่ำ ๆ สารละลายจะมีความหนืดสูง เมื่อเพิ่มอัตราแรงเจือปนให้มากขึ้นจะทำให้สารละลายมีความหนืดลดลงมีลักษณะเป็น shear thinning ( ภาพที่ 2.24 ) (Morris, 1994)



ภาพที่ 2.24 ผลของความเข้มข้นและอัตราแรงเฉือนที่มีต่อสารละลายแซนแทนแกม

ที่มา : B.Urlacher และ B.Dalbe , 1992

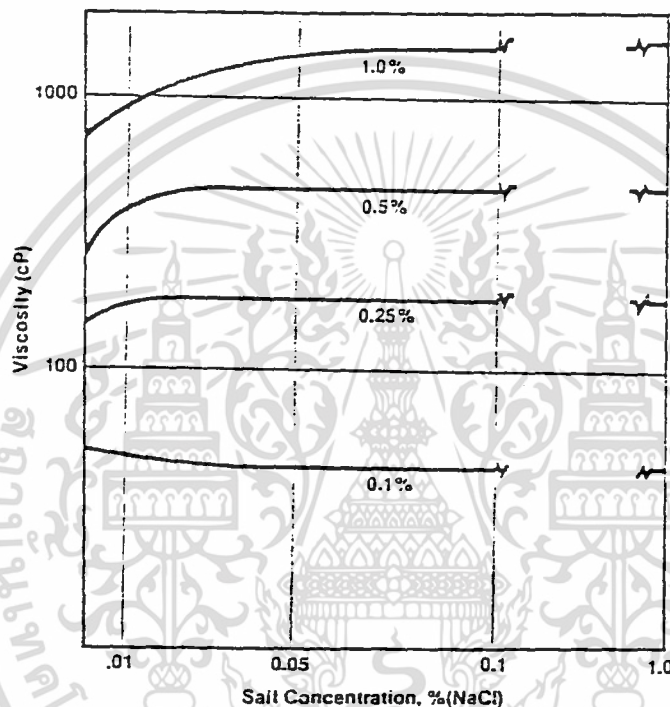
ภาพที่ 2.24 สารละลายจะมีความหนืดสูงที่อัตราแรงเฉือนต่ำ และแสดงลักษณะ pseudoplastic ที่แข็งแรง มีความหนืดสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้น และความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราแรงเฉือนซึ่งเป็นข้อดีต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร ในการถ่ายเทส่วนผสมที่มีแซนแทนแกม ( อัตราแรงเฉือนในปากคนประมาณ  $50 \text{ s}^{-1}$  ) (Urlacher และ Dalbe, 1992) โดยปกติแล้วแซนแทนแกมไม่ทำให้เกิดเจลจะเป็น weak gel เท่านั้น การที่ทำให้เกิดเจลได้ต้องผสมกับไฮโดรคอลลอยด์ตัวอื่น เช่น galactomannans จากพืช ได้แก่ locust bean gum ( carob gum ) หรือ tara gum และตัวแซนแทนแกมสามารถเกิดเจลได้โดยการเติม ไตรวาเลนท์แคทไอออน หรือบอแรทแอนไอออน (Morris, 1994)

## 2 ความเสถียรของแซนแทนแกม (Stability )

ผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเกลือ และในบางผลิตภัณฑ์มีเกลืออยู่ในปริมาณสูง เช่น ซีอิ๊ว หรือมีกรดสูง เช่น dressings หรือเครื่องดื่ม และบางผลิตภัณฑ์ต้องใช้ความร้อนสูง เช่น พลาสเจอร์ไรส์ ( HTST ) หรือ ultra heat treatment ( UHT ) หรือกระบวนการ สเตอริไรเซชัน ดังนั้น สารให้ความคงตัว ควรมีความเสถียรต่อสภาพที่หลากหลาย เช่น ความแข็งแรง ไอออน pH และอุณหภูมิ (Morris, 1977) โครงสร้างทุติยภูมิของแซนแทนแกมจะมีปลายโซ่พันรอบเซลล์ลูโลสซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของแซนแทนแกม ทำให้แซนแทนแกมมีความคงตัวต่อกรดหรือเอนไซม์เป็นเอนไซม์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบส อุณหภูมิสูง การแช่แข็งและการละลายน้ำแข็ง (freezing & thawing) เอนไซม์ และการผสมที่ใช้เวลานาน (Urtacher และ Dalbe , 1992)

2.1 การใช้ร่วมกับเกลือ การเติมเกลือลงในสารละลายแทนแทนกัมจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ( ที่ความเข้มข้นของกัมมากกว่า 0.15% ) รูปที่ 2.25 (Pettitt,1982 ; Kovacs และ Kang,1977) การที่มีโซเดียมคลอไรด์ 0.1 - 0.15% จะปรับปรุงความเสถียรของสารละลายแทนแทนกัมที่อุณหภูมิสูง และสามารถใช้เวลาเล่นที่ไออน เช่น แมกนีเซียม หรือ แคลเซียม ได้เช่นกัน (Rinaudo และ Milas, 1982)

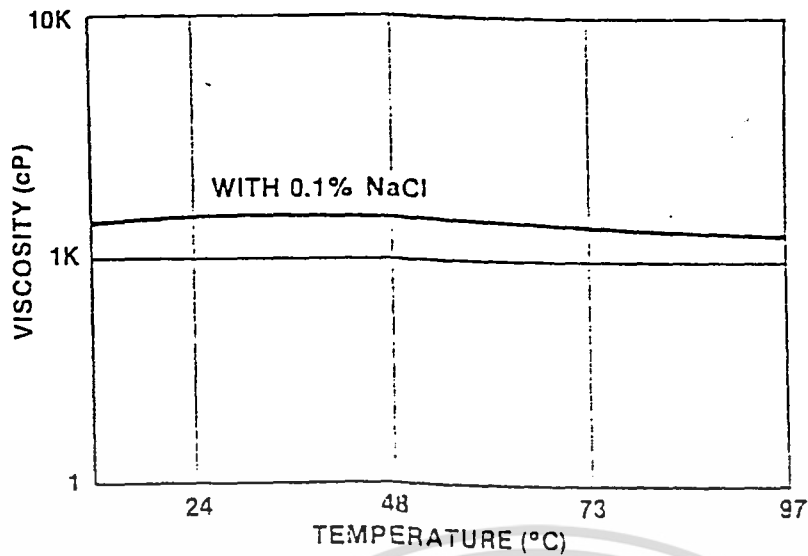


ภาพที่ 2.25 ผลของความเข้มข้นของอิเลกโตรไลต์ที่มีต่อความหนืดของสารละลายแทนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นของแทนแทนกัม

ที่มา : Pettitt,1982 ; Kovacs และ Kang,1977

2.2 อุณหภูมิ ความหนืดของสารละลายแทนแทนกัมซึ่งมีโซเดียมคลอไรด์ 0.1% จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในช่วงอุณหภูมิ 10 - 90°C (UrtacherและDalbe, 1992) ซึ่งการที่มีเกลือจะทำให้มีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูง และจะมีความคงตัวที่สุดที่ 80°C ในผลิตภัณฑ์อาหารการสเตอริไรเซชัน ( 30 นาที ที่ 120°C ) จะมีความหนืดคงที่ (Pettitt, 1982 ;Kovacs และ Kang, 1977)

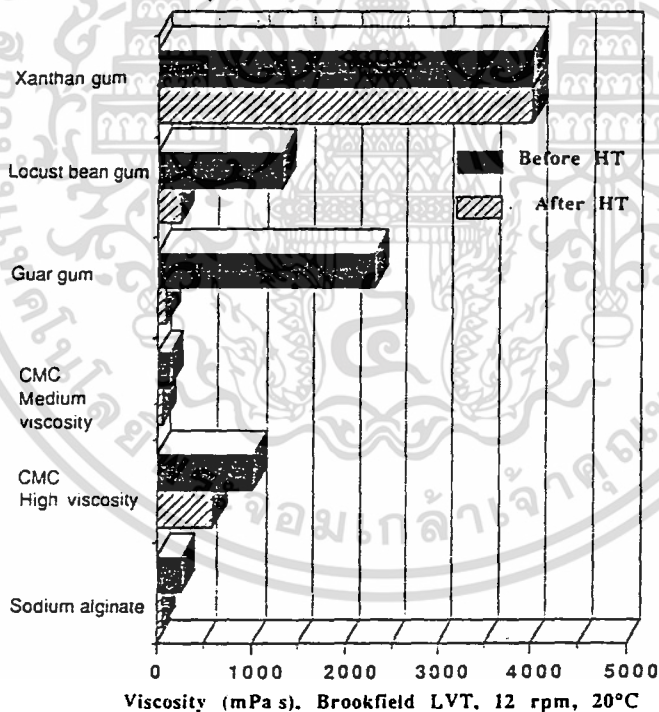
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.26 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดของสารละลายแซนแทนกัน

ซึ่งมี 0.1% อิเล็กโตรไลต์

ที่มา : Pettitt , 1982 ; Kovacs และ Kang, 1977



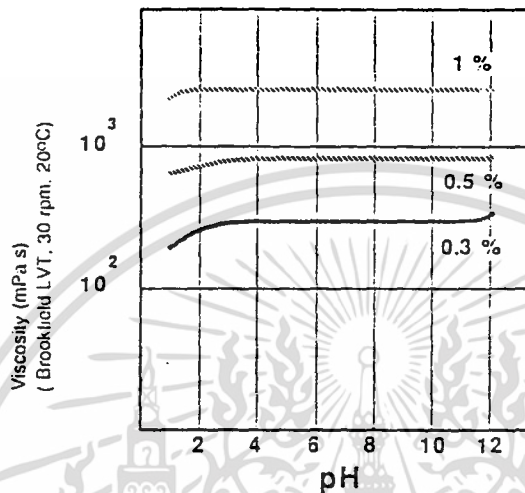
ภาพที่ 2.27 การเปรียบเทียบความคงตัวของสารละลายที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดกัน ที่ความเข้มข้น 0.6% ใน 2.5%NaCl โดยการให้ความร้อน

120°C 50 นาที HT : heat treatment

ที่มา : Urlacher และ Dalbe , 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

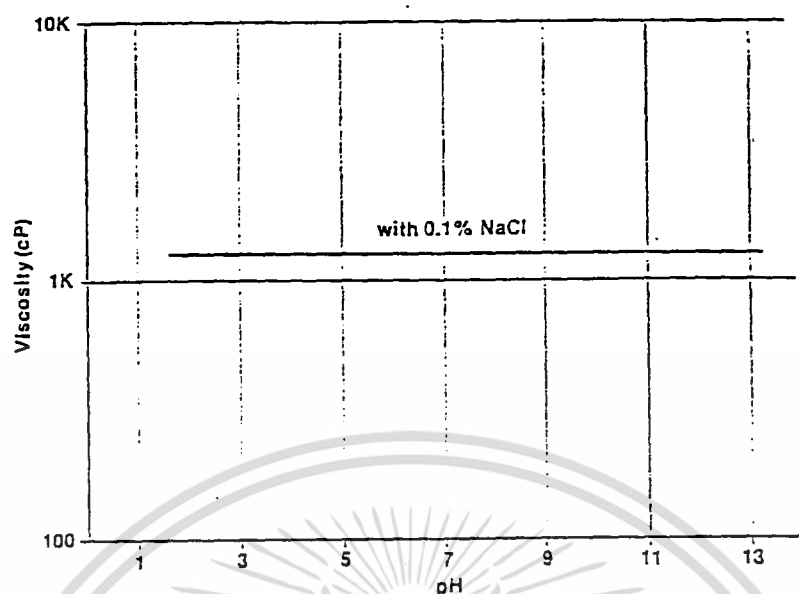
2.3 กรดและเบส สารละลายแซนแทนกัมมีความคงตัวในช่วง pH กว้าง ดังในภาพที่ 2.28 และภาพที่ 2.29 ในภาพที่ 2.28 ช่วง pH ที่วิกฤติ ( ต่ำกว่า 2.5 และมากกว่า 11 ) pH จะมีผลต่อสารละลายซึ่งความคงตัวนี้จะขึ้นกับความเข้มข้นของกัม ยิ่งมีความเข้มข้นของกัมสูงยิ่งมีความคงตัวของสารละลายมาก ซึ่งแซนแทนกัมสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของกรดอะซิติก กรดซิตริก หรือกรดฟอสฟอริก (Urlacher และ Dalbe, 1992)



ภาพที่ 2.28 ผลของ pH ที่มีต่อความหนืดของสารละลายที่ความเข้มข้นของแซนแทนกัมต่างๆ

ที่มา : Urlacher และ B.Dalbe , 1992

ในภาพที่ 2.29 ในสารละลายที่มี 0.1% อิเล็กโตรไลต์ มีความคงตัวไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงระหว่าง pH 1 - 13 สามารถละลายได้โดยตรงใน กรดอะซิติก 5% , กรดซัลฟูริก 5% , กรดไนตริก 5% , กรดฟอสฟอริก 25% , กรดไฮโดรคลอริก 10% , โซเดียมคลอไรด์ 5% หรือ สารละลายโซเดียมหรือแคลเซียม 15% และคงตัวนานหลายเดือนที่อุณหภูมิห้อง (Pettitt, 1982 ; Kovacs และ Kang, 1977)



ภาพที่ 2.29 ผลของ pH ที่มีต่อความหนืดของสารละลายแซนแทนกันที่มี 0.1%

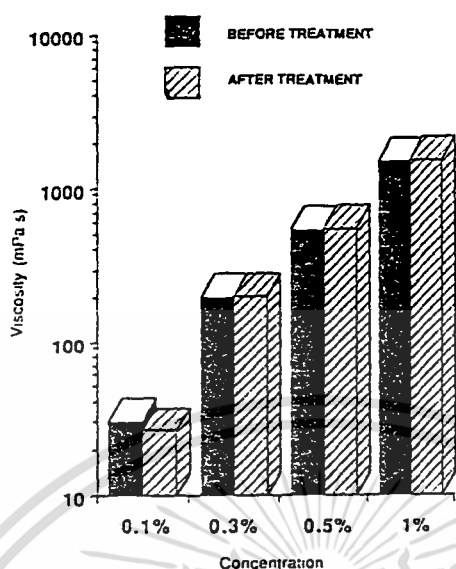
อิเล็กโทรไลต์

ที่มา :Pettitt , 1982 ; Kovacs และ Kang, 1977

**2.4 เอนไซม์และoxidant** แซนแทนกันมีความต้านทานต่อการทำงานของเอนไซม์สามารถใช้ในส่วนผสมที่มีเอนไซม์สามัญโดยไม่เสื่อมสภาพ เช่น อะไมเลส , เพกตินเอส และเซลลูเลส ซึ่งมีอยู่ในวัตถุดิบ หรือเติมลงไปในระหว่างกระบวนการผลิต (UrdacherและDalbe,1992) แต่แซนแทนกันจะเสื่อมสภาพลงในสารละลายที่มี strong oxidizing agent ในปริมาณสูง เช่น เปอร์ออกไซด์ ( peroxide ) , เปอร์ซัลเฟต ( persulfates ) และไฮโปคลอไรท์ ( hypochlorite ) (Pettitt, 1982)

**2.5 การแช่แข็ง - การละลายน้ำแข็ง และการใช้ไมโครเวฟ ( freezing - thawing and microwave treatment )** การใช้ไมโครเวฟจะทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำในผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยเฉพาะในการแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง ดังนั้น ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านวิธีการไมโครเวฟต้องมีความคงตัวสูงมาก โดยการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความคงตัวต่อไมโครเวฟ แซนแทนกันจะมีความหนืดคงตัว แม้ว่าจะผ่านการละลายน้ำแข็งจากเตาอบไมโครเวฟ และใช้ความเข้มข้นของกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 2.30) (UrdacherและDalbe, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.30 ความคงตัวของไมโครเวฟ การแช่แข็งและละลายน้ำแข็งของ  
แซนแทนกัมใน 1% NaCl

ที่มา : Urlacher และ Dalbe , 1992

2.6 ผลของตัวทำละลาย สารละลายแซนแทนกัมมีความทนทานสูงถึง 50% ของตัวทำละลายไฮโดรฟิลิก ( hydrophilic ) เช่น เอทานอล และโพรพิลีนไกลคอล ( propylene glycol ) สามารถละลายได้สมบูรณ์โดยตรงในกลีเซอรอลร้อน ๆ ( 65°C ) และกลีเซอริน 71°C ( Pettitt, 1982 )

แซนแทนกัมสามารถใช้ร่วมกับส่วนประกอบในอาหารได้เกือบทุกชนิด เช่น กรด , เกลือ , สารให้ความหนืด ( thickeners ) ( แป้ง , คาราจีแนน , อนุพันธ์เซลลูโลส , เจลาติน และอัลจีเนต ) และโปรตีน อย่างไรก็ตามอันตรกิริยา ( interaction ) และการตกตะกอน อาจเกิดขึ้นได้ในโปรตีนบางชนิด เช่น โปรตีนนม ถ้าในระบบนั้นมีกระบวนการให้ความร้อนหรือมีการใช้กรด ( Urlacher และ Dalbe, 1992 ; Kovacs และ Kang, 1977 )

### การนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

เนื่องจากแซนแทนกัมสามารถกระจายตัวได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ช่วยในการปรับปรุงส่วนผสมในซอส , เกรวี่ และของหวาน ซึ่งสามารถให้ความร้อน หรือใช้ความเย็นโดยไม่ทำให้เสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อสัมผัส ใช้แทนแทนกันในการปรับปรุงกระบวนการ และการเก็บแบ่งนวด และโด ( dough ) โดยใช้แทนแทนกันแทนกลูเตนในขนมปัง ( gluten - free breads ) (Morris, 1994)

1. น้ำสลัด ( Dressings ) เพื่อให้ oil-emulsion คงตัว ซึ่งลักษณะ pseudoplastic ที่สูง ทำให้ทนต่อ pH ( มีค่าประมาณ 3.5 ในน้ำสลัด ) เกลือ ( 15% ในบาร์บีคิวซอส ) หรือกระบวนการให้ความร้อน ( UHT หรือ พาสเจอร์ไรส์ ) ซึ่งความหนืดของแทนแทนกันคงตัวระหว่าง 5-70°c เพื่อให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ลอยตัว ปริมาณแทนแทนกันที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันในสูตร ( UrlacherและDalbe, 1992)

- ใช้ความเข้มข้น 0.2 - 0.3% ในสูตรที่มีน้ำมันมาก ( น้ำมัน 50 - 60% )
- ใช้ความเข้มข้น 0.3 - 0.4% ในสูตรที่มีน้ำมันปานกลาง ( น้ำมัน 30% )
- ใช้ความเข้มข้น 0.4 - 0.6% ในสูตรที่มีน้ำมันน้อย ( น้ำมัน 10 - 20% )

2. ซอส เกรวี น้ำซุ้ปกป้อง แทนแทนกันทนต่อการละลายน้ำแข็งและความร้อนของไมโครเวฟ ลักษณะ pseudoplastic ของแทนแทนกันทำให้ซอสและเกรวีมีเนื้อสัมผัสที่ดี มีความรู้สึกในปากที่สะอาด และกลิ่นรสที่ปล่อยออกมาที่ดี ( clean mouthfeel & good flavour release ) (Kovacs และ Kang, 1977)

3. ผลิตภัณฑ์นม ใช้แทนแทนกันความเข้มข้น 0.02 - 0.05% ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ตัวอื่น เช่น คาราจีแนน กัวร์กัม และไลคัลปินกัม ในไอศกรีมแทนแทนกันช่วยในการควบคุมการเกิดผลึกน้ำแข็ง ทำให้ละลายช้าลง และใช้แทนแทนกันร่วมกับคาราจีแนน โนนมเพื่อปรับปรุงการเกิดเจลในนมลดการ syneresis และความเปราะลง ในปริมาณ 0.05 - 0.2% ขึ้นกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องการ (UrlacherและDalbe, 1992)

4. วิปครีมและมูส แทนแทนกันทำให้เซลอากาศคงตัว ซึ่งลักษณะ pseudoplastic ทำให้กระบวนการวิปิ้งดีขึ้น และง่ายขึ้น

5. ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ แทนแทนกันทำให้การเกิดโด่ง่ายขึ้น ใช้ความเข้มข้นประมาณ 0.05 - 0.2% ลดการสูญเสียไอน้ำระหว่างการอบและการเก็บ ทำให้โดเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์มากขึ้น ( sponge cake ) และขนาดของเซลอากาศคงตัว (Pettitt, 1982)

6. ไชร์ป ท้อปปี้ง และไส้ขนม ใช้แทนแทนกัน ใน ซ็อคโกแลตไชร์ป ช่วยการกระจายตัวของอนุภาคโกโก้ ใช้ปริมาณ 0.05 - 0.1% ในท้อปปี้งและไส้ขนม ช่วยปรับปรุงความคงตัวในการแช่แข็งและการละลายน้ำแข็ง และควบคุมการเกิด syneresis

7. อาหารสัตว์ แชนแทนกันทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบ นุ่ม ความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงภายหลังการสเตอริไรเซชัน และเนื้อสัมผัสยังคงเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากการทำให้เย็น (Morris, 1977)

8. ส่วนผสมสำเร็จรูป : เครื่องดื่ม ชุป ของหวาน การที่แชนแทนกันสามารถละลายได้รวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง ทำให้มีผลต่อส่วนผสม มีผลทำให้สารละลายเข้มข้น โดยให้ความเข้มข้นระหว่าง 0.1 - 0.2% ในเครื่องดื่มสำเร็จรูปแชนแทนกันใช้ร่วมกับโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) หรือ กัวร์กัม (guar gum) (Urlacher และ Dalbe, 1992)

## 2.4 การวัดความหนืดด้วย เครื่อง Brookfield viscometer

คุณสมบัติทางรีโอโลยี (Rheology) เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (deformation) เครื่อง Brookfield เป็นเครื่องมือใช้วัดของไหลเมื่ออยู่ในสถานะของเหลว หรือ กึ่งของเหลว แต่จะไม่ใช้ศึกษาในวัตถุที่เป็นของแข็งหรือกาซ

Brookfield มีความหมายถึง ความหนืด (viscosity) ซึ่งความหนืดเป็นเพียงคุณสมบัติหนึ่งของรีโอโลยี (Rheology) สมการที่ใช้ในของไหลแบบลามินา (Laminar flow) คือ

$$\text{Shear Stress} = (\eta) \times \text{Shear Rate}$$

เมื่อ  $(\eta)$  = ความหนืด (viscosity)

หรืออาจเขียนได้เป็น

$$(\eta) = \text{Shear Stress} / \text{Shear Rate}$$

เครื่อง Brookfield ทั้งหมด จะมีหลักการทำงานเหมือนกันคือ การวัดความหนืดโดยอาศัยการหมุน ค่าความหนืดที่วัดได้เกิดจากการวัดค่าของแรง ทอร์ก (Torque) ที่ต้องการใช้ในการหมุน หัววัดที่จุ่มอยู่ในของเหลวตัวอย่างด้วยความเร็วในการหมุนคงที่ค่าหนึ่ง ค่าทอร์กจะเป็นส่วนแปรผันตามความหนืดของของเหลวที่จุ่มอยู่ และใช้ในการคำนวณเป็นค่าความหนืดของสารตัวอย่างนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์ 3 ชนิด คือ โทเดียมอัลจินต แคลปป์ คาราจีแนน และแซนแทนกันนี้ จะทำการศึกษาความหนืดของระบบสารละลายดังกล่าวด้วยเครื่อง Brookfield model DV-III และใช้หัววัด LV-25

DV หรือ Digital Viscometer เป็นที่รู้จักในปี 1981 เพื่อตอบสนองความต้องการ 2 ประการคือ การอ่านค่าเป็นตัวเลข และการบันทึกการวัดค่าต่างๆ ดังนั้นจึงเรียกเครื่องมือนี้ว่า Brookfield Digital Viscometer

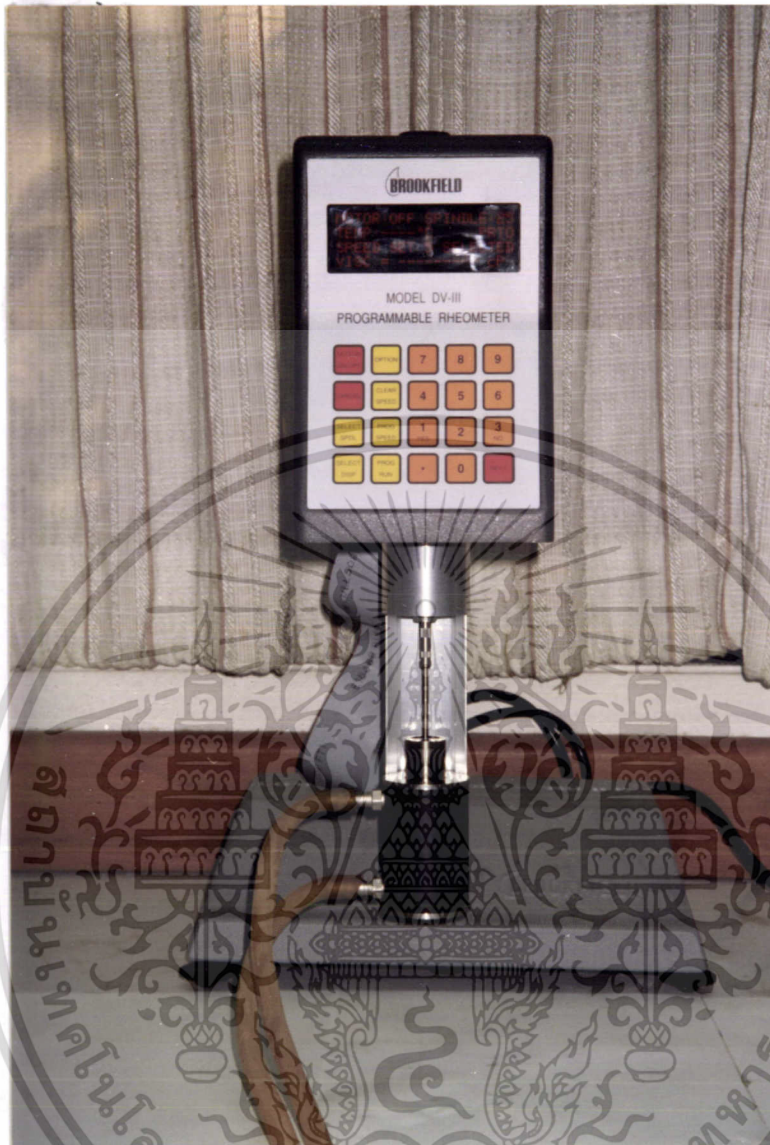
Brookfield รุ่น DV-III ถูกนำเสนอในปี 1990 มีการพัฒนาคุณสมบัติให้สูงกว่ารุ่น DV-I และ DV-II สามารถกำหนดค่าความเร็วในการหมุนได้ 0-250 รอบต่อนาที โดยสามารถเพิ่มได้ทีละ 0.1 รอบต่อนาที หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถกำหนดค่าความเร็วรอบได้ 2,500 ค่า เครื่องมือนี้สามารถทำงานได้ตามลำพัง หรืออาจต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ก็ได้ ในการให้เครื่องมือทำงานโดยลำพัง สามารถบันทึกค่าสั่งได้ 10 ชุด แต่ละชุดบันทึกค่าความเร็วรอบได้ 25 ค่า การแสดงค่า เครื่องสามารถคำนวณค่าความหนืดได้โดยอัตโนมัติ มีหน่วยเป็นเซนติพอยส์ (cP) และแสดงค่า % Torque (ในหน่วยของ Brookfield) นอกจากนี้ยังแสดงค่า Shear Stress (dynes/square cm) และ Shear Rate (Sec<sup>-1</sup>) ในการวัดอุณหภูมิทำได้โดยใช้หัววัดอุณหภูมิที่สามารถ วัดค่าอุณหภูมิของตัวอย่างในช่วง -100 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส

#### ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพของเครื่อง Brookfield model DV-III

Speed Range	0-250 RPM
Speed Step Increment	0.1 RPM
Number of Speeds	2,500
Temperature Sensing	-100 °C to 300 °C -148 °F to 572 °F
Test Programs	10 Programs with up to 25 steps per program. Each step: discrete speed and hold time.
Viscosity Measurement	
Accuracy	±1 % of each spindle/speed full scale range
Repeatability	±0.2 % of each spindle/speed full scale range
Display	4 Line, 20 character gas plasma
Battery Back-Up	For programs and data; 10 year life

ที่มา :คู่มือประกอบการใช้เครื่อง Brookfield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



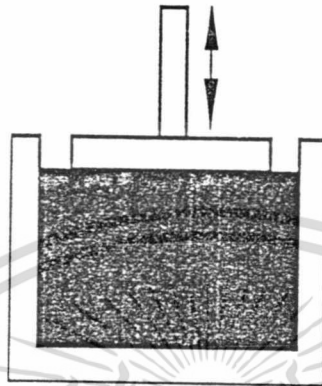
ภาพที่ 2.31 เครื่อง Brookfield model DV-III

## 2.5 การวัดค่าโมดูลัสด้วยเครื่อง DMA ( Dynamic Mechanical Analyzer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล เช่น Modulus และ  $\tan \delta$  เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ , เวลา , ความถี่ , ความเค้น หรือการประกอบกันของตัวแปรเหล่านี้  $\tan \delta$  เป็นตัวบ่งชี้ที่ไวต่อการเคลื่อนที่ทุกชนิดของ Modulus ซึ่งเกิดขึ้นในวัสดุ แม้แต่ในภาวะของแข็ง และเป็นตัววิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับวัดปริมาณของการเชื่อมต้อระหว่างโมเลกุล (degree of crosslink) ล้วนฐานวิทยาของโพลีเมอร์ ส่วนประกอบของโพลีเมอร์ผสมและบล็อกโคโพลีเมอร์ นอกจากนี้ยังใช้บอกปริมาณของการบ่ม (extent of curing) ในเทอร์โมเซตเรซินได้อีกด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวัดค่าด้วยระบบ Parallel Plate

ในการวัดค่าโมดูลัสของตัวอย่างที่เป็นของเหลวจะใช้ Parallel Plate ชนิด Cup & Plate แสดงได้ดังภาพที่ โดยในการทดลองจะใช้ Cup ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. ความสูง 5 มม. ส่วน Plate ที่ใช้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม.



ภาพที่ 2.32 การวัดค่าโมดูลัสด้วยระบบ Parallel Plate

ที่มา : คู่มือการใช้เครื่อง DMA

### ขีดความสามารถในการวัดค่าของเครื่อง DMA

เครื่อง DMA ที่ใช้ในการทดลองเป็นรุ่น "7 Series Thermal Analysis System" ซึ่งมีขีดความสามารถในการวัดค่าต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

แรงกด (compression) 1 - 8000 mN

ความถี่ (frequency) 0.01 - 51 Hz

อุณหภูมิ (temperature) -170 - 500 °C

### หลักการ

Dynamic mechanical properties คือสมบัติเชิงกลของวัสดุขณะที่อยู่ภายใต้แรงที่เป็นคาบ (periodic force) เมื่อให้แรงที่เป็นคาบกระทำต่อวัสดุที่มีความหนืดยืดหยุ่นสมบูรณ์ ความเครียดจะเกิดในเฟสเดียวกับความเค้น ถ้าวัสดุนั้นมีความหนืดสมบูรณ์ วัสดุนั้นจะตอบสนองต่อแรงโดยความเครียดจะเกิดตามหลังเฟสของความเค้นเป็น  $90^\circ$  แต่ถ้าวัสดุนั้นเป็น viscoelastic ความเครียดจะเกิดตามหลังเฟสความเค้นเป็นมุม  $\delta$  โดยที่  $0^\circ < \delta < 90^\circ$

$$\text{สมการ} \quad E^* = E' + E''$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $E'$  = อัตราส่วนของอัมพล (amplitude) ของความเค้นต่อความเครียดที่มีเฟสตรงกัน

$E''$  = อัตราส่วนของอัมพล (amplitude) ของความเค้นต่อความเครียดที่มีเฟสต่างกัน  $90^\circ\text{C}$

Loss tangent ( $\tan \delta$ ) = เป็นอัตราส่วนพลังงานที่สูญเสียไปต่อพลังงานที่เก็บไว้ใน 1 รอบ

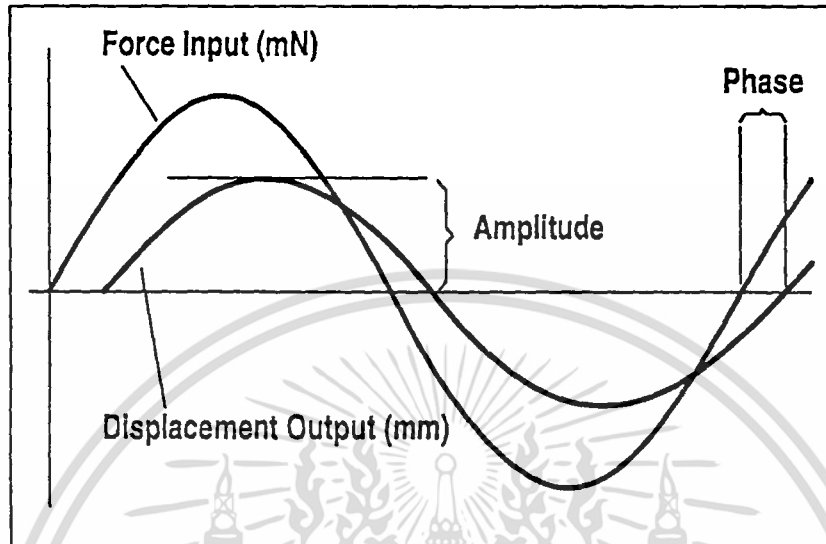
$$\tan \delta = E' + E''$$



ภาพที่ 2.33 เครื่อง DMA (Dynamic Mechanical Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DMA 7e Force, Displacement, Amplitude and Phase Lag

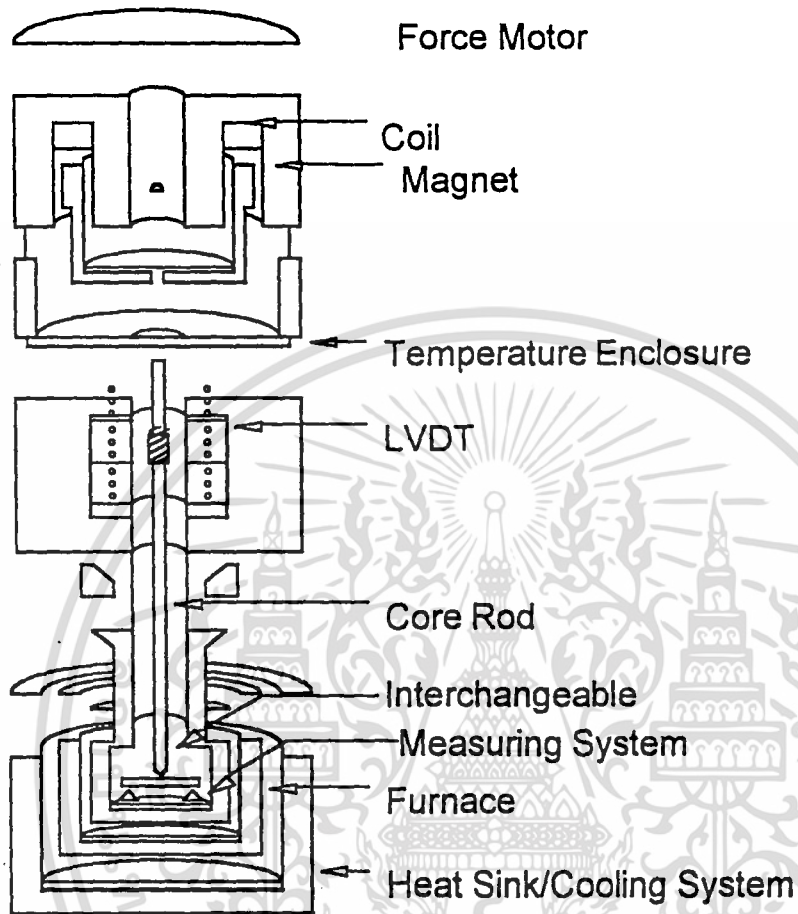


ภาพที่ 2.34 แรง (Force), การเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัต (Displacement),  
อัมพล (Amplitude) และเฟสลดลง (Phase Lag)

ที่มา : คู่มือการใช้เครื่อง DMA

### การทำงานของเครื่อง

Force motor จะสังค้-ภาระสถิต (static load) และภาระพลวัต (dynamic load) กระทำต่อวัสดุที่นำมาทดสอบ โดยภาระสถิตเป็นสิ่งที่จำเป็นในการรักษาการสัมผัสของ probe กับ วัสดุ ในขณะที่ภาระพลวัตทำให้เกิดการตอบสนองของอัมพลและเฟสของวัสดุนั้น การเปลี่ยนแปลงการขจัดเชิงพลวัต (dynamic displacement) ของวัสดุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการขจัดของ probe และ LVDTC (linear variable differential transformer) ความต่างศักย์รูปไซน์ของ LVDT จะสัมพันธ์กับค่า storage modulus ส่วนค่า phase lag จะสัมพันธ์กับค่า  $E''/E'$

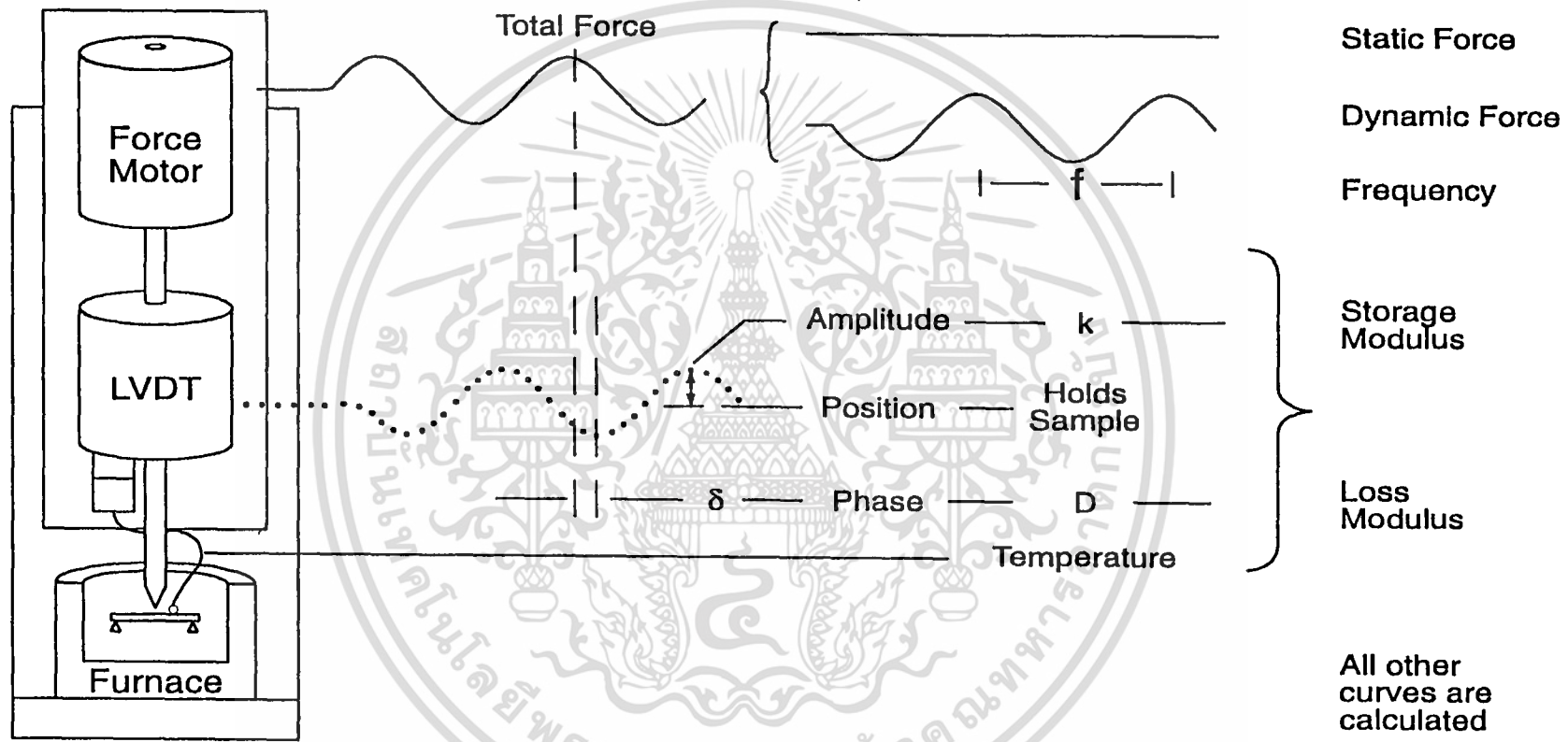


ภาพที่ 2.35 ส่วนประกอบของเครื่อง DMA

ที่มา : คู่มือการใช้เครื่อง DMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DMA 7e Operation



ภาพที่ 2.36 สัญญาณควบคุมและการทำงานของเครื่อง  
ที่มา : คู่มือการใช้เครื่อง DMA

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 สารเคมี

1. โซเดียมอัลจีเนต (Sodium Alginate) Lot. No. 802S1707. Kanto Chemical Co.,Inc.Tokyo,Japan.500 g.
2. K - คาราจีแนน (Kappa Carrageenan) Lot. No. LEQ 0195. Wako Pure Chemical Industries, Ltd.Tokyo,Japan.25 g.
3. แชนแทนกัม (Xanthan Gum) (Lot. AX 01) TCI Trademark. Tokyo,Japan.500 g
4. ซูโครส
5. HNO<sub>3</sub> (Conc.)
6. น้ำกลั่น
7. น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)
8. น้ำมันพาราฟิน

#### 3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. หลอดเตรียมตัวอย่าง
2. กระดาษชั่งสาร
3. แท่งแม่เหล็ก
4. กระจบอกล้ำน้ำกลั่น
5. ช้อนตักสาร
6. บีกเกอร์
7. อลูมิเนียมฟอยล์
8. ตะแกรงผึ่งหลอดเตรียมตัวอย่าง
9. จลาก
10. กะละมังพลาสติก
11. ตะกร้า
12. หลอดหยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 เครื่องมือ

1. Brookfield DV - III หัววัด LV -25
2. Cooling bath
3. เครื่องชั่งละเอียด
4. Hot plate & Stirrer (HP 46820) Serial No. 46802062. Thermolyne Corporation.

IOWA,USA.

5. DMA (Perkin-Elmer 7 Series Thermal Analysis System)

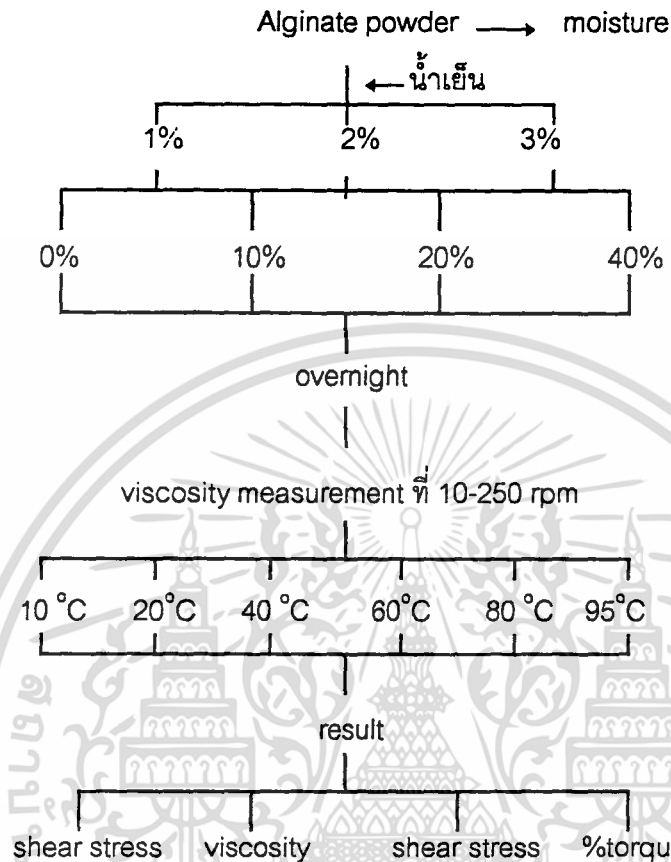


ภาพที่ 3.1 ซูโครสและสารไบโอโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การเตรียมสารละลายไบโอโพลีเมอร์

#### 3.4.1 โซเดียมอัลจิเนต



#### การเตรียมสารละลายโซเดียมอัลจิเนต

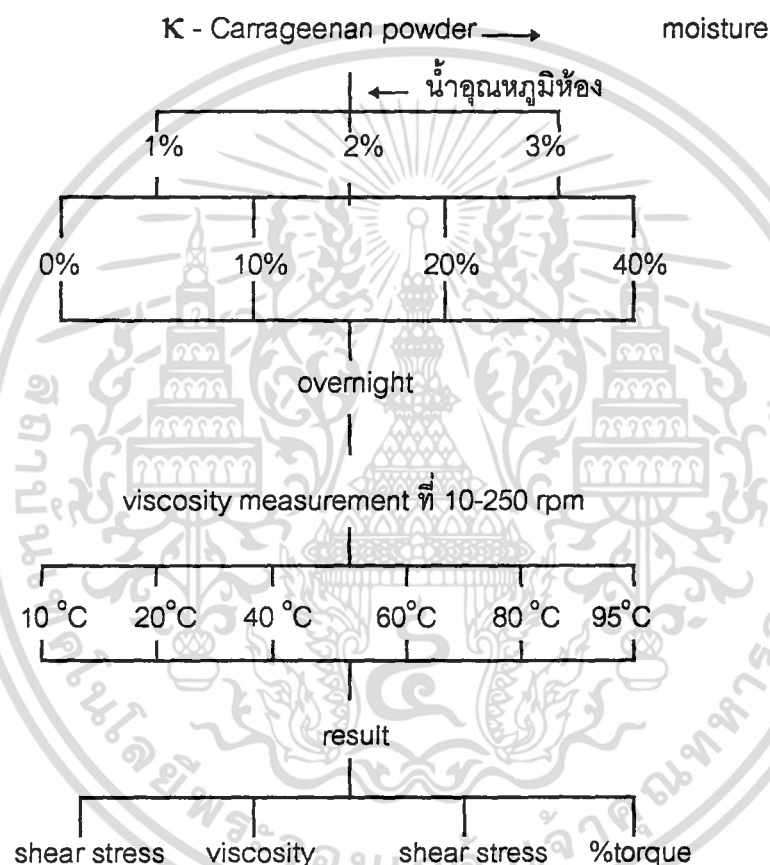
1. นำสารโซเดียมอัลจิเนตไปหาความชื้น ตามวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก3
2. คำนวณหาน้ำหนักโซเดียมอัลจิเนต , ซูโครส และน้ำปราศจากไอออนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก3
3. ชั่งน้ำปราศจากไอออนใส่ลงในหลอดเตรียมตัวอย่างที่สะอาด และปราศจากไอออนตามน้ำหนักที่คำนวณไว้ จากนั้นนำไปแช่เย็น (Onsoyen,1992)
4. ชั่งโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น 1 , 2 และ 3% และซูโครสที่ความเข้มข้น 0 , 10 , 20 และ 40% ตามน้ำหนักที่คำนวณไว้ ในกรณีของสารละลายตัวอย่างที่มีการเติมซูโครสจะต้องผสมสารทั้งสองให้เข้ากันดีเสียก่อนที่จะใส่ลงในหลอดเตรียมตัวอย่าง
5. นำหลอดเตรียมตัวอย่างที่บรรจุน้ำปราศจากไอออนที่เย็นแล้วตั้งบนเครื่องกวน เปิดเครื่องกวนให้แห้งแม่เหล็กกวนน้ำจนเกิดลักษณะของ vortex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่อย ๆ เทสารลงไปให้กระจายตัวออกอย่างสม่ำเสมออยู่ ในระหว่างการเทจะต้องหมั่นปรับอัตราเร็วของเครื่องกวน ให้ถังแม่เหล็กสามารถกวนอยู่ในสารละลายตัวอย่างอยู่ตลอดเวลา และจะต้องเทให้หมดก่อนที่สารละลายจะมีความหนืดสูงซึ่งจนไม่สามารถกวนได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องมีการฝึกเทคนิคในการเตรียมสารให้มีความชำนาญมาก่อนล่วงหน้าแล้ว

7. นำสารละลายที่เตรียมได้มาตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Swom,1992) ก่อนนำไปวิเคราะห์ผล

### 3.4.2 K - คาราจีแนน



#### การเตรียมสารละลาย K - คาราจีแนน

1. นำ K - คาราจีแนนไปหาความชื้น ตามวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก 3
2. คำนวณหาน้ำหนัก K - คาราจีแนน , ซูโครส และน้ำปราศจากไอออนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก 3
3. ชั่งน้ำปราศจากไอออนใส่ลงในหลอดเตรียมตัวอย่างที่สะอาดและปราศจากไอออนตามน้ำหนักที่คำนวณไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ซัง K - คาราจีแนน ที่ความเข้มข้น 1,2 และ 3% และซูโครสที่ความเข้มข้น 0,10,20 และ 40% ตามน้ำหนักที่คำนวณไว้. ในกรณีของสารละลายตัวอย่างที่มีการเติมซูโครสจะต้องผสมสารให้เข้ากันดีก่อนที่จะใส่ลงในหลอดเตรียมตัวอย่าง

5. นำหลอดเตรียมตัวอย่างที่บรรจุน้ำปราศจากไอออนไปวางบน hot plate อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (Stanley,1990) เปิดเครื่องกวนให้แท่งแม่เหล็กกวนน้ำจนเกิดลักษณะของ vortex

6. ค่อย ๆ เทสารลงไปให้กระจายตัวออกอย่างสม่ำเสมอ ในระหว่างการเทจะต้องหมั่นปรับอัตราเร็วของเครื่องกวน ให้แท่งแม่เหล็กสามารถกวนอยู่ในสารละลายตัวอย่างอยู่ตลอดเวลา

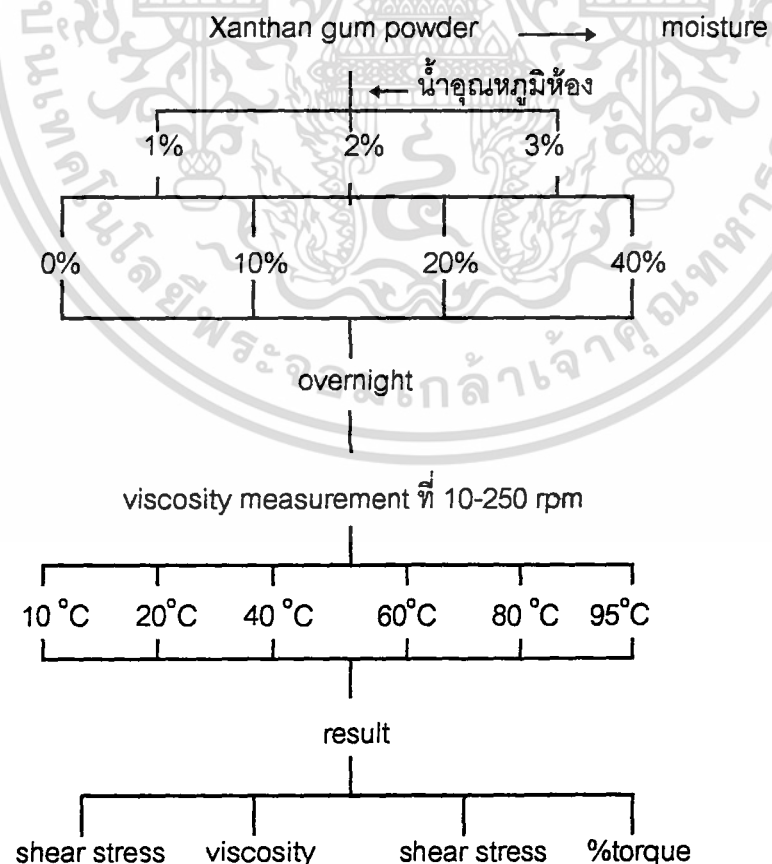
7. กวนจนกระทั่งสารละลายจนหมด

8. นำสารละลายที่เตรียมได้มาตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Sworn,1992) ก่อนนำไปวิเคราะห์ผล

### หมายเหตุ

ในการเตรียมสารละลาย K - คาราจีแนน ที่ความเข้มข้น 1 และ 2% อาจใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องก็สามารถละลายได้แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องอุ่นน้ำให้ร้อนก่อน

### 3.4.3 แชนแทนกัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเตรียมสารละลายแซนแทนกัม

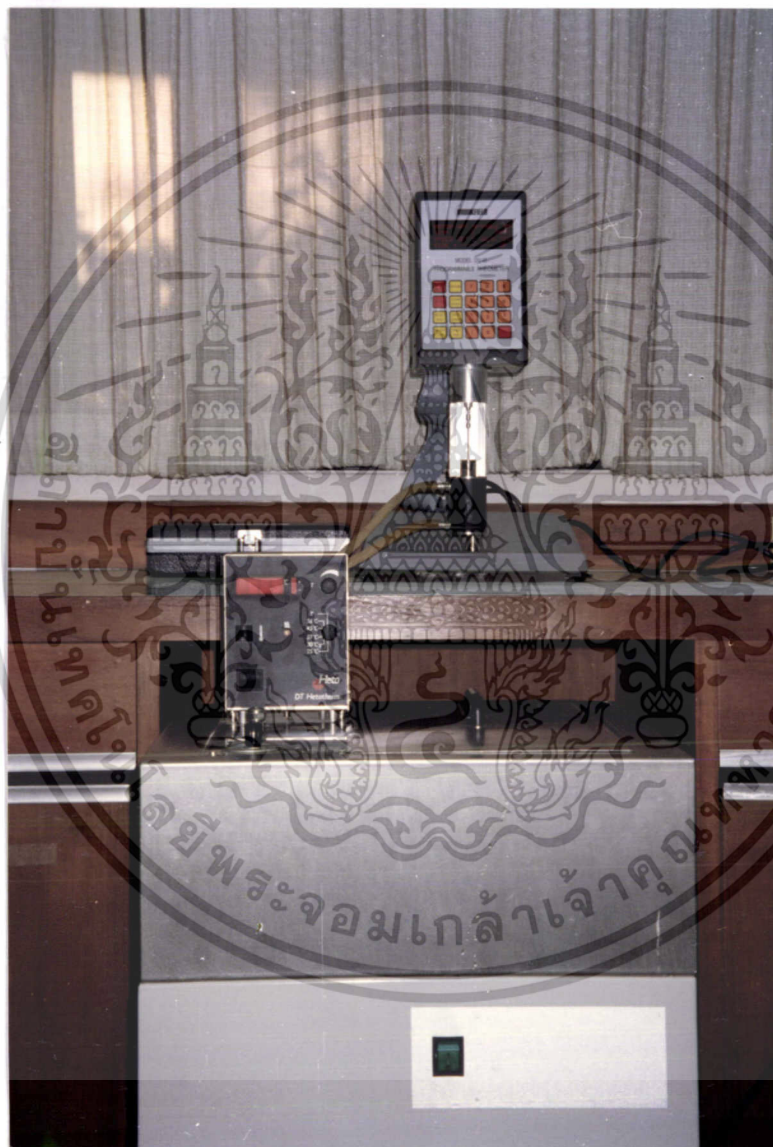
1. นำ แซนแทนกัมไปหาความชื้น ตามวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก3
2. คำนวณหาน้ำหนัก แซนแทนกัม , ซูโครส และน้ำปราศจากไอออนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก3
3. ชั่งน้ำปราศจากไอออนใส่ลงในหลอดเตรียมตัวอย่างที่สะอาดและปราศจากไอออนตามน้ำหนักที่คำนวณไว้
4. ชั่งแซนแทนกัมความเข้มข้น 1,2 และ 3% และซูโครสความเข้มข้น 0,10,20 และ 40%ตามน้ำหนักที่คำนวณไว้ ในกรณีของสารละลายตัวอย่างที่มีการเติมซูโครสจะต้องผสมสารทั้งสองให้เข้ากันดีก่อนที่จะใส่ลงในหลอดเตรียมตัวอย่าง
5. นำหลอดเตรียมตัวอย่างที่บรรจุน้ำปราศจากไอออนตั้งบนเครื่องกวน เปิดเครื่องกวนให้แห้งแม่เหล็กกวนน้ำจนเกิดลักษณะของ vortex
6. ค่อย ๆ เทสารลงไปให้กระจายตัวออกอย่างสม่ำเสมอ ในระหว่างการเทจะต้องหมั่นปรับอัตราเร็วของเครื่องกวน ให้แห้งแม่เหล็กสามารถกวนอยู่ในสารละลายตัวอย่างอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องมีการฝึกเทคนิคในการเตรียมสารให้มีความชำนาญมาก่อนล่วงหน้าแล้ว
7. นำสารละลายที่เตรียมได้มาตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Swom,1992) ก่อนนำไปวิเคราะห์ผล

### **3.5 การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield**

- 1) ตั้งอุณหภูมิของเครื่อง cooling bath ไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (ในกรณีของไซเดียมอัลจิเนตและแซนแทนกัม) และตั้งไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส (ในกรณีของ K - คาราจีแนน )
- 2) ต่อสายยางเข้ากับชุดควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง Brookfield เทสารละลายลงในถ้วยใส่สารตัวอย่างให้ถึงขีดที่กำหนด (ปริมาตรสารละลาย 16 มล.)
- 3) หยดน้ำมันพาราฟินเพื่อป้องกันน้ำระเหย โดยในกรณีของแซนแทนกัมที่ความเข้มข้น 2 และ 3% จะเริ่มหยดน้ำมันพาราฟินที่อุณหภูมิ 40°C เนื่องจากสารละลายจะมีความหนืดสูงมาก
- 4) เปิดน้ำให้ไหลเวียนรอบสารละลายตัวอย่าง ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิถึงจุดสมดุล (Equilibrium) ที่ต้องการ โดยทั่วไปที่แต่ละอุณหภูมิจะใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 1 ชั่วโมง และในการทดลองจะยอมให้มีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิได้  $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส
- 5) วัดความหนืดของสารละลายตัวอย่างที่ 250-10 RPM และบันทึกค่าความหนืด, shear stress, shear rate และ torque ที่แต่ละ RPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ทำการทดลองตามข้อ 1- 4 โดยในกรณีของโซเดียมอัลจิเนตและแซนแทนกัม จะทำที่อุณหภูมิ 20,40,60,80 และ 95 °C ตามลำดับ ส่วน K - คาราจีแนน จะทำที่อุณหภูมิ 80,60,40,20 และ 10 °C ตามลำดับ หรือจนกว่าจะเริ่มเกิดเจล



ภาพที่ 3.2 การติดตั้งเครื่อง Cooling bath เช้ากับเครื่อง Brookfield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การวิเคราะห์ผล

นำค่า Shear rate และ Viscosity ที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของระบบสารไบโอโพลิเมอร์กับน้ำที่มีต่อความหนืด
- 2) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืด
- 3) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นซูโครสที่มีต่อความหนืด

### 3.6 การวัดค่าโมดูลัสด้วยเครื่อง DMA

- 1) เตรียมสารละลาย 5%K - คาราจีแนน และ 5% K - คาราจีแนน + 20% ซูโครส
- 2) หลอมตัวอย่างด้วยเครื่อง hot plate และ stirrer โดยใช้อุณหภูมิ 60-70 °C
- 3) เทตัวอย่างที่หลอมแล้วลงใน cup ให้มีความสูง 1-3 mm. ซึ่ง cup ที่ใช้มีความสูง 5 mm. เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 mm.
- 4) เคลือบผิวด้านบนของตัวอย่างด้วยน้ำมันพาราฟิน
- 5) นำไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง DMA โดยใช้หัววัด (probe) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm.

### การวิเคราะห์ผล

- 1) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Storage Modulus ( $\text{Pa} \times 10^5$ ) กับ ความถี่ (Hz) ที่อุณหภูมิ 20 , 30 และ 40 °C
- 2) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Loss Modulus ( $\text{Pa} \times 10^5$ ) กับ ความถี่ (Hz) ที่อุณหภูมิ 20 , 30 และ 40 °C

## บทที่ 4

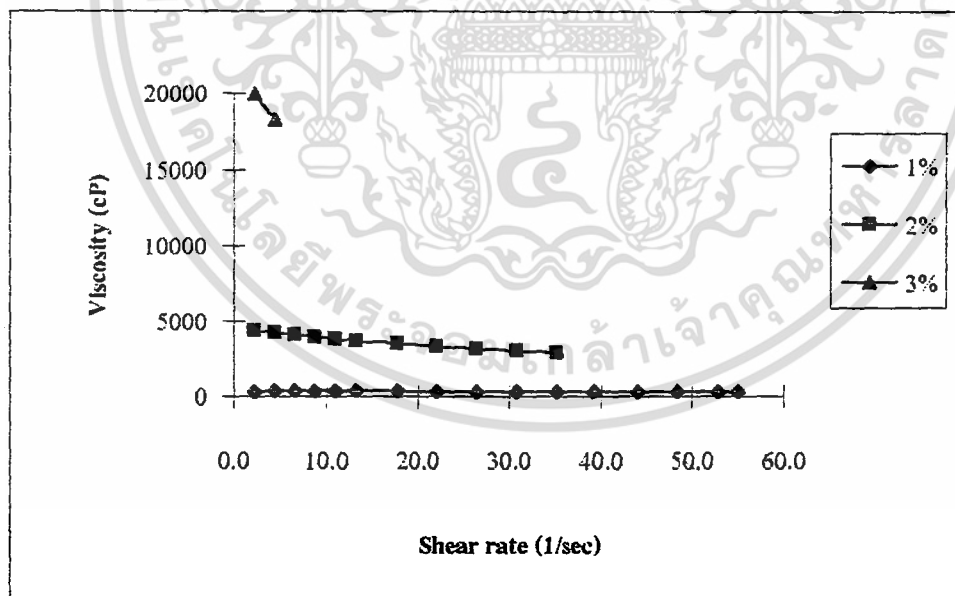
### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำ

##### 4.1.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำต่อความหนืดของระบบมาโครโมเลกุลกับน้ำ

จากภาพที่ 4.1 แสดงผลของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตต่อความหนืดของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำที่ Shear rate ต่าง ๆ กัน โดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต 1%, 2% และ 3% ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 1% โซเดียมอัลจิเนตมีค่าความหนืดต่ำที่สุดและที่ 2% มีความหนืดสูงขึ้น และที่ 3% จะมีค่าความหนืดสูงที่สุด และแตกต่างจากที่ 1% และ 2% มาก ความหนืดที่ 3% โซเดียมอัลจิเนตสูงมากจนไม่สามารถวัดความหนืดที่ Shear rate สูงๆ ได้ เนื่องจากเกินขอบเขตความสามารถที่เครื่องมือจะวัดได้

จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต จะมีผลให้ความหนืดของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Onsoyen, 1990



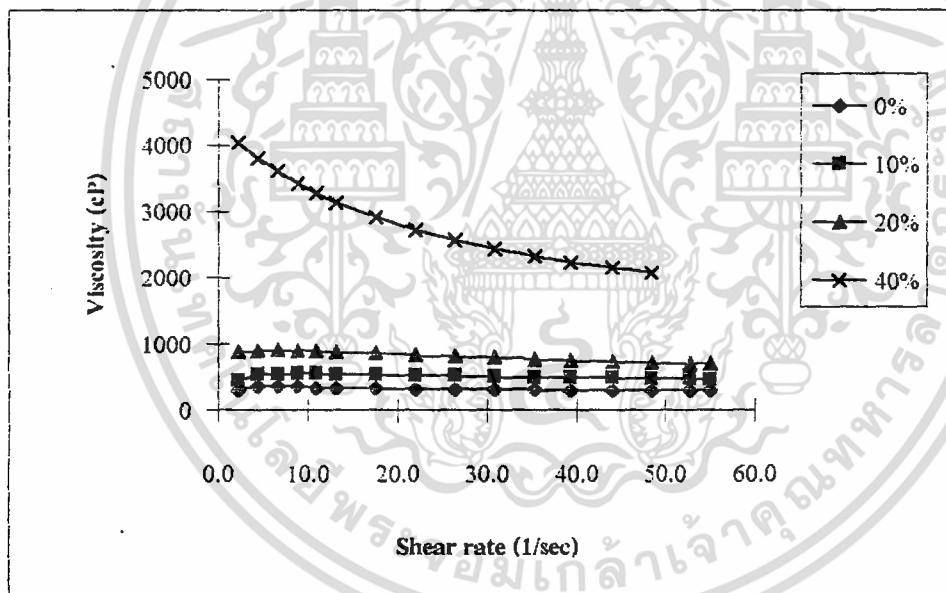
ภาพที่ 4.1 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตต่อความหนืดที่ Shear rate ต่างกันที่ 20°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

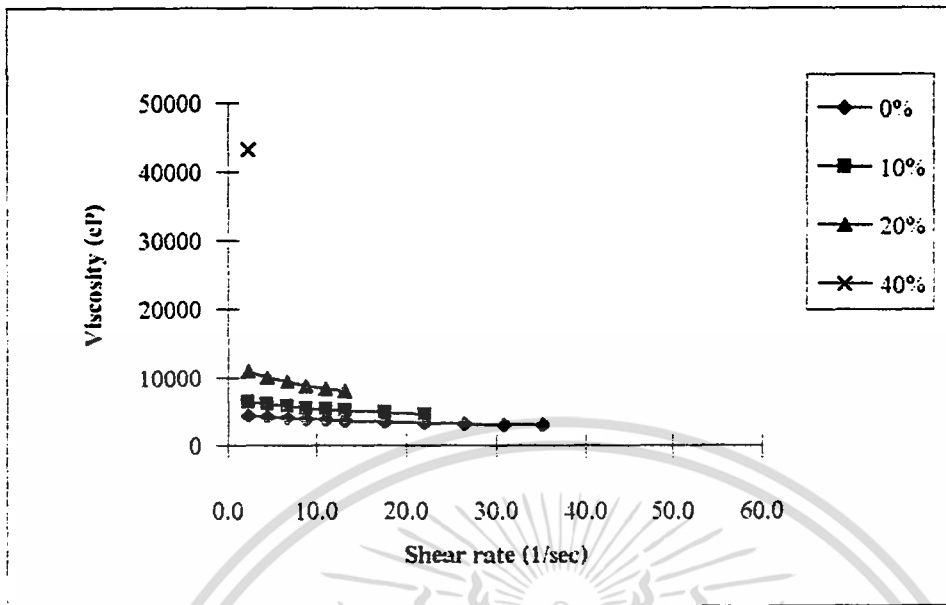
#### 4.1.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของซูโครสต่อระบบของโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำ

จากภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำ ที่ Shear rate ต่างๆ กัน โดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำที่ความเข้มข้นของซูโครส 0%, 10%, 20% และ 40% ณ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต 1%, 2% และ 3% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 0% ซูโครส มีความหนืดต่ำสุด ที่ 10%, 20% และ 40% จะมีความหนืดสูงขึ้นตามลำดับ แต่ที่ 40% ซูโครสมีความหนืดสูงมากแตกต่างจากที่ความเข้มข้นอื่นๆ อย่างชัดเจน

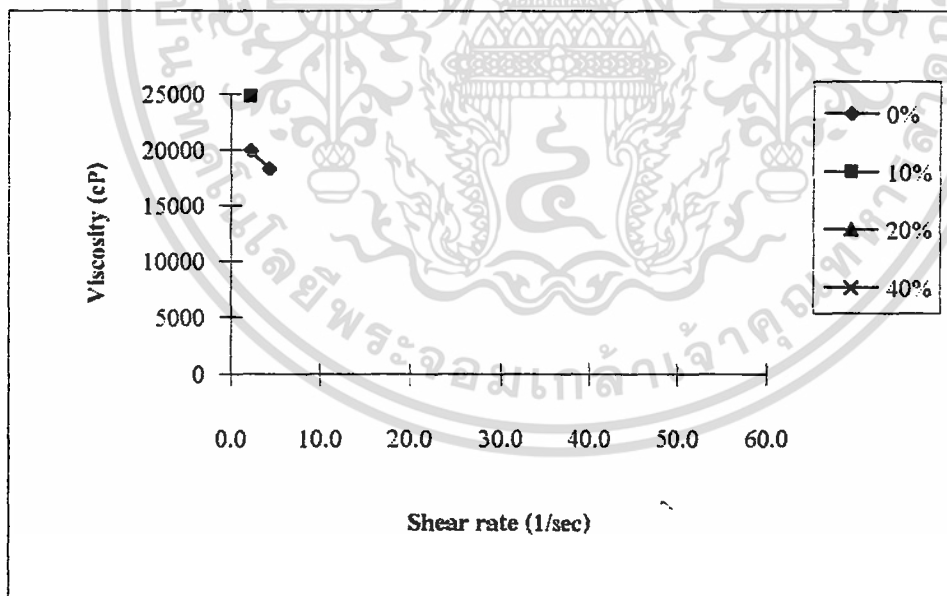
จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครสจะมีผลให้ความหนืดของระบบของโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยที่ 40% ซูโครส จะทำให้เกิดระบบที่มีความหนืดสูงมากแตกต่างจากแนวโน้มจากค่าความหนืดที่ 0%, 10%, และ 20% มาก เนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์แบบไม่เป็นเส้นตรง(Boume,1992)



ภาพที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 1% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20 °C



ภาพที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของโพลีเอมัลลิจีนต 2% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20 °C



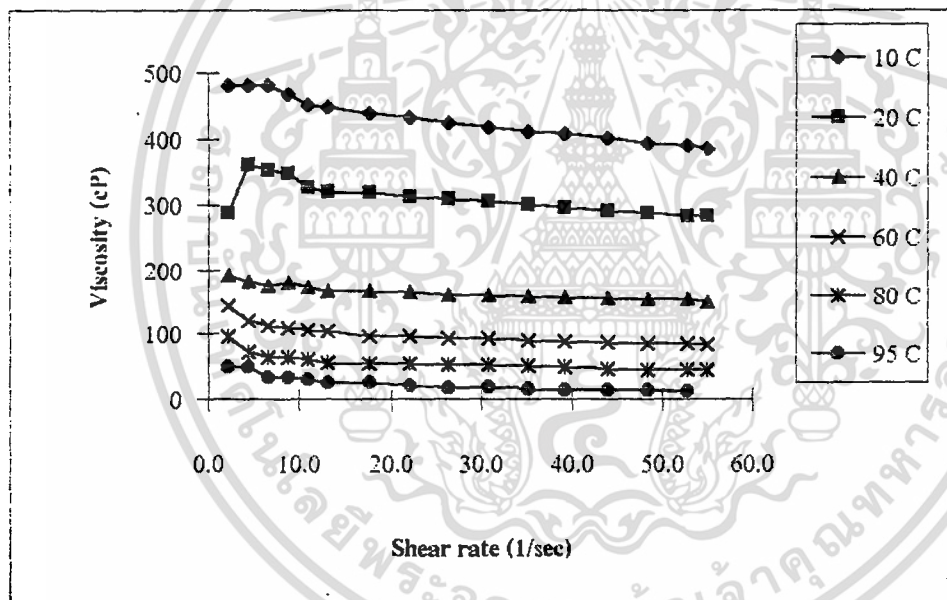
ภาพที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของโพลีเอมัลลิจีนต 3% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

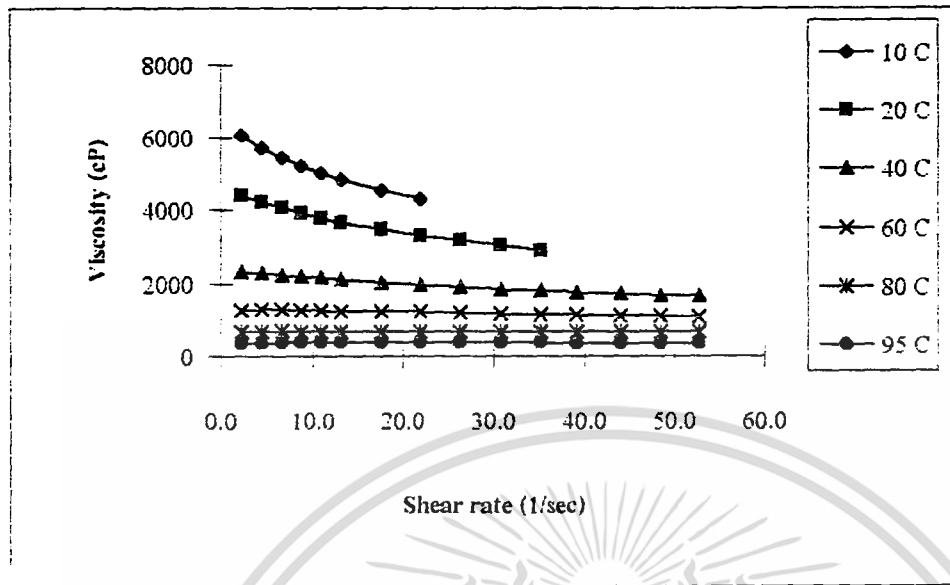
#### 4.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อระบบของโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำ

จากภาพที่ 4.5, 4.6, และ 4.7 แสดงผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำ ที่ Shear rate ต่างๆ กันโดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำ ที่อุณหภูมิ 10, 20, 40, 60, 80 และ 95 องศาเซลเซียส ณ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต 1%, 2% และ 3% พบว่าที่ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงที่สุด ที่อุณหภูมิ 20, 40, 60, 80 และ 95 องศาเซลเซียสมีความหนืดลดลงตามลำดับ ที่ 95 องศาเซลเซียสมีความหนืดต่ำที่สุด จากภาพที่ 4.5 พบว่าที่ Shear rate ต่ำกว่า 5 1/sec ค่าความหนืดที่อ่านได้จากเครื่องมือจะมีค่าไม่คงที่ ไม่อยู่หนึ่ง จึงทำให้ค่าความหนืดที่อ่านได้มีความคลาดเคลื่อนได้

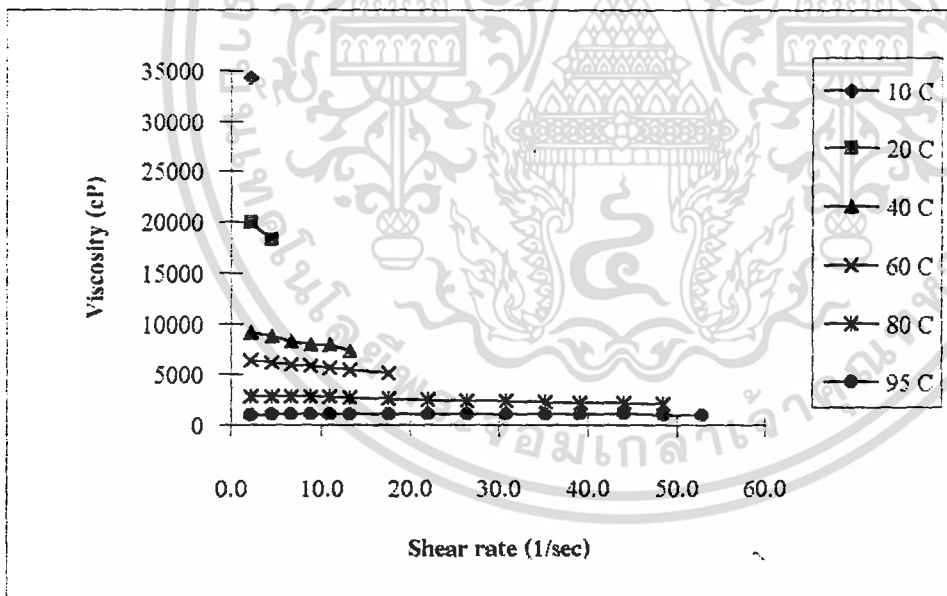
จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ให้กับระบบของโซเดียมอัลจิเนตกับน้ำเพิ่มมากขึ้น จะมีส่วนให้ความหนืดของระบบลดลง เนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิจึงมีส่วนให้ความหนืดของสารละลายอัลจิเนตลดลงเช่นเดียวกับสารโพลีแซคคาไรด์อื่นๆ (Sime, 1990)



ภาพที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของโซเดียมอัลจิเนต 1% ที่ Shear rate ต่างๆกัน



ภาพที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของไซเดียมอัลจิเนต 2% ที่ Shear rate ต่างๆกัน



ภาพที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของไซเดียมอัลจิเนต 3% ที่ Shear rate ต่างๆกัน

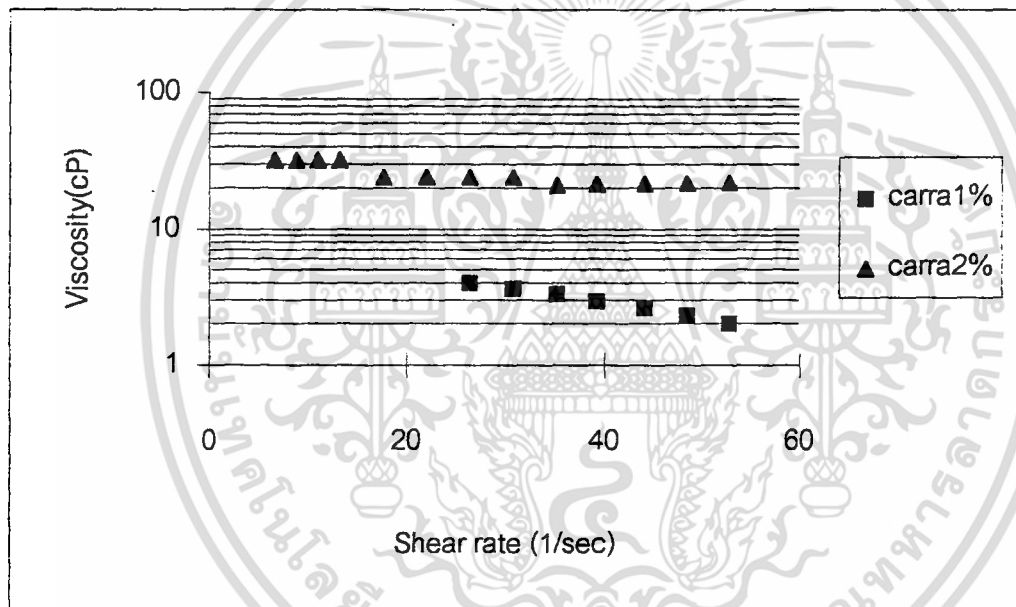
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ระบบK - คาราจีแนนกับน้ำ

### 4.2.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของระบบK - คาราจีแนนกับน้ำต่อระบบมาโครโมเลกุลกับน้ำ

จากภาพที่ 4.8 แสดงผลของความเข้มข้นของK - คาราจีแนน ต่อความหนืดของระบบK - คาราจีแนนกับน้ำที่ Shear rate ต่างๆ กัน โดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบK - คาราจีแนนกับน้ำ ที่ความเข้มข้นของ K - คาราจีแนน 1% และ 2% ณ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 1 % K - คาราจีแนนมีค่าความหนืดต่ำกว่าที่ 2%

จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของK - คาราจีแนน มีผลให้ความหนืดของระบบK - คาราจีแนน-น้ำ จะเพิ่มในลักษณะ Exponentially กับการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย (Gorge,1989)

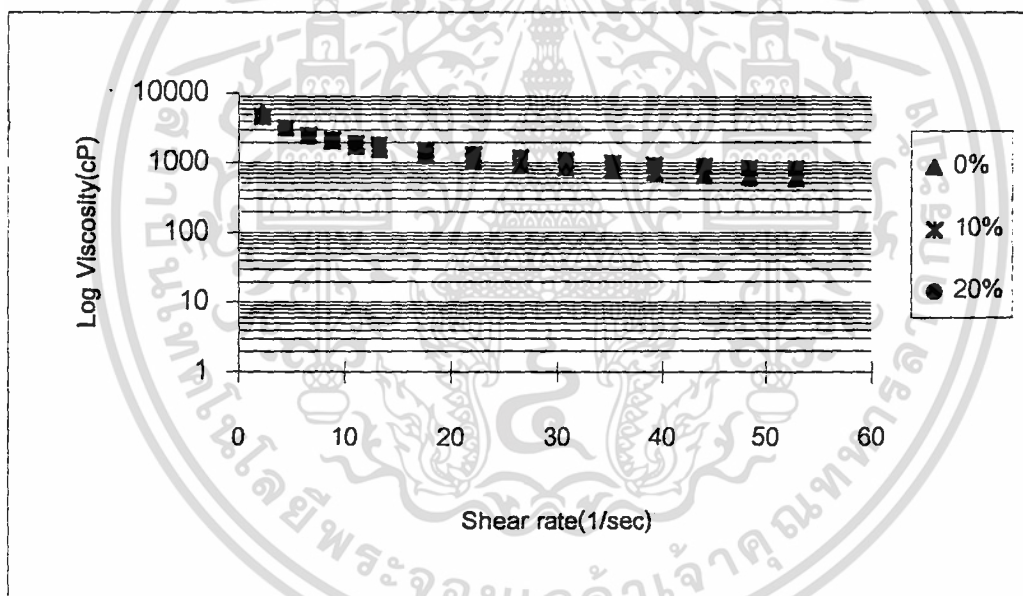


ภาพที่ 4.8 ผลของความเข้มข้นของK - คาราจีแนนต่อความหนืดที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 40 °C

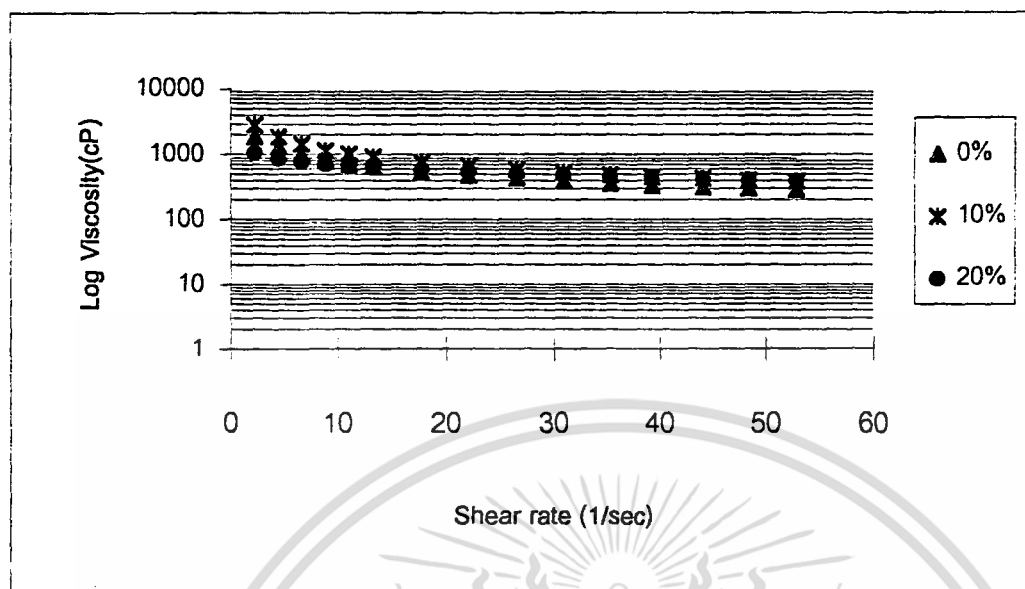
#### 4.2.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของซูโครสต่อระบบของK - คาราจีแนนกับน้ำ

จากภาพที่ 4.9, 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของระบบK - คาราจีแนนน้ำ ที่ Shear rate ต่างๆ กัน โดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบโซเดียมอัลจีเนตกับน้ำที่ความเข้มข้นของซูโครส 0%, 10%, 20% และ 40% ณ ที่ความเข้มข้นของK - คาราจีแนน 1% ที่อุณหภูมิ 10,20 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 0% ซูโครส มีความหนืดต่ำสุด ที่ 10%, 20% และ 40% จะมีความหนืดสูงขึ้นตามลำดับ แต่ที่ 40% ซูโครสมีความหนืดสูงมากแตกต่างจากที่ความเข้มข้นอื่นๆ อย่างชัดเจน

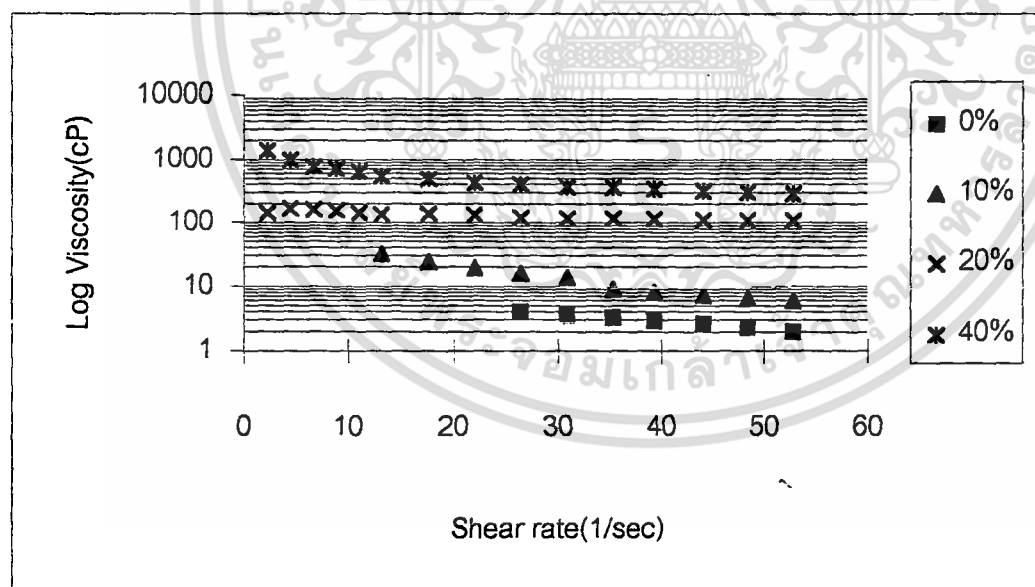
จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครสจะมีผลให้ความหนืดของระบบของK - คาราจีแนนน้ำเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มซูโครสในสารละลายจะเป็นการเพิ่มจำนวนพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับซูโครสซึ่งจะทำให้เกิด interaction ระหว่างโพลีแซคคาไรด์ (Fizman และ Duran 1989)



ภาพที่ 4.9 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของK - คาราจีแนน 1% ที่ อุณหภูมิ 10 °C ที่ Shear rate ต่างๆ กัน

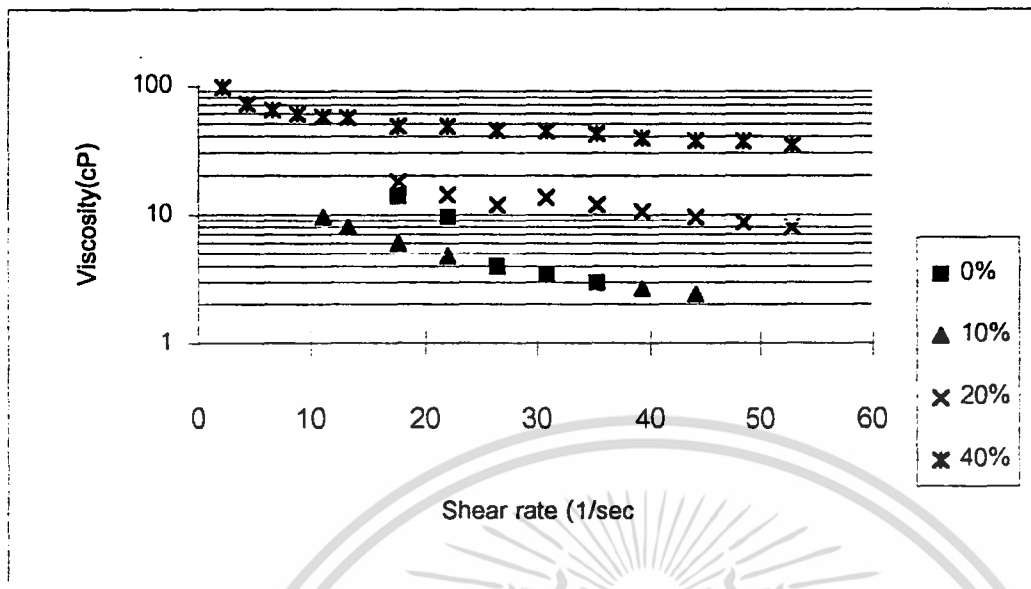


ภาพที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของK - คาราจีแนน 1% ที่ 20 °C ที่ Shear rate ต่างๆ กัน



ภาพที่ 4.11 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของK - คาราจีแนน 1% ที่ 40 °C ที่ Shear rate ต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

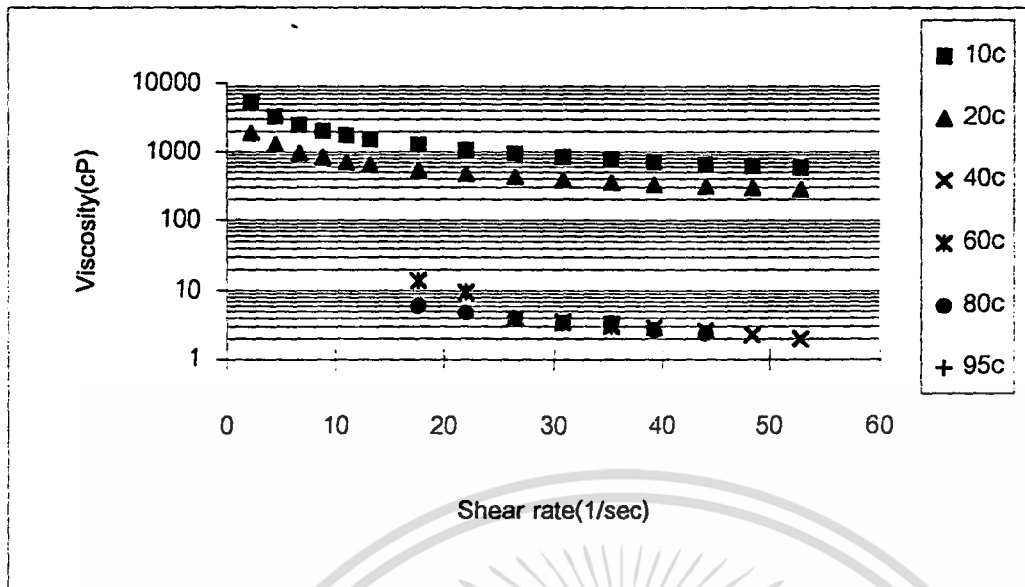


ภาพที่ 4.12 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของ K - คาราจีแนน 1% ที่ 60 °C ที่ Shear rate ต่างๆกัน

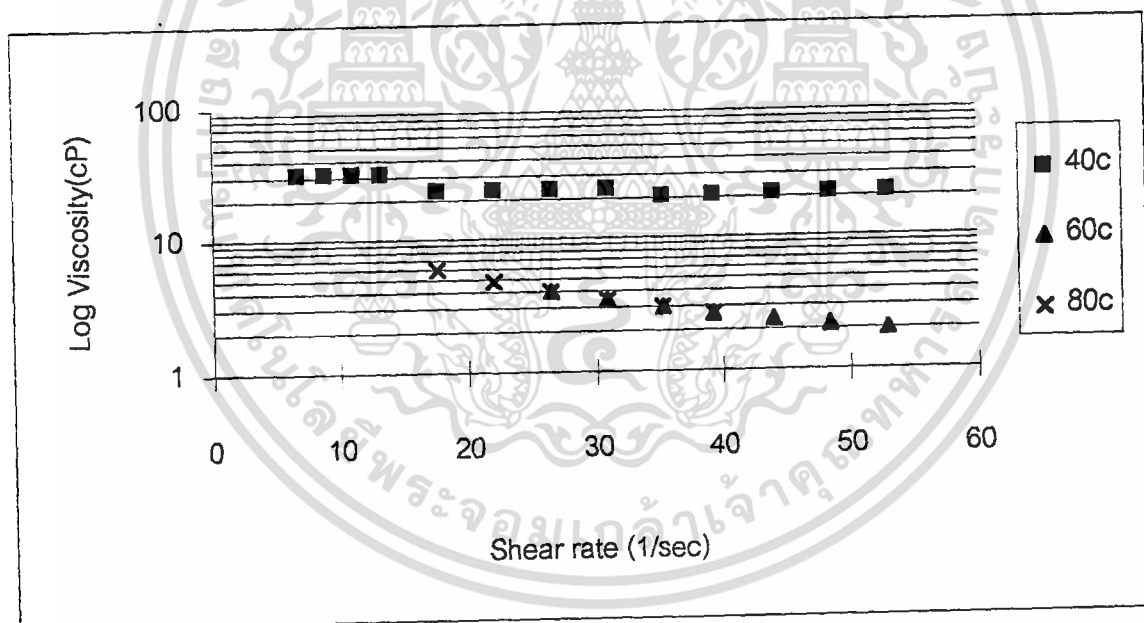
#### 4.2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อระบบของ K - คาราจีแนนกับน้ำ

จากภาพที่ 4.13, 4.14, และ 4.15 แสดงผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของระบบ K - คาราจีแนนกับน้ำ ที่ Shear rate ต่างๆ กันโดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบ K - คาราจีแนนกับน้ำ ที่อุณหภูมิ 10, 20, 40, 60, 80 และ 95 องศาเซลเซียส ณ ที่ความเข้มข้นของ K - คาราจีแนน 1%, 2% และ 3 % พบว่าที่ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงที่สุด ที่อุณหภูมิ 20, 40, 60, 80 และ 95 องศาเซลเซียสมีความหนืดลดลงตามลำดับ ที่ 95 องศาเซลเซียส มีความหนืดต่ำที่สุด

จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ให้กับระบบของ K - คาราจีแนนกับน้ำเพิ่มมากขึ้น จะมีผลให้ความหนืดของระบบลดลง ความหนืดจะลดลงแบบ Exponentially กับการเพิ่มของอุณหภูมิ (Stanley 1990)

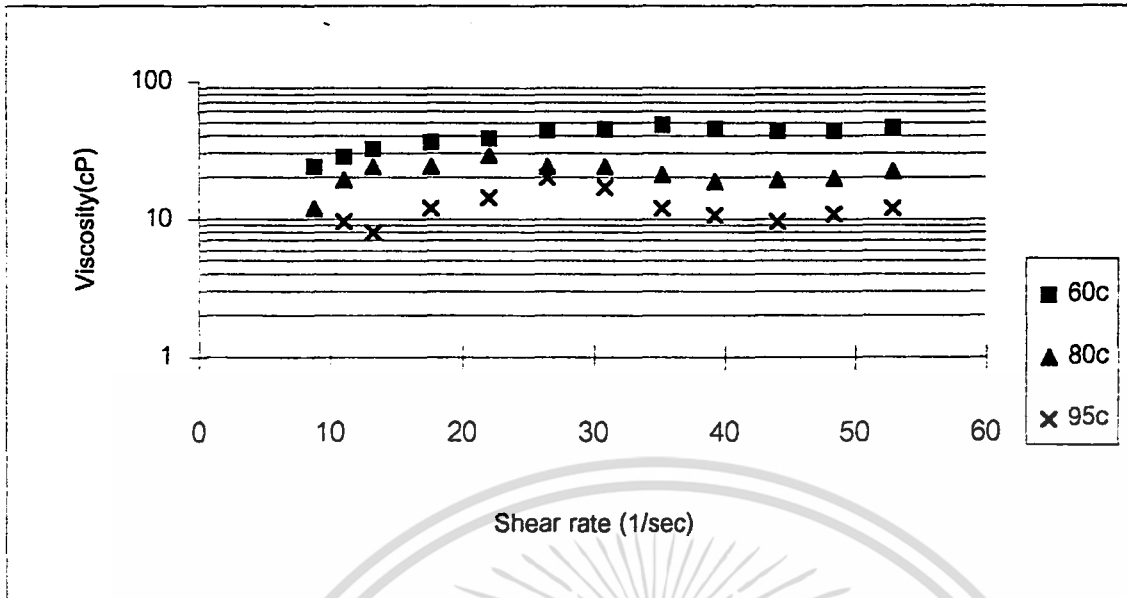


ภาพที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของK - คาราจีแนน 1% ที่ Shear rate ต่างๆกัน



ภาพที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของK - คาราจีแนน 2% ที่ Shear rate ต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



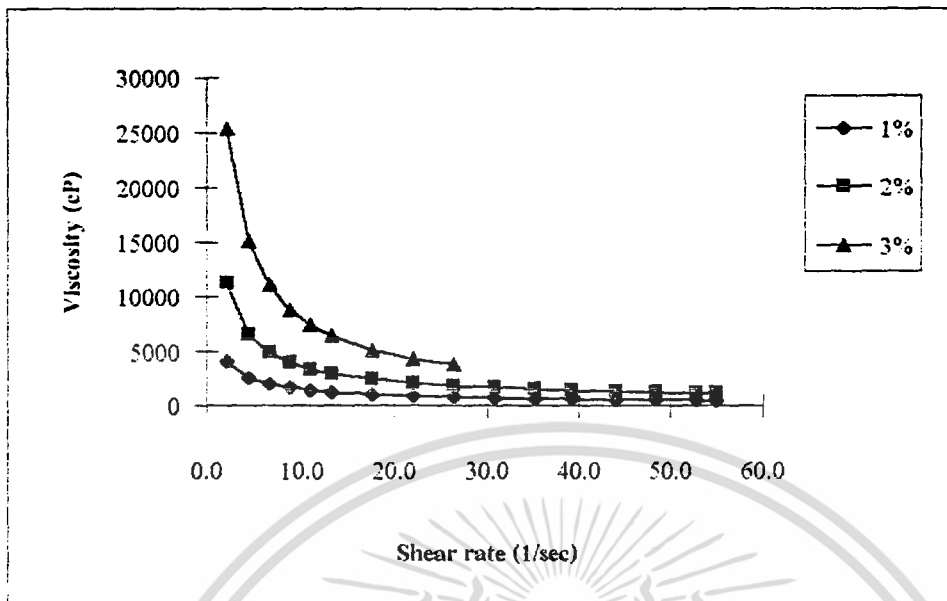
ภาพที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของK - คาราจีแนน 3% ที่ Shear rate ต่างๆกัน

#### 4.3. ระบบแซนแทนกัมกับน้ำ

##### 4.3.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของ แซนแทนกัมต่อระบบของแซนแทนกัมกับน้ำ

จากภาพที่ 4.16 แสดงผลของความเข้มข้นของแซนแทนกัมต่อความหนืดของระบบแซนแทนกัมกับน้ำที่ Shear rate ต่างๆ กัน โดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบแซนแทนกัมกับน้ำ ที่ความเข้มข้นของแซนแทนกัม 1%, 2% และ 3 % ณ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 1 % แซนแทนกัมมีค่าความหนืดต่ำที่สุด ที่ 2% มีความหนืดสูงขึ้นไป และที่ 3% จะมีความหนืดสูงที่สุด

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัม มีผลให้ความหนืดของระบบแซนแทนกัมกับน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารละลายแซนแทนกัมมีความหนืดสูงขึ้นไปเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้น (ดังภาพที่ 2.24)(Urlacher และ Dalbe,1992)

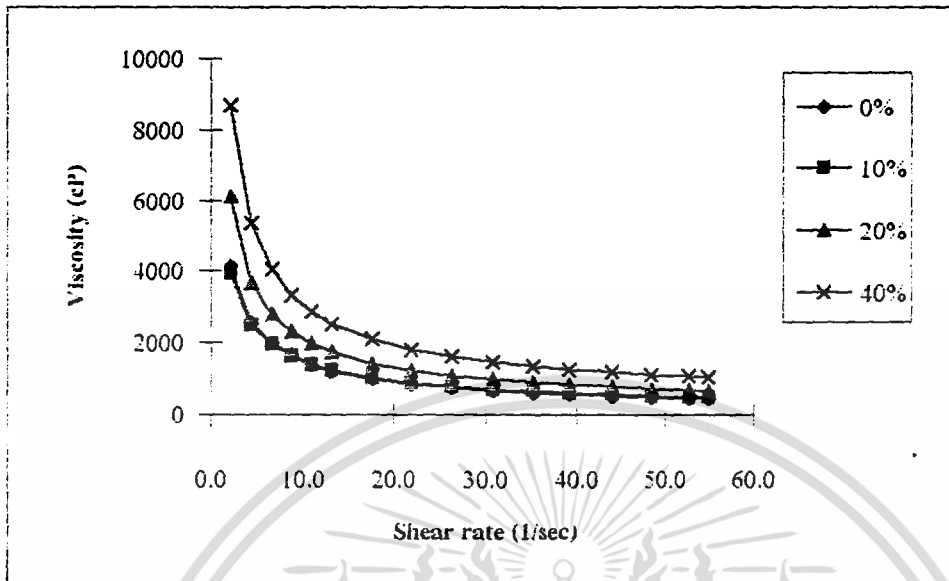


ภาพที่ 4.16 ผลของความเข้มข้นของแซนแทนกัมต่อความหนืดที่ Shear rate ต่างๆ กัน ที่ 20°C

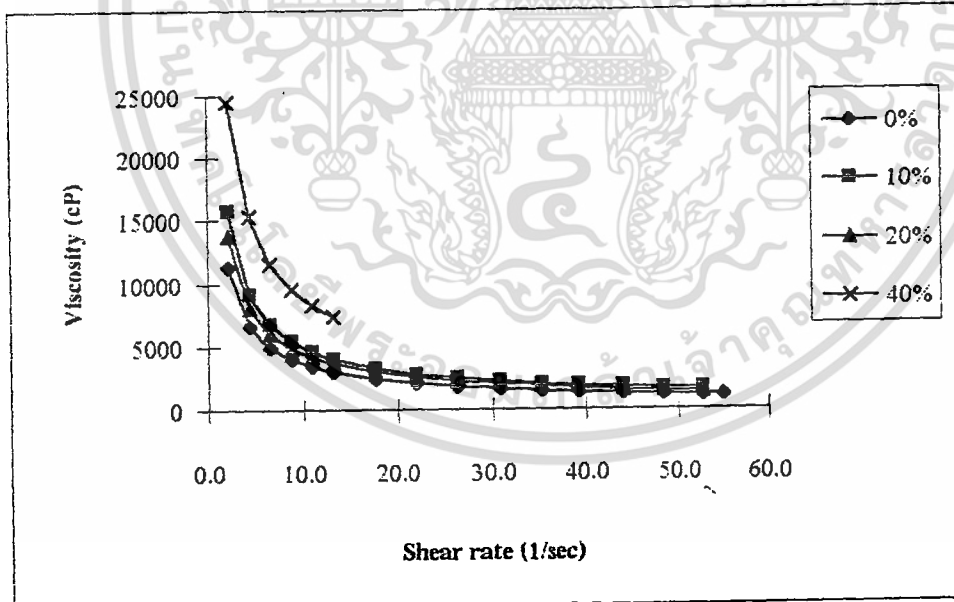
#### 4.3.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของซูโครสต่อระบบของแซนแทนกัมกับน้ำ

จากภาพที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 แสดงผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของระบบแซนแทนกัมกับน้ำที่ Shear rate ต่างๆ กัน โดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบแซนแทนกัมกับน้ำ ที่ความเข้มข้นของซูโครส 0%, 10%, 20% และ 40% ณ ที่ความเข้มข้นของแซนแทนกัม 1%, 2% และ 3% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 0% ซูโครส มีความหนืดต่ำสุด ที่ 10%, 20% และ 40% จะมีความหนืดสูงขึ้นตามลำดับ

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครส มีผลให้ความหนืดของระบบแซนแทนกัมกับน้ำเพิ่มมากขึ้นเป็นไปเนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์แบบไม่เป็นเส้นตรง(Bourne,1992)

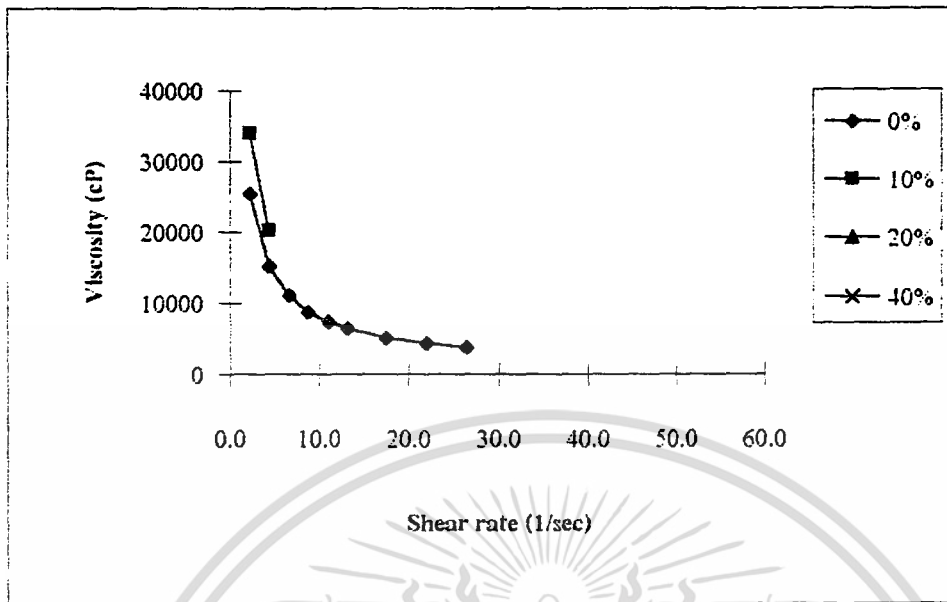


ภาพที่ 4.17 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของแชนแทน 1% ที่ Shear rate ต่างๆ กัน ที่ 20°C



ภาพที่ 4.18 ผลของความเข้มข้นของซูโครสต่อความหนืดของแชนแทน 2% ที่ Shear rate ต่างๆ กัน ที่ 20°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



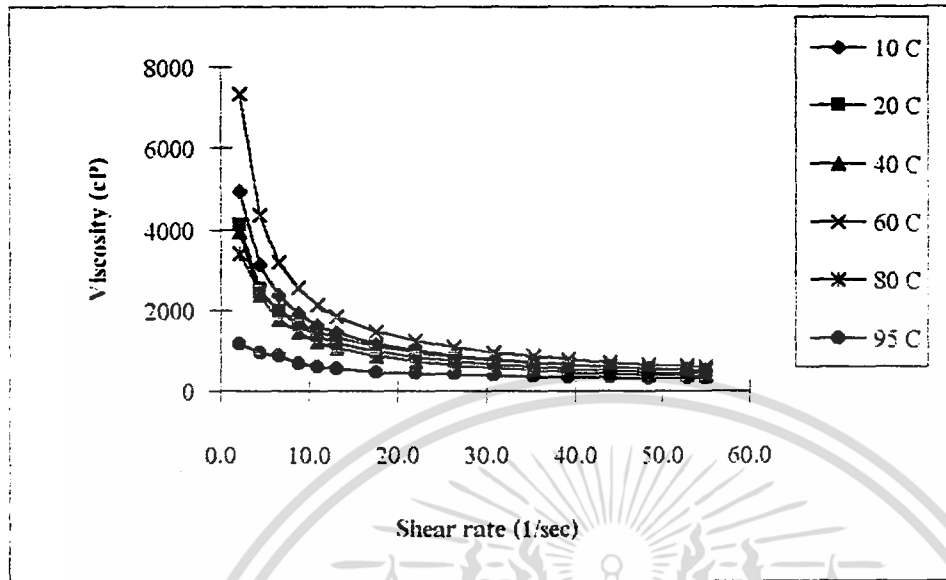
ภาพที่ 4.19 ผลของความเข้มข้นซูโครสต่อความหนืดของแซนแทน 3% ที่ Shear rate ต่างๆกัน ที่ 20°C

#### 4.3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อระบบของแซนแทนกัมกับน้ำ

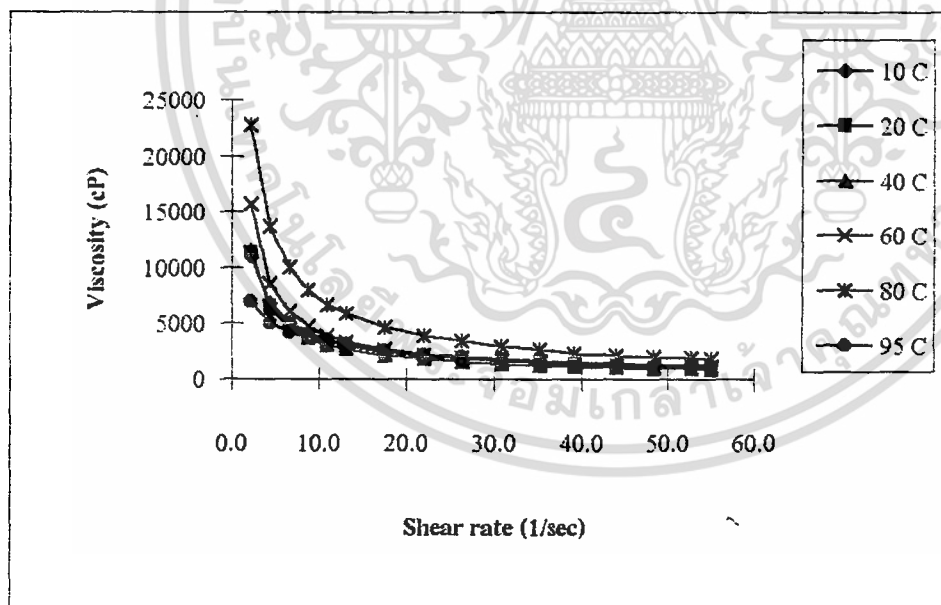
จากภาพที่ 4.20, 4.21 และ 4.22 แสดงผลของอุณหภูมิต่อระบบของแซนแทนกัมกับน้ำที่ Shear rate ต่างๆกัน โดยเปรียบเทียบความหนืดของระบบแซนแทนกัมกับน้ำที่อุณหภูมิ 10, 20, 40, 60, 80 และ 95 องศาเซลเซียส ณ ที่ความเข้มข้นของแซนแทนกัม 1%, 2% และ 3% พบว่าที่ อุณหภูมิต่าง ๆ มีความหนืดไม่ต่างกันมากนัก และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดลดลง แต่ที่ 60 องศาเซลเซียส ความหนืดกลับเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปความหนืดก็จะลดลงอีกเล็กน้อย

จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ให้กับระบบของแซนแทนกัมกับน้ำเพิ่มมากขึ้น จะมีผลให้ความหนืดของระบบลดลง แต่ที่ 60 องศาเซลเซียส ความหนืดกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างคอนฟอร์มเมชัน จาก เกาะกันเป็นเกลียว (15°C) เป็นขดคล้ายตัว (70°C) ทำให้มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเพิ่มขึ้น ความหนืดจึงสูงขึ้น (Graham, 1977; Morris, 1994; Morris และคณะ, 1977) และจากรายงานของ Morris, 1977 กล่าวว่าที่อัตราแรงเฉือนสูงๆ (571 1/sec) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ความหนืดจะลดลง แต่ในช่วง 60- 80 องศาเซลเซียส ความหนืดกลับเพิ่มขึ้น และลดลงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

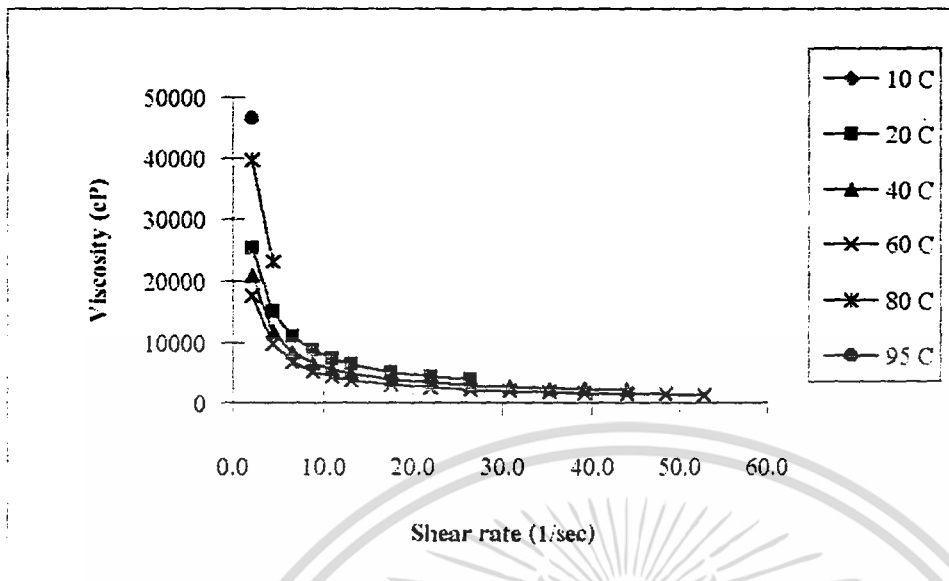


ภาพที่ 4.20 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของแซนแทนกัม 1% ที่ Shear rate ต่างๆกัน



ภาพที่ 4.21 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของแซนแทนกัม 2% ที่ Shear rate ต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.22 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของแชนแทนกัม 3% ที่ Shear rate ต่างๆกัน

#### 4.4 ผลการทดลอง DMA

จากภาพที่ 4.23 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง shear storage modulus กับความถี่ที่ใช้วัดระบบมาโครโมเลกุล K-carrageenan 5% ที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40°C พบว่าค่า shear storage modulus ที่อุณหภูมิ 30°C มีค่ามากที่สุด 40°C มีค่ารองลงมา และ 20°C มีค่าน้อยที่สุด จากกราฟภาพที่ 4.24 กราฟระหว่าง shear loss modulus กับความถี่ที่ใช้วัดระบบมาโครโมเลกุล K-carrageenan 5% จะมีค่า shear loss modulus ที่ 30°C มากที่สุด ที่ 20°C มีค่ารองลงมา และที่ 40°C มีค่า shear loss modulus น้อยที่สุด

จากภาพที่ 4.25 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง shear storage modulus กับความถี่ที่ใช้วัดระบบมาโครโมเลกุล K-carrageenan + 20% ซูโครส ที่อุณหภูมิ 20 และ 30°C พบว่าค่า shear storage modulus ที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าน้อยกว่าที่ 20°C นอกจากนั้นภาพที่ 4.26 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง shear loss modulus กับความถี่ที่ใช้วัด 5% carrageenan จะมีค่า shear loss modulus ที่ 30°C มากกว่าที่ 20°C เนื่องจากว่าค่า shear modulus มีค่าเท่ากับ แรง(N)ต่อพื้นที่(m<sup>2</sup>)ที่สวนด้วยขนาดของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่อขนาดของรูปร่างเดิม(cm) จะแสดงคุณสมบัติของเจลในด้านของความแข็งแรงทางกลของเจล

Roesen (1992) กล่าวว่าเจลของ K - คาราจีแนนนั้นเปราะ แข็งแรง และมีการสูญเสียน้ำได้ง่าย เจล K - คาราจีแนนมันถูกทำลายทางกลแต่ยังคงสภาพโครงสร้างภายในของเจลอยู่จากการที่ค่า shear modulus เพิ่มขึ้นในช่วงแรกๆของความถี่ เนื่องมาจากการสูญเสียน้ำที่ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

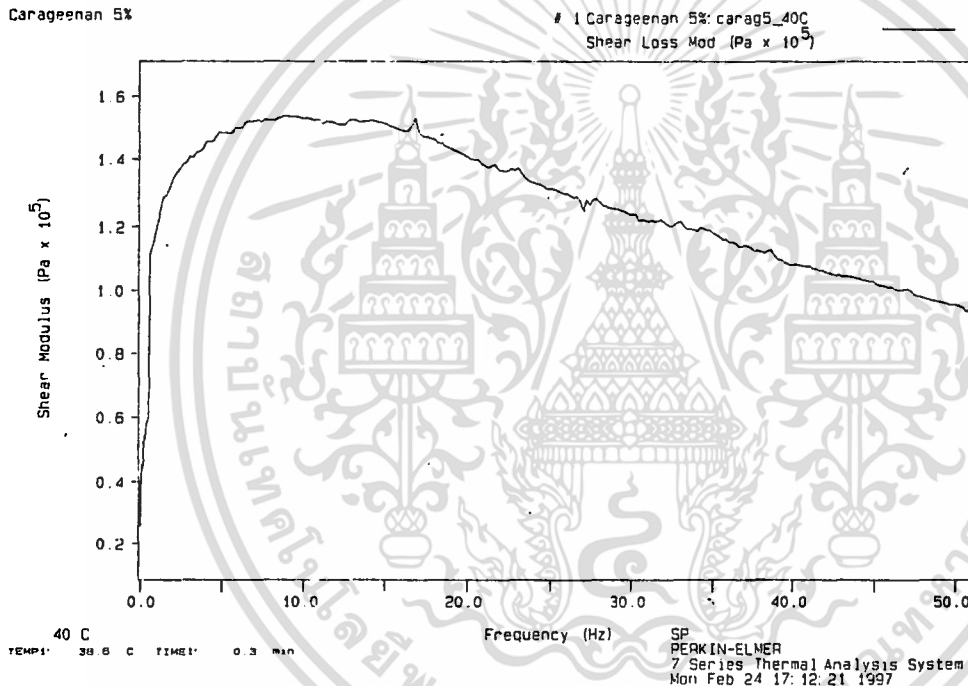
ของเจล K - คาราจีแนน(ความสูงของเจลลดลงมาก) แต่โครงสร้างของเจลยังไม่ถูกทำลายทำให้เจลแข็งแรงขึ้นและเมื่อที่ความถี่น้อยกว่า 10 Hz ค่าของ shear modulus การเสียน้ำของเจลลดลง(ความสูงของเจลลดลงน้อยมาก) ค่า shear modulus จะเป็นไปตามสมการ(Macosko, 1990)

$$|\eta| = 1/\omega|G'|$$

$$|\eta|\omega = |G'|$$

เมื่อค่าความถี่  $\omega$  ลดลงค่า  $G'$  ก็จะลดลงด้วย เป็นผลทำให้เมื่อแปลงเป็นค่า shear modulus ค่าของ shear modulus จะเพิ่มขึ้นด้วย

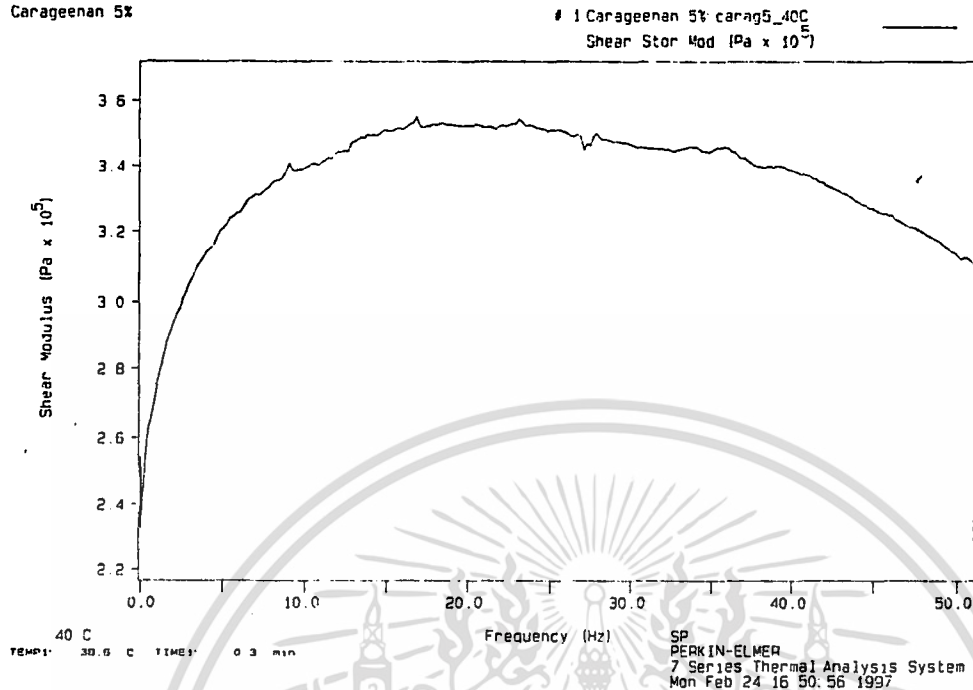
Curve 1: DMA Frequency Scan in Parallel Plate  
File info: carag5\_40C Mon Feb 24 16:10:33 1997  
Dynamic Stress: 9.00e+03Pa Static Stress: 1.00e+04Pa  
Carageenan 5%



ภาพที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear loss modulus กับ ความถี่ ที่อุณหภูมิ 40°C 5%  
K - คาราจีแนน

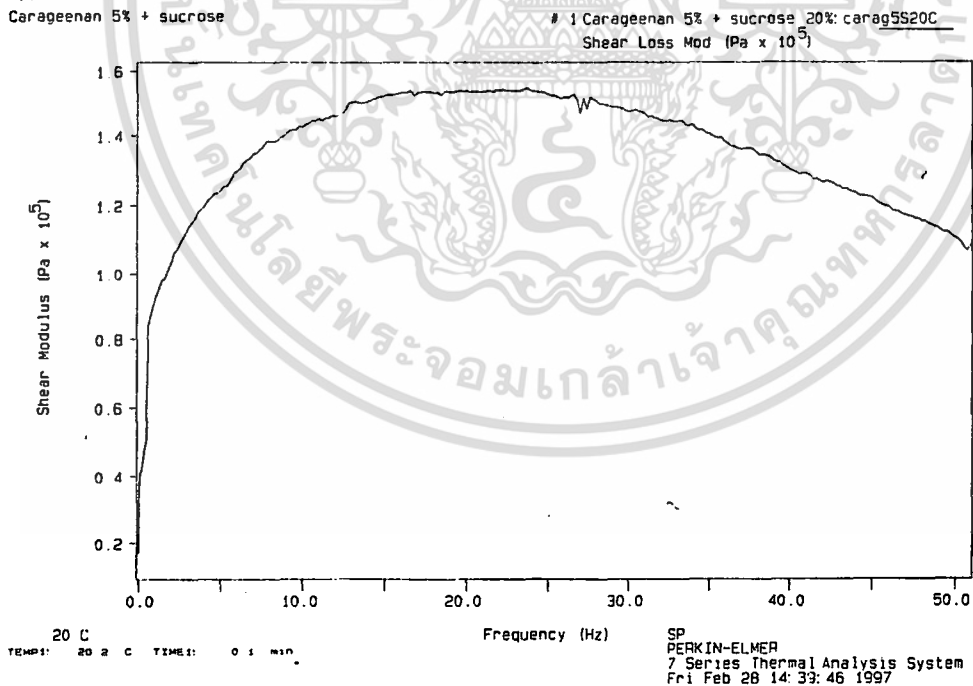
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curve 1: DMA Frequency Scan in Parallel Plate  
 File info: carag5\_40C Mon Feb 24 16: 10: 33 1997  
 Dynamic Stress: 9.00e+03Pa Static Stress: 1.00e+04Pa  
 Carageenan 5%



ภาพที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear storage modulus กับ ความถี่ ที่ 40°C 5% K - คาราจีแนน

Curve 1: DMA Frequency Scan in Parallel Plate  
 File info: carag5520C Fri Feb 28 12: 10: 56 1997  
 Dynamic Stress: 9.00e+03Pa Static Stress: 1.00e+04Pa  
 Carageenan 5% + sucrose

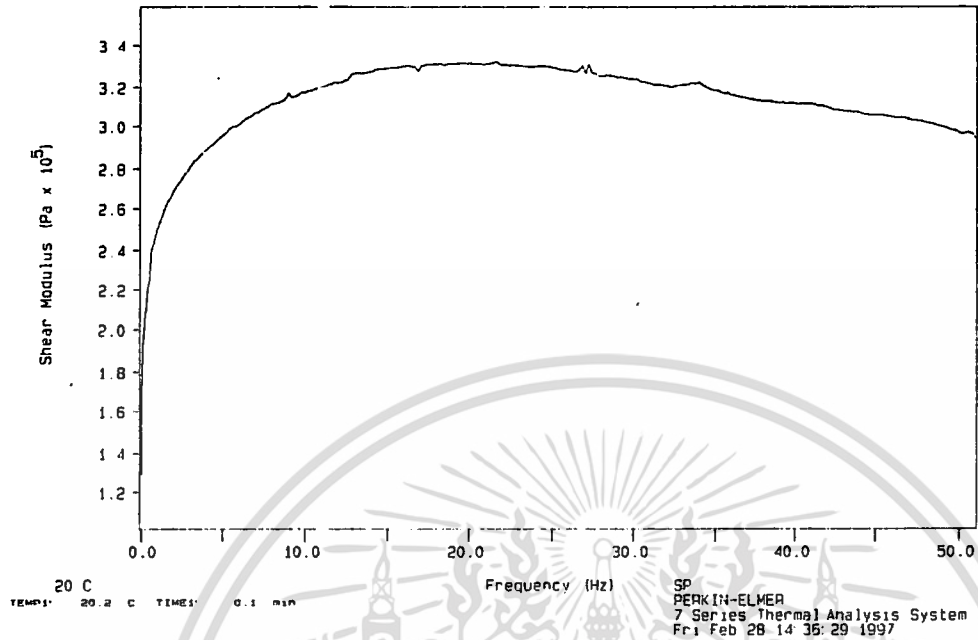


ภาพที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear loss modulus กับ ความถี่ ที่อุณหภูมิ 20°C 5%  
 K - คาราจีแนน+20% ซูโครส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curve 1: DMA Frequency Scan in Parallel Plate  
 File info: carag5S20C Fri Feb 28 12:10:55 1997  
 Dynamic Stress: 9.00e+03Pa Static Stress: 1.00e+04Pa  
 Carageenan 5% + sucrose

# 1 Carageenan 5% + sucrose 20%: carag5S20C  
 Shear Stor Mod (Pa x 10<sup>5</sup>)



ภาพที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear storage modulus กับ ความถี่ ที่อุณหภูมิ 20°C  
 5% K - คาราจีแนน+20% ซูโครส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์ 3 ชนิดคือ โขเดียมอัลจีเนต K - คาราจีแนน และแซนแทนกัม พบว่า

1. ในระบบของสารละลายไบโอโพลีเมอร์ สารละลายให้ความหนืดมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารไบโอโพลีเมอร์และความเข้มข้นของซูโครสเพิ่มขึ้น
2. ความหนืดของระบบสารละลายไบโอโพลีเมอร์จะลดลงเมื่อลดลงเมื่ออุณหภูมิสูง แต่ในกรณีของแซนแทนกัมกับน้ำพบว่าความหนืดกลับเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแซนแทนกัม

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการทดลองใช้หัววัดชนิด LV-25 ซึ่งสามารถวัดความหนืดในช่วงหนึ่ง การศึกษาต่อไปจึงควรใช้หัววัดชนิด Cone and plate viscometer ที่วัดความหนืดที่สูงขึ้นได้
2. ควรมีการศึกษาผลของฟองอากาศต่อความหนืดของสารละลาย เนื่องจากฟองอากาศอาจมีผลต่อความหนืดที่วัดได้

## เอกสารอ้างอิง

- Anon., Xanthan gum, 1972. *Food Chemicals Codex*, 2nd ed., National Academy of Science, Washington : 856-857.
- Atkins, E. D. T., Mackie, W. & Smolko, E. E. 1970. Crystalline structure of alginic acids". *Nature (London)* 225 : 626.
- Atkins, E. D. T., Mackie, W., Parker, K. D. & Smolko, E. E. 1971. Crystalline structures of poly-D-mannuronic and poly-L-guluronic acids. *J. Polymer Sci., Part B: Polymer Lett.* 9 : 311.
- Bourne, M.C. 1992. *Food Texture & Viscosity : Concept & Measurement*. ACADEMIC PRESS :199-246
- Charalambous, G. 1989. *Food Emulsifiers*. Elsevier Applied Science. George Doxastakis.
- Christopher, W. Macosko. 1994. *Rheology Principles, Measurement and Application*. VCH Publishers. Inc. : 122-124.
- Cottrell, L. W. and Kovacs, P. 1977. *Food Colloids*. Graham, D. H. Ed. The Avi Publishing Company Inc. USA : 438-459.
- Cottrell, I. W. And Kovacs, P. 1980. *Handbook of Water - Soluble Gums and Resins*. R.L. Davidson, ed., Mc-Graw-Hill, New York.
- Dalbe, B. 1992. "Interactions between Xanthan gum and konjac mannan". *Gums and Stabilizers for the Food Industry*, Vol. 6, G.O. Phillips, D.J. Wedlock and P.A. Williams, eds, Oxford University Press, Oxford : 201-208.
- David, J. Pettitt. 1982. "Xanthan gum". *Food Hydrocolloids Volume I*. CRC Press, Inc, New York : 127.
- Deman, J.M. eds. 1979. *Rheology and texture in food quality*. The Avi Publishing Company, Inc. USA.
- Diego, S. 1975. *Xanthan Gum*. 2<sup>nd</sup> ed. Kelco - AIL Ltd.
- Donnan, F. G. & Rose, R. C. 1950. *Can. J. Res.*, 28 : 105.
- Edlin, R. L. 1967. "Algin products in bakery foods". *Baker's Dig.* 41, No. 6 : 49-51.
- Ellis, P. E. 1967. *Process for manufacture of chocolate water - icings*. U.S. Pat. 3,332,784.
- Fernandes, P.B., Goncalves, M.P. and Doublier, J.L. 1992. "Rheological behavior

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and sol-gel transition of galactomannan/kappa-carrageenan blends". *Gums and Stabilisers for the Food Industry* 6. Oxford University Press. New York : 181-189.

Fiszman, S. M. and Duran, L. 1989. "Mechanical properties of kappa carrageenan-locust bean gum mixed gels with added sucrose". *Food Hydrocolloid*.3(3) : 209-216.

Gibsen, K. F. 1959. *Algin gel composition and method*. U.S. Pat. 2 : 918,375.

Gibsen, K.F., and Rothe, L.B.1955. "Algin : Versatile food improve". *Food Eng.* 27(10) : 87-89.

Glicksman, M. 1962. *Freezable gels*. U.S. Pat. 3,060,032.

Glicksman, M. 1969. *Gum Technology in the Food Industry*. Academic Press, New York.

Goodman, C. 1935. "Technical control of ice cream with sodium alginate". *Ice Cream Rev.*18 : 42-44,48.

Gorin, P. A. J. & Spencer, J. F. T.1966. Exocellular alginic acid from *Azotobacter vinelandii*. *Can. J. Chem.*,44 : 993-8.

Govan, J. R. W., Fyfe, J. A. M. & Jarman, T. R., 1981. Isolation of alginate-producing mutants of *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas mendocina*. *J. Gen. Microbiol.*,125 : 217-20.

Grant. G. T. Morris. E. R.,Rees. D. A. Smith, P. J. C. and Thom, D. 1973. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations : the egg-box model. *FEBS Lett.*, 32 :195.

Haug, A., Larsen, B., and Smidsrod, O.1966. "A study of the constitution of alginic acid by partial acid hydrolysis".*Acta. Chem. Scand.* 20 : 183-190.

Haug, A., Larsen, B., and Smidsrod, O. 1966. "A studies on the sequence of uronic acid residues in alginic acid".*Acta. Chem.Scand.*21 : 691-704.

Haug, A., Larsen, B., and Smidsrod,O. 1967B. "Alkaline degradation of alginate". *Acta.Chem.Scand.*21 : 2859-2870.

Holzwarth, G. and Prestridge, E. B. 1977. *Science* : 197,757-759.

Hunter, A.R., and Rocks, J.K. 1960. *Cold milk pudding and method*. U.S. Pat. 1,949,366.

Jansson, P. R., Keene, L., Lindberg, B. 1975. "Structure of the exocellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*". *Carbohydr. Res*5 : 275.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jeane, A., Pittsley, J.E. and Senti, F.R. Polysaccharide B-1459 :1961. "A new hydrocolloid polyelectrolyte produced from glucose by bacterial fermentation". *J. ppl.Polym.Sci.5* : 519
- Kelco Co. 1952. Alkylene glycol esters of alginic acid. Brit. Pat. 676,618.
- Kovacs, P. and Kang, K.S. 1977. "Xanthan gum". *Food Colloids*. Graham, H.D., Ed., AVI Publishing, Westport, Conn : 500-521.
- Krefting, A. 1896. An improved method of treating seaweed to obtain valuable products therefrom. British Patent 11 : 538.
- Larsen, B. & Haug, A. 1971. Biosynthesis of alginates. *Carbohydrate Res.*, 17 : 287-96.
- Lewis, M. J. 1990. "Viscosity". *Physical properties of Foods and Food processing systems*. Ellis Horwood Limited : 108-135.
- Linker, A. & Jones, L.R., A new polysaccharide resembling alginic acid isolated from *Pseudomonas*. *J. Biol. Chem.*, 291 : 3845-51.
- Lucas, H.J. 1937A. Milk soluble alginate compound and process. U.S. Pat. 2,097,228.
- Lucas, H.J. 1937B. Ice cream mix and process. U.S. Pat. 2,097,231.
- Lucas, H.J., and Green, H.C. 1937. Ice cream or ice milk mixture and process. U.S. Pat. 2,097,229.
- Mccrum, N.G., Buckley, C.P. and Buckhall, C. B. 1988. *Principles of Polymer Engineering* Oxford Science Publications.
- McDermott, F.X. 1962. "Algin : Multi-use colloid". *Food Eng.* 34(5) : 66-73.
- McDermott, F.X. 1966. Process for preparing a canned food product. U.S. Pat. 3,257,214.
- McDermott, R.H. 1960. "Applications of alginates". *Rev. Pure Appl. Chem.* 10 : 1-19.
- McDowell, R. H. 1996. "Alginates and their derivatives". *Water-Soluble Gums and Colloids*. Society of chemical Industry, England : 19-29.
- Millane, R.P., Chandrasekaran, R., Amott, S. and Dea, I.C.M. 1991. The molecular structure of kappa-carrageenan and comparison with iota-carrageenan, *Carbohydr. Res.* 182 : 1.
- Moorhouse, R., Amott, S., and Walkinshaw, M.D. 1977. "Xanthan gum - molecular conformation and interactions". *Extracellular Microbial polysaccharides*. Stanford, P.A. and Laskin, A., Eds., ACS Symposium Series 45, American Chemical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Society. Washington, D.C.90.
- Morris, E. R., Rees, D.A. Young, G. Walkinshaw, M.D., and Dacke, A. 1977.  
 "Order-disorder transition for abacterial polysaccharide in solution - a role for polysaccharide in recognition between Xanthomonas pathogen and its plant host". *J. Mol. Biol.* 1 : 1-16.
- Morris, V.J. 1994. **Bacterial Polysaccharides**. Institute of Food Research, Norwich. Norfolk, England : 341-350.
- Nordman, H.E., and Mohr, W. H. 1963. **Algin : Beer foam's best friend**. *Am. Brewer* 96 : 22-25.
- Onsoyen, E. 1992. "Alginate". **Thickening and gelling agent for food**, Imeson, A., Ed. Chapman & Hall. Great Britain : 1-23.
- Pettitt, D.J. 1982. "Xanthan Gum" **Food Hydrocolloids 1**. CRC Press, Inc. New York : 127-149.
- Poarch, A.E., and Twieg, G. W. 1957. **Gel-forming composition and method**. U.S. Pat. 2,809,8936.
- Protan Bilpolymer A/S. 1990. **Technical Information - Alginates**.
- Rao, M.A. and Rizvi, S.S.H. 1986. "Engineering Properties of Foods". Marcel Dekker, Inc.
- Rao, M.A. and Steffe, J.F. ed. 1992. **Viscoelastic Properties of Foods**. Elsevier Applied Science. Great Britain.
- Richardson, R.K., Morris, E. R., Ross-Murphy, S. B., Taylor, L.J. and Dea, I.C.M. 1989.  
 "Characterization of the perceived texture of thickened systems by dynamic viscosity measurements". *Food Hydrocolloids*. 3(3) : 175-191.
- Rinaudo, M. and Milas, M., 1982. "Xanthan properties in aqueous solution". *Carbohydr. Polym.* 2 : 264-269.
- SBI (Systems Bio-Industries). **Hydrocolloids**. France : 16-35.
- Standford, E. C. C. 1885. *J. Soc. Chem. Ind.*, 4, 518.
- Stanley, N.F. 1990. "Carrageenan". **Food Gel**. Elsevier Applied Science. Great Britain: 53-75.
- Skjak-Braek, G., Grasdalen, H. & Larsen, B., Monomer sequence and acetylation pattern in some bacterial alginates. *Carbohydrate Res.*, 154 : 239-50.
- Sperry, G.D. 1953. "Algin stabilizers in chocolate mixes. *Ice Cream Rev.* 37(3) : 74, 146-148, 150-153.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sperry, G.D. 1955. "Stabilizers and HTST. Ice cream Field 65(6) : 80,82,84-87.
- Standford, E. C. C. 1881. **Manufacture of useful products from seaweed.** Brit. Pat 142.
- Standford, E. C. C. 1883. "On algin : A new substance obtained from some of the commoner species of marine algae". **Chem news** 96 : 254-257.
- Shandford, E. C. C. 1884. "On algin". **J. Soc. Chem. Ind. (London)** 3 : 297-303.
- Steiner, A.B. 1947 **Manufacture of glycol alginates.** U.S. Pat. 2,426,125.
- Steiner, A.B. 1948A. **Algin gel -forming composition.** U.S. Pat. 2,441,729.
- Steiner, A.B. 1948B. **Production of oil-in-water emulsions.** U.S. Pat. 2,455,820.
- Steiner, A.B. 1953. **Method of stabilizing foam forming on malt beverages.** U.S. Pat. 2,659,675.
- Steiner, A.B., and Mcneely, W.H. 1949. **Substituted alkylene glycol esters of alginic acid.** U.S. Pat 2,463,824.
- Steiner, A.B., and McNeely, W.H. 1950A. **High-stability glycol alginates and their manufacture.** U.S. Pat. 2,494,911.
- Steiner, A.B., and McNeely, W. H. 1950B. **Higher alkylene glycol glycol esters of alginic acid.** U.S. Pat. 2,494,912.
- Steiner, A.B., and McNeely, W.H. 1951. **Organic derivatives of alginic acid.** **Ind. Eng. Chem.** 43 : 2073-2077.
- Steiner, A.B., and Rothe, L. B. 1949. **Stabilizer for icing.** U.S. Pat. 2,474,019.
- Sworn, G. 1992. "Gel profile star diagrams as a technique for the visualisation of gel texture". **Gums and Stablisers for the Food Industry** 6. Oxford University Press. New York : 129-132.
- Toft. K. 1982. **Interactions between Pectins and Alginates.** **Prog. Food Nutr. Sci.,** 6 : 89-96.
- Urlacher, B. and Dalbe, B. 1992. "Xanthan gum". **Thickening and gelling agent for food,** Imeson, A., Ed. **Chapman & Hall.** Great Britain : 202-226.
- Watase, M. and Nishinari, K. 1981. "Effect of alkali metal ions on the rheological properties of K-carrageenan and agar gel". **J. of Texture Studies.** 12 : 427-445.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก การเตรียมตัวอย่าง

#### ก1 การล้างหลอดเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมสารละลายกรดไนตริกเจือจาง ด้วยอัตราส่วนกรดไนตริกเข้มข้น : น้ำกลั่น = 1:3
2. นำหลอดเตรียมตัวอย่างแช่ลงในสารละลายกรดไนตริกที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 1 คืน
3. ใช้ถุงมือพลาสติกหยิบหลอดตัวอย่างออกจากสารละลายกรด แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้น รินส์ด้วยน้ำปราศจากไอออนตามอีกครั้ง
4. นำมาผึ่งให้แห้งในตะแกรงที่มีฝาปิด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก

#### ก2 รายละเอียดของสารไบโอโพลิเมอร์ที่ใช้ทดลอง

##### ก2.1 โซเดียมอัลจิเนต

(Cat.No.37094-01) Cica - Reagent. Kanto Chemical Co.,Inc.

Lot.No. 802S17707 500 g.

##### *Certificate of Analysis*

Appearance	to pass test
Solubility	to pass test
Chloride (Cl)	max.0.2 %
Sulfate(SO <sub>4</sub> )	max.0.5%
Heavy metals (asPb)	max. 0.005%
Iron (Fe)	max. 0.005%
Potassium (K)	to pass test

##### ก2.2 K - คาราจีแนน

(033 - 09292) Wako Pure Chemical Industries,Ltd. Tokyo,Japan

Lot.No. LEQ0195 25 g.

##### *Certificate of Analysis*

Solubility in water	to pass test
Loss on drying at 105°C	max. 15.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Residue after ignition	
(as sulfate)	max. 25.0%
Chloride (Cl)	max. 2.0 %
Heavy metals (asPb)	max. 0.003%
Arsenic (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	max. 0.0001%

### ก2.3 แชนแทนกัม

(X0048) TCI Trade mark, Tokyo, Japan

Lot.No. AX01 500 g.

### ก3 การคำนวณหาน้ำหนักสารที่ใช้ในการทดลอง

1. การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของของสารไบโอโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิด โดยการชั่งตัวอย่างสารมาประมาณ 1 กรัม อบที่อุณหภูมิ 107°C นาน 4-6 ชม. จากนั้นนำมาคำนวณหาความชื้นจาก

$$\text{สูตร} \quad \% \text{ dry basis} = \frac{\text{นน.แห้ง} * 100}{\text{นน.เปียก}}$$

2. คำนวณหาน้ำหนักของสารไบโอโพลีเมอร์, น้ำปราศจากไอออน และซูโครสที่ต้องใช้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็น w/w โดยน้ำหนักที่คำนวณจะต้องเป็นน้ำหนักที่แท้จริง (หักค่าความชื้นออกไปแล้ว)

ในการคำนวณจะกำหนดให้ ความชื้นสารไบโอโพลีเมอร์ได้จากข้อ 1  
ความชื้นของซูโครสเท่ากับ 0

$$\text{น้ำหนักสาร (กรัม)} = \frac{\% \text{ ความเข้มข้นที่ต้องการ} * \text{ปริมาตรสารละลาย}}{\% \text{ dry basis}}$$

$$\text{น้ำหนักซูโครส (กรัม)} = \frac{\% \text{ ความเข้มข้นที่ต้องการ} * \text{ปริมาตรสารละลาย}}{100}$$

$$\text{น้ำหนักน้ำปราศจากไอออน} = \text{ปริมาตรสารละลาย} - \text{น้ำหนักสาร} - \text{น้ำหนักซูโครส}$$

## ภาคผนวก ข การใช้เครื่องวัดความหนืด

### วิธีการใช้เครื่องวัดความหนืด

1. เช็กระดับลูกน้ำ และเปิด Power Switch ด้านหลังตัวฐานของเครื่อง เครื่องจะแสดง ดังรูปที่ 1

BROOKFIELD  
DV-III Rheometer  
V1.3 RV  
Standalone

รูปที่ 1

2. ถอดเข็มออก กดปุ่ม "Motor on/off" เครื่องจะปรับศูนย์โดยอัตโนมัติ ใช้เวลาประมาณ 15 นาที
3. เครื่องจะโชว์ "AUTOZERO IS COMPLETE REPLACE SPINDLE AND PRESS NEXT KEY" หลังจากนั้น เครื่องจะแสดง ดังรูปที่ 2

RPM : 0.0    SPINDLE : - -  
TEMP : 24.6 °C    PRTO  
TORQUE = 0.0%

รูปที่ 2

4. ใส่เข็มเบอร์ที่ต้องการ และจุ่มเข็มลงในตัวอย่างจนมีรอย Mark ที่กึ่งกลางเข็ม
5. ป้อนข้อมูลของเข็มที่ใช้วัดตัวอย่างโดย
  - กดปุ่ม "SELECT SPDL" เครื่องจะแสดงดังรูปที่ 3

SPINDLE ENTRY  
ENTER SPINDLE \*-

### รูปที่ 3

- กดตัวเลขเพื่อใส่รหัสของเข็มที่ใช้
- กดปุ่ม "SELECT SPDL" อีกครั้ง เมื่อได้รหัสเข็มที่ต้องการ

#### 6. เลือกความเร็วที่จะใช้โดย

- กดตัวเลข ตามค่าความเร็วรอบที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 0.1 รอบต่อนาที จนถึง 250 รอบต่อนาที โดยมีความละเอียด ช่วงละ 0.1 รอบต่อนาที

RPM : 00.0    SPINDLE : 31  
TEMP : 72.1 °C    PRTO  
ENTER NEW RPM : 11-  
TORQUE = 00.0%

### รูปที่ 4

- กด "NEXT" เพื่อให้เครื่องรับข้อมูล และเครื่องจะทำงานทันที

7. ถ้าต้องการอ่านค่า Viscosity หรือ Torque % หรือ Shear Stress หรือ Shear Rate ให้กดที่ปุ่ม "SELECT DISP" เพื่อเลือกอ่านค่าที่ต้องการ

8. ถ้าต้องการเลิกการทำงาน ให้กดปุ่ม "Motor on/off" หรือใส่ค่าความเร็วเท่ากับศูนย์รอบต่อนาที

#### หมายเหตุ

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดและค่าความหนืดของสารตัวอย่างนี้ เครื่องไม่ได้บันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำ กล่าวคือ ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำของตัวเครื่อง ก็ต่อเมื่อการวัดสารตัวอย่างใช้ Programm Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

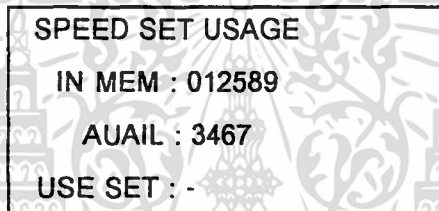
## การตั้งโปรแกรม

เครื่องวัดความหนืดของ Brookfield รุ่น DV III นี้ สามารถตั้งโปรแกรมการทำงานได้ 10 โปรแกรม ตั้งแต่โปรแกรมที่ 0 ถึง โปรแกรมที่ 9 ซึ่งแต่ละโปรแกรมนี้อาจสามารถตั้งการทำงานได้ 25 ระดับ (step)

### การตั้งโปรแกรมมี 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 นี้ใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วในการวัดความหนืดของตัวอย่าง ซึ่งจะกำหนดว่า เวลาในการวัดเป็นศูนย์ การตั้งโปรแกรมสามารถทำได้ดังนี้

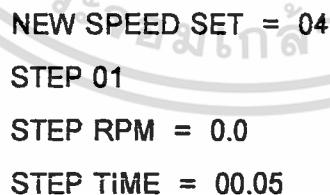
1. กดปุ่ม "PROG SPEED"
2. ใส่หมายเลขโปรแกรมที่ต้องการตั้งโปรแกรม โดยดูจาก AVAILABLE ว่าสามารถใส่หมายเลขใดได้บ้าง ดังแสดงในรูปที่ 5



SPEED SET USAGE  
IN MEM : 012589  
AUAIL : 3467  
USE SET : -

รูปที่ 5

3. หลังจากนั้นเครื่องจะโชว์ดังรูปที่ 6 และระดับการทำงานที่ 1 ให้ใส่ความเร็วที่ต้องการ ตั้งแต่ 0.1 rpm ถึง 250 rpm โดยมีความละเอียดช่วงละ 0.1 rpm และกดปุ่ม "NEXT" ตัว Cursor จะเลื่อนมาอยู่ที่ STEP TIME



NEW SPEED SET = 04  
STEP 01  
STEP RPM = 0.0  
STEP TIME = 00.05

รูปที่ 6

4. ใส่เวลาของระดับการทำงาน ในที่นี้คือ 00.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กดปุ่ม "NEXT" อีกครั้ง เพื่อให้เครื่องรับข้อมูลในการทำงานของระดับที่ 1 และเครื่องจะโชว์ระดับการทำงานใหม่เป็น STEP 02 เพื่อให้ใส่ข้อมูลของความเร็ว ในระดับการทำงานที่ 2 ต่อไป และกดปุ่ม "NEXT" เพื่อให้เครื่องรับค่าความเร็วใหม่

6. ตั้งระดับ (Step) การทำงานไปจนถึง 25 ระดับ

7. ถ้าต้องการตั้งระดับการทำงานน้อยกว่า 25 ระดับ ให้ใส่ค่าความเร็วเป็นศูนย์ ในระดับการทำงานสุดท้าย เครื่องจะสิ้นสุดการตั้งโปรแกรมการทำงาน แต่ถ้าโปรแกรมครบ 25 ระดับ เครื่องจะสิ้นสุดการตั้งโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

## วิธีที่ 2 ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. กดปุ่ม "PROG SPEED"

2. ใส่หมายเลขโปรแกรมที่ต้องการตั้งโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

3. ใส่ค่าความเร็วของระดับการทำงานที่ 1 และกดปุ่ม "NEXT" เพื่อให้เครื่องรับข้อมูลเก็บไว้

4. ใส่ค่าเวลาที่ต้องการใช้ในการทำงาน ระดับที่ 1 โดยใส่ได้ตั้งแต่ 1 วินาที (00.01) ถึง 99 นาที 59 วินาที (99.59)

5. กดปุ่ม "NEXT" เพื่อให้เครื่องรับข้อมูล

6. กดปุ่ม "PROG RUN" เพื่อให้เครื่องรับข้อมูลระดับการทำงานที่ 1 และเครื่องจะเปลี่ยนเป็นระดับการทำงานที่ 2

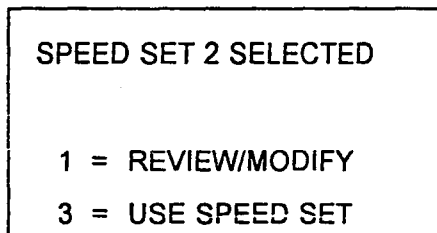
7. ตั้งระดับ (Step) การทำงานไปจนถึง 25 ระดับ

8. ถ้าต้องการระดับการทำงานน้อยกว่า 25 ระดับ ให้ใส่ค่าความเร็วเป็นศูนย์ ในระดับการทำงานสุดท้ายเครื่องจะสิ้นสุดการตั้งโปรแกรมการทำงาน แต่ถ้าโปรแกรมครบ 25 ระดับ เครื่องจะสิ้นสุดการตั้งโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

## การตั้งโปรแกรม

1. กดปุ่ม "PROG SPEED"

2. ใส่หมายเลขโปรแกรมที่ต้องการแก้ไข เครื่องจะแสดง ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7

3. กดหมายเลข "1" = REVIEW/MODIFY" เครื่องจะแสดงระดับการทำงานของโปรแกรม

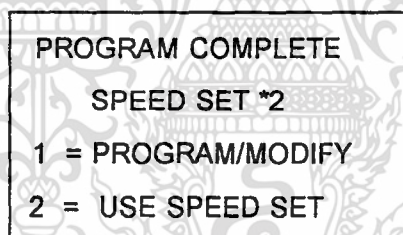
4. กดปุ่ม "PROG RUN" เพื่อให้โปรแกรมโซลวี ระดับการทำงานถัดไป

5. การแก้ไข ให้ใส่ค่าความเร็วและเวลาที่ต้องการแก้ไข และกดปุ่ม "NEXT" เพื่อให้เครื่องรับข้อมูลเก็บไว้เมื่อแก้ไขแล้วให้กดปุ่ม "PROG RUN" เพื่อแก้ไขระดับการทำงานถัดไป

6. กดปุ่ม "CANCEL" เพื่อจะเก็บข้อมูลที่แก้ไขใหม่ไว้

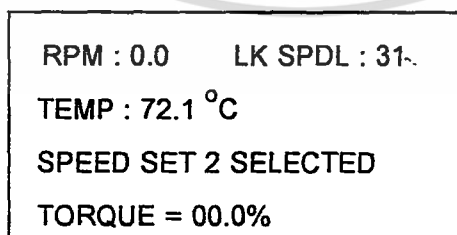
#### การใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ

เมื่อตั้งโปรแกรมเสร็จแล้ว เครื่องจะแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8

1. กดหมายเลข "3"(USE SPEED SET) เครื่องจะแสดงคล้าย ๆ กับรูปที่ 9



รูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กดปุ่ม "PROG RUN" เครื่องจะแสดงดังรูปที่ 10

<p>SPEED SET *2  TOTAL STEPS = 13  START STEP : 01  END STEP : 13</p>
---

รูปที่ 10

3. ใส่ระดับ (step) การทำงานที่ต้องการใช้เป็นระดับการทำงานเริ่มต้น
4. กดปุ่ม "NEXT"
5. ใส่ระดับการทำงานสุดท้าย และกดปุ่ม "NEXT"
6. กดปุ่ม "PROG RUN" เครื่องจะเริ่มทำการวัดค่าความหนืดของสารตัวอย่าง

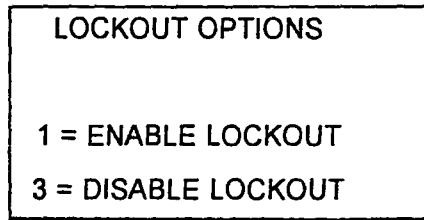
ถ้าต้องการใช้โปรแกรมที่ตั้งไว้แล้ว (โปรแกรมที่มีในหน่วยความจำ) ให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. กดปุ่ม "PROG RUN"
2. ใส่หมายเลขโปรแกรมที่ต้องการใช้ โดยดูจาก *IN MEM*
3. ทำตามข้อ 1-6 ที่กล่าวมาข้างต้น

### การตั้ง Lock-Out

การตั้ง Lock-Out เริ่มจากเปิด "Power Switch" เครื่องจะทำการปรับศูนย์โดยอัตโนมัติ และ SELECT SPDL เรียบร้อยแล้ว ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. กดปุ่ม "PROG SPEED"
2. เลือก Speed Set
3. กดหมายเลข "3" เพื่อเลือกใช้ Speed Set ดูจากรูปที่ 7
4. กดปุ่ม "PROG RUN"
5. กดปุ่ม "OPTION" เครื่องจะแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11

6. กดหมายเลข "1= ENABLE LOCKOUT" เครื่องจะแสดงดังรูปที่ 10 และเลือกกระดืบการทำงาน

7. กดปุ่ม "PROG RUN" โปรแกรมจะเริ่มทำงานตามที่ตั้ง Lock-out ไว้ สังเกตที่หน้าจอ main screen

บรรทัดสุดท้ายจะแสดงตัวอักษร "LK" ซึ่งแสดงถึงการทำงานใน Lock Out Mode ให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. กดปุ่ม "PROG RUN"
2. กดปุ่ม "OPTION" เครื่องจะแสดงดังรูปที่ 11
3. กดหมายเลข "3 = DISABLE LOCKOUT" เครื่องจะแสดงดังรูปที่ 10
4. กดปุ่ม "CANCEL" เครื่องจะกลับไป Main

### การลบโปรแกรม

การลบโปรแกรมจากหน่วยความจำ ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. กดปุ่ม "CLEAR SPEED"
2. ใส่หมายเลขโปรแกรมที่ต้องการลบโปรแกรมออก
3. กดหมายเลข "1 = YES" เพื่อลบโปรแกรม
4. กดปุ่ม "CANCEL" กลับสู่ Main

## ประวัติผู้เขียน

**นางสาวดารารัตน์ อมรสวัสดิวัฒนา** เกิดวันที่ 28 ธันวาคม 2517 จังหวัดสิงห์บุรี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชาลัย ปีการศึกษา 2535 จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจาก ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539

**นางสาวนิภา ลีลาเอกเลิศ** เกิดวันที่ 22 ธันวาคม 2518 จังหวัดกรุงเทพฯ จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย ปีการศึกษา 2535 จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจาก ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539

**นายธนาชาติ กรงกรต** เกิดวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2518 จังหวัดกรุงเทพฯ จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสารวิทยา ปีการศึกษา 2535 จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจาก ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539

**นางสาวสุชีลินทร์ โชคชัยฉกร** เกิดวันที่ 19 มิถุนายน 2517 จังหวัดราชบุรี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสายธรรมจันทร์ ปีการศึกษา 2535 จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจาก ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้