

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีและเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม

RHEOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF MANGO PUREE  
AND TAMARIND PUREE



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีและเคมีกายภาพของเพียวเรมะม่วงและเพียวเรมะขาม

RHEOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF MANGO PUREE  
AND TAMARIND PUREE



T148871

พณัฐธา มุตตาหารัช

รุ่งโรจน์ น่วมวิจิตร

ปธิกร เนียวกุล

เลขหมู่ 148871  
เลขทะเบียน 148871  
วันเดือนปี 30 11 2560

1488714

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีและเคมีกายภาพของ

เพียวเร่มะม่วงและเพียวเร่มะขาม

Rheological and physicochemical properties of mango puree and  
tamarind puree

จัดทำโดย

พณัญญา มุตตาหารัช รหัสนักศึกษา 55080176

รุ่งโรจน์ น่วมวิจิตร รหัสนักศึกษา 55080186

ปธิกร เนียวกุล รหัสนักศึกษา 55080201

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

(รศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

๘ / ๓๓ / ๕๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีและทางเคมีกายภาพของ  
เพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม

ชื่อนักศึกษา พณัญญา มุตตาทหารัช รหัสนักศึกษา 55080176

รุ่งโรจน์ น่วมวิจิตร รหัสนักศึกษา 55080186

ปธิกร เนียวกุล รหัสนักศึกษา 55080201

หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

พ.ศ. 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้นและการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีและทางเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม โดยเตรียมเพียวเริมะขามให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 15, 20, 25 บริกซ์ และเพียวเริมะม่วงให้มีความเข้มข้น 15, 17, 19 บริกซ์ และกำหนดช่วงอุณหภูมิของเพียวเริมะทั้งสองชนิดที่ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส วัดคุณสมบัติทางรีโอโลยีด้วยเครื่อง viscometer และวัดการไหลด้วยเครื่อง bostwick ก่อนการเก็บรักษาและหลังการเก็บรักษาที่ใช้เวลา 1 เดือน โดยการแช่แข็ง พบว่าเพียวเริมะทั้งสองชนิดมีพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian ประเภทซูโดพลาสติก โดยความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate ที่ได้สอดคล้องกับสมการ Power law โดยเพียวเริมะม่วงมีค่า flow behavior index (n) อยู่ในช่วง 0.3121 - 0.6446 และเพียวเริมะขามมีค่าอยู่ในช่วง 0.3334 - 0.5642 ค่า consistency coefficient (K) ของเพียวเริมะม่วงมีค่าในช่วง 1.2419 - 7.2573 และเพียวเริมะขามมีค่าในช่วง 0.6114 - 14.2300 เมื่อใช้สมการอาร์เรเนียสเพื่อตรวจสอบผลของอุณหภูมิต่อค่า K พบว่าค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) มีค่าอยู่ในช่วง 18550.178 - 21072.345 จูลต่อกรัมโมล และ 11181.882 - 28657.063 จูลต่อกรัมโมล ของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขามตามลำดับ ซึ่งค่าพลังงานกระตุ้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น

สำหรับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ เมื่อเพียวเริมะขามได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น พบว่ามีค่า pH เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจาก 2.59 ถึง 2.72 ในขณะที่เพียวเริมะม่วงมีค่า pH ลดลงเล็กน้อยจาก 5.17 ถึง 5.10 และพบว่าอุณหภูมิและความเข้มข้นมีผลต่อค่าสีเพียงเล็กน้อย เมื่อวิเคราะห์หา total phenolic content ของเพียวเริมะขามพบว่ามีค่า 187.67 มิลลิกรัม GAE /100 กรัม และหลังเก็บรักษามีค่าเป็น 314.67 มิลลิกรัม GAE /100 กรัม และ antioxidant capacity ของเพียวเริมะขามพบว่ามีค่า 28.40 เปอร์เซ็นต์ และหลังเก็บรักษามีค่าเป็น 31.73 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในเพียวเริมะม่วงพบว่า total phenolic content มีค่า 213.33 มิลลิกรัม GAE /100 กรัม และหลังเก็บรักษามีค่าเป็น 97.67 มิลลิกรัม GAE /100 กรัม และ antioxidant capacity มีค่า 47.95 เปอร์เซ็นต์ และหลังเก็บรักษามีค่าเป็น 14.53 เปอร์เซ็นต์ และ Beta carotene content มีค่า 9.60 มิลลิกรัม BC/100 กรัม และหลังเก็บรักษามีค่าเป็น 8.80 มิลลิกรัม BC/100 กรัม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความเร็วในการไหลของเพียวเร่ที่วัดได้จากเครื่อง bostwick และค่าความหนืดจากการวัดด้วยเครื่อง viscometer มาหาความสัมพันธ์กัน พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9095 และ  $R^2$  เท่ากับ 0.7546 ของเพียวเร่มะขามและเพียวเร่มะม่วง ตามลำดับ

คำสำคัญ : รีโอโลยี, เพียวเร่, มะม่วง, มะขาม, อาร์เรเนียส, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด , ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ, เบต้าแคโรทีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Rheological and physicochemical properties of mango puree and tamarind puree	
Student name	Panattha Muttaharach	Student ID 55080176
	Rungrote Nuamvijit	Student ID 55080186
	Pathikorn Neovakul	Student ID 55080201
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering	
Year	2016	
Advisor	Assoc. Prof. Ruchira Taprap	

### ABSTRACT

This research aimed to study the effect of temperature, concentration and storage time to rheological and physicochemical properties of mango puree and tamarind puree. Tamarind puree was prepared and set to three concentration levels were 15 Brix, 20 Brix and 25 Brix and mango puree were 15 Brix, 17 Brix and 19 Brix, Each concentration will be heated to four temperature levels, i.e. 25 °C, 40 °C, 50 °C and 60 °C. The rheological properties was measured with the viscometer, whereas the flow property was measured with bostwick before and after storage in one month by freezing.

The results show that the flow behavior of both types puree were Non-Newtonian in type pseudoplastic. The relation between shear stress and shear rate that corresponds to the Power law equation, mango puree had the flow behavior index (n) in the range of 0.3121 to 0.6446 and tamarind puree in the range of 0.3334 to 0.5642. The consistency coefficient (K) of mango puree in the range of 1.2419 to 7.2573 and tamarind puree in the range of 0.6114 to 14.2300. Using Arrhenius equations to determine the effect of temperature to K value found that the activation energy (Ea) in the range of 18550.178 to 21072.345 J/g.mol and 11181.882 to 28657.063 J/g.mol of mango puree and tamarind puree, respectively. The activation energy, which tends to decrease when the viscosity increased.

For physicochemical properties when tamarind puree was set to a higher temperature the pH value increased from about 2.59 to 2.72 while pH value of mango puree decreased from about 5.17 to 5.10. The concentration and temperature slightly affected to color value. The total phenolic content of the tamarind puree was 187.67 mg GAE / 100 g and 314.67 mg GAE / 100 g after storage. The antioxidant capacity of tamarind puree was 28.40 percent and

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31.73 percent after storage. Mango puree had total phenolic content 213.33 mg GAE / 100 g and 97.67 mg GAE / 100 g after storage. The antioxidant capacity was 47.95 percent and 14.53 percent after storage. The beta carotene content had 9.60 mg BC / 100 g and 8.80 mg BC / 100 g after storage.

The relationship between velocity (m/s) of puree that measured by bostwick and apparent viscosity (Pa.s) that measured by viscometer found that the relationship was linear with  $R^2$  was 0.9095 and 0.7546 of tamarind puree and mango puree, respectively.

Keywords: Rheology, puree, tamarind, mango, Arrhenius, Total phenolic content, Antioxidant capacity, Beta-carotene.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ และ รศ.ดร. ประพันธ์ ปินศิริโรตม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาลดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ดร.ปนัดดา นนทนา กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างปัญหาพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนให้ข้อคิด มุมมองและแนวทางอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการศึกษาค้นคว้า จัดทำปัญหาพิเศษจนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่อันเป็นที่เคารพรัก และพี่ๆทุกคน ที่ได้ให้ความรัก ให้ความสำคัญและสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้านด้วยดีตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงมีจากปัญหาพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พณัญญา มุตตาทหารัช

รุ่งโรจน์ น่วมวิจิตร

ปธิกร เนียวกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มะม่วง.....	3
2.2 มะขาม.....	5
2.3 สมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร.....	6
2.4 สารประกอบพีนอลิก.....	13
2.5 สารต้านอนุมูลอิสระ.....	14
2.6 แคโรทีนอยด์.....	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	21
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	21
3.2 อุปกรณ์.....	21
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	25
4.1 เพียวเริ่มมะขาม.....	25
4.2 เพียวเริ่มมะม่วง.....	39
4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity) และความหนืดปรากฏ (apparent viscosity).....	52
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก .....	62
ภาคผนวก ข .....	67
ภาคผนวก ค .....	70
ภาคผนวก ง .....	72
ภาคผนวก จ .....	75
ภาคผนวก ฉ .....	76
ภาคผนวก ช .....	78
ภาคผนวก ซ .....	81
ประวัติผู้เขียน.....	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	Typical mathematical models of Time-Independent Fluids.....	10
4.1	ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเพียวเระมะขาม.....	28
4.2	ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเระมะขาม.....	29
4.3	ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเพียวเระมะขามหลังเก็บรักษา.....	32
4.4	ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเระมะขามหลังเก็บรักษา.....	33
4.5	ค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ของเพียวเระมะขาม.....	34
4.6	ค่า pH ของเพียวเระมะขาม.....	36
4.7	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) และความสามารถในการยับยั้ง สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ของเพียวเระมะขาม.....	38
4.8	ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเพียวเระมะม่วง.....	41
4.9	ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเระมะม่วง.....	42
4.10	ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเพียวเระมะม่วงหลังเก็บรักษา.....	45
4.11	ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเระมะม่วงหลังเก็บรักษา.....	46
4.12	ค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ของเพียวเระมะม่วง.....	47
4.13	ค่า pH ของเพียวเระมะม่วง.....	49
4.14	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ความสามารถในการยับยั้ง สารต้านอนุมูลอิสระ(antioxidant capacity) และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene content) ของเพียวเระมะม่วง.....	51
ก.1	การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับเพียวเระมะขาม.....	63
ก.2	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับเพียวเระมะขาม.....	63
ก.3	ค่าการดูดกลืนของสารสกัดตัวอย่างเพียวเระมะขาม.....	64
ก.4	การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับเพียวเระมะม่วง.....	65
ก.5	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับเพียวเระมะม่วง.....	65
ก.6	ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเพียวเระมะม่วง.....	66
ค.1	การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีน.....	70
ค.2	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีน.....	70
ค.3	ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเพียวเระมะม่วง.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	ลักษณะของผลมะม่วงน้ำดอกไม้.....	4
2.2	แผนภูมิแสดงปริมาณเบต้าแคโรทีนของผลไม้ต่างๆ.....	5
2.3	streamline flow เมื่อ fluid ไหลในท่ออย่างช้า.....	7
2.4	การสมมติขึ้นการไหลของของเหลวระหว่างแผ่น.....	7
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate ของของไหล.....	11
2.6	ผลของเวลาที่มีต่อของเหลว.....	12
2.7	ลักษณะโครงสร้างของ $\beta$ -carotene, $\alpha$ -carotene, lycopene, $\gamma$ -carotene และ xanthophyll.....	15
2.8	สูตรโครงสร้างของหมู่ไอโซพรีน.....	16
2.9	ลักษณะการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีนในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์.....	16
2.10	การดูดกลืนแสงของแคโรทีนอยด์.....	17
4.1	แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) สำหรับเพียวเริ่มะขามในความเข้มข้นต่างระดับ ในช่วงระดับอุณหภูมิต่างๆ .....	26
4.2	แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ในระดับอุณหภูมิต่างๆ สำหรับเพียวเริ่มะขามที่ความเข้มข้นต่างระดับ.....	27
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเริ่มะขามโดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส.....	29
4.4	แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) สำหรับเพียวเริ่มะขามหลังเก็บรักษาในความเข้มข้นต่างระดับ ในช่วงระดับอุณหภูมิต่างๆ.....	30
4.5	แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ในระดับอุณหภูมิต่างๆ สำหรับเพียวเริ่มะขามหลังเก็บรักษาที่ความเข้มข้นต่างระดับ.....	31
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเริ่มะขามหลังเก็บรักษาโดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส.....	33
4.7	ชาร์จสี (colorimeter chart) ของเพียวเริ่มะขาม.....	35
4.8	กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity) กับ ความเข้มข้น (concentration) สำหรับเพียวเริ่มะขาม.....	37
4.9	แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) สำหรับเพียวเริ่มะม่วงในความเข้มข้นต่างระดับ ในช่วงระดับอุณหภูมิต่างๆ .....	39
4.10	แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ในระดับอุณหภูมิต่างๆ สำหรับเพียวเริ่มะม่วงที่ความเข้มข้นต่างระดับ.....	40
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเริ่มะม่วง โดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12	43
4.13	44
4.14	46
4.15	48
4.16	50
4.17	53
4.18	54
ก.1	64
ก.2	66
ค.1	71
ง.1	72
ง.2	72
ง.3	72
ง.4	72
ง.5	73
ง.6	73
ง.7	73
ง.8	74
ง.9	74
ง.10	74
ง.11	74
ง.12	74
จ.1	75
จ.2	75
จ.3	75
จ.4	75
จ.5	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นาเบ้ขอโทษ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
จ.6	สารสกัดตัวอย่างเพ็ชร์เริ่มขาม.....	75
ฉ.1	การสกัดเพ็ชร์เริ่มม่วงด้วยตัวทำละลายอะซิโตน.....	76
ฉ.2	เขย่า 30 นาที.....	76
ฉ.3	กรองสารสกัดตัวอย่างเพ็ชร์เริ่มม่วง.....	76
ฉ.4	เนื้อเพ็ชร์เริ่มม่วงหลังจากสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนครบทั้ง 3 ชั่วโมง.....	77
ฉ.5	สารสกัดตัวอย่างเพ็ชร์เริ่มม่วง.....	77
ช.1	เครื่องวัดสี (Colorimeter: minolta CR-300).....	78
ช.2	เครื่องวัดความหนืดแบบราง (Bostwick consistometer).....	78
ช.3	เครื่องวัดค่า Total soluble solid (Refractometer).....	78
ช.4	เครื่องวัดค่า pH (pH meter).....	78
ช.5	เครื่องวัดค่าทางรีโอโลยี (Viscometer: Brookfield DV-III).....	78
ช.6	เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer: UV-160) .....	79
ช.7	เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) .....	79
ช.8	เครื่องเขย่า (Mechanical Shaker) .....	79
ช.9	เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง.....	79
ช.10	เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง.....	79
ช.11	ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum aspirator).....	80
ช.12	กระดาษกรอง Whatman no.1.....	80
ช.13	เครื่องผสมสาร (Vortex mixer).....	80
ช.14	ตู้เย็น (Refrigerator).....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะม่วงและมะขามเป็นพืชที่อยู่คู่กับวิถีชีวิตแบบไทยมายาวนาน แม้ว่ามะขามและมะม่วงจะไม่ใช่อผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทยก็ตาม เนื่องจากมะขามมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบร้อนของแอฟริกาตะวันออกบริเวณบอสเนียจนถึงอิตาลีตอนใต้บริเวณลุ่มน้ำแซมเบซีในส่วนของมะม่วงต้นกำเนิดยังไม่ทราบมีถิ่นกำเนิดในที่ใดแต่คาดว่าอินเดียเร่ร่อนมาตลอดเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งผลไม้ทั้งสองได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตของคนไทยส่วนหนึ่งไปแล้ว มะขามและมะม่วงนับเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างมาก ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกมะขามและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะขามต่างๆ เช่น มะขามเปียกมะขามสามารถนำมะขาม รายใหญ่อันดับสองของทวีปเอเชียรองจากอินเดีย(Yacob and Subhadrabhandu, 1995) สำหรับมะม่วงนั้นคิด 1 ใน 5 ของสินค้าส่งออกด้านการเกษตรในกลุ่มของผลไม้ที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยมากที่สุด โดยมีทั้งมะม่วงสำหรับรับประทานผลดิบรับประทานผลสุกและ ผลิตภัณฑ์มะม่วงแปรรูป ซึ่งประเทศไทยผลิตสินค้าในรูปของชิ้นมะม่วงในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องเป็นสินค้าหลัก(กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเกิดแนวคิดที่จะนำมะม่วงและมะขามมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้ทั้งสอง รวมถึงทำให้เกิดทางเลือกในการนำผลไม้ทั้งสองไปประกอบอาหารในลักษณะอื่นๆซึ่งผลิตภัณฑ์จากผลไม้รูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจ ได้แก่ เพียวเร่(puree) ซึ่งเกิดจากการตีปั่นเนื้อผลไม้ผ่านการตกแต่งนำเอาเมล็ดและเปลือกออก นำมาบดละเอียดแล้วกรองหรือลดขนาดด้วยวิธีทางกลศาสตร์อื่นๆ จนได้เนื้อผลไม้ที่เข้มข้นและมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์และจากการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้น พบว่ายังไม่มีข้อมูลของเพียวเร่ที่ทำจากผลไม้ทั้งสองชนิดนี้มากนัก การวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเพียวเร่มะม่วงและเพียวเร่มะขาม ได้แก่ คุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ในช่วงระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆรวมถึงศึกษาผลของเวลาการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติด้านเหล่านี้ของเพียวเร่ทั้งสองชนิดเพื่อให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นของเพียวเร่ทั้งสองชนิดนี้และนำไปเป็นแนวทางสำหรับต่อยอดงานวิจัยต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีและทางเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้นและการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีและทางเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ทราบถึงคุณสมบัติด้านรีโอโลยีและทางเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม

1.3.2 ได้ทราบถึงผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้นและการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีและทางเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ผลที่เก่าแก่และสำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง ในบรรดาพรรณไม้เขตร้อน มะม่วงเป็นไม้ผลที่รู้จักกันในอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นานกว่า 4,000 ปีมาแล้ว สำหรับประเทศไทยนั้นมีภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสมสำหรับปลูกมะม่วงเป็นอย่างมาก มะม่วงจึงเป็นผลไม้ที่รู้จักกันดีและนิยมปลูกกันอย่างกว้างขวางในประเทศไทย (วิจิตร วังโน, 2529)

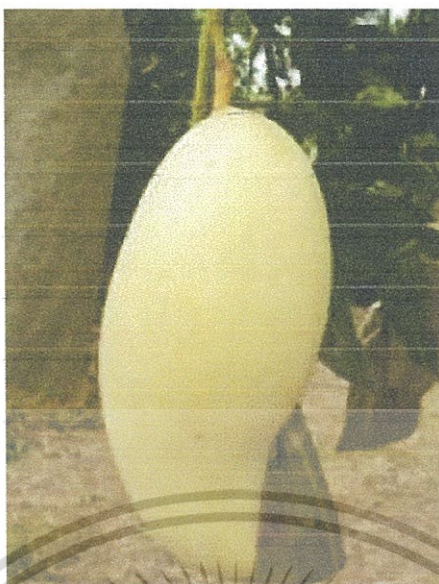
เนื่องจากบ้านเรามีพันธุ์มะม่วงจำนวนมากทั้งมะม่วงทานสุกและมะม่วงมัน ดังนั้นนอกจากจะใช้บริโภคกันภายในประเทศทั้งในรูปผลสดและแปรรูปแล้ว ยังสามารถส่งเป็นสินค้าส่งออกเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาด ราคาผลผลิตที่เกษตรกรขายได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จึงต้องหาทางส่งออกให้มากขึ้นเพื่อเป็นทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยในปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 1.8 ล้านไร่ผลผลิตส่งออกมะม่วงสด 8,249 ตัน มูลค่า 120 ล้านบาท และมะม่วงแปรรูป 6,937 ตัน มูลค่า 175.4 ล้านบาท (<http://www.doae.go.th/plant/mango.htm>)

##### 2.1.1 มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่รับประทานผลสุก ผลดิบมีรสเปรี้ยว เมื่อสุกจะมีรสชาติหวาน มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว สีเนื้อเหลืองอมส้ม ปริมาณเส้นใยน้อย เมล็ดลีบ (กรมวิชาการเกษตร, 2545) มะม่วงน้ำดอกไม้มีการเจริญเติบโตดี จึงมีผู้นิยมปลูกกันมาก ใบมีลักษณะหยักเป็นคลื่น ทรง พุ่มโปร่ง ทรงผลค่อนข้างกลมยาว ขนาดปานกลาง ผลเฉลี่ยยาว 16 เซนติเมตร กว้าง 7.2 เซนติเมตร และหนา 6.9 เซนติเมตร ดังแสดงภาพที่ 2.1 มีน้ำหนักต่อผลประมาณ 330 กรัม ด้านหัวผลอมน้อยๆ สอบเข้าสู่ปลายผล ปลายผลแหลม ไหลผลด้านท้องมน ไหลผลด้านหลังลาดลง มีจะงอยผลเล็กน้อย ผิวผลเรียบ (เฉลิมชัย, 2539) พันธุ์น้ำดอกไม้ส่วนมากมีนิสัยในการออกดอกง่าย ออกดอกดก มีการติดผล ปานกลาง เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคแอนแทรกคโนส เพราะฉะนั้นการเก็บเกี่ยวจะต้องทำ เมื่อผลแก่จัด อายุตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ประมาณ 115 วัน มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับห้าของประเทศและเป็นพันธุ์หลักเพื่อการส่งออก โดยลักษณะผลคุณภาพที่ผู้ส่งออกต้องการเป็นดังนี้

1. น้ำหนักผลระหว่าง 300 – กรัม หรือ 600 กรัมแล้วแต่บริษัทและประเทศผู้ซื้อ
2. ผิวผลต้องสวยสะอาดไม่มีคราบยาง ฟูน สิ่งสกปรก ตำหนิจากรอยโรค เช่น แอนแทรกคโนส ซึ่งเป็นจุดสีชมพูเล็กๆ แม้เพียงหนึ่งจุด ไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลงศัตรูพืช ส่วนรอยโรคราแป้งที่เป็นจุดดวง มีได้แต่ต้องไม่เกิน 10% ของพื้นที่ผิว
3. ผิวผลต้องไม่มีรอยขีดที่เกิดจากการกระทบกระแทกหรือรอยแผลที่เกิดจากกรรไกร เครื่องมือ หรืออุปกรณ์อื่นใด
4. ผิวผลลาย (ตำหนิธรรมชาติ) มีได้ไม่เกิน 15% ของพื้นที่ผิวผลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

ที่มา : <http://upic.me/show/34904500>

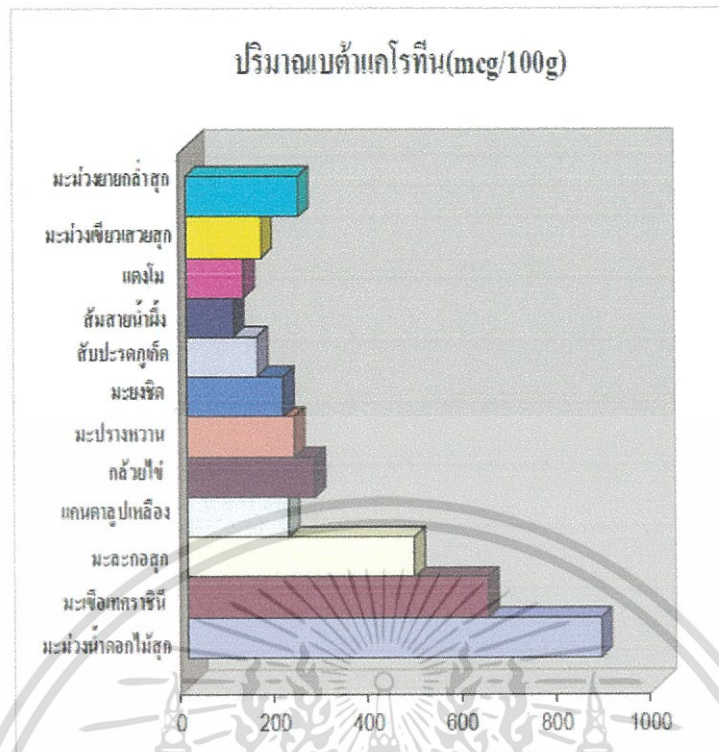
### 2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วง

ข้อมูลจากการศึกษาเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้เหล่านี้ของกองโภชนาการ กรมอนามัย พบว่าผลไม้ชนิดนี้มีระดับสารเบต้าแคโรทีนสูงถึง 59 มิลลิกรัม (ศิริวรรณ, 2550) นอกจากนี้ยังพบสารที่มีประโยชน์ อื่นๆอีกมาก เช่น พบสารต้านอนุมูลอิสระ กลุ่ม vitamin A, vitamin C และ vitamin E ถึง 25%, 76% และ 9% Dietary Reference Intake (DRI) ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่ามี vitamin B6 ซึ่งมีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบประสาทอีกถึง 11% DRI และในส่วนของเปลือกมะม่วงซึ่งเราไม่ได้ใช้ประโยชน์และทิ้งไปนั้นก็ พบว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นจำนวนมาก ([http://en.wikipedia.org/wiki/Mango#cite\\_note-23](http://en.wikipedia.org/wiki/Mango#cite_note-23); Rocha และคณะ, 2007) มีสาร carotenoid และ polyphenol ที่สำคัญได้แก่ quercetin, kaempferol, gallic acid, caffeic acid, catechins, tannins นอกจากนั้นยังพบว่ามีสาร xanthone และ mangiferin ซึ่งสามารถต้านฤทธิ์อนุมูลอิสระในภาวะที่มีพยาธิสภาพที่เกิดจากการเพิ่มอนุมูลอิสระได้ (Percival และคณะ, 2006; Rodríguez และคณะ, 2006) และยังมีรายงานว่าสารเบต้าแคโรทีนมีฤทธิ์ปกป้องเซลล์ประสาท ในส่วน cerebral cortex อีกด้วย (Moncada และคณะ, 1991; Herken และคณะ, 2007)

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่ามะม่วงเป็นผลไม้ที่น่าจะมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมอง และสามารถนำส่วนต่างๆมาแปรรูปเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์สร้างเสริมสุขภาพได้ โดยพบว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองสูงกว่าผลไม้ที่มีเบต้าแคโรทีนชนิดอื่นๆเป็นอย่างมาก (กรมอนามัย, 2549) ดูจากภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิแสดงปริมาณเบต้าแคโรทีนของผลไม้ต่างๆ

ที่มา : กรมอนามัย, 2549

## 2.2 มะขาม

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) วงศ์ Leguminosae (Caesalpiniaceae) เป็นไม้เขตร้อน มีถิ่นกำเนิดที่ทวีปแอฟริกา ต่อมามีการนำเข้ามาในประเทศแถบเขตร้อนของเอเชีย และประเทศแถบละตินอเมริกา และในปัจจุบันมีมากในเม็กซิโก มะขามมีชื่อเรียกว่า มะขาม (ภาคกลาง) ขาม (ภาคใต้) ตะลุม (โคราช) ม่วงโคล้ง (กะเหรี่ยง-กาญจนบุรี) อา เปียล (เขมรสุรินทร์) ในภาษาอังกฤษใช้คำว่า Tamarind หรือ Indian date ซึ่งแปลมาจากภาษาอาหรับ: (تمر هندي tamr hindī) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2554)

มะขามเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง ที่สามารถบริโภคได้ทั้งภายในประเทศ และส่งเป็นสินค้าออก จากข้อมูลสถิติการนำเข้าและส่งออกสินค้าเกษตรจากเว็บไซต์สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปี 2550 -2554 พบว่ามีปริมาณผลผลิตมะขามรวมเฉลี่ย 27,595 ตันต่อปี มูลค่าเฉลี่ย 633 ล้านบาทต่อปี และข้อมูลที่น่าสนใจคือปริมาณการนำเข้าและส่งออกมะขามเปรี้ยวในรูปแบบมะขามเปียก มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี จากปริมาณ 409 ตัน กลายเป็น 3,150 ตัน และจากมูลค่า 9 ล้านบาท กลายเป็น 76 ล้านบาท ภายใน 5 ปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) จะเห็นได้ว่ามะขามเปรี้ยวมีศักยภาพทางการค้า เนื่องจากนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ประมงแต่งรสเปรี้ยวและใช้เป็นยาสมุนไพรได้ มะขามมีสรรพคุณเป็นยาระบายเพราะในเนื้อมะขามมีกรดอินทรีย์ เช่น tartaric acid, citric acid, malic acid ทำให้มีรสเปรี้ยวมีฤทธิ์ระบายท้อง

กรดทาร์ทาริกเป็นกรดที่พบมากในมะขามเปรี้ยว Manohar และคณะ (1991) รายงานว่ากรดทาร์ทาริกในเนื้อมะขามเปรี้ยวจากประเทศอินเดียมีปริมาณ 15.15% และ จุฑาทภรณ์ (2549) พบว่ากรดทาร์ทาริกในพันธุ์พระเจ้าตาก โชคชัยพัฒนาเบอร์ 11 ฤทธิธร และศรีปากช่อง ประมาณ 18.70% 19.95% 14.07% 13.02% และ 18.32% ตามลำดับ นอกจากนี้ในเนื้อมะขามประกอบไปด้วยสารแอนทราควิโนน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีฤทธิ์เป็นยาระบาย (โอภาษ, 2550) โดย Abukakar และคณะ (2008) รายงานว่า พบแอนทราควิโนนสูงภายในเนื้อมะขามเปรี้ยว สำหรับมะขามเปรี้ยว โดยทั่วไปจะมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ก่อนนำไปบริโภค เนื่องจากมะขามเปรี้ยวที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปมีรสชาติเปรี้ยวจัด โดยมากจะเก็บไว้ในรูปมะขามเปียกไว้บริโภคเพื่อในการปรุงรสอาหารคาว หวาน ทำน้ำมะขาม แยม การเก็บมะขามในรูปมะขามเปียกมีทั้งแคะเมล็ดและไม่แคะเมล็ด แล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติกเป็นท่อยๆ

อย่างไรก็ตามพื้นที่ปลูกมะขามในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นมะขามหวาน ซึ่งพื้นที่การเพาะปลูกมะขามเปรี้ยวเชิงการค้ายังมีน้อยผลผลิตส่วนใหญ่เป็นการเก็บมาจากแหล่งธรรมชาติ ทำให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพต่างกัน

## 2.3 สมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร

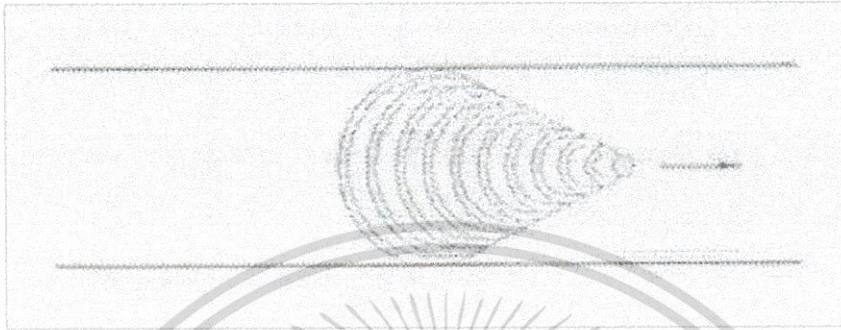
รีโอโลยี คือศาสตร์ที่ศึกษาถึงพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงที่มากระทำ โดยการตอบสนองที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในลักษณะการเสียรูปทรงและการไหล รีโอโลยีเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์และพลศาสตร์โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์และพื้นฐานทางฟิสิกส์และฟิสิกส์เคมี เพื่อใช้ในการอธิบายการตอบสนองต่อแรงกระทำของวัสดุ ไม่เพียงเท่านั้นรีโอโลยียังเชื่อมโยงไปถึงความรู้สึกสัมผัสของคนเราด้วย ตัวอย่างง่ายๆ ของรีโอโลยีที่เราพบและสัมผัสได้ เช่น บนโต๊ะอาหาร ถ้าจะให้ซอสมะเขือเทศไหลลงบนส้อมกรอกเราต้องตบกันขวด ซึ่งซอสมะเขือเทศเป็นของผสมที่มีความเค้นที่จุดคราก ซอสจะไหลได้ก็ต่อเมื่อเราให้แรงมากพอที่จะทำให้ความเค้นที่กระทำต่อซอสในขวดมีค่าสูงกว่าความเค้นที่จุดคราก ดังนั้นรีโอโลยี คือศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับประสาทด้านการสัมผัส เราสามารถ เชื่อมโยงความรู้สึกสัมผัส เช่น ความเหนียว ยืดหยุ่น เหนอะหนะ เนียน ฯลฯ เข้ากับสมบัติต่างๆ ทางรีโอโลยีได้ ปัจจุบันรีโอโลยีจึงมีบทบาทสำคัญไม่ใช่แค่วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เท่านั้น รีโอโลยียังเป็นการศึกษาที่สำคัญในทางเภสัชกรรมและเครื่องสำอางในทางการแพทย์รวมถึงด้านอาหาร (MTEC, 2545)

นอกจากนี้ นิมิตร (2543) และ Steffe (1996) กล่าวว่า รีโอโลยี คือศาสตร์ที่ศึกษาการเปลี่ยนรูปทรง (deformation) ต่อการไหล (flow) ของวัสดุเพื่อ ตอบสนองแรงกล (mechanical force) ที่มากระทำในเทอมของความเป็นอีลาสติก (elastic) และ ความหนืด (viscosity) การทดสอบด้วยรีโอโลยีจะช่วยให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของความหนืด (viscosity) และความเป็นอีลาสติก (elastic) ของอาหารที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ กระบวนการผลิต และตัวแปรต่างๆ ในการเก็บรักษาอาหาร ดังนั้นการวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหล ของของเหลว (liquid food) เช่น ซอสต่างๆ น้ำผลไม้ สารอิมัลชันและสารแขวนลอยจึงต้องเริ่มที่ การศึกษาคุณสมบัติของของไหลในการต้านทานต่อแรงเฉือน (shear flow of liquid food)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

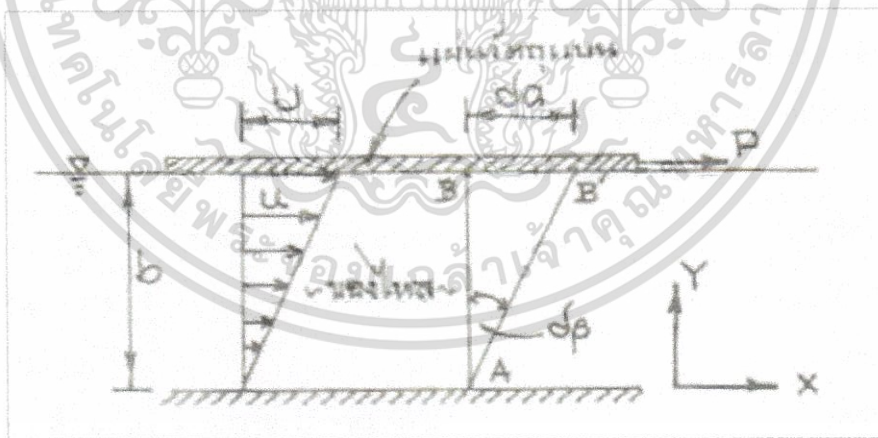
### 2.3.1 คุณสมบัติการไหลแบบคงตัว (concept of steady state-shear flow)

เมื่อพิจารณาชั้นการไหลของของเหลวอย่างต่อเนื่องในท่อแล้วอาจสมมติได้เป็นวงแหวนบางๆซ้อนกันเป็นชั้นๆและจะพบว่าใจกลางจะเคลื่อนที่เร็วที่สุดและชั้นนอกสุดจะอยู่กับที่ทั้งนี้เป็นเพราะความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นสมมติแต่ละชั้นแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดง streamline flow เมื่อ fluid ไหลในท่ออย่างช้า  
ที่มา : สุวรรณและคณะ (2541)

การไหลแบบนี้เรียกว่าการไหลแบบ streamline ซึ่งจะกำหนดเป็นการไหลของชั้นบางๆจำนวนมากแต่ละชั้นจะมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันอย่างไรก็ตามสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและความเร็วของการเฉือนที่เกิดขึ้นในลักษณะสมการได้พิจารณาภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการสมมติชั้นการไหลของของเหลวระหว่างแผ่น  
ที่มา : นิมิตร (2543)

จากภาพที่ 2.4 ดึงแผ่นวัตถุแบนซึ่งวางบนผิวของไหลด้วยแรง =  $P$  จนมีความเร็ว =  $u$  ของไหลบริเวณที่ติดกับแผ่นวัตถุจะไหลด้วยความเร็ว =  $u$  ด้วยและพบว่าในชั้นถัดลงมาความเร็วของการไหลจะแปรค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเส้นตรงตั้งรูป พิจารณาเส้นสมมติ AB ก่อนที่จะทำการดึงแผ่นวัตถุเส้นนี้จะวางตัวในแนวตั้งเมื่อดึงแผ่นวัตถุจุด B จะเคลื่อนที่ไปที่จุด B' และเสมือนว่าเส้น AB หมุนรอบจุด A เมื่อมุม  $\delta\beta$  มีค่าน้อยๆและพิจารณาเป็นมุมเรเดียนจะได้

$$\tan \delta\beta = \delta\beta = \delta L/h$$

จากระยะทาง = ความเร็ว x เวลา

$$\delta L = u \delta t$$

แทนค่า ;  $\delta\beta = u \delta t / h$

หรือ  $\delta\beta / \delta t = u / h$

เทอม  $\delta\beta / \delta t$  เรียกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลาของค่าอัตราเฉือน (Rate of Shearing Strain) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\dot{\gamma}$  (อัตราเฉือน) จากความเค้นเฉือนหรือหน่วยแรงเฉือน

$$\sigma = \text{แรง} / \text{พื้นที่}$$

$$\sigma = P/A$$

เนื่องจากค่า  $\dot{\gamma}$  จะแปรผันโดยตรงตามค่าความเค้นเฉือน  $\sigma$  หรือ  $\sigma = u/h$

ค่าอัตราส่วนความเร็วต่อระยะในแนวตั้ง ( $u/h$ ) สามารถเขียนอยู่ในรูปของอนุพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลเทียบกับระยะทางในแนวตั้งของของไหลได้เป็น  $du/dy$

$$\sigma \propto du/dy$$

$$\sigma = \mu du/dy$$

$$\text{หรือ } \sigma = \mu (\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

เมื่อ  $du/dy$  เขียนในรูป  $\dot{\gamma}$

กรณี  $n$  เท่ากับ 1 เป็น Newtonian Fluid

$\mu$  คือ ค่าความหนืดของของไหลหรือค่าสัมประสิทธิ์ของการเสียดทาน (Pa.s) บางครั้งอาจเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด (coefficient of viscosity)

เรียกสมการ (1) ว่าสมการความหนืดของนิวตัน

### 2.3.2 พฤติกรรมของของไหลกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models)

อาหารเหลวส่วนใหญ่จะมีลักษณะการไหลแบบ Non-Newtonian ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องอย่างมากกับการควบคุมคุณภาพอาหารและการออกแบบเครื่องมือแปรรูปอาหารโดยของไหลแบบนอนนิวโตเนียนคือของไหลที่ไม่เป็นไปตามสมการ (1) ซึ่งของไหลแบบ Non-Newtonian นี้เป็นของไหลที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง  $\sigma$  กับ  $du/dy$  ที่ไม่เป็นไปตามสมการความหนืดของนิวตัน

ของไหลนอนนิวโตเนียนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

#### 2.3.2.1 ของไหลประเภทไม่ขึ้นกับเวลา (Time-Independent Fluid)

ของไหลประเภทไม่ขึ้นกับเวลามีลักษณะเป็นของไหลซึ่งภายใต้ความสัมพันธ์กับแรงเฉือนนั้นจะไม่มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องของไหลประเภทนี้ยังแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

##### 1. ของไหล Dilatant

เป็นของไหลซึ่งให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับความหนืดในลักษณะจะมีการเพิ่มค่าความหนืดเมื่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ของไหลประเภทนี้ ได้แก่ น้ำดินขุ่นและทรายเปียกผงละลายน้ำมีความเข้มข้นสูง เป็นต้น รูปสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วตามระยะในแนวตั้งเป็นดังนี้

$$\sigma = K (du/dy)^n; (n > 1) \quad (2)$$

เมื่อ  $K$  = ค่าดัชนีความข้นเหลว (consistency index)

$n$  = ค่าดัชนีการไหล (flow behavior index)

##### 2. ของไหลพลาสติกเทียม (Pseudoplastic)

ของไหลประเภทนี้มีพฤติกรรมในลักษณะค่าความหนืดลดลงเมื่อค่าความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น ของไหลประเภทนี้ได้แก่ ซีตัง จาระบี มายองเนสและน้ำผลไม้เข้มข้น เป็นต้น รูปสมการเป็นดังนี้

$$\sigma = K (du/dy)^n; (n < 1) \quad (3)$$

เมื่อ  $K$  = ค่าดัชนีความข้นเหลว (consistency index)

$n$  = ค่าดัชนีการไหล (flow behavior index)

##### 3. ของไหลพลาสติกบิงแฮม (Bingham Plastic Fluids)

ของไหลประเภทนี้จะมีพฤติกรรมเหมือนของแข็งในระยะเริ่มต้นเมื่อถูกความเค้นเฉือนกระทำจนกระทั่งถึงจุดคราก (Yield) จะเปลี่ยนเป็นคุณสมบัติเหมือนของไหลนิวโตเนียน ของไหลประเภทนี้ได้แก่ ซอล์กโกแลต โคลนที่ถูกขูดขึ้นมา ซีตัง สบู่และยาสีฟันหรือพวกสารประกอบ(สี) , slurries, plastic น้ำสลিপของเซรามิก เป็นต้น รูปสมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับความหนืดและการเปลี่ยนแปลงความเร็วจะเป็น

$$\sigma = \sigma_0 + \mu_0 \cdot du/dy \quad (4)$$

เมื่อ  $\sigma_0$  = หน่วยแรงเฉือนที่จุดคราก (Yield)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปจากสมการที่ (2) ,(3) และ (4) สามารถรวมและจัดรูปใหม่เพื่ออธิบายลักษณะของเหลว Non-Newtonian ประเภทไม่ขึ้นกับเวลาได้เป็น

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n + \sigma_0 \quad (5)$$

โดยที่  $K$  = ค่าดัชนีความข้นเหลว (consistency index)

$n$  = ค่าดัชนีการไหล (flow behavior index)

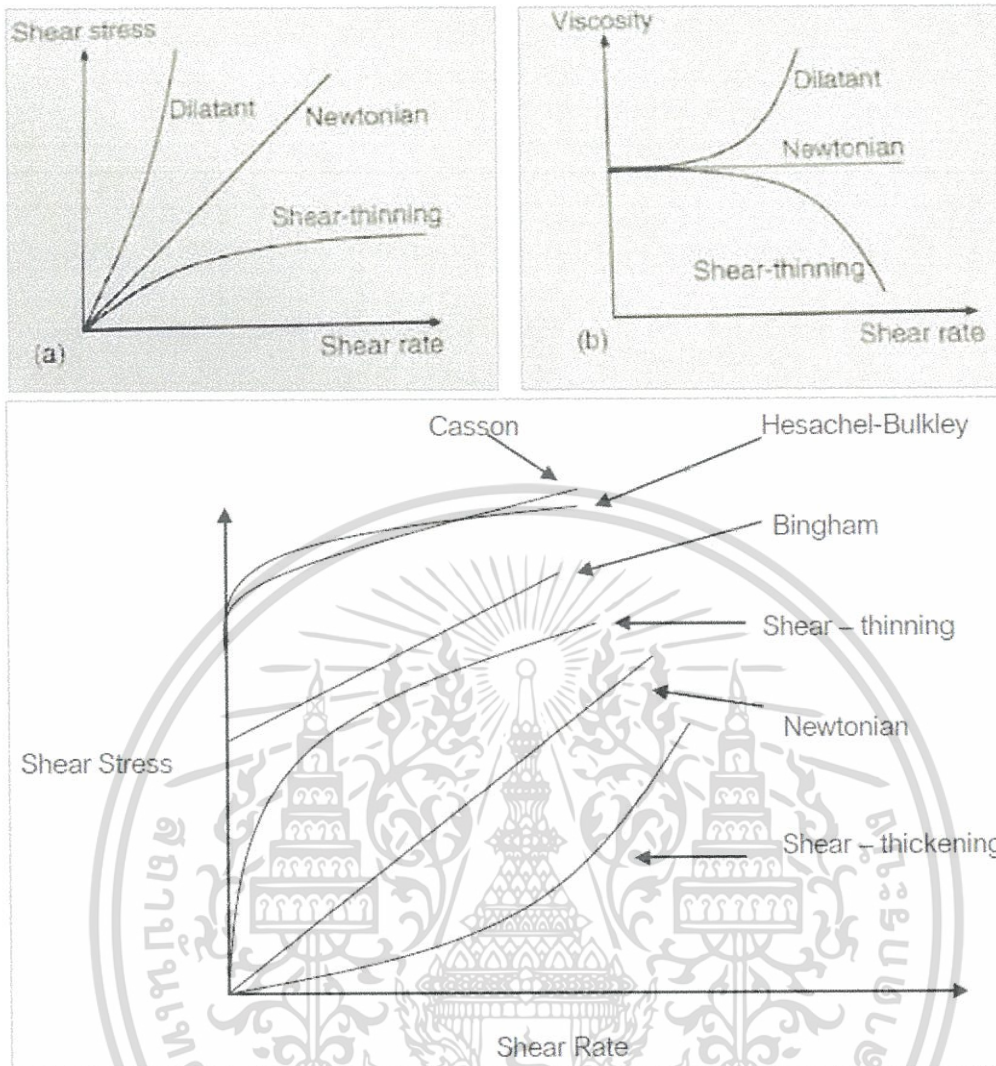
$\sigma_0$  = หน่วยแรงเฉือนที่จุดคราก (yield stress) ค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นที่ต้องการเอาชนะเพื่อให้เกิดการไหล

ตารางที่ 2.1 Typical mathematical models of Time-Independent Fluids

Fluid Type	$K$	$n$	$\sigma_0$	Examples
Newtonian	$> 0$	1	0	Water, fruit juices, milk, honey, vegetable oil
Herschel–Bulkley	$> 0$	$0 < n < \infty$	$> 0$	Minced fish paste, raisin paste
Shear-thinning (pseudoplastic)	$> 0$	$0 < n < 1$	0	Applesauce, banana puree, orange juice concentrate
Shear-thickening (dilatant)	$> 0$	$1 < n < \infty$	0	Some type of honey, 40 % raw corn starch solution
Bingham plastic	$> 0$	1	$> 0$	Toothpaste, tomato paste

ที่มา : Steffe (1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate ของของไหล  
ที่มา : Steffe (1996)

(a) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate กับ shear stress ของของเหลวที่แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian และแบบ Non-newtonian (Shear thinning และ Dilatant)

(b) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate กับ viscosity ของของเหลวที่แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian และแบบ Non-newtonian (Shear thinning และ Dilatant)

นอกจากนี้ยังมีสมการของ Casson ที่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของไหลประเภทนอนนิวโตเนียนได้ เช่นกันเช่นอาหารเหลวประเภทซอล์กโกแลตจะใช้สมการของ Casson ในการอธิบาย

$$\sigma_{0.5} = \sigma_0^{0.5} + (\eta_{CA}\dot{\gamma}')^{0.5} \quad (6)$$

โดยที่  $\eta_{CA}$  = ค่าความหนืดของ Casson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2.2 ของไหลประเภทขึ้นกับเวลา (Time-dependent Fluid)

ลักษณะที่เด่นของของไหลที่ขึ้นกับเวลาก็คือเป็นของไหลที่ค่าหน่วยแรงเฉือนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไปของไหลประเภทนี้แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1. ของไหล rheopectic ของไหลประเภทนี้จะมีค่าของหน่วยแรงเฉือนเพิ่มขึ้นตามเวลา (ค่า Shear stress เพิ่มขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น) ทำให้ของไหลประเภทนี้มีอัตราความเครียด (Strain rate) คงที่ของไหลประเภทนี้ได้แก่สารละลายยิปซัม เป็นต้น

2. ของไหล Thixotropic ของไหลชนิดนี้มีค่าหน่วยแรงเฉือนตรงกันข้ามกับประเภทของไหล rheopectic กล่าวคือค่าหน่วยแรงเฉือนจะลดลงตามระยะเวลาเพื่อรักษาให้ค่า  $du/dy$  มีค่าคงที่ของไหลชนิดนี้มีการแตกตัวในระดับโมเลกุลและสร้างโมเลกุลขึ้นใหม่ในเวลาเดียวกัน Thixotropic Fluid จะแสดงพฤติกรรมของ Newtonian เมื่อเริ่มเคลื่อนที่และจะแสดงพฤติกรรมแบบ Non-Newtonian ตามมาซึ่งมีส่วนคล้ายกับพฤติกรรม Bingham Plastic ของไหลประเภทนี้ได้แก่สีแห้งเร็วอาหารเหลวบางชนิด เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 ผลของเวลาที่มีต่อของเหลว

ที่มา : Steffe ( 1996 )

### 2.3.2.3 ของไหลประเภทยืดหยุ่นตัว (Viscoelastic Fluids)

ของไหลชนิดนี้จะให้สมบัติที่มีทั้งการยืดหยุ่น (Elastic) และมีความหนืด (Viscous) กล่าวคือในระหว่างการไหลจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะยืดหยุ่นตัวเองได้ด้วยอย่างของไหลประเภทยืดหยุ่นตัว ได้แก่ แป้งเปียก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound หรือ phenolics) ได้แก่ สารประกอบที่มี aromatic ring และ hydroxyl group อย่างน้อย 1 และรวมไปถึงอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่เคมีต่างๆ ตัวอย่างสารประกอบฟีนอล ได้แก่ flavonoids, lignin, ฮอร์โมน, adseisic acid, cinnamic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, กรดอะมิโน tyrosine, phenylalanine และ dihydroxy-phenylalanine (DOPA), coenzyme Q และผลผลิตจากเมทาบอลิซึมอีกหลายชนิด

สารประกอบฟีนอลเป็นตัวแทนของสารในธรรมชาติที่นับว่ามีปริมาณมากชนิดหนึ่งและมีความสำคัญต่อสรีรวิทยาหลังจากการเก็บเกี่ยว เนื่องจากหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับสีและกลิ่นรส ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลแตกต่างกันไปอย่างมากภายในผลผลิตหลังจากการเก็บเกี่ยว เช่น ในผลไม้สุกอาจมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละน้อยขึ้นอยู่กับโมเลกุลอื่นอย่างรวดเร็ว และพบบ่อยที่ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักทำให้เอนไซม์หมดสภาพ ซึ่งมักเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเอนไซม์ในพืชโดยรวมแล้วสารประกอบฟีนอลจะไวต่อการเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ phenolases ไปเป็น diphenols และเปลี่ยนต่อไปเป็น quinines นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลบางตัวยังสามารถ chelate กับโลหะ

สารประกอบฟีนอลภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปอิสระนั้นพบน้อยมาก ส่วนใหญ่มักพบรวมอยู่กับโมเลกุลอื่นหลายชนิดพบในรูป glycosides โดยเชื่อมต่อกับมอโนแซคคาไรด์ หรือ ไดแซคคาไรด์ โดยเฉพาะกลุ่มของ flavonoids ซึ่งมักรวมกับน้ำตาล นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น hydroxycinnamic acid อาจพบรวมกับ organic acids, amino groups, lipids, terpenoids, phenolics และกลุ่มอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำตาล การรวมตัวในลักษณะนี้ภายในเซลล์ เป็น monophenols และ diphenols ทำให้เกิดความเป็นพิษกับพืช (phytotoxic) น้อยกว่าในรูปอิสระ

การแบ่งชนิดของสารประกอบฟีนอล แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามจำนวน phenol rings ที่มีอยู่

1. Monocyclic phenols มี 1 phenol ring ที่พบทั่วไปในพืชได้แก่ phenol, catechol, hydro-quinine และ p-hydroxycinnamic acid
2. Dicyclic phenols มี 2 phenol rings ได้แก่ flavonoids และ lignans
3. Polycyclic phenols หรือ polyphenol ได้แก่ lignins, catechol melanins, flavolans (condensed tannins) (ธวัชชัย, 2541)

## 2.5 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ สารเหล่านี้อาจพบในธรรมชาติ พืชผักผลไม้ ซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ได้แก่ กรดยูริก บิลิรูบิน จะกำจัดอนุมูล (โอบาส วัชระคุปต์, 2549) วิตามินต่างๆ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน กลูตาไทโอน และ ยูบิควิโนน จะหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ รวมทั้งโคเอนไซม์ ซีลีเนียม ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก (Weecharangsan และ Opanasopit, 2004) เป็นต้น

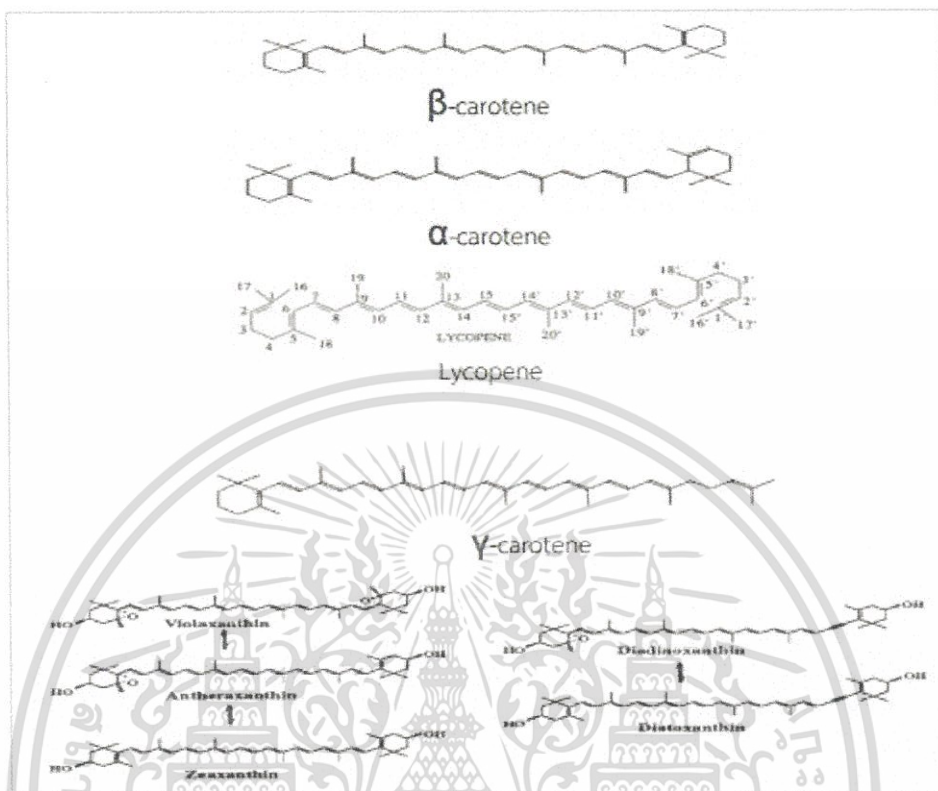
สารต้านอนุมูลอิสระมีโครงสร้างเคมีและฤทธิ์ด้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน เช่น วิตามินอีมีโครงสร้างเคมีที่ละลายไขมันได้ดีจึงสามารถเข้าไปออกฤทธิ์ที่เมมเบรนได้ และมีฤทธิ์ที่สามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ โดยจะทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลลิพิดเปอร์ออกไซด์และได้เป็นอนุมูลวิตามินอี วิตามินซีละลายน้ำได้ดีมีหน้าที่เปลี่ยนอนุมูลวิตามินอี ทำให้วิตามินอีกลับคืนโดยการรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลวิตามินอี อนุมูลวิตามินซีจะถูกขับออกทางปัสสาวะ (โอบาส วัชระคุปต์, 2549) สารต้านอนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เช่น BHA, BHT และ gallate เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายคน เพื่อป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับ สารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่อาจก่อผลเสียต่อร่างกายนอกจากนี้ในอาหาร เช่น ผลไม้ ผัก และสมุนไพร ที่มีสารฟลาโวนอยด์ สารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ที่พบในพืชต่างๆ มากกว่า 5,000 ชนิด เป็นองค์ประกอบสำคัญจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้

สารต้านอนุมูลอิสระทำลายอนุมูลอิสระโดยการให้หรือรับอิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่สิ้นสุดลง สารต้านอนุมูลอิสระโดยตัวเองจะไม่กลายเป็นอนุมูลอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ เนื่องจากตัวมันเองมีความคงตัวทั้งในรูปอิเล็กตรอนครบและอิเล็กตรอนขาดหรือเกิน กลไกการต้านอนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 2 กลไกตามลักษณะการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ คือ ฤทธิ์ป้องกันอนุมูลอิสระ (preventive antioxidant activity) และฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ (free-radical scavenging antioxidant activity) (Weecharangsan และ Opanasopit, 2004)

## 2.6 แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารสีที่พบมากในพืชและสัตว์มีทั้งสีเหลืองส้มและแดง (Britton, 1996) เป็นสารสีที่ละลายในไขมันแคโรทีนอยด์มีมากกว่า 600 ชนิด (T.W. Goodwin, 1980) และพบได้มาก ในอาหารซึ่งแคโรทีนอยด์เหล่านี้สามารถสกัดและนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารได้ แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 40 อะตอม โครงสร้างพื้นฐานของ แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์พรีน (Terprene Group) เกิดจาก หมู่อไอโซพรีน 8 หน่วยซึ่งเป็นสารประกอบอัลคีน (Alkene) ที่มีพันธะคู่จำนวนมากในโมเลกุลมาเรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่ชนิดคอนจูเกตซึ่งมีลักษณะที่สำคัญคือ พันธะคู่ 2 คู่ จะถูกแบ่งโดยพันธะเดี่ยวและมีการเชื่อมต่อกับหมู่เมทิลโดยการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่อไอโซพรีนการต่อกันของไอโซพรีน ในโครงสร้างมี 2 แบบ คือ แบบหัวโมเลกุลต่อกับท้ายโมเลกุล (Head to Tail) และท้ายโมเลกุลต่อท้ายโมเลกุล (Tail to Tail) การเชื่อมต่อระหว่าง หมู่อไอโซพรีนของแบบโมเลกุลต่อท้ายโมเลกุลจะพบที่บริเวณส่วนกลางในโครงสร้างโมเลกุลแคโรทีนอยด์ (Gross, 1987) ความยาวของสายโซ่คาร์บอนมีผลต่อความเข้มสีแคโรทีนอยด์ เนื่องมาจากจำนวนพันธะคู่ชนิดคอนจูเกตเป็นต้นนั้น ไม่นับว่าให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยถ้าโมเลกุลมีจำนวนพันธะคู่ชนิดคอนจูเกตมากจะมีสีแดงเข้มขึ้น จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลแคโรทีนอยด์ที่น้อยที่สุดคือ 7 ซึ่งให้สีเป็นสีเหลือง ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างของ  $\beta$ -carotene,  $\alpha$ -carotene, lycopene,  $\gamma$ -carotene และ xanthophyll  
ที่มา: [http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw\\_ch2.pdf](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw_ch2.pdf)

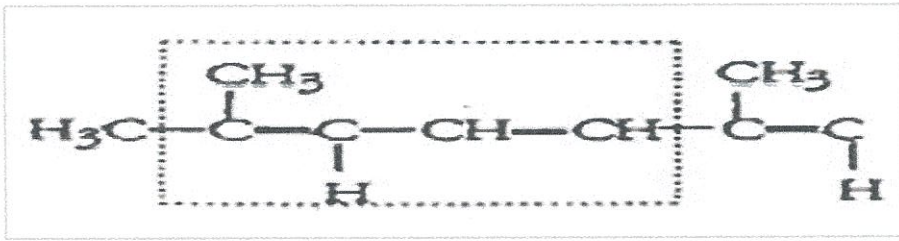
### 2.6.1 สารสีที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีน

ไอโซพรีนเป็นหน่วยย่อยของแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 5 ตัว ดังโครงสร้างด้านล่างที่แสดงในภาพที่ 2.8 และ 2.9 สารสีในกลุ่มนี้คือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งได้ชื่อเนื่องจากเป็นสารสีหลักในแครอท

แคโรทีนอยด์เป็นจำนวนมากประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมถึง 40 ตัว หรือมีหน่วยไอโซพรีน 8 หน่วย จะพบว่าโครงสร้างจะเป็นแบบพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (Conjugated Double Bond) จำนวนมาก ยิ่งมีจำนวนมากสีจะเข้มขึ้น พันธะที่อยู่ในแบบทรานส์จะพบมากแต่จะพบพันธะที่อยู่ในแบบซิสบ้าง พันธะคู่ในแบบซิสจะทำให้สีจางลง สีของแคโรทีนอยด์จะเป็นสีเหลืองและสีแดง

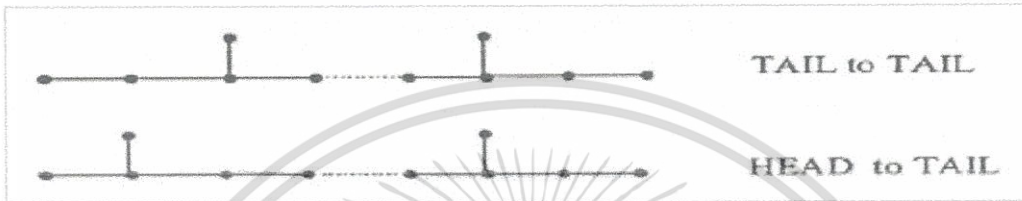
แคโรทีนอยด์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักตามลักษณะ โครงสร้าง และองค์ประกอบของโมเลกุล คือ ชนิดที่เป็นไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด ซึ่งจะมีทั้งชนิดที่ไม่มีวงแหวนและชนิดที่มีวงแหวนที่ปลายด้านหนึ่งเพียงวงเดียวหรือชนิดที่มีวงแหวนที่ปลายทั้งสองข้างชนิดที่ไม่มีวงแหวนและไม่มีวงแหวนทั้งสองข้าง ถ้าแบ่งครึ่งโมเลกุลแล้วจะได้สองส่วนที่เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน และชนิดที่สองคือ โครงสร้างโมเลกุลมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล เช่น หมู่ของไฮดรอกซิล อีพอกซี แอลดีไฮด์ หรือหมู่มากของคีโตน รวมเรียกว่า แซนโทฟิลล์แคโรทีนอยด์ ที่พบในพืชทั่วไป คือ เบต้า-แคโรทีน ซึ่งมักจะใช้เป็นสีผสมอาหารโดยอาจสกัดจากสารธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ที่พบในพืช

เอ็กสตรัคชันเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะสกัดสีจากพืช ซึ่งใช้หลักการแยกสีออกจากกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของหมู่ไอโซพรีน

ที่มา: [http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw\\_ch2.pdf](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw_ch2.pdf)



ภาพที่ 2.9 ลักษณะการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีนในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์

ที่มา: [http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw\\_ch2.pdf](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw_ch2.pdf)

ไลโคพีนมีสีแดงพบในมะเขือเทศ เบต้า-แคโรทีนและแอลฟา-แคโรทีนมีสีเหลืองพบในแครอท เบต้า-คริปโทแซนทินมีสีเหลืองพบในข้าวโพด ปาปริกา มะละกอ และส้มแมนดาริน นีโอแซนทินมีสีเหลืองพบในใบผักที่มีสีเขียว แคปแซนทินมีสีแดงพบในพริก ไวโอลาแซนทินมีสีเหลืองพบในผักใบเขียว ใบจีนมีสีเหลืองพบในเมล็ดของคำแสด (annatto) ลูทีนซีแซนทินพบในข้าวโพด เบต้า-แคโรทีนพบในพืชทองและมันเทศ ผักใบเขียวทั้งหมดจะมีแคโรทีนอยด์อยู่ในคลอโรพลาสต์รวมกับคลอโรฟิลล์แต่ไม่ปรากฏสีเพราะมีปริมาณของคลอโรฟิลล์มากกว่า จึงบังสีเหลืองไว้และเมื่อผักเริ่มแก่มากขึ้นใบร่วง สีเขียวจางลงเพราะคลอโรฟิลล์สลายตัว จึงมีปริมาณลดลง และมีแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นจึงเห็นเป็นสีเหลือง ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกันในผลไม้และผักบางชนิด

#### 2.6.2 การจำแนกสารกลุ่มแคโรทีนอยด์

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

##### 2.6.2.1 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน (Hydrocarbon Carotenes)

เป็นกลุ่มที่โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมกับไฮโดรเจนอะตอมเท่านั้นมีสูตร  $C_{40}H_{56}$  ตัวอย่างเช่นลูทีน (Acyclic) บีตาแคโรทีน (Cyclic) และไลโคพีน เป็นต้น

##### 2.6.2.2 กลุ่มออกซิเจนเตดแซนโทฟิลล์ (Oxygenated Xanthophylls)

เป็นกลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่อนุพันธ์ที่ประกอบด้วยออกซิเจนอะตอม อยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลด้วยได้แก่ สารพวกแซนโทฟิลล์ เช่น ซีแซนทิน (Zeaxanthin) มีอนุพันธ์ของไฮดรอกซิล สไปลิลโลแซนทิน (Spilloxanthin) มีอนุพันธ์ของเมทอกซิล เป็นต้น

##### 2.6.2.3 ไลโคปีน (Lycopene)

ไลโคปีน (Lycopene) มีรากศัพท์มาจากภาษาละตินคำว่า Lycopersicum ซึ่งเป็นชื่อทางวิทยาศาสตร์ บ่งบอกสปีชีส์ของมะเขือเทศ (Solanum lycopersicum) ไลโคปีนจัดเป็นสารประกอบในกลุ่ม แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ชนิดหนึ่งใน 600 ชนิดละลายได้ดีในไขมันเช่นเดียวกับเบต้า-แคโรทีน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรงควัตถุ (Pigment) สีแดงพบได้ทั่วไปในมะเขือเทศสุกฝรั่ง (Pink Gua-va) แตงโมส้มมะละกอแครอท ส้มโอ สีมชมพูที่ขาวมีสารไลโคปีนมากกว่ามะเขือเทศถึง 70 เท่าและในผักผลไม้สีแดงต่างๆ (ยกเว้นสตรอเบอร์รี่และเชอร์รี่) ไม่พบในสัตว์

ไลโคปีนที่พบจะมีโครงสร้างทางเคมี 2 แบบคือ Trans Configuration และแบบ Cis-isomer โดยในธรรมชาติจะพบไลโคปีนแบบ Trans Configuration แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบ Cis-isomer ได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนและแสงสว่าง โดยในกระแสเลือดพบไลโคปีนแบบ Cis-isomer อยู่ถึง 60% ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ไลโคปีนได้ดังนั้นจึงต้องรับประทานไลโคปีนเข้าไปจากผักผลไม้หรืออาหารเสริมโดยไลโคปีนจะไปกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อบริเวณที่แตกต่างกันโดยส่วนใหญ่พบการสะสมของไลโคปีนมากที่สุดที่ต่อมหมวกไต ลูกอัณฑะและตับ

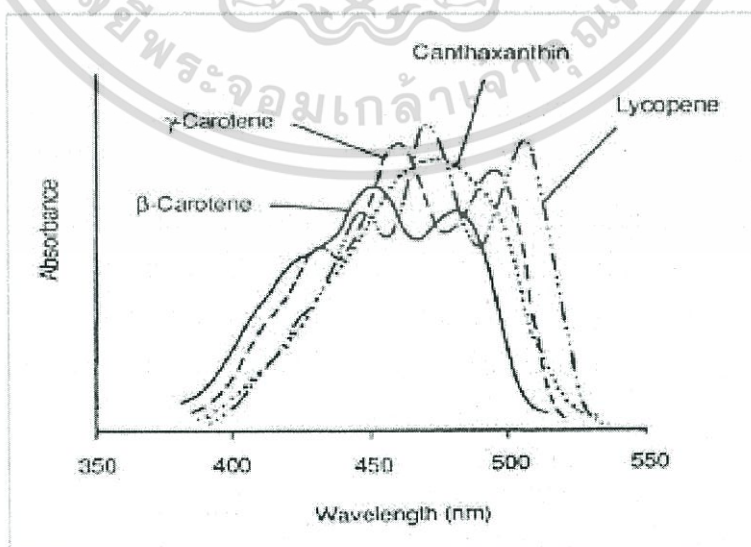
จากการศึกษาวิจัยพบว่าไลโคปีนที่ผ่านกระบวนการใช้ความร้อน (Heat Processed-Lycopene) เช่น การปรุงอาหารร่างกายจะสามารถดูดซึมไปใช้ได้ดีกว่าไลโคปีนในธรรมชาติ เนื่องจากไลโคปีนที่มีโครงสร้างแบบ Cis-isomer ถูกดูดซึมได้ดีกว่าแบบ Trans Configuration และแบบ Cis-isomer จะสามารถละลายและรวมตัวกับน้ำ (Bile acid micelles) ได้ดีกว่าแบบ Trans Configuration (T.W. Good-win, 1980)

### 2.6.3 สมบัติของแคโรทีนอยด์

#### 2.6.3.1 สมบัติทางกายภาพ

แคโรทีนอยด์ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วรวมถึงในไขมันและน้ำมันแต่ไม่ละลายในน้ำ การสกัดแคโรทีนอยด์ออกมาจากพืชสามารถทำได้โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เอทานอลหรืออะซีโตน แคโรทีนอยด์มีสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็นในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของแคโรทีนอยด์จะแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัด 3 ตำแหน่งโดยตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของพันธะคอนจูเกตในโครงสร้าง

โดยการดูดกลืนแสงของไลโคปีนจะสูงที่สุดรองลงมาเป็นแกมมา-แคโรทีน เบต้า-แคโรทีนและแคนทาแซนทินตามลำดับ (Britton, 1996) ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 การดูดกลืนแสงของแคโรทีนอยด์

ที่มา: [http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw\\_ch2.pdf](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/food0351tw_ch2.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นแจ้งให้ทราบแล้วจะปฏิบัติตามข้อกำหนดการดำเนินงาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1.2 สมบัติทางเคมี

แคโรทีนอยด์ไวต่อออกซิเจนและแสงมากแคโรทีนอยด์ในอาหารจะมีความคงตัวอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง หากไม่มีปัจจัยทางด้านแสงและออกซิเจนมารบกวน แคโรทีนอยด์ในธรรมชาติมีไอโซเมอร์แบบทรานส์ทั้งหมด จับกันด้วยพันธะคู่ชนิดคอนจูเกตซึ่งจะเปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์แบบซิส (Cis-isomer) เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยความร้อน ตัวทำละลายอินทรีย์และกรดซึ่งไอโซเมอร์แบบซิสที่เกิดขึ้นมีผลให้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยและเป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์รวมมีค่าลดลง (Macrae, 1988)

### 2.6.4 เบตาแคโรทีน

เบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) เป็นลิพิด (lipid) กลุ่มรงควัตถุ (pigment) ที่มีสีส้ม สีเหลือง อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) จัดเป็นแคโรทีนอยด์พวกที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Pro vitamin A) เพราะสามารถเปลี่ยนรูปเป็นเรตินอล (Retinol) ได้ที่เยื่อบุผนังลำไส้เล็กและตับ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Antioxidant) ช่วยในการเสริมสร้างให้ร่างกายเจริญเติบโตและช่วยให้มีความกระฉับกระเฉง สร้างภูมิคุ้มกันโรคที่เกิดจากเชื้อราและไวรัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จินตนาภรณ์ และ คณะ (2552) ได้ศึกษาศักยภาพของสารสกัดผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกในการปกป้องการทำลายสมองและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมอง โดยการป้อนสารสกัดมะม่วงน้ำดอกไม้สุกขนาดต่างๆ แก่หนูขาวเพศผู้พันธุ์ Wistar แล้วนำมาประเมินฤทธิ์ด้านความกังวล ฤทธิ์ต้านการซึมเศร้า ฤทธิ์ต่อการเรียนรู้และความจำทั้งที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับทิศทาง ผลการศึกษาพบว่าหนูขาวเพศผู้ที่ได้รับสารสกัดน้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกขนาด 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวและสารสกัดแอลกอฮอล์ของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกขนาด 12.5, 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว มีฤทธิ์เพิ่มการเรียนรู้แบบเกี่ยวข้องกับทิศทางในภาวะปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับสารสกัดน้ำมะม่วงน้ำดอกไม้สุกขนาด 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวและหนูที่ได้รับสารสกัดแอลกอฮอล์ของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกขนาด 12.5, 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว มีความหนาแน่นของเซลล์ประสาทของสมองส่วน hippocampus เพิ่มขึ้น กลไกหลักในการออกฤทธิ์ของสารสกัดน้ำจะออกฤทธิ์ผ่านการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl cholinesterase และการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระทำให้ลดการที่อนุมูลอิสระจะไปทำลายโครงสร้างของเซลล์โดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้มีผลเพิ่มความหนาแน่นของเซลล์ประสาทที่ยังมีชีวิตในสมองบริเวณฮิปโปแคมปัสซึ่งเป็นบริเวณที่มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ ส่วนกลไกหลักการออกฤทธิ์ของสารสกัดแอลกอฮอล์ของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกจะผ่านการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระทำให้มีความหนาแน่นของเซลล์ประสาทในสมองบริเวณ hippocampus เพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สารสกัดน้ำมะม่วงน้ำดอกไม้สุกจะมีปริมาณ total phenolic compound  $413.61 \pm 17.28$  mg of Gallic Acid Equivalent (GAE)/mg fruit weight มีปริมาณเบต้าแคโรทีน  $6.19 \mu\text{g/g}$  ในขณะที่สารสกัดแอลกอฮอล์ของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีปริมาณ total phenolic compound  $513.79 \pm 27.17$  mg of Gallic Acid Equivalent (GAE)/mg fruit weight และมีปริมาณเบต้าแคโรทีน  $47.21$  mg/g ดังนั้นผลจากการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นรายงานทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงให้เห็นว่ามะม่วงน้ำดอกไม้เป็นอาหารเสริมสุขภาพที่มีศักยภาพสามารถนำมาสร้างเสริมประสิทธิภาพการเรียนรู้และความจำทั้งในภาวะปกติและน้ำมะม่วงน้ำดอกไม้สุกจะสามารถนำมาพัฒนาเป็นเครื่องดื่มเสริมสุขภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองได้เป็นอย่างดีและอาจนำมาดัดแปลงเป็นอาหารเสริมสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหาการเรียนรู้และความจำได้

Morton (1987) ได้แสดงคุณค่าอาหารของมะขามสุกในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ประกอบด้วยแคลอรี 115 หน่วย น้ำ 28.2 - 52 กรัม โปรตีน 3.1 กรัม ไขมัน 0.1 กรัม โยอาหาร 5.6 กรัม คาร์โบไฮเดรต 67.4 กรัม น้ำตาลอินเวิร์ต (กลูโคส 70 เปอร์เซ็นต์และฟรุกโทส 30 เปอร์เซ็นต์) 30 - 41 กรัม เกลือ 2.9 กรัม แคลเซียม 35 - 170 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 54 - 110 มิลลิกรัม ธาตุเหล็ก 1.3 - 10.9 มิลลิกรัม โซเดียม 24 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 375 มิลลิกรัม วิตามินเอ 15 I.U. โทอะมิน 0.16 มิลลิกรัม ไโรโบฟลาวิน 0.07 มิลลิกรัม ไนอะซิน 0.6 - 0.7 มิลลิกรัม กรดแอสคอบิก 0.7 - 3.0 มิลลิกรัม กรดทาร์ทาริก 8 - 23.8 มิลลิกรัม และกรดออกซาลิกเล็กน้อย

Morton (1958) ได้รายงานว่ามะขามในอินเดียเป็นแหล่งของกรดทาร์ทาริก แอลกอฮอล์ (12 %yield) และเพกติน (2.5 %yield) นอกจากนี้ยังพบรงควัตถุโครแซนทีนิน (pigment chrysanthemine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tang (2007) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีของเพียวเร่บลูเบอร์รี่ โดยเจือจางด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water) เพื่อให้ได้ 4 ระดับความเข้มข้นคือ 10, 15, 20 และ 25 บริกซ์ และนำไปวัดคุณสมบัติทางรีโอโลยีที่ 4 ระดับอุณหภูมิคือ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ( $\pm 0.1$  องศาเซลเซียส) ในช่วงอัตราเฉือน  $10 - 1000 \text{ s}^{-1}$  พบว่า ระดับความเข้มข้นที่สูงและอุณหภูมิที่ต่ำจะส่งผลให้มีความเค้นเฉือน (shear stress; Pa) ความเค้นที่จุดคราก (yield stress; Pa) และความหนืด (viscosity; Pa.s) ที่ได้นั้นสูงไปด้วย ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าเพียวเร่บลูเบอร์รี่ในระดับความเข้มข้น 25 บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความเค้นเฉือน (shear stress; Pa) ความเค้นที่จุดคราก (yield stress; Pa) และความหนืด (viscosity; Pa.s) สูงที่สุด

Federica Balestra (2011) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีกายภาพและทางด้านรีโอโลยีของเพียวเร่ผลไม้ต่างๆ คือ ลูกท้อ แอปเปิ้ลและลูกแพร์ จากการเก็บรักษา โดยแบ่งช่วงการเก็บรักษาเป็น 3 ช่วงพบว่า ยิ่งเก็บรักษาเป็นเวลานานจะส่งผลให้ค่าความเค้นที่จุดคราก (ปาสคาล) และมีความเข้มข้นสูงขึ้น และยังส่งผลให้ค่า pH,  $L^*$ ,  $h^\circ$  และ  $C^*$  ลดต่ำลง นอกจากนี้ได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่างความคงตัวของ การไหล (bostwick consistency) กับ ตัวแปรเชิงรีโอโลยี (rheological parameters) เช่น ความหนืด (viscosity) และค่าความเค้นที่จุดคราก (yield stress) พบว่า มีความสัมพันธ์กันมากกับค่าความเค้นที่จุดคราก (yield stress) โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.90 ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำเครื่อง bostwick consistometer มาใช้ในการวัดคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเพียวเร่ผลไม้แทนเครื่อง rheometer

วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน และดวงฤดี เชิดวงศ์เจริญสุข (2554) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวด้วยวิธี DPPH โดยใช้กรดแอสคอบิกเป็นสารละลายมาตรฐาน พบว่า สารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีปริมาณฟีนอลและร้อยละการยับยั้งสาร DPPH อยู่ในช่วง  $41.01 \pm 4.92$  ถึง  $91.64 \pm 1.38$  ซึ่งมากกว่าสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณสารประกอบฟีนอลสัมพันธ์กับร้อยละการยับยั้งสาร DPPH และสารฟีนอลและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารสกัด

Biswas และ คณะ (2011) ได้วิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนในแครอทดิบและมันเทศ โดยเทคนิค UV-Vis Spectrophotometry โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย พบว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีนในแครอทเท่ากับ  $74.06 \pm 3.8$  ไมโครกรัมต่อกรัม และมันเทศเท่ากับ  $68.48 \pm 4.1$  ไมโครกรัมต่อกรัม การวิเคราะห์นี้พบว่า %Recovery อยู่ในช่วง 67.8 - 98.8 เปอร์เซ็นต์ %RSD อยู่ในช่วง 4.8 - 6.6 เปอร์เซ็นต์ และเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายและรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

มะขามเปียก, ตลาดมีนบุรี, ไทย

มะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้, ตลาดหัวตะเข้, ไทย

##### 3.1.2) สารเคมี

สารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95, Merck, เยอรมัน

กรดแกลลิก (Gallic acid), Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา

Folin-Ciocalteu Reagent (FCR), Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา

Beta-carotene, Sigma-Aldrich, สิงคโปร์

Sodium carbonate, Merck, เยอรมัน

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา

Acetone, Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา

#### 3.2 อุปกรณ์

เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer: UV 1601, Shimadzu, ญี่ปุ่น

เครื่อง Viscometer: Brookfield LVDV III, Brookfield AMETEK, สหรัฐอเมริกา

เครื่อง Colorimeter: minolta CR-300, Konica Minolta, ญี่ปุ่น

เครื่องวัดค่า Total soluble solid (Refractometer): N1,N2, ATAGO, สหรัฐอเมริกา

เครื่องวัดความหนืดแบบบราวน์ (Bostwick consistometer), CSC Scientific, สหรัฐอเมริกา

เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge): Universal 320, Hettich, เยอรมัน

เครื่องผสมสาร (Vortex mixture): SI-0236, Scientific Industries, สหรัฐอเมริกา

เครื่องเขย่า (Mechanical shaker), Gerhart, เยอรมัน

เครื่องวัด pH (pH meter), Mettler Toledo, ไทย

เครื่องปั่นผลไม้, Vitamix blender, สหรัฐอเมริกา

เครื่องกรองสุญญากาศ, SIBATA Scientific Technology, ญี่ปุ่น

เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง: SI-234, Denver Instrument, เยอรมัน

เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง: ARC120, Ohaus, สหรัฐอเมริกา

ตู้เย็น: WRN-S423, Whirlpool, เกาหลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง (sample preparation)

##### 3.3.1.1 เพียวแรมะขาม (tamarind puree)

นำมะขามเปียกที่ซื้อจากตลาดมีนบุรี กรุงเทพฯ จากนั้นแกะเปลือก เม็ดและใยที่เหลือออก นำไปแช่ในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในอัตราส่วนเนื้อมะขาม 1 กิโลกรัมต่อน้ำอุ่น 1000 มิลลิลิตร จากนั้นนำมะขามมายีผ่านตะแกรงเพื่อแยกกากใยที่เหลือที่ยังติดอยู่ในเนื้อมะขาม แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 3 นาที หรือจนกว่าเพียวแรมะขามที่ได้จะมีเนื้อเนียนละเอียด จากนั้นนำเพียวแรมะขามที่ได้แบ่งส่วนมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 บริกซ์ แล้วนำเพียวแรมะขามและเพียวแรมะขามที่เจือจาง 3 ระดับ มาเก็บรักษาในถุง ziploc แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาไม่เกิน 1 อาทิตย์ (ก่อนเก็บรักษา) และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน (หลังเก็บรักษา) แล้วนำไปวิเคราะห์ผลทั้งหมด (แต่ส่วนที่เป็นเพียวแรมะขามต้องหุ้มด้วยฟอยล์อีกชั้นเพื่อป้องกันไม่ให้โดนแสงก่อนนำไปวิเคราะห์ด้านสารต้านอนุมูลอิสระ)

##### 3.3.1.2 เพียวแรมะม่วง (mango puree)

นำมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้ ซื้อจากตลาดหัวตะเข้ กรุงเทพฯ มาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก จากนั้นปอกเปลือกและฝานเนื้อมะม่วงออกจากแกน นำเนื้อมะม่วงที่ได้มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆขนาดประมาณ 1 นิ้ว หรือ 2.54 เซนติเมตร นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 3 นาที หรือจนกว่าเพียวแรมะม่วงที่ได้จะมีเนื้อเนียนละเอียด จากนั้นนำเพียวแรมะม่วงที่ได้แบ่งส่วนมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 15, 17 และ 19 บริกซ์ แล้วนำเพียวแรมะม่วงและเพียวแรมะม่วงที่เจือจาง 3 ระดับ มาเก็บรักษาในถุง ziploc แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาไม่เกิน 1 อาทิตย์ (ก่อนเก็บรักษา) และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน (หลังเก็บรักษา) แล้วนำไปวิเคราะห์ผลทั้งหมด (แต่ส่วนที่เป็นเพียวแรมะม่วงต้องหุ้มด้วยฟอยล์อีกชั้นเพื่อป้องกันไม่ให้โดนแสงก่อนนำไปวิเคราะห์ด้านสารต้านอนุมูลอิสระ)

#### 3.3.2 วิธีการวัดคุณสมบัติด้านรีโอโลยี (measurement of rheological properties)

นำเพียวแรมะม่วงและเพียวแรมะขามเจือจางทั้ง 3 ระดับ ทั้งก่อนและหลังเก็บรักษามาให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ( $\pm 0.1$  องศาเซลเซียส) แล้วนำไปวัดคุณสมบัติทางรีโอโลยีโดยเครื่อง viscometer (Brookfield DV-III) ใช้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 20 กรัม/ครั้ง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

#### 3.3.3 วิธีการวัดคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพ (measurement of physicochemical properties)

##### 3.3.3.1 การวัดสี

ดัดแปลงมาจากวิธีของ Kaushik และ คณะ (2014) โดยนำเพียวแรมะม่วงและเพียวแรมะขามเจือจางทั้ง 3 ระดับ ทั้งก่อนและหลังเก็บรักษามาให้ความร้อนได้อุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ( $\pm 0.1$  องศาเซลเซียส) จากนั้นนำมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง colorimeter (minolta CR-300) แต่ต้องใช้พลาสติกใสวางบนตัวอย่างก่อนวัดค่า ค่าสีที่วัดได้แสดงในรูปของ  $L^*$  (ค่าความสว่าง)  $a^*$  (ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว) และ  $b^*$  (ค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน) โดยทำการสอบเทียบเครื่องวัดสีก่อนทำการวัด ซึ่งใช้ปริมาณของเพียวแรมะม่วงประมาณ 10 กรัม/ครั้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

เป็การนเป็นเอ็ดลวที่เรองนี้เรลที่รบกการเองนเพื่อกการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3.2 การวัด pH

นำเพียวเร่่มะม่วงและเพียวเร่่มะขามเจือจางทั้ง 3 ระดับ ทั้งก่อนและหลังเก็บรักษามาให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ( $\pm 0.1$  องศาเซลเซียส) จากนั้นนำมาวัดค่า pH โดย pH meter ซึ่งใช้ปริมาณของเพียวเร่ประมาณ 10 กรัม/ครั้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

### 3.3.3.3 การวัดความคงตัวของการไหล (bostwick consistency)

นำเพียวเร่่มะม่วงและเพียวเร่่มะขามเจือจางทั้ง 3 ระดับ ทั้งก่อนและหลังเก็บรักษามาให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ( $\pm 0.1$  องศาเซลเซียส) จากนั้นนำมาวัดความคงตัวของการไหล (bostwick consistency) โดยเครื่องวัดค่าความหนืดแบบราง (bostwick consistometer) ซึ่งใช้ปริมาณของเพียวเร่ประมาณ 100 กรัม/ครั้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

### 3.3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ

1. วิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ในเพียวเร่่มะม่วงและเพียวเร่่มะขาม

การสกัดตัวอย่างจากเพียวเร่่มะขามและเพียวเร่่มะม่วง

ใช้วิธีการสกัดตัวอย่างที่ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานโดย Chakraborty และ คณะ(2015) โดยนำเพียวเร่่มะม่วงและเพียวเร่่มะขามทั้งก่อนและหลังเก็บรักษาทำการละลาย จากนั้นนำ 20 กรัม ของตัวอย่าง ผสมด้วยตัวทำละลายเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ 80 มิลลิลิตร แล้วนำไปเก็บในเครื่องเขย่าที่ 104 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วเก็บส่วนใสที่กรองได้ในขวดสีชาแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 1 คืน เพื่อดูการตกตะกอนของตัวอย่างหลังจากการทำปฏิกิริยา จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เพื่อแยกตะกอนออกแล้วนำส่วนใสที่ได้มาใช้เป็นสารสกัดตัวอย่างในการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu

โดยดัดแปลงจากวิธีของ Zhou และ Yu. (2004) Kubola และ Siriamornpun (2008) จันทรเพ็ญ (2006) โดยสารประกอบฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วย UV-Visible spectrophotometer และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

ปเปตสารสกัดตัวอย่าง ตัวอย่างละ 0.15 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 4.85 มิลลิลิตร นำหลอดทดลองทั้งหมดมาเติมสารมาตรฐาน Folin- Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 10 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที (กรณีที่สารละลายทำปฏิกิริยาแล้วขุ่นให้นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกตะกอนออกก่อนการนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง) นำสารละลายที่ได้นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อคำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิกและการทดลองจะใช้น้ำกลั่นสำหรับการเตรียม Blank ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) โดยวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH – scavenging activity assay)

โดยจะใช้วิธีดัดแปลงจากวิธีของ จันทรเพ็ญ (2006) โดยที่เมื่อสารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีสีม่วงแดงทำปฏิกิริยากับสารสกัดที่มีสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายจากสีม่วงแดงเป็นสีที่จางลงหรือไม่มีสี ซึ่งในกรณีที่สารสกัดตัวอย่างเพียวเร่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีจะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่ากรณีที่สารสกัดตัวอย่างเพียวเร่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้น้อย จะติดตามการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วย UV-Visible spectrophotometer โดยเตรียมสารละลายปฏิกิริยาโดยปิเปตสารละลายต่างๆ ต่อไปนี้ใส่ลงในหลอดทดลองดังนี้

สำหรับตัวอย่าง: ใส่สารสกัดตัวอย่างที่ทำการเจือจางกับเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร และเติมเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 5.4 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรและการทดลองจะใช้เอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเตรียม Blank ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

สำหรับตัวควบคุม (control): ใส่เอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5.4 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ซึ่งในสารละลายในส่วนนี้จะให้เป็นตัวควบคุม (control) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเพียวเร่มะม่วง

ดัดแปลงมาจากวิธีของ วรัญญา (2015) และ Sanusi (2009) เบต้าแคโรทีน (beta-carotene) เป็นลิพิด (lipid) กลุ่มรงควัตถุ (pigment) ที่มีสีส้ม สีเหลือง อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) โดยทำหน้าที่เป็นสารต่อต้านปฏิกิริยา (antioxidant) แคโรทีนอยด์ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วรวมถึงในไขมันและน้ำมัน แต่ไม่ละลายในน้ำ ดังนั้นการสกัดแคโรทีนอยด์ออกมาจึงสามารถสกัดได้โดยใช้อะซิโตนและยังมีสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และแสงที่มองเห็น (visible light) ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร

การสกัดสารตัวอย่างจากเพียวเร่มะม่วง

โดยเพียวเร่มะม่วงทั้งก่อนและหลังเก็บรักษามาทำการละลาย จากนั้นนำ 5 กรัม ของ ผสมด้วยตัวทำละลายอะซิโตน 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปเก็บในเครื่องเขย่าที่ 104 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องพร้อมปิดฝาขวดและท่อฟอยล์ แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 1 คืน เพื่อลดการตกตะกอนหลังจากการทำปฏิกิริยา จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำส่วนใส (ส่วนบน) ที่ได้หลังจากการปั่นเหวี่ยงมาเก็บในขวดสีชาและส่วนของเนื้อเพียวเร่มะม่วง (ส่วนล่าง) มาสกัดต่ออีก 2 ซ้ำ โดยทำเหมือนกับการสกัดในซ้ำแรก จากนั้นนำสารสกัดตัวอย่างเพียวเร่มะม่วงที่ได้ทั้งหมดไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อคำนวณหาปริมาณเบต้าแคโรทีนโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีนและการทดลองจะใช้อะซิโตนสำหรับการเตรียม Blank ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 เพียวเร่มะขาม

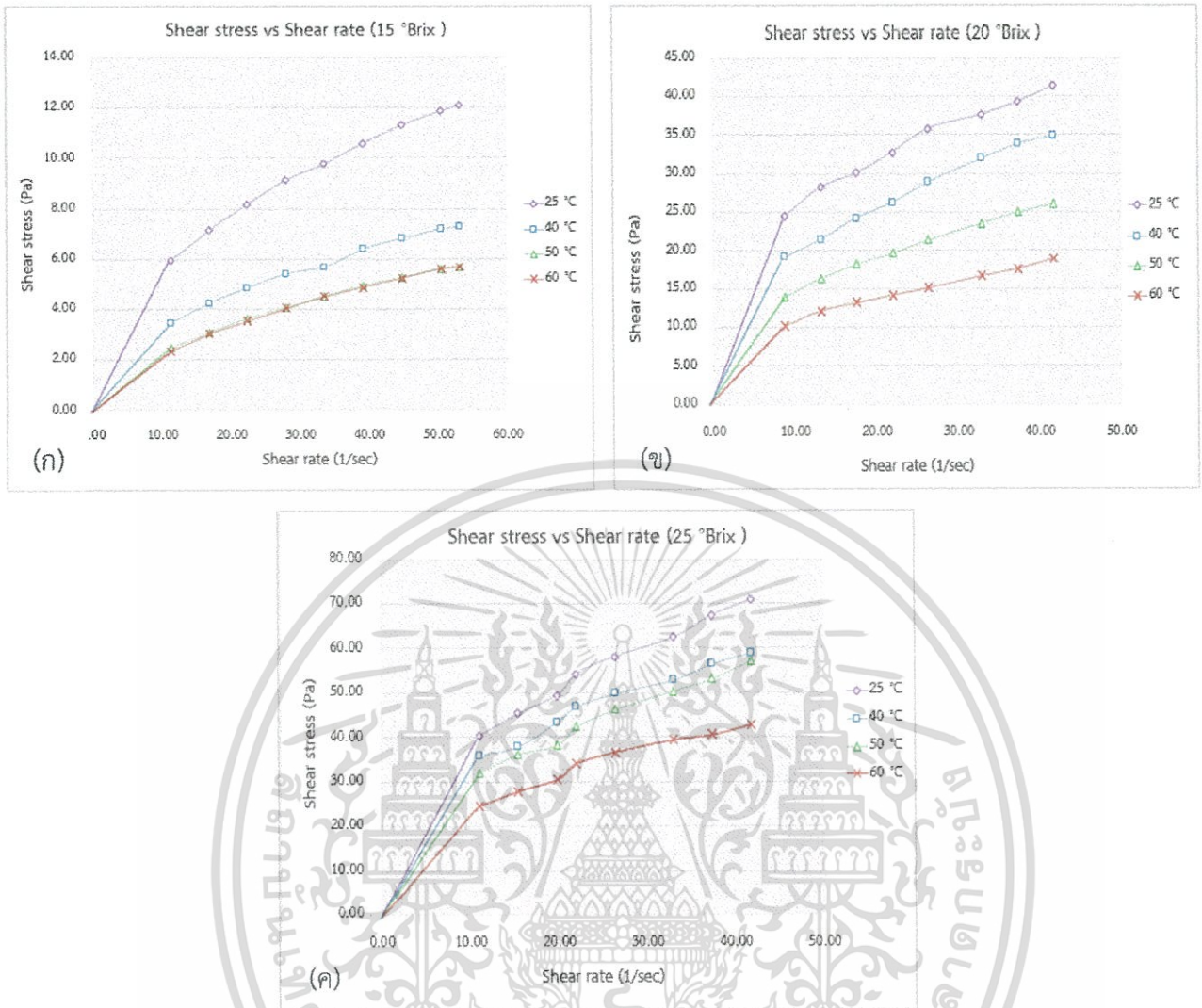
##### 4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยี

- คุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีของเพียวเร่มะขามก่อนเก็บรักษา

จากการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีด้วยเครื่อง viscometer ของเพียวเร่มะขามในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 ปริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ลดลง แต่ในทางตรงข้ามเมื่อระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันกับ Tang และคณะ (2007) ที่ทำการทดลองโดยใช้เพียวเร่บลูเบอร์รี่ในระดับความเข้มข้น 10, 15, 20 และ 25 ปริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

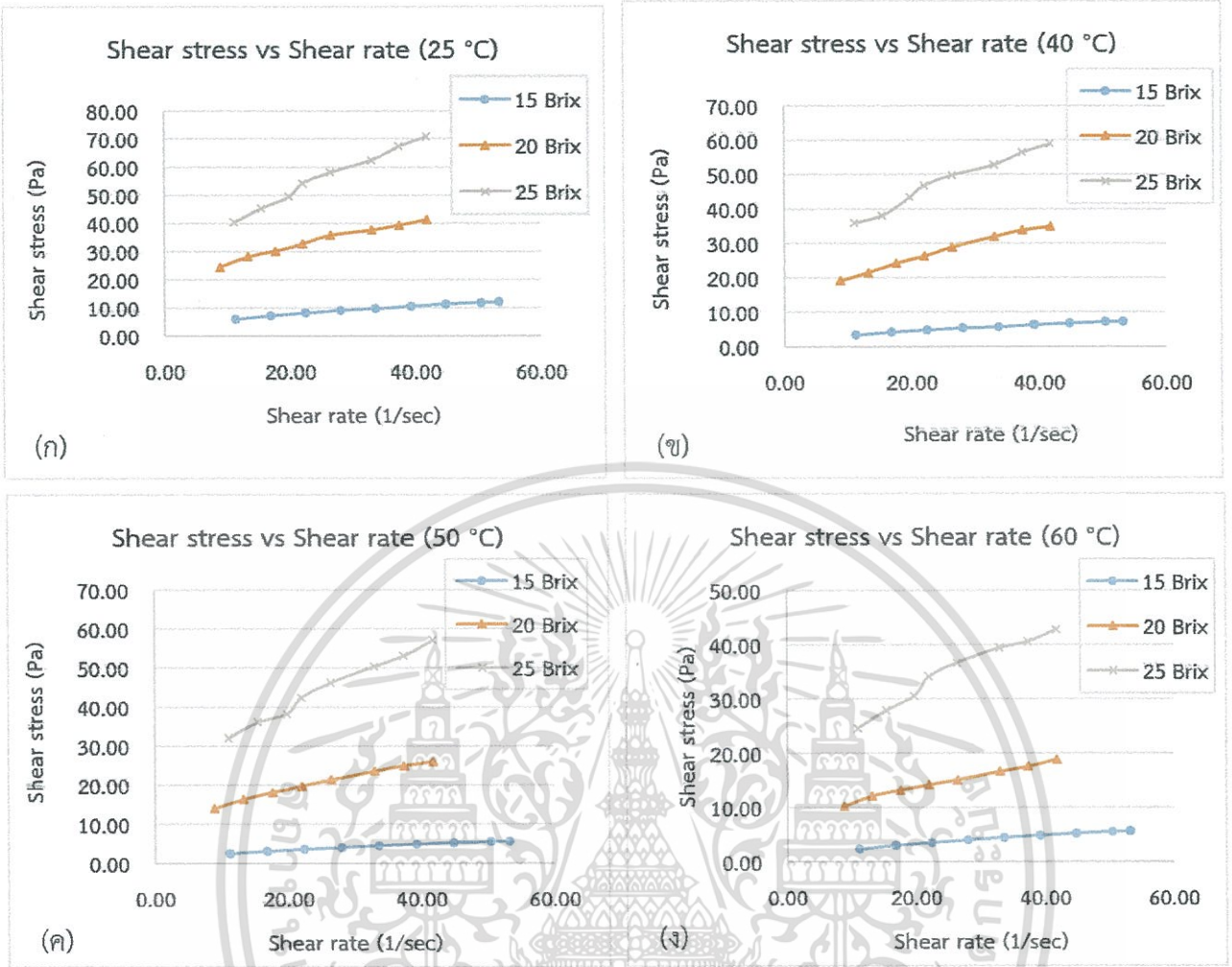
ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงผลของแต่ละระดับอุณหภูมิต่อเพียวเร่มะขามในระดับความเข้มข้นที่ 15, 20 และ 25 ปริกซ์ บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) จะเห็นได้ว่าความเค้นเฉือนจะลดลงอย่างสม่ำเสมอในระดับความเข้มข้น 20 ปริกซ์ และ 25 ปริกซ์ ของแต่ละระดับอุณหภูมิ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้น 15 ปริกซ์ จะเห็นว่าความเค้นเฉือนจะลดลงอย่างมากในช่วงระดับอุณหภูมิ 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส และดังภาพที่ 4.2 แสดงผลของแต่ละระดับความเข้มข้นของเพียวเร่มะขามต่อแต่ละระดับอุณหภูมิที่ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะส่งผลต่อระดับความเข้มข้นที่ต่ำมากที่สุด

ซึ่งจากการทดลองพบว่ายิ่งความหนืดของเพียวเร่มะขามเพิ่มขึ้นจะต้องใช้หัววัดหรือ probe ที่มีขนาดเล็กลง โดยจากการทดลองเพียวเร่มะขามในระดับความเข้มข้น 20 ปริกซ์ และ 25 ปริกซ์ จะใช้หัววัดหรือ probe เบอร์ 25 แต่เพียวเร่มะขามในระดับความเข้มข้น 15 ปริกซ์ จะใช้หัววัดหรือ probe เบอร์ 34 ทำให้สรุปได้ว่าความหนืดของเพียวเร่มะขามจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิต่ำลง



ภาพที่ 4.1 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) สำหรับเพียวแรมะขามในระดับความเข้มข้นที่ (ก) 15 บริกซ์, (ข) 20 บริกซ์ และ (ค) 25 บริกซ์ ในช่วงระดับอุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ในระดับอุณหภูมิที่ (ก) 25 องศาเซลเซียส, (ข) 40 องศาเซลเซียส, (ค) 50 องศาเซลเซียส และ (ง) 60 องศาเซลเซียส ในเฟี้ยวเริ่มมะขามที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

สมการ power law ( $\sigma = K \dot{\gamma}^n$ ) ถูกนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะพฤติกรรมการไหลของเฟี้ยวเริ่มมะขาม โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากสมการ power law ดังนี้ ค่า  $\sigma$  คือ ความเค้นเฉือน (shear stress; Pa) ค่า  $\dot{\gamma}$  คือ อัตราเฉือน (shear rate;  $s^{-1}$ ) ค่า K คือ สัมประสิทธิ์ความคงตัว (consistency coefficient) และค่า n คือ ดัชนีพฤติกรรมกรไหล (flow behavior index) ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังตารางที่ 4.1 โดย

ค่า  $\eta_{app}$  คือ ค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity; Pa.s) โดยคำนวณจากสูตร 
$$\eta_{app} = \frac{\sigma \text{ (shear stress)}}{\dot{\gamma} \text{ (shear rate)}}$$

ซึ่งคำนวณที่อัตราเฉือน (shear rate) 22.00  $s^{-1}$  ของเฟี้ยวเริ่มมะขามแต่ละระดับความเข้มข้นในหน่วยบริกซ์ และแต่ละระดับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) และค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{app}$ ) ลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานความร้อนภายในโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นทำให้เกิดระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นซึ่งเกิดจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

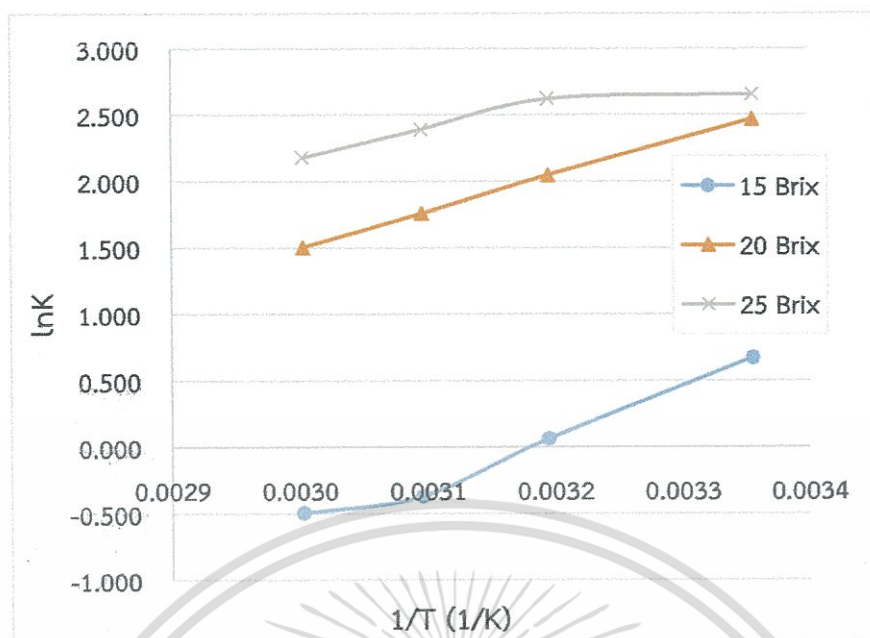
จึงส่งผลให้ความหนืดของของไหลลดลงที่ได้ลดลงเช่นกัน (Arslan และ คณะ, 2005) และมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล ( $n$ ) ที่ได้อยู่ในช่วง 0.3334 ถึง 0.5642 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติด้านรีโอโลยีแบบซูโดพลาสติก ที่กำหนดไว้ว่าค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จะแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบซูโดพลาสติก (Villarino และ คณะ, 2007)

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเหี่ยวระมะขาม

ความเข้มข้น (บริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสัมประสิทธิ์ ความคงตัว, K	ค่าดัชนีพฤติกรรม การไหล, n	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสลิ้งใจ, R <sup>2</sup>	ค่าความหนืดปรากฏ, $\eta_{app}$
15	25	1.9622	0.4592	0.9996	0.3652
	40	1.0667	0.4855	0.9969	0.1443
	50	0.6926	0.5320	0.9993	0.1086
	60	0.6114	0.5642	0.9989	0.1054
20	25	11.8040	0.3334	0.9950	1.4882
	40	7.7473	0.4023	0.9925	1.1927
	50	5.8058	0.4001	0.9982	0.8945
	60	4.5082	0.3755	0.9928	0.6145
25	25	14.2300	0.4275	0.9923	2.4650
	40	13.7880	0.3882	0.9815	2.1305
	50	10.9420	0.4374	0.9846	1.9268
	60	8.8691	0.4245	0.9858	1.5518

เมื่อนำสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model)  $K = K_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$  โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากสมการของอาร์เรเนียสดังนี้ ค่า  $K_0$  คือ แฟกเตอร์ความถี่ (frequency factor; Pa.s<sup>-1</sup>) ค่า  $E_a$  คือ พลังงานกระตุ้น (activation energy; J/g.mol) ค่า  $R$  คือ ค่าความคงที่ของแก๊ส (gas constant) ซึ่งเท่ากับ 8.314 J/g.mol.K และ ค่า  $T$  คือ อุณหภูมิ (temperature; Kelvin(K)) มาใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว ( $K$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ที่แสดงความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิที่ 0.0034 K<sup>-1</sup> (25 องศาเซลเซียส), 0.0032 K<sup>-1</sup> (40 องศาเซลเซียส), 0.0031 K<sup>-1</sup> (50 องศาเซลเซียส) และ 0.0030 K<sup>-1</sup> (60 องศาเซลเซียส) ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว ( $K$ ) ของเหี่ยวระมะขามในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวแรมะขามโดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส

พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ มีค่า  $\ln K$  ลดลงจาก 0.674 ถึง -0.492 ที่ระดับความเข้มข้น 20 บริกซ์มีค่าลดลงจาก 2.468 ถึง 1.506 และที่ระดับความเข้มข้น 25 บริกซ์ มีค่าลดลงจาก 2.655 ถึง 2.183 ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) ที่มีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ แต่จะตรงข้ามกับค่าแฟกเตอร์ความถี่ ( $K_0$ ) ที่มีค่าต่ำสุดที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ ดังแสดงที่ตาราง 4.2 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวแรมะขาม

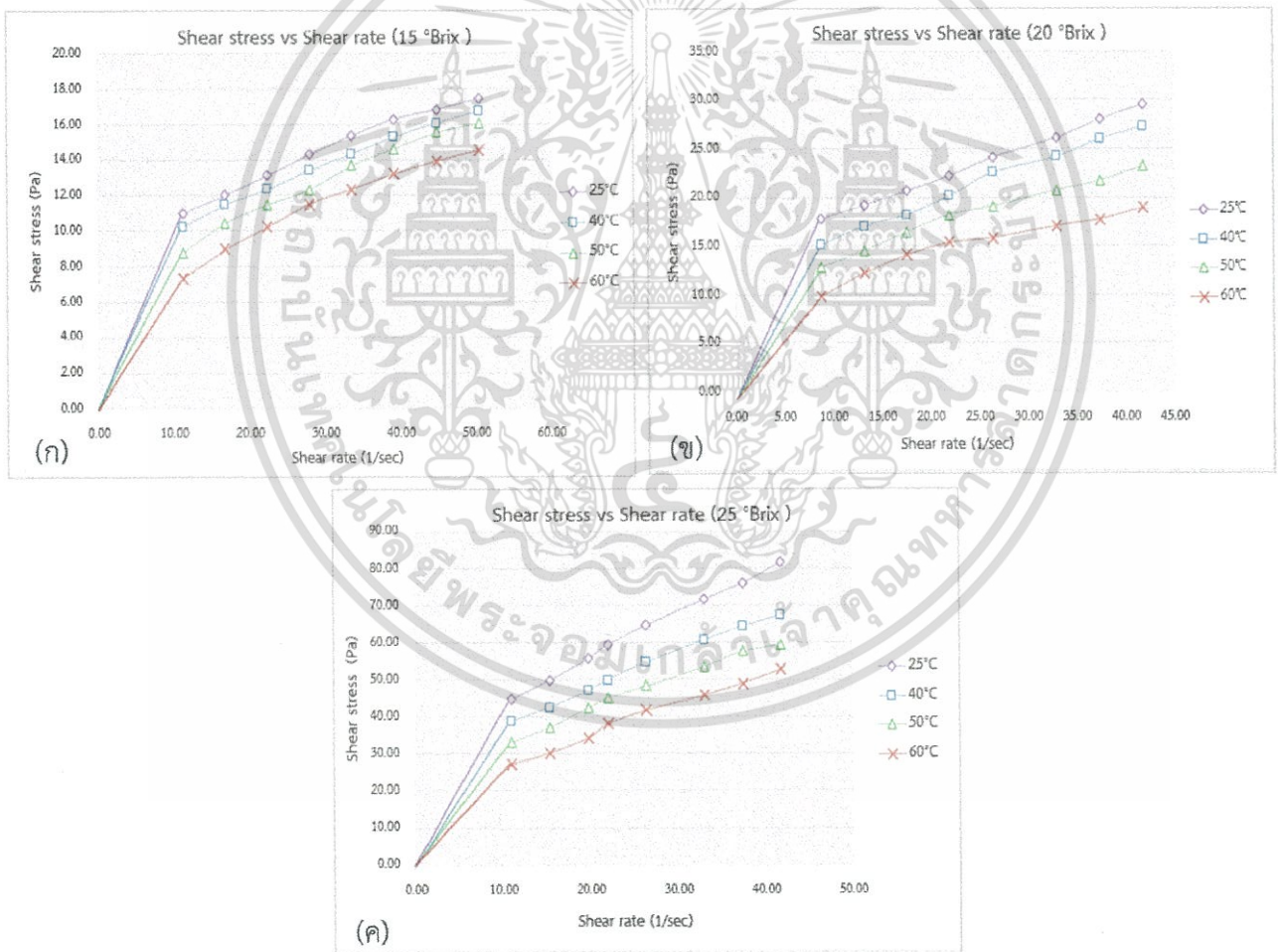
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวแรมะขาม

ความเข้มข้น (บริกซ์)	พลังงานกระตุ้น, $E_a$ (จูลต่อกรัมโมล)	แฟกเตอร์ความถี่ในสมการอาร์เรเนียส, $K_0$ (ปีสคาล.วินาที <sup>-1</sup> )
15	28657.063	0.000018
20	22765.921	0.001213
25	11181.882	0.167016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

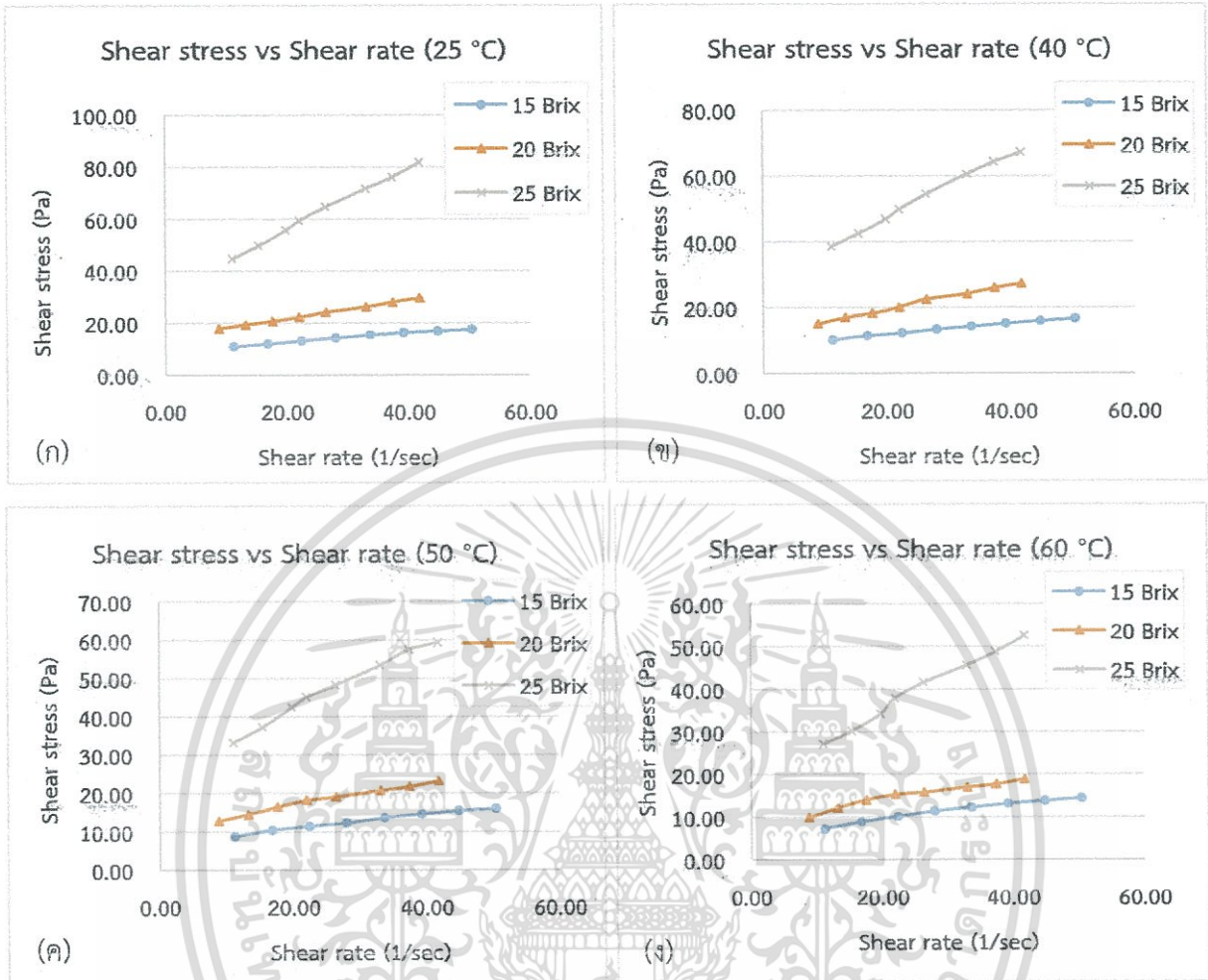
- คุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีของเพียวเระมะขามหลังเก็บรักษา

หลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับแต่ละระดับความเข้มข้นและระดับอุณหภูมิ ได้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับเพียวเระมะขามก่อนเก็บรักษา กล่าวคือระดับอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนลดลง ซึ่งในทางตรงข้ามเมื่อระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเค้นเฉือนที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 15 บริกซ์ และ 20 บริกซ์ แต่มีค่าลดลงเล็กน้อยที่ 25 บริกซ์ ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ที่แสดงผลของแต่ละระดับอุณหภูมิต่อระดับความเข้มข้นที่ 15, 20 และ 25 บริกซ์ บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) และดังภาพที่ 4.5 แสดงผลของแต่ละระดับความเข้มข้นต่อระดับอุณหภูมิที่ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ของเพียวเระมะขามหลังเก็บรักษา



ภาพที่ 4.4 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) สำหรับเพียวเระมะขามหลังเก็บรักษาในระดับความเข้มข้นที่ (ก) 15 บริกซ์, (ข) 20 บริกซ์ และ (ค) 25 บริกซ์ ในช่วงระดับอุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ในระดับอุณหภูมิที่ (ก) 25 องศาเซลเซียส, (ข) 40 องศาเซลเซียส, (ค) 50 องศาเซลเซียส และ (ง) 60 องศาเซลเซียส ในเฟี้ยวเริ่มขามหลังเก็บรักษาที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law โดยค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) คำนวณที่อัตราเฉือน (shear rate)  $22.00 \text{ s}^{-1}$  ของเฟี้ยวเริ่มขามหลังเก็บรักษา พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) และ ค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{app}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ มีค่าลดลงเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 20 บริกซ์ และที่ระดับความเข้มข้น 25 บริกซ์ จะมีค่าที่คงที่ และพบว่ามีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) อยู่ในช่วง 0.3223 ถึง 0.5078 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติด้านรีโอโลยีแบบซูโดพลาสติกเช่นเดียวกับเฟี้ยวเริ่มขามก่อนเก็บรักษา

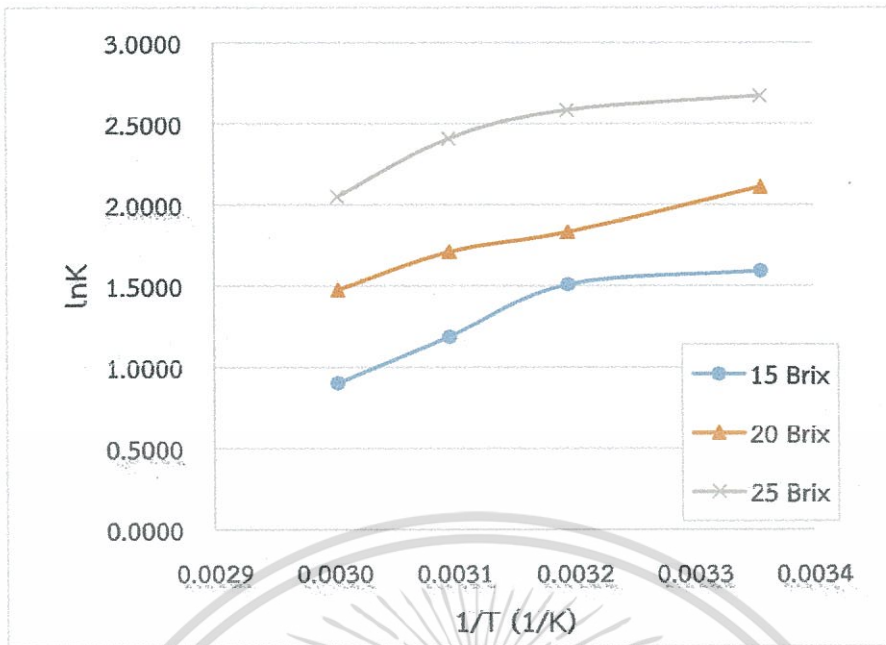
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเพียวเร่มะขามหลังเก็บรักษา

ความเข้มข้น (บริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสัมประสิทธิ์ ความคงตัว, K	ค่าดัชนีพฤติกรรม การไหล, n	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสั่นใจ, R <sup>2</sup>	ค่าความหนืดปรากฏ, $\eta_{app}$
15	25	4.9258	0.3223	0.9915	0.5862
	40	4.5275	0.3304	0.9929	0.5518
	50	3.2831	0.4056	0.9961	0.5129
	60	2.4669	0.4561	0.9975	0.4558
20	25	8.2620	0.3319	0.9708	0.9814
	40	6.2525	0.3892	0.9829	0.9164
	50	5.5408	0.3803	0.9957	0.8300
	60	4.3796	0.3933	0.9812	0.6986
25	25	14.4790	0.4518	0.9933	2.6982
	40	13.2590	0.4325	0.9906	2.2655
	50	11.1450	0.4494	0.9962	2.0518
	60	7.7801	0.5078	0.9895	1.7236

ในส่วนของการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิที่  $0.0034 \text{ K}^{-1}$  (25 องศาเซลเซียส),  $0.0032 \text{ K}^{-1}$  (40 องศาเซลเซียส),  $0.0031 \text{ K}^{-1}$  (50 องศาเซลเซียส) และ  $0.0030 \text{ K}^{-1}$  (60 องศาเซลเซียส) ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเร่มะขามหลังเก็บรักษาในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model) แสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า  $\ln K$  ลดลงจาก 1.5945 ถึง 0.9030 มีค่าลดลงจาก 2.1117 ถึง 1.4770 ที่ระดับความเข้มข้น ที่ 20 บริกซ์ และมีค่าลดลงจาก 2.6727 ถึง 2.0516 ที่ระดับความเข้มข้น 25 บริกซ์ แล้วส่งผลให้ค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) มีค่าลดลงที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ และ 20 บริกซ์ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 25 บริกซ์ ซึ่งจะให้ผลที่ตรงข้ามกับค่าแฟกเตอร์ความถี่ ( $K_0$ ) ดังแสดงตารางที่ 4.4 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเร่มะขามหลังเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเระมะขามหลังเก็บรักษา โดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเระมะขามหลังเก็บรักษา

ความเข้มข้น (ปริกซ์)	พลังงานกระตุ้น, $E_a$ (จูลต่อกรัมโมล)	แฟกเตอร์ความถี่ในสมการอาร์เรเนียส, $K_0$ (ปาสคาล.วินาที <sup>-1</sup> )
15	16377.495	0.007
20	14454.790	0.024
25	13830.727	0.059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของเพียวเร่มะขาม

##### - คุณสมบัติทางด้านสี

จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านสีด้วยเครื่อง colorimeter ของเพียวเร่มะขามในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (Lightness to darkness;  $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (redness to greenness;  $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (yellowness to blueness;  $b^*$ ) ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) แต่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และผลการทดลองหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยซึ่งยังคงอยู่ในช่วงสีเดิม ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ที่แสดงค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของเพียวเร่มะขามก่อนและหลังการเก็บรักษาในระดับความเข้มข้นที่ 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

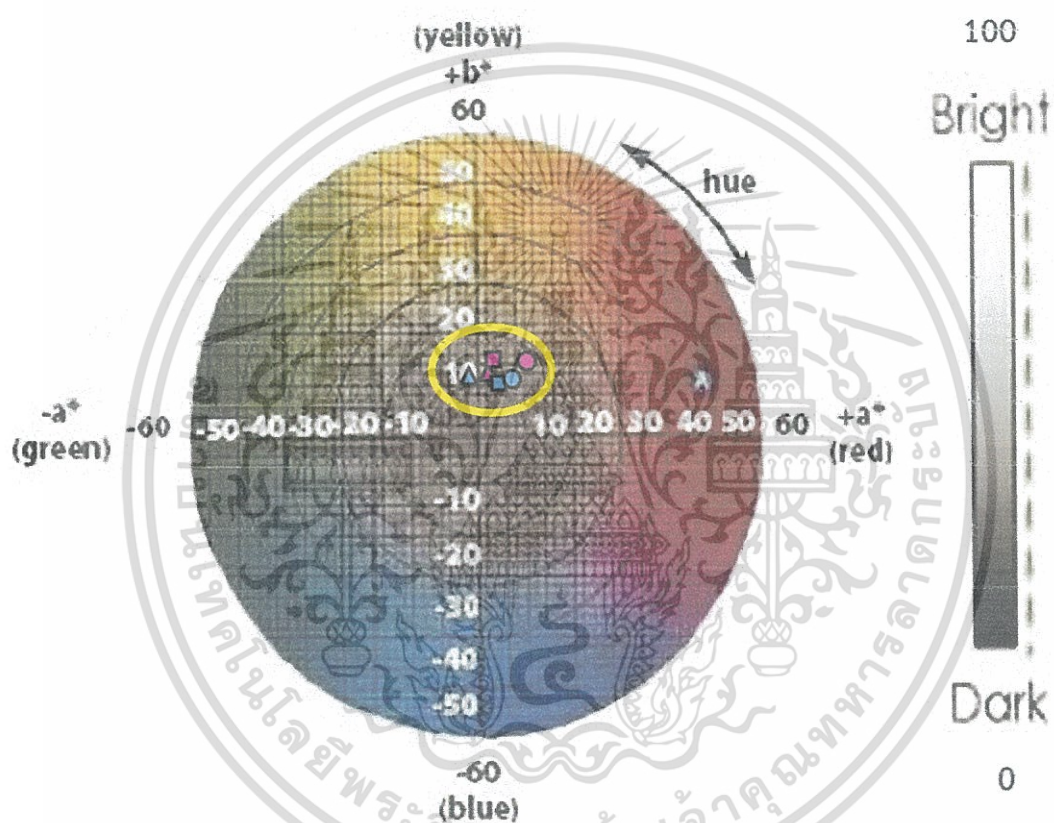
ตารางที่ 4.5 ค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) ของเพียวเร่มะขาม

ความเข้มข้น (บริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความสว่าง ( $L^*$ )		ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ( $a^*$ )		ค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ( $b^*$ )	
		ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
15	25	43.99±1.81	43.04±0.31	3.10±0.10	3.78±0.18	13.97±0.27	16.10±0.74
	40	42.53±0.42	42.03±0.41	3.08±0.05	3.83±0.19	13.78±0.20	15.29±0.35
	50	40.11±1.34	40.95±1.16	2.89±0.36	3.48±0.08	13.49±0.75	14.02±0.24
	60	38.37±0.61	39.63±0.36	2.63±0.19	3.59±0.29	12.39±0.28	13.59±0.62
20	25	41.61±0.59	41.37±0.35	4.88±0.15	4.58±0.08	17.18±0.14	15.84±0.18
	40	39.92±0.17	42.46±1.78	4.43±0.66	5.21±0.36	14.70±1.92	16.48±0.46
	50	42.00±0.99	40.82±0.87	4.92±0.05	4.96±0.07	13.90±0.16	15.81±0.15
	60	40.13±0.68	40.45±0.44	4.81±0.03	4.34±0.55	12.32±0.16	14.32±0.64
25	25	41.87±0.38	40.07±0.60	5.31±0.09	5.58±0.36	17.80±0.09	15.38±0.10
	40	40.95±0.25	41.92±0.36	5.23±0.08	4.90±0.07	16.82±0.14	16.95±0.04
	50	39.99±0.79	41.24±0.45	4.86±0.53	4.97±0.10	14.40±1.17	16.19±0.48
	60	38.91±0.51	39.76±0.61	4.95±0.33	5.17±0.10	13.62±0.38	14.79±0.18

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้จะสามารถเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อพิจารณาจากชาร์จสี (colorimeter chart) ดังภาพที่ 4.7 ที่แสดงค่าความสว่างอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียวอยู่ในช่วง -60 ถึง 60 และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงินอยู่ในช่วง 60 ถึง -60 ของเพียวแรมะชามก่อนและหลังการเก็บรักษา 1 เดือนในระดับความเข้มข้นที่ 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ ของเพียวแรมะชามทั้งก่อนเก็บรักษาและหลังการเก็บรักษามีค่าสีที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสีของเพียวแรมะชามและทำให้เห็นได้ว่าสีของเพียวแรมะชามนั้นมีความเด่นในทั้งสองเฉดสีคือในเฉดแนวสีความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ( $b^*$ )



ภาพที่ 4.7 ชาร์จสี (colorimeter chart) ของเพียวแรมะชามก่อนเก็บรักษา (สีฟ้า) และหลังเก็บรักษา (สีชมพู) ในระดับความเข้มข้นที่ ( $\Delta$ ) 15 บริกซ์, ( $\square$ ) 20 บริกซ์ และ ( $\circ$ ) 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณสมบัติทางด้าน pH

จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้าน pH ด้วยเครื่อง pH meter ในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH ลดลงเล็กน้อย และผลการทดลองหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือนพบว่า ค่า pH ลดลงเล็กน้อยในทุกระดับความเข้มข้น ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ที่แสดงค่า pH ของเพียวแรมะขามก่อนและหลังการเก็บรักษา 1 เดือน ในระดับความเข้มข้นที่ 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.6 ค่า pH ของเพียวแรมะขาม

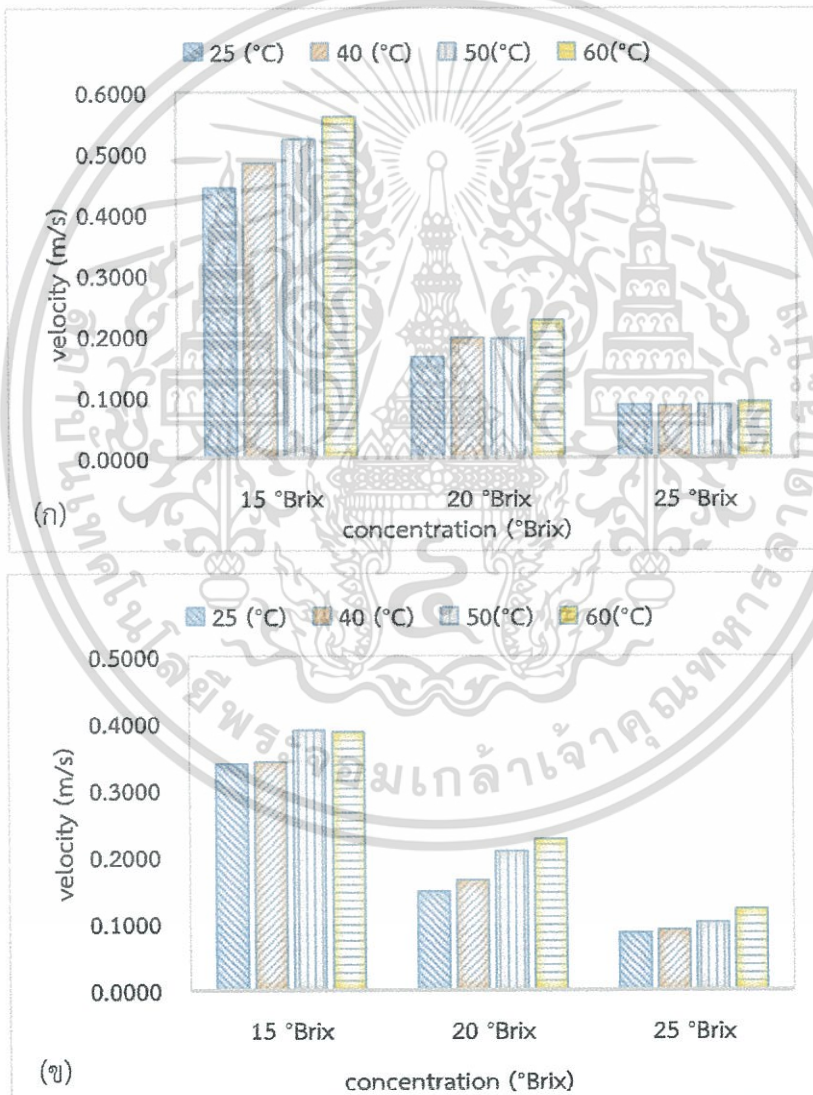
ความเข้มข้น (บริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า pH	
		ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
15	25	2.65±0.01	2.37±0.01
	40	2.69±0.01	2.46±0.01
	50	2.72±0.01	2.50±0.01
	60	2.78±0.01	2.57±0.01
20	25	2.58±0.01	2.35±0.01
	40	2.63±0.01	2.54±0.02
	50	2.68±0.01	2.69±0.01
	60	2.73±0.02	2.62±0.01
25	25	2.54±0.01	2.37±0.01
	40	2.59±0.01	2.46±0.01
	50	2.59±0.01	2.50±0.01
	60	2.67±0.02	2.57±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณสมบัติทางด้านการไหล (Bostwick consistency)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity) กับความเข้มข้น (concentration) ด้วยเครื่อง bostwick consistometer ที่ระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเร็วในการไหล สูงขึ้น แต่ในขณะที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเร็วในการไหลลดลงและผลการทดลองที่ได้หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือนพบว่าค่าความเร็วในการไหลที่ได้มีค่าลดลงจึงแสดงได้ถึงเพียวเระมะขามหลังจากการเก็บรักษา มีความหนืดที่เพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity; m/s) กับความเข้มข้น (concentration; °Brix) สำหรับเพียวเระมะขามก่อนและหลังเก็บรักษา 1 เดือน ในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.8 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity; m/s) กับความเข้มข้น (concentration; °Brix) สำหรับเพียวเระมะขาม (ก) ก่อนและ (ข) หลังเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณสมบัติทางด้านสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาคุณสมบัติด้านสารต้านอนุมูลอิสระของเหี่ยวระมะขามโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu ในการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 187.67±6.81 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 314.67±10.79 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ เช่นเดียวกับความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH – scavenging activity assay) พบว่า มีความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ 28.40±2.22 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 31.73±3.87 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน

ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ที่แสดงถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ (mg GA/100 g puree) ความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene content) ในหน่วยมิลลิกรัมเบต้าแคโรทีนต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ (mg BC/100 g puree) ของเหี่ยวระมะขามก่อนและหลังการเก็บรักษา 1 เดือน

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) และความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ของเหี่ยวระมะขาม

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ100กรัมเหี่ยวระ)		ความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	
	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
เหี่ยวระมะขาม	187.67±6.81	314.67±10.79	28.40±2.22	31.73±3.87

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

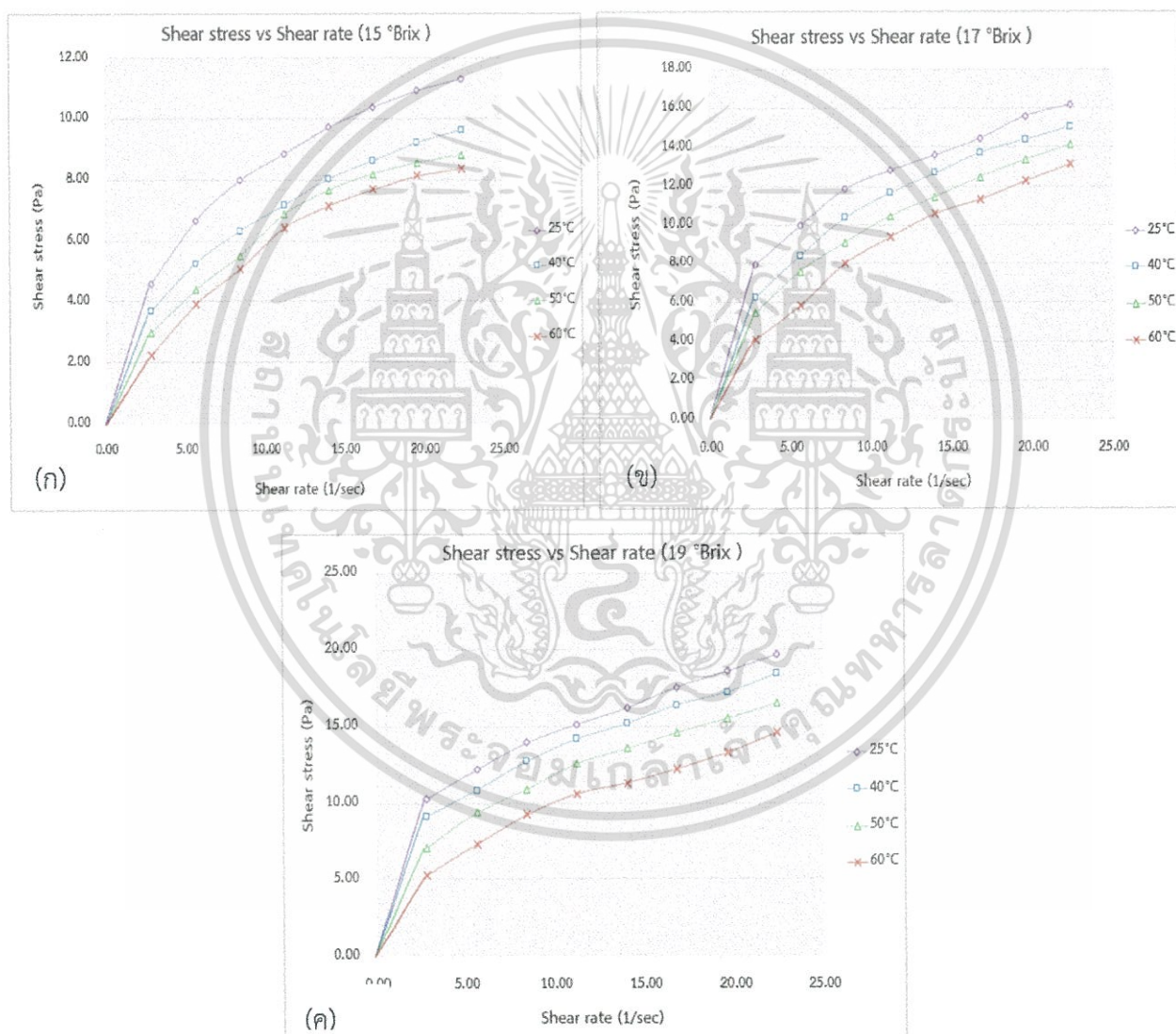
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 เพี้ยวเริ่มะม่วง

### 4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยี

- คุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีของเพี้ยวเริ่มะม่วงก่อนเก็บรักษา

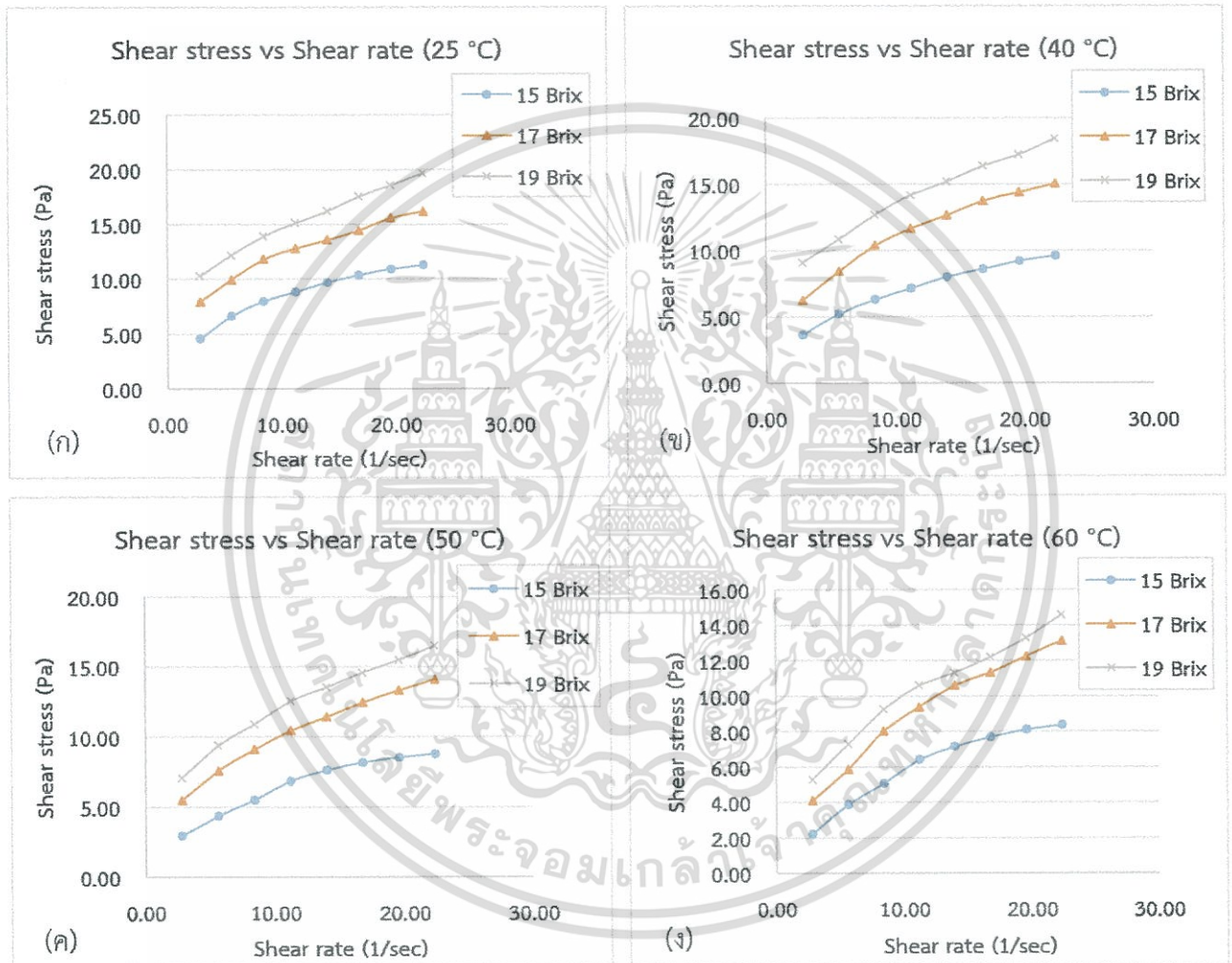
จากการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีด้วยเครื่อง viscometer ของเพี้ยวเริ่มะม่วงในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นและระดับความเข้มข้นที่ต่ำลงจะส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนลดลง โดยเห็นได้ว่าค่าความเค้นเฉือนจะลดลงอย่างสม่ำเสมอในทุกระดับความเข้มข้น



ภาพที่ 4.9 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) สำหรับเพี้ยวเริ่มะม่วงในระดับความเข้มข้นที่ (ก) 15 บริกซ์, (ข) 17 บริกซ์ และ (ค) 19 บริกซ์ ในช่วงระดับอุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังภาพที่ 4.9 ที่แสดงผลของแต่ละระดับอุณหภูมิต่อเพียวเร่มะม่วงในระดับความเข้มข้นที่ 15, 17 และ 19 บริกซ์ บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) และดังภาพที่ 4.10 แสดงผลของแต่ละระดับความเข้มข้นของเพียวเร่มะม่วงต่อแต่ละระดับอุณหภูมิที่ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ซึ่งให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน Tang และคณะ (2007) ที่ทำการทดลองโดยใช้เพียวเร่บลูเบอร์รี่ในระดับความเข้มข้น 10, 15, 20 และ 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.10 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ในระดับอุณหภูมิที่ (ก) 25 องศาเซลเซียส, (ข) 40 องศาเซลเซียส, (ค) 50 องศาเซลเซียส และ (ง) 60 องศาเซลเซียส ในเพียวเร่มะม่วงที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

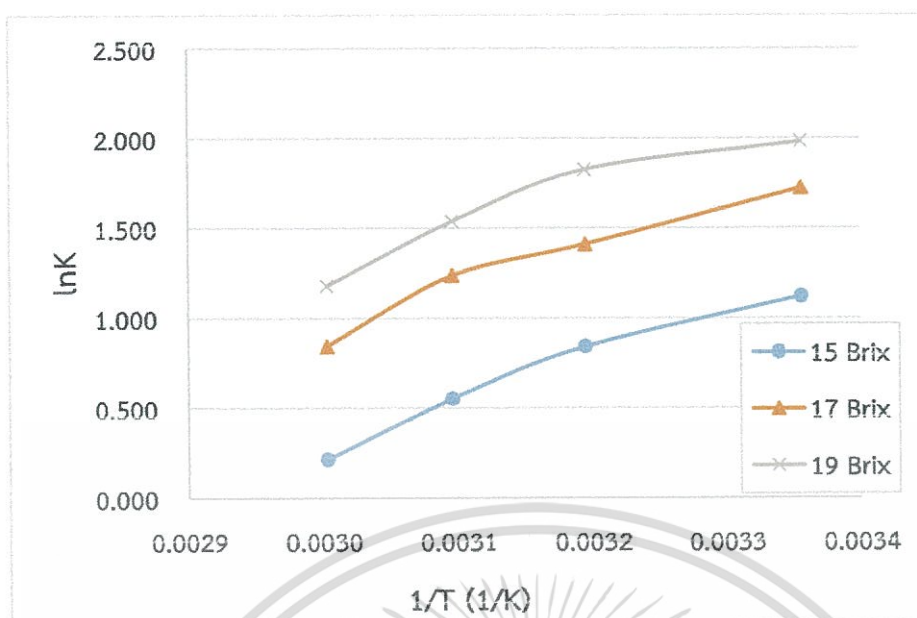
สมการ power law ( $\sigma = K\dot{\gamma}^n$ ) ถูกนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะพฤติกรรมการไหลของเพียวเร่ มะม่วง แสดงดังตารางที่ 4.8 ที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law โดยค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) คำนวณที่อัตราเฉือน (shear rate)  $22.40 \text{ s}^{-1}$  จะเห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) และค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{app}$ ) ลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานความร้อนภายในโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นทำให้เกิดระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นซึ่งเกิดจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลลดลง จึงส่งผลให้ความหนืดของของไหลลดลงที่ได้ลดลงเช่นกัน (Arslan และ คณະ, 2005) และได้ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) ที่ได้อยู่ในช่วง 0.3121 ถึง 0.6446 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติด้านรีโอโลยีแบบซูโดพลาสติก ที่กำหนดไว้ว่าค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จะเป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (Villarino และ คณະ, 2007)

ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเพียวเร่มะม่วง

ความเข้มข้น (ปริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว, K	ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล, n	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ, R <sup>2</sup>	ค่าความหนืดปรากฏ, $\eta_{app}$
15	25	3.0699	0.4319	0.9899	0.5054
	40	2.3241	0.4644	0.9978	0.4299
	50	1.7387	0.5430	0.9881	0.3929
	60	1.2419	0.6446	0.9800	0.3741
17	25	5.6001	0.3409	0.9971	0.7223
	40	4.0973	0.4257	0.9970	0.6714
	50	3.4464	0.4557	0.9996	0.6304
	60	2.3255	0.5642	0.9862	0.5862
19	25	7.2573	0.3121	0.9912	0.8790
	40	6.2095	0.3427	0.9933	0.8237
	50	4.6599	0.4055	0.9993	0.7375
	60	3.2529	0.4774	0.9962	0.6509

เมื่อนำสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model)  $K = K_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$  มาใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ดังแสดงในภาพที่ 4.11 ที่แสดงความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิที่  $0.0034 \text{ K}^{-1}$  (25 องศาเซลเซียส),  $0.0032 \text{ K}^{-1}$  (40 องศาเซลเซียส),  $0.0031 \text{ K}^{-1}$  (50 องศาเซลเซียส) และ  $0.0030 \text{ K}^{-1}$  (60 องศาเซลเซียส) ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเร่มะม่วงในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 ปริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเริ่มมะม่วงโดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส

พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ มีค่า  $\ln K$  ลดลงจาก 1.122 ถึง 0.217 ที่ระดับความเข้มข้น 17 บริกซ์มีค่าลดลงจาก 1.723 ถึง 0.844 และที่ระดับความเข้มข้น 19 บริกซ์ มีค่าลดลงจาก 1.982 ถึง 1.180 ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) ที่มีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ แต่จะตรงข้ามกับค่าแฟกเตอร์ความถี่ ( $K_0$ ) ที่มีค่าต่ำสุดที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ ดังแสดงที่ตาราง 4.2 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเริ่มมะม่วง ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) ที่มีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ แต่จะตรงข้ามกับค่าแฟกเตอร์ความถี่ ( $K_0$ ) ที่มีค่าต่ำสุดที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ ดังแสดงที่ตาราง 4.9 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเริ่มมะม่วง

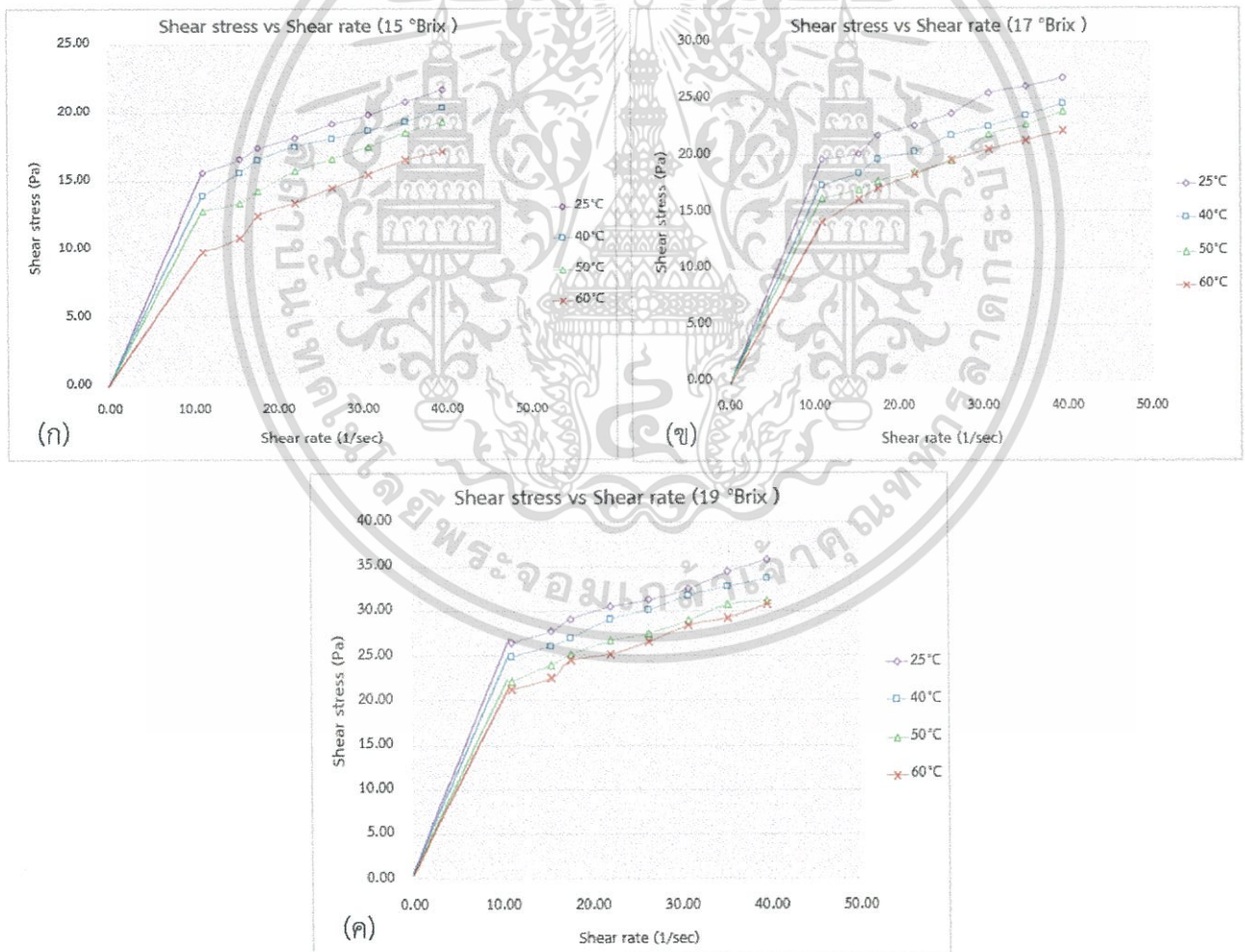
ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเริ่มมะม่วง

ความเข้มข้น (บริกซ์)	พลังงานกระตุ้น, $E_a$ (จูลต่อกรัมโมล)	แฟกเตอร์ความถี่ในสมการอาร์เรเนียส, $K_0$ (ปาสคาล.วินาที <sup>-1</sup> )
15	21072.345	0.000655
17	19757.266	0.002006
19	18550.178	0.004408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

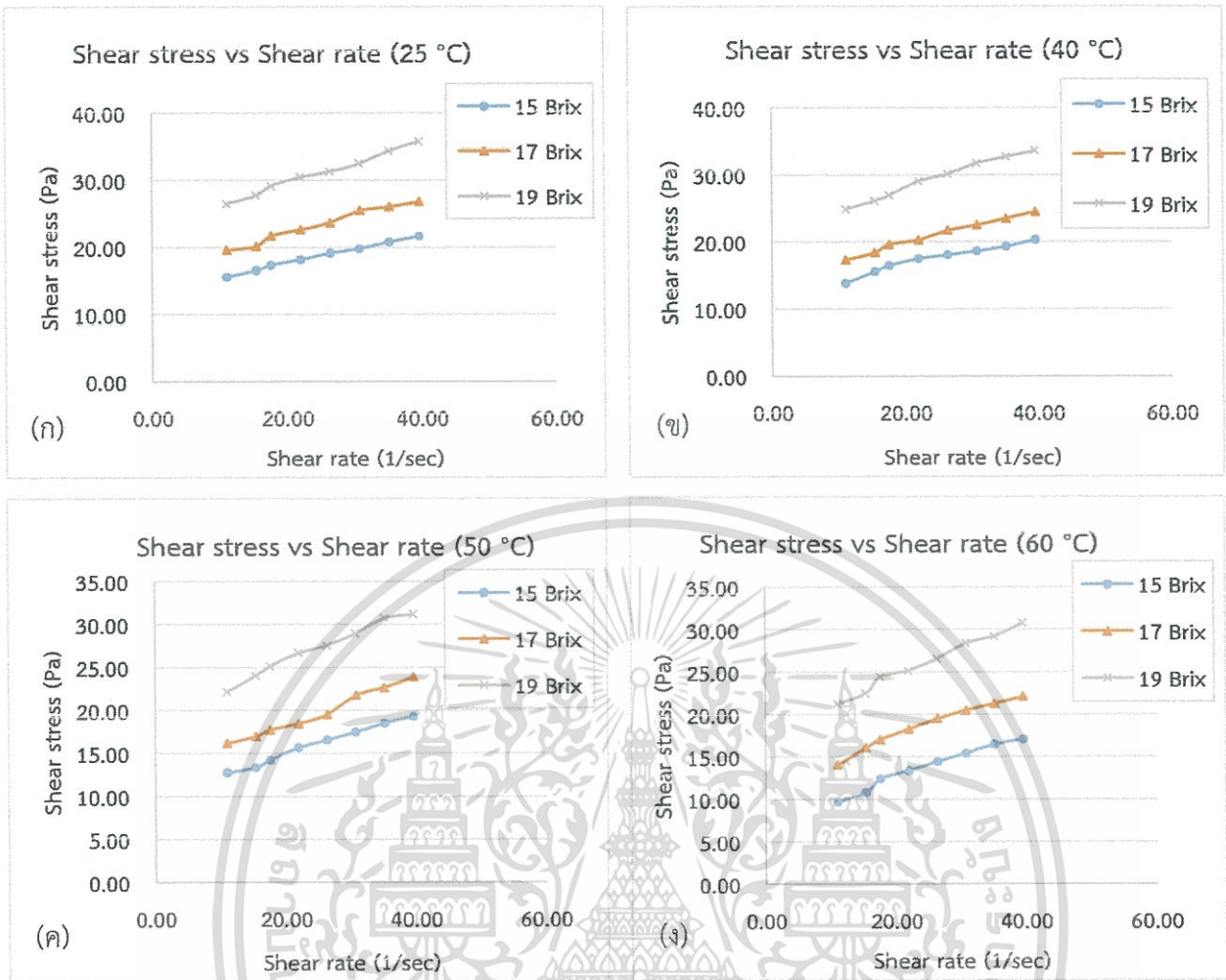
- คุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีของเพียวเระมะม่วงหลังเก็บรักษา 1 เดือน

หลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับแต่ละระดับความเข้มข้นและระดับอุณหภูมิ ได้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับเพียวเระมะม่วงก่อนเก็บรักษา กล่าวคือที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนลดลง แต่ในทางตรงข้ามเมื่อระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น โดยค่าความเค้นเฉือนที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกๆ ระดับความเข้มข้น ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ที่แสดงผลของแต่ละระดับอุณหภูมิต่อระดับความเข้มข้นที่ 15, 17 และ 19 บริกซ์ บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) และดังภาพที่ 4.13 แสดงผลของแต่ละระดับความเข้มข้นต่อระดับอุณหภูมิที่ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส บนแผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ของเพียวเระมะม่วงหลังเก็บรักษา ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนหัววัดหรือ probe จากเบอร์ 34 เป็นเบอร์ 25 ซึ่งแสดงถึงความหนืดที่เพิ่มขึ้นของเพียวเระมะม่วง



ภาพที่ 4.12 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) สำหรับเพียวเระมะม่วงหลังเก็บรักษาในระดับความเข้มข้นที่ (ก) 15 บริกซ์, (ข) 17 บริกซ์ และ (ค) 19 บริกซ์ ในช่วงระดับอุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 แผนภาพรีโอโลแกรมระหว่างค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ในระดับอุณหภูมิที่ (ก) 25 องศาเซลเซียส, (ข) 40 องศาเซลเซียส, (ค) 50 องศาเซลเซียส และ (ง) 60 องศาเซลเซียส ในเพียวเริมะม่วงหลังเก็บรักษาที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

จากตารางที่ 4.10 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law โดยค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) คำนวณที่อัตราเฉือน (shear rate)  $22.00 \text{ s}^{-1}$  ของเพียวเริมะม่วงหลังเก็บรักษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) และ ค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{app}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้น 15 บริกซ์ มีค่าลดลงเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 17 บริกซ์ และที่ระดับความเข้มข้น 19 บริกซ์จะมีค่าที่คงที่ และพบว่ามีความถี่พฤติกรรมการไหล (n) อยู่ในช่วง 0.2316 ถึง 0.4537 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีแบบซูโดพลาสติกเช่นเดียวกับเพียวเริมะม่วงก่อนเก็บรักษา

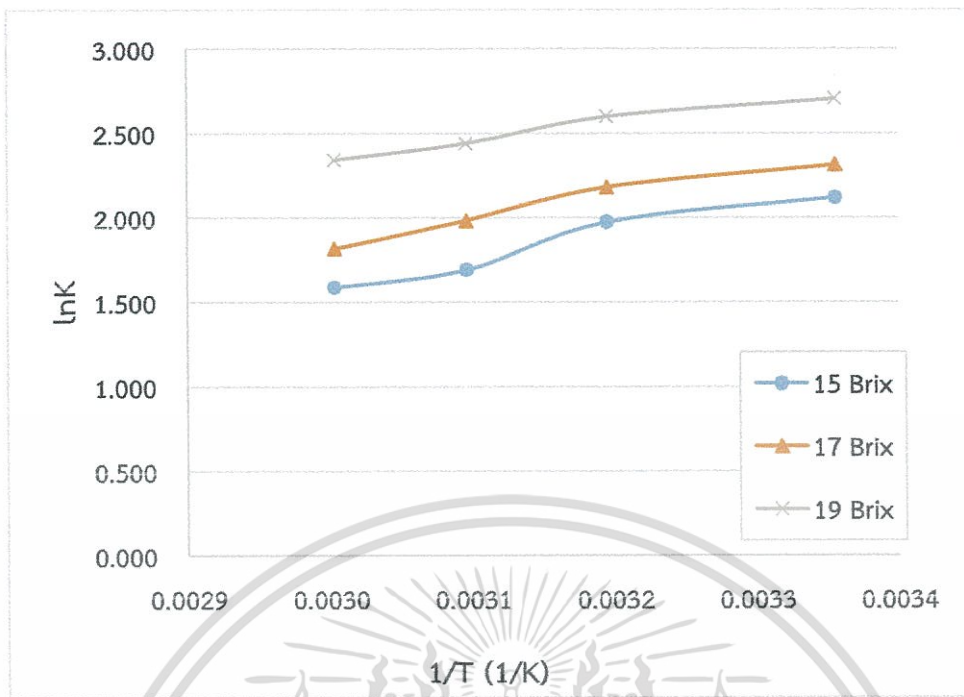
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์จากสมการ power law ของเพียวเร่เมะม่วงหลังเก็บรักษา

ความเข้มข้น (บริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสัมประสิทธิ์ ความคงตัว, K	ค่าดัชนีพหุคูณการไหล, n	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ, R <sup>2</sup>	ค่าความหนืดปรากฏ, $\eta_{app}$
15	25	8.3222	0.2561	0.9912	0.8264
	40	7.2073	0.2811	0.9855	0.7959
	50	5.4283	0.3425	0.9823	0.7141
	60	4.8957	0.4537	0.9880	0.6086
17	25	10.1100	0.2645	0.9732	1.0286
	40	8.8619	0.2735	0.9902	0.9218
	50	7.2613	0.3153	0.9477	0.8391
	60	6.1615	0.3498	0.9963	0.8295
19	25	14.9430	0.2316	0.9772	1.3859
	40	13.4710	0.2479	0.9875	1.3223
	50	11.4770	0.2722	0.9939	1.2136
	60	10.4240	0.2904	0.9829	1.1441

ในส่วนของการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิที่  $0.0034 \text{ K}^{-1}$  (25 องศาเซลเซียส),  $0.0032 \text{ K}^{-1}$  (40 องศาเซลเซียส),  $0.0031 \text{ K}^{-1}$  (50 องศาเซลเซียส) และ  $0.0030 \text{ K}^{-1}$  (60 องศาเซลเซียส) ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเร่เมะม่วงหลังเก็บรักษาในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model) ที่แสดงดังภาพ 4.14 พบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า  $\ln K$  ลดลงจาก 2.119 ถึง 1.588 มีค่าลดลงจาก 2.314 ถึง 1.818 ที่ระดับความเข้มข้น ที่ 17 บริกซ์ และมีค่าลดลงจาก 2.704 ถึง 2.344 ที่ระดับความเข้มข้น 19 บริกซ์ แล้วส่งผลให้ค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) มีค่าลดลงในทุกระดับความเข้มข้น ซึ่งจะให้ผลที่ตรงข้ามกับค่าแฟกเตอร์ความถี่ ( $K_0$ ) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้น ดังแสดงตารางที่ 4.11 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเร่เมะม่วงหลังเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (K) ของเพียวเร่เมม่วงหลังเก็บรักษา โดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส

ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์จากสมการอาร์เรเนียสของเพียวเร่เมม่วงหลังเก็บรักษา

ความเข้มข้น (บริกซ์)	พลังงานกระตุ้น, Ea (จูลต่อกรัมโมล)	แฟกเตอร์ความถี่ในสมการอาร์เรเนียส, K <sub>0</sub> (ปาสคาล.วินาที <sup>n</sup> )
15	13191.139	0.041836
17	11772.669	0.090363
19	8718.127	0.452123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของเหี่ยวระ่มะม่วง

### - คุณสมบัติทางด้านสี

จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านสีด้วยเครื่อง colorimeter ของเหี่ยวระ่มะม่วงใน ระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าในแต่ละระดับความเข้มข้น และอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (Lightness to darkness;  $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (redness to greenness;  $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (yellowness to blueness;  $b^*$ ) และผลหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยซึ่งยังคงอยู่ในช่วงสีเดิม ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ที่แสดงค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของเหี่ยวระ่มะม่วงก่อนและหลังการเก็บรักษาในระดับความเข้มข้นที่ 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

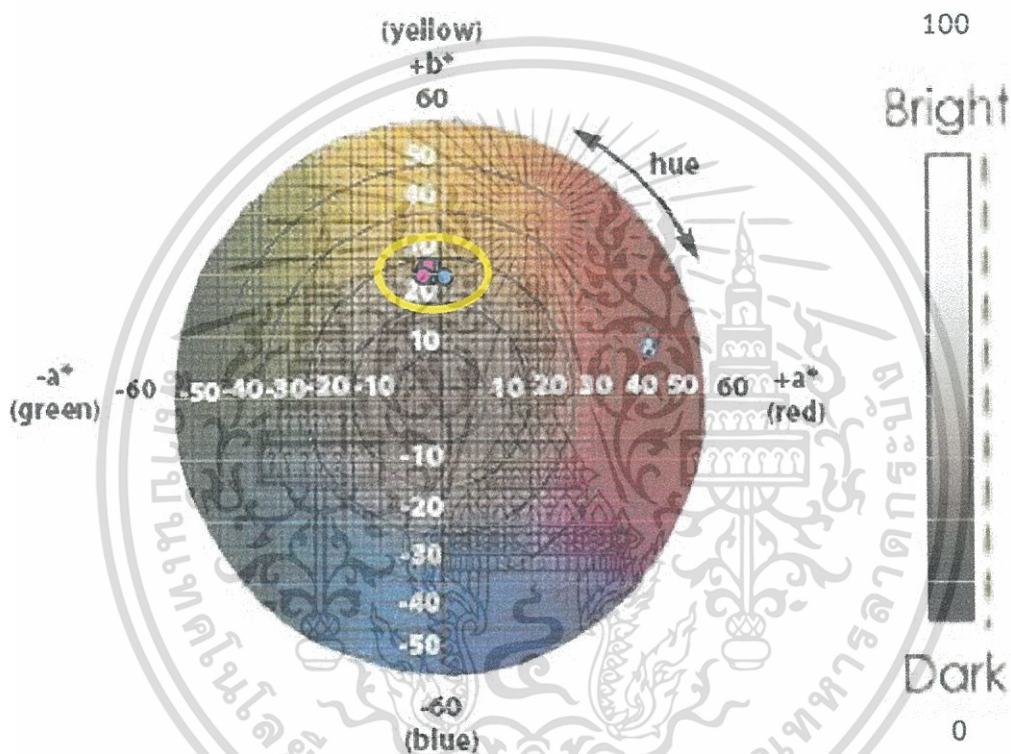
ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) ของเหี่ยวระ่มะม่วง

ความเข้มข้น (บริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความสว่าง ( $L^*$ )		ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ( $a^*$ )		ค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ( $b^*$ )	
		ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
15	25	43.92±0.33	45.58±0.39	0.02±0.27	0.65±0.68	22.33±1.40	26.33±1.43
	40	44.21±0.94	44.50±0.52	0.35±1.09	-0.39±1.06	22.27±1.15	24.97±1.08
	50	45.05±1.13	43.67±0.45	0.56±0.85	-0.87±0.26	22.59±0.91	22.64±0.30
	60	43.78±0.18	43.57±0.38	-0.39±0.58	-1.14±0.36	22.43±0.63	23.35±0.25
17	25	44.10±0.87	45.10±0.53	-0.76±0.14	-0.67±0.47	22.96±0.76	26.94±0.70
	40	44.20±0.70	44.13±0.30	-0.54±0.31	-0.21±0.95	23.52±0.75	24.66±1.20
	50	44.65±0.90	43.04±0.36	-0.10±1.07	0.03±0.49	23.99±1.24	22.10±0.39
	60	44.00±0.48	44.06±0.79	-0.27±0.37	-0.30±0.62	23.97±0.34	23.68±0.97
19	25	43.88±0.49	43.89±0.22	-0.10±0.14	-0.71±0.08	22.24±0.99	23.82±0.29
	40	44.11±0.25	42.65±0.48	0.55±0.41	-0.91±0.11	23.27±0.86	25.18±3.26
	50	44.46±1.98	42.21±0.62	1.15±0.72	-0.83±0.06	23.38±3.08	22.02±0.66
	60	44.92±1.15	42.32±0.27	0.72±1.03	-0.75±0.15	22.69±0.08	22.19±0.40

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้จะสามารถเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อพิจารณาจากชาร์จสี (colorimeter chart) ดังภาพที่ 4.15 ที่แสดงค่าความสว่างอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียวอยู่ในช่วง -60 ถึง 60 และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงินอยู่ในช่วง 60 ถึง -60 ของเพียวเร่เม่ม่วงก่อนและหลังการเก็บรักษา 1 เดือนในระดับความเข้มข้นที่ 15, 17 และ 19 ปริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 ปริกซ์ ของเพียวเร่เม่ม่วงทั้งก่อนเก็บรักษาและหลังการเก็บรักษามีค่าสีที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสีของเพียวเร่เม่ม่วงและทำให้เห็นว่าสีของเพียวเร่เม่ม่วงนั้นมีความเด่นในเฉดแนวสีความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) มากกว่าเฉดแนวสีความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ( $a^*$ )



ภาพที่ 4.15 ชาร์จสี (colorimeter chart) ของเพียวเร่เม่ม่วงก่อนเก็บรักษา (สีฟ้า) และหลังเก็บรักษา (สีชมพู) ในระดับความเข้มข้นที่ ( $\Delta$ ) 15 ปริกซ์ ( $\square$ ) 20 ปริกซ์ และ ( $\circ$ ) 25 ปริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### - คุณสมบัติทางด้าน pH

จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้าน pH ด้วยเครื่อง pH meter ในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่า pH ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและผลการทดลองหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือนพบว่า ค่า pH ลดลงเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 17 บริกซ์ และ 19 บริกซ์ แต่จะมีค่าคงที่ในระดับความเข้มข้นที่ 15 บริกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 แสดงถึงค่า pH ของเพียวแรมะม่วงก่อนและหลังการเก็บรักษา 1 เดือน ในระดับความเข้มข้นที่ 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 40 องศาเซลเซียส 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.13 ค่า pH ของเพียวแรมะม่วง

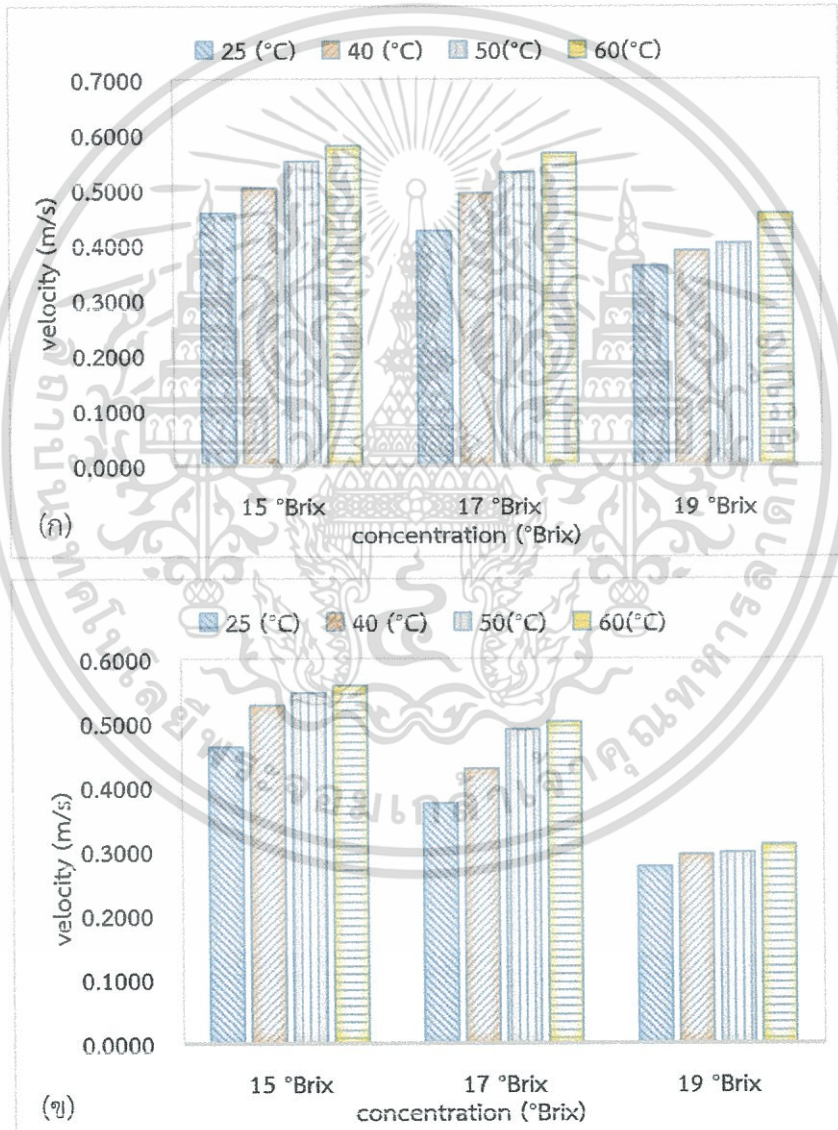
ความเข้มข้น (บริกซ์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า pH	
		ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
15	25	5.10±0.00	5.10±0.01
	40	5.08±0.01	5.09±0.01
	50	5.09±0.01	5.07±0.01
	60	5.01±0.01	5.06±0.01
17	25	5.21±0.01	5.09±0.01
	40	5.19±0.01	5.09±0.02
	50	5.22±0.03	5.08±0.01
	60	5.17±0.02	5.06±0.01
19	25	5.19±0.01	5.13±0.02
	40	5.14±0.01	5.07±0.01
	50	5.14±0.01	5.01±0.01
	60	5.12±0.03	4.99±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณสมบัติทางด้านการไหล (Bostwick consistency)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity) กับความเข้มข้น (concentration) ด้วยเครื่อง bostwick consistometer ที่ระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นและความเข้มข้นที่ต่ำลงจะส่งผลให้ค่าความเร็วในการไหลสูงขึ้นและหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือนพบว่าค่าความเร็วในการไหลที่ได้นั้นลดลง จึงแสดงได้ถึงเพียวเร่มะม่วงหลังจากการเก็บรักษาที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity; m/s) กับความเข้มข้น (concentration; °Brix) สำหรับเพียวเร่มะม่วงก่อนและหลังเก็บรักษา 1 เดือน ในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.16 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity; m/s) กับความเข้มข้น (concentration; °Brix) สำหรับเพียวเร่มะม่วง (ก) ก่อนและ (ข) หลังเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณสมบัติทางด้านสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาคุณสมบัติด้านสารต้านอนุมูลอิสระของเพียวเระมะม่วงโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu ในการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด  $213.33 \pm 3.51$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมเพียวเระ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเป็น  $97.67 \pm 5.03$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมเพียวเระ และในส่วนของความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่ามีความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ  $47.95 \pm 1.07$  เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระลดลงเป็น  $14.53 \pm 0.07$  เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน

นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน พบว่ามีปริมาณสารเบต้าแคโรทีน  $9.60 \pm 0.00$  มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีนต่อ 100 กรัมเพียวเระ และภายหลังการเก็บรักษามีค่าลดลงเล็กน้อยเป็น  $8.80 \pm 0.69$  มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีนต่อ 100 กรัมเพียวเระ

ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ที่แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมเพียวเระ (mg GA/100 g puree) ความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene content) ในหน่วยมิลลิกรัมเบต้าแคโรทีนต่อ 100 กรัมเพียวเระ (mg BC/100 g puree) ของ เพียวเระมะม่วงก่อนและหลังการเก็บรักษา 1 เดือน

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene content) ของเพียวเระมะม่วง

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมเพียวเระ)		ความสามารถในการยับยั้งสาร ต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)		ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีนต่อ 100 กรัมเพียวเระ)	
	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
เพียวเระมะม่วง	$213.33 \pm 3.51$	$97.67 \pm 5.03$	$47.95 \pm 1.07$	$14.53 \pm 0.07$	$9.60 \pm 0.00$	$8.80 \pm 0.69$

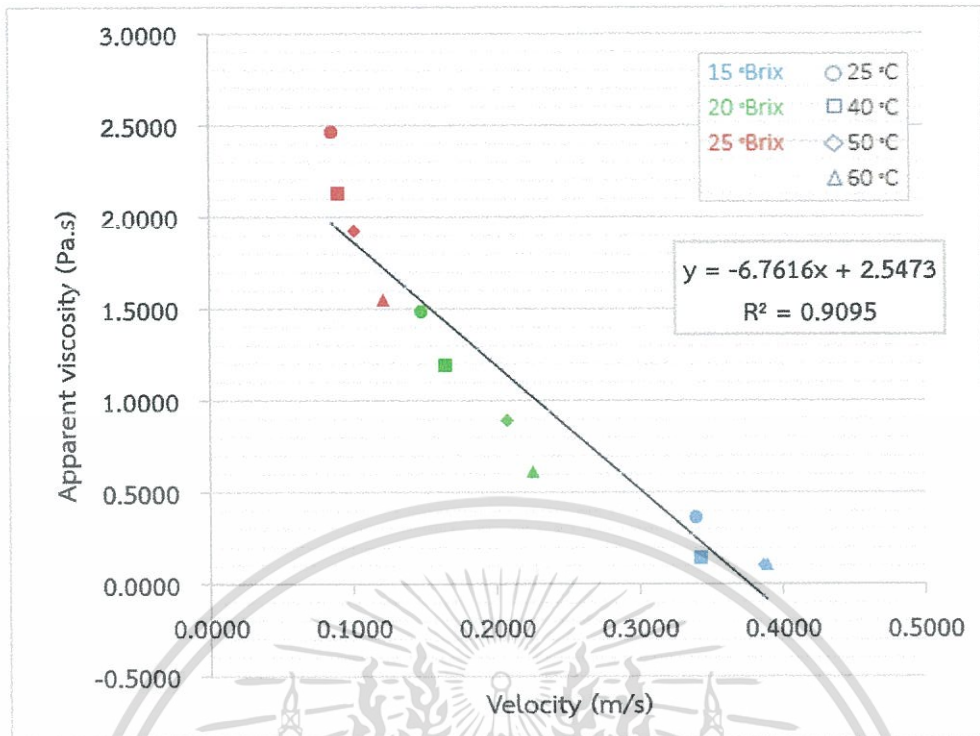
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล (velocity) และความหนืดปรากฏ (apparent viscosity)

นอกจากนี้ยังสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) โดยใช้ viscometer และค่าความเร็วในการไหล (velocity) โดยใช้ bostwick ของเพียวเอร์มะซามและเพียวเอร์มะม่วง ได้โดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression analysis) และการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

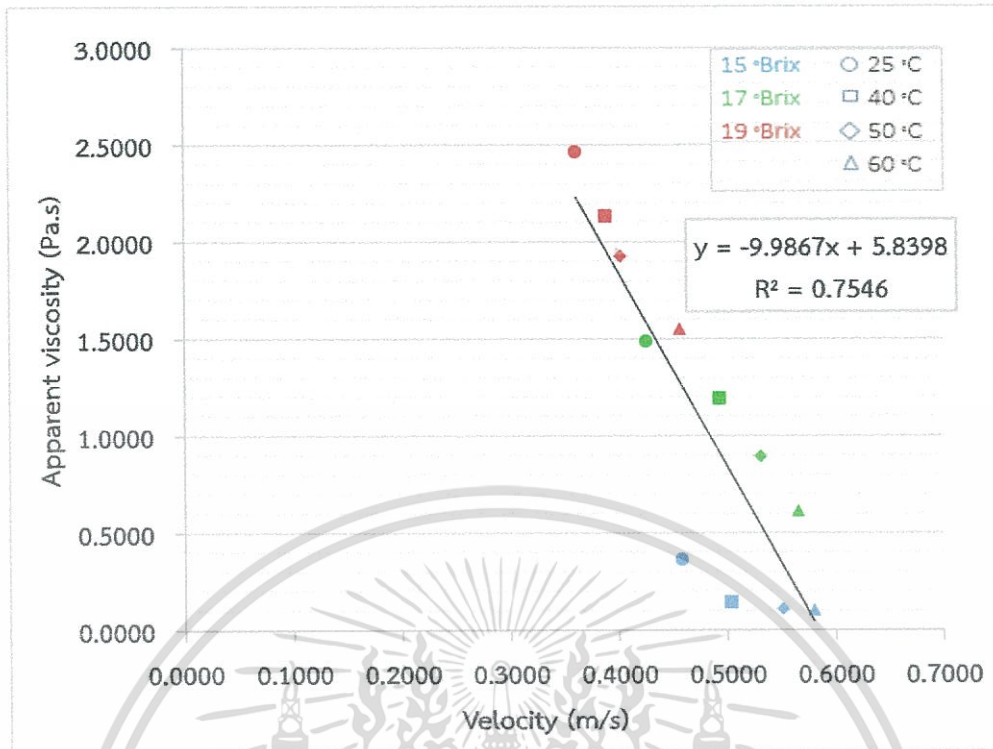
ซึ่งเพียวเอร์มะซามแสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง ดังภาพที่ 4.17 ที่แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression analysis) ระหว่างค่าความเร็วในการไหล (velocity) ในหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s) กับค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) ในหน่วย ปาสคาลวินาที (Pa.s) ของเพียวเอร์มะซามในระดับความเข้มข้นที่ (สีฟ้า) 15 บริกซ์, (สีเขียว) 20 บริกซ์ และ (สีแดง) 25 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ (○) 25 องศาเซลเซียส (□) 40 องศาเซลเซียส (◇) 50 องศาเซลเซียส และ (△) 60 องศาเซลเซียส โดยพบว่ามีสมการถดถอยเชิงเส้นตรงเป็น  $y = -6.7616x + 2.5473$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination;  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9095 จึงแสดงให้เห็นว่าเราสามารถหาค่าความหนืดปรากฏได้โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงนี้มาใช้ในการทำนายหรือใช้ในการอธิบายค่าความหนืดปรากฏได้ถึง 90.95 เปอร์เซ็นต์ และแสดงให้เห็นอีกว่าค่าความหนืดปรากฏขึ้นกับค่าความเร็วในการไหล 90.95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 9.05 เปอร์เซ็นต์ จะขึ้นกับปัจจัยอื่นซึ่งไม่ได้ศึกษาและเมื่อนำทั้งสองค่ามาพล็อตหาความสัมพันธ์บนกราฟเพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient;  $r$ ) ระหว่างค่าความหนืดปรากฏกับค่าความเร็วในการไหล เท่ากับ  $-0.9536$  จึงแสดงให้เห็นว่าทั้งสองค่านี้มีความสัมพันธ์กันถึง 95.36 เปอร์เซ็นต์ แต่ว่าจะเป็นความสัมพันธ์แบบผกผันกัน กล่าวคือถ้าค่าความเร็วในการไหลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความหนืดปรากฏนั้นลดลง



ภาพที่ 4.17 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression analysis) ระหว่างค่าความเร็วในการไหล (velocity) กับค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) ของพืชมะม่วง

และในส่วนของพืชมะม่วงนั้นจะแสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง ดังภาพที่ 4.18 พบว่ามีสมการถดถอยเชิงเส้นตรงเป็น  $y = -9.9867 + 5.8398x$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination;  $R^2$ ) เท่ากับ 0.7546 จึงแสดงให้เห็นว่าเราสามารถนำสมการสมการถดถอยเชิงเส้นตรงนี้มาใช้ในการทำนายหรือใช้ในการอธิบายค่าความหนืดปรากฏได้ 75.46 เปอร์เซ็นต์ และแสดงให้เห็นอีกว่าค่าความหนืดปรากฏขึ้นกับค่าความเร็วในการไหล 75.46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 24.54 เปอร์เซ็นต์ จะขึ้นกับปัจจัยอื่นซึ่งไม่ได้ศึกษาและจากผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient;  $r$ ) ระหว่างค่าความหนืดปรากฏกับค่าความเร็วในการไหล เท่ากับ -0.8686 จึงแสดงให้เห็นว่าทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กันถึง 86.86 เปอร์เซ็นต์ แต่ว่าจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน กล่าวคือถ้าค่าความเร็วในการไหลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความหนืดปรากฏนั้นลดลง เช่นเดียวกับพืชมะขาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression analysis) ระหว่างค่าความเร็วในการไหล (velocity) กับค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) ของเพียวเระมะม่วง

การหาความสัมพันธ์นี้จึงมีประโยชน์คือทำให้เห็นว่าเราสามารถอนุมานค่าความหนืดของของเพียวเระมะขามและเพียวเระมะม่วงได้ในช่วงความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงและในช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากแนวเส้นความสัมพันธ์เดิม และยังบอกได้ว่าการใช้เครื่อง bostwick consistometer ก็สามารถนำมาวัดคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีได้ กล่าวคือ นำ เครื่อง bostwick มาใช้วัดด้านความหนืดของเพียวเระทั้งสองชนิดนี้ได้ด้วย และมากกว่านั้นถ้าอยากจะใช้วิธีนี้อนุมานค่าความหนืดจากการใช้เครื่อง bostwick กับเพียวเระผลไม้ชนิดอื่นๆก็สามารถทำได้เช่นเดียวกันกับเพียวเระมะขามและเพียวเระมะม่วงเช่นกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีของเพียวเริมะขามในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ และของเพียวเริมะม่วงในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นและในระดับความเข้มข้นต่ำลงจะส่งผลให้มีค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ลดลง

เมื่อนำสมการของ Power law มาใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการไหลของทั้งเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม พบว่าที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นและในระดับความเข้มข้นที่ต่ำลงส่งผลให้ ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (consistency coefficient;  $K$ ) และค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) ลดลง โดยเพียวเริมะขามจะมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index;  $n$ ) อยู่ในช่วง 0.3334 ถึง 0.5642 และเพียวเริมะม่วงจะมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index;  $n$ ) อยู่ในช่วง 0.3121 ถึง 0.6446 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติด้านรีโอโลยีแบบซูโดพลาสติก ที่กำหนดไว้ว่าค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index;  $n$ ) จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถึงจะแสดงว่าเป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติกและเมื่อเทียบกับภายหลังการเก็บรักษาเพียวเริมะทั้งสองชนิดเป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าผลทำให้ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (consistency coefficient;  $K$ ) และค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity;  $\eta_{app}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นของเพียวเริมะทั้งสองชนิด

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการของ Power law มาประยุกต์ใช้ในสมการของอาร์เรเนียส เพื่อศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิ พบว่าการเก็บรักษาส่งผลให้ค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy;  $E_a$ ) ลดลง และ ค่าแฟกเตอร์ความถี่ (frequency factor;  $K_0$ ) เพิ่มขึ้นของเพียวเริมะทั้งสองชนิด

จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของเพียวเริมะขามในระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 บริกซ์ และของเพียวเริมะม่วงในระดับความเข้มข้น 15, 17 และ 19 บริกซ์ ที่ระดับอุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นและในระดับความเข้มข้นต่ำลงจะส่งผลให้มีความเร็วในการไหล (velocity) เพิ่มขึ้นของเพียวเริมะทั้งสองชนิด และพบว่าในเพียวเริมะขามที่ระดับอุณหภูมิและในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นส่งผลให้มีค่า pH เพิ่มขึ้น แต่ในเพียวเริมะม่วงพบว่า มีค่า pH ที่ลดลงและยังพบอีกว่าทั้งอุณหภูมิและความเข้มข้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีทั้งเพียวเริมะทั้งสองชนิด และเมื่อเทียบกับภายหลังการเก็บรักษาเพียวเริมะทั้งสองชนิดเป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาส่งผลให้ค่าความเร็วในการไหล (velocity) และ ค่า pH ลดลง แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีทั้งเพียวเริมะขามและเพียวเริมะม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนคุณสมบัติทางด้านสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเทียบกับภายหลังการเก็บรักษาเห็ดทั้งสองชนิดเป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส โดยส่วนของเห็ดแครงพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content; TPC) เพิ่มขึ้นจาก  $187.67 \pm 6.81$  มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเห็ดแครง เป็น  $314.67 \pm 10.79$  มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเห็ดแครง และพบว่าความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก  $28.40 \pm 2.22$  เปอร์เซ็นต์ เป็น  $31.73 \pm 3.87$  เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของเห็ดแครงพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content; TPC) ลดลงอย่างมากจาก  $213.33 \pm 3.51$  มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเห็ดแครง เป็น  $97.67 \pm 5.03$  มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเห็ดแครง และพบว่าความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ลดลงอย่างมากจาก  $47.95 \pm 1.07$  เปอร์เซ็นต์ เป็น  $14.53 \pm 0.07$  เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงเล็กน้อยจาก  $9.60 \pm 0.00$  มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีน ต่อ 100 กรัมเห็ดแครง เป็น  $8.80 \pm 0.69$  มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีน ต่อ 100 กรัมเห็ดแครง

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วในการไหลของเห็ดแครงที่วัดได้จากเครื่อง bostwick และความหนืดจากการวัดด้วยเครื่อง viscometer พบว่ามีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงแต่มีความผกผันกันของเห็ดแครงทั้งสองชนิด โดยเห็ดแครงพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination or  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9095 และเห็ดแครงพบว่ามีความสัมพันธ์การตัดสินใจ (coefficient of determination or  $R^2$ ) เท่ากับ 0.7546



## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการศึกษาคุณลักษณะทางด้านรีโอโลยีและทางด้านเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วง และเพียวเริมะขาม สามารถใช้ผลงานวิจัยนี้ในการต่อยอดสำหรับนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์หรือนำไปใช้ควบคุมในการศึกษาด้านประสาทสัมผัสและเนื้อสัมผัสได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการประยุกต์เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อช่วยในเรื่องของรสชาติหรือเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์นั้นๆได้

5.2.2 การติดตามผลในด้านคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีของเพียวเริมะทั้งสองชนิด จะค่อนข้างยาก เนื่องมาจากการอุณหภูมิมักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ทำการทดลองรวมถึงไม่มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิได้ จึงทำให้ใช้เวลาการทดลองในขั้นตอนนี้ค่อนข้างนาน

5.2.3 จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยีและทางด้านเคมีกายภาพของเพียวเริมะม่วงและเพียวเริมะขาม ได้ศึกษาในช่วงระดับอุณหภูมิและช่วงระดับความเข้มข้นที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดังนั้นจึงสามารถศึกษาคุณสมบัตินี้ต่อยอดไปได้อีกในช่วงระดับอุณหภูมิและช่วงระดับความเข้มข้นที่สูงและต่ำมากกว่านี้ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร, 2545, เกษตรดีที่เหมาะสม สำหรับมะม่วง, กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 24 หน้า.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. การปลูกมะขาม. แหล่งที่มา : <http://www.doae.go.th/data/kasetF.htm> เมษายน 2555.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547. เกษตรอินทรีย์. (ออนไลน์). <http://www.doae.go.th>. 23
- จินตนาภรณ์ วัฒนธร. 2552. การสำรวจศักยภาพของมะม่วงในการปกป้องและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมอง. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- จุฑาภรณ์ ยนต์มุตติ. 2549. การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะประจำพันธุ์ของมะขามเปรี้ยว 5 พันธุ์. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- เฉลิมชัย แก้วราชชาติ. 2539. การปลูก มะม่วง. หน้า 52-54 อักษรสยามการพิมพ์ กรุงเทพฯ.
- ธวัชชัย ชินวงศ์. 2541. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตสดทางพืชสวน. ภาควิชา เกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. สถาบันราชภัฏสุรินทร์. สุรินทร์
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2554. มะขาม แหล่งที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/มะขาม>
- วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.ศิริวรรณ สุทธิจิตต์. 2550. ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อสุขภาพ กรุงเทพฯ: บริษัท ส.เอเชียเพรส
- วันแข็ง สิทธิกิจโยธิต และ ดวงฤดี เขียววงศ์เจริญสุข. 2554. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว. Burapha Sci. J. 16 (1), 47-55.
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. 2549. องค์ความรู้เรื่องปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้เพื่อส่งเสริมสุขภาพ (วิตามินซี วิตามินอี และ เบต้าแคโรทีน) ในผลไม้. แหล่งที่มา: <http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=3&id=117>
- โอภาช บุญเส็ง. 2550. มะขามเปรี้ยวฝักยักษ์ อีกหนึ่งพืชทางเลือก. แหล่งที่มา: <http://info.matichon.co.th>
- โอภาส วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. กรุงเทพฯ: พี.เอส.พรินท์.
- MTEC.2545. วัสดุโพลีเมอร์ที่สัมผัสได้. วารสารน่ารู้ 1 (1). แหล่งที่มา: <http://www.Emtec.com>.
- Abukakar, M.G., Ukwuani, A.N. and Shehu, R.A. 2008. Phytochemical Screening and Antibacterial Activity of Tamarindus Indica Pulp Extract. Journal of Biochemistry, 3(2), 134-138.
- Arslan, E., Yener, M.E., Esin, A. 2005. Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends. Food Engineering, 69, 167 – 172.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Balestra, F., E. Cocci, G. Marsilio, and Rosa, M.D. 2011. Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage. *Procedia Food Science*, 1, 576-582.
- Biswas, A.K. Sahoo, J. Chatli, M.K. 2011. A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of Beta-carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. *Food Science and Technology*, 44, 1809-1813.
- Britton, G. 1996. Relationship between the colour and the chemical structure of carotenoid pigments. *Food chemistry*, 101, 1145-1150.
- Chakraborty, S., P.S. Rao, and H.N. Mishra. 2015. Effect of combined high pressure-temperature treatments on color and nutritional quality attributes of pineapple (*Ananas comosus* L.) puree. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 28, 10-21.
- Goodwin, T.W. 1980. Nature and distribution of Carotenoids Original Research Article. *Food Chemistry*, 5, 3-13.
- Gross, J. 1987. *Pigments in fruits*. Academic Press, London
- Herken H., Gurel A., Selek S., Armutcu F., Ozen ME., Bulut M., Kap O., Yumru M., Savas HA. and Akyol O. 2007. Adenosine deaminase, nitric oxide, superoxide dismutase, and xanthine oxidase in patients with major depression: Impact of antidepressant treatment. *Arch Med Res*, 38, 247-252.
- <https://www.learners.in.th/posts/295055>
- Julia F. Morton, Miami, FL. [Online] Available: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/tamarind.html>
- Macrae. 1988. Chromatographic chiral. *Food chemistry*, 30, 164-165.
- Mango available at [home page] [http://en.wikipedia.org/wiki/Mango#cite\\_note-23](http://en.wikipedia.org/wiki/Mango#cite_note-23)
- Manohar, B., Ramakrishna, P. and Udayasankar, K. 1991. Some Physical Properties of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Juice Concentrates. *Journal of Food Engineering*, 13(4), 241-258.
- Moncada S., Palmer RMJ. and Higgs, EA. 1991. Nitric oxide physiology, pathophysiology and pharmacology. *Pharmacol*, 43, 109-142.
- Morton, J. 1987. Tamarind, 115-121. In: *Fruits of warm climates*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Percival SS., Talcott ST., Chin ST., Mallak AC., Lounds-Singleton A. and Pettit-Moore J. 2006. Neoplastic transformation of BALB/3T3 cells and cell cycle of HL-60 cells are inhibited by mango (*Mangifera indica*L.) juice and mango juice extracts. *J Nutr*, 136(5), 1300-1304.
- Rocha Ribeiro SM., Queiroz JH., Lopes Ribeiro de Queiroz ME., Campos FM., Pinheiro Sant'ana HM. 2007. Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods Hum Nutr*, 62(1), 13-17.
- Rodríguez J., Di Pierro D., Gioia M., Monaco S., Delgado R., Coletta M. and Marini S. 2006. Effects of a natural extract from *Mangifera indica* L, and its active compound, mangiferin, on energy state and lipid peroxidation of red blood cells. *Biochim Biophys Acta*, 1760(9), 1333-1342.
- Steffe, J.F. 1996. *Rheological method in food process engineering*. 2<sup>nd</sup> Edition. Freeman Press, East Lansing, MI.
- Tang, J., Nindo, C.I., Powers, J.R. and Takhar P.S. 2007. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 292-299.
- Villarino, B.J., Ma, L.M., Lizada, C.C. 2007. Descriptive sensory evaluation of virgin coconut oil and refined, bleached and deodorized coconut oil. *LWT*, 40, 193-199.
- Weecharangsan, W. and Opanasopit, P. 2004. An Overview of free radicals and in vitro antioxidant activity tests in plant extracts. *SWU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 9, 73-80.
- Yacob, O. and Subhadrabhandu, S. 1995. *The Production of Economic Fruits in South East Asia*. Oxford University Press, 133-142.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

#### หลักการ

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากเหี่ยวระมะขามและเหี่ยวระมะม่วง ตัดแปลงจากวิธีของ Zhou และ Yu. (2004); Kubola และ Siriamornpun (2008); จันทรเพ็ญ (2006) โดยสารประกอบฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu Reagent ในสภาวะที่เป็นด่าง และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วย UV-Visible spectrophotometer และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

#### การเตรียมสาร

1. สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร

ซึ่งสารกรดแกลลิก 0.0400 กรัม ละลายในเอทานอล 95% ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร

2. สารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Sodium carbonate) 10 %

ซึ่งสารโซเดียมคาร์บอเนต 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานกรดแกลลิกของสารสกัดตัวอย่างพืชเหวี่ยงมะขาม

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกอย่างน้อย 5 ระดับ ใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 0.05, 0.075, 0.1, 0.125 และ 0.15 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นในแต่ละหลอดให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 5 มิลลิลิตร แล้วจะได้ปริมาณกรดแกลลิกในแต่ละหลอดเท่ากับ 40, 60, 80, 100, 120 ไมโครกรัมตามลำดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
2. นำหลอดทดลองทั้งหมดเติมสารมาตรฐาน Folin- Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
3. เติมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Sodium carbonate) 10 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที (กรณีที่สารละลายทำปฏิกิริยาแล้วขุ่นให้นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกตะกอนออกก่อนการนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง)
4. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก โดยเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตรกับปริมาณกรดแกลลิก

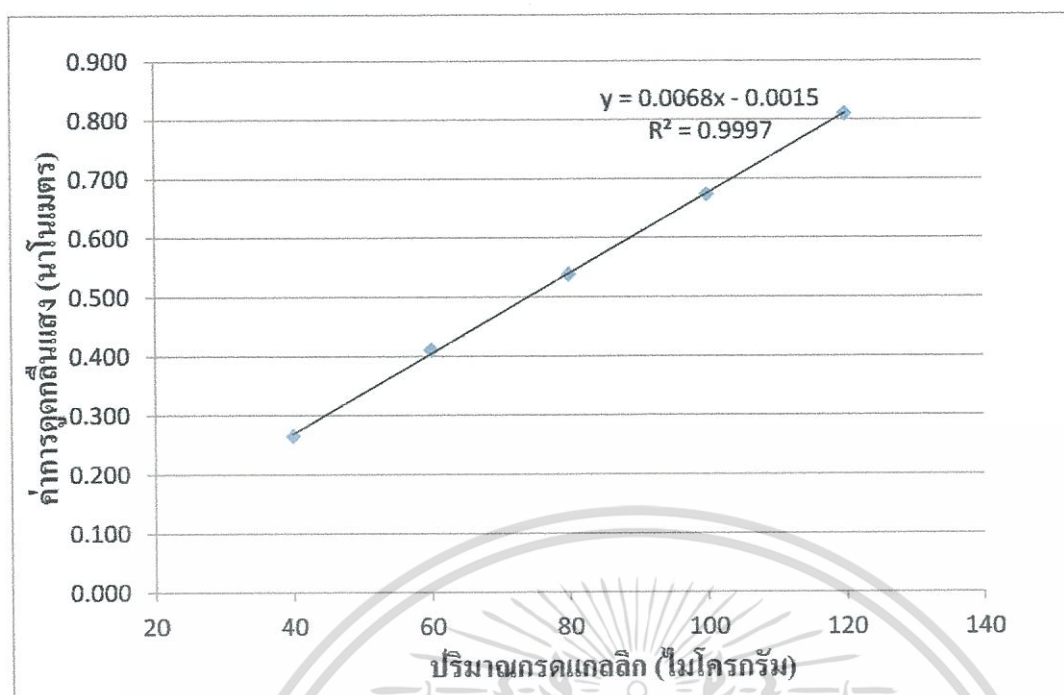
ตารางที่ ก.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

หลอดที่	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรของสารละลายกรด แกลลิก(ไมโครลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาณกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)
1	4.00	50	4.950	40
2	6.00	75	4.925	60
3	8.00	100	4.900	80
4	10.0	125	4.875	100
5	12.0	150	4.850	120

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับพืชเหวี่ยงมะขาม

ปริมาณกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
40	0.255	0.265	0.276	0.265
60	0.417	0.428	0.386	0.410
80	0.527	0.557	0.531	0.538
100	0.657	0.676	0.688	0.674
120	0.831	0.836	0.763	0.810

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดเกลือสำหรับเฟี้ยวไร่มะขาม

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรของสารสกัดตัวอย่างเฟี้ยวไร่มะขาม

สารสกัดตัวอย่างเฟี้ยวไร่มะขาม	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
ก่อนเก็บรักษา	0.396	0.367	0.385
หลังเก็บรักษา	0.627	0.630	0.665

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานกรดแกลลิกของสารสกัดตัวอย่างพืชเหวี่ยง

1. เปิดสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกอย่างน้อย 5 ระดับ ใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 0.025, 0.05, 0.075, 0.1 และ 0.125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นในแต่ละหลอดให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 5 มิลลิลิตร แล้วจะได้ปริมาณกรดแกลลิกในแต่ละหลอดเท่ากับ 20, 40, 60, 80, 100 ไมโครกรัมตามลำดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
2. นำหลอดทดลองทั้งหมดเติมสารมาตรฐาน Folin- Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
3. เติมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Sodium carbonate) 10 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที (กรณีที่สารละลายทำปฏิกิริยาแล้วขุ่นให้นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกตะกอนออกก่อนการนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง)
4. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก โดยเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตรกับปริมาณกรดแกลลิก

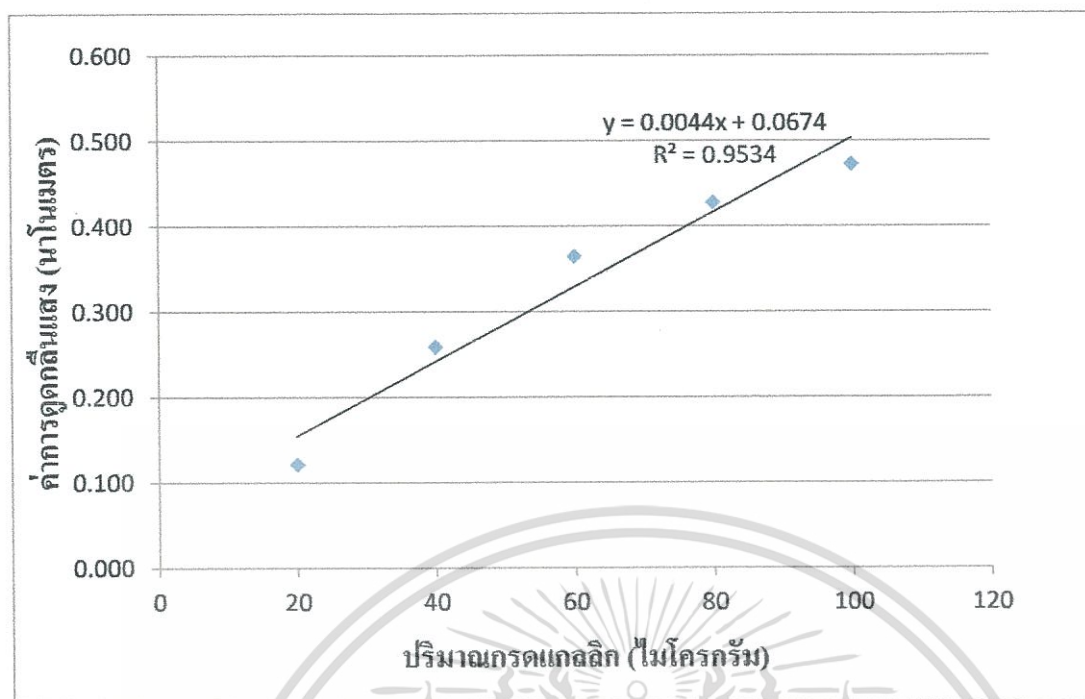
ตารางที่ ก.4 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

หลอดที่	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรของสารละลาย กรดแกลลิก(ไมโครลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาณกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)
1	2.00	25	4.975	20
2	4.00	50	4.950	40
3	6.00	75	4.925	60
4	8.0	100	4.900	80
5	10.0	125	4.875	100

ตารางที่ ก.5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับพืชเหวี่ยง

ปริมาณกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
20	0.117	0.124	0.123	0.121
40	0.259	0.262	0.255	0.259
60	0.349	0.364	0.380	0.364
80	0.446	0.406	0.431	0.428
100	0.476	0.479	0.463	0.473

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับเฟียวเร่มะม่วง

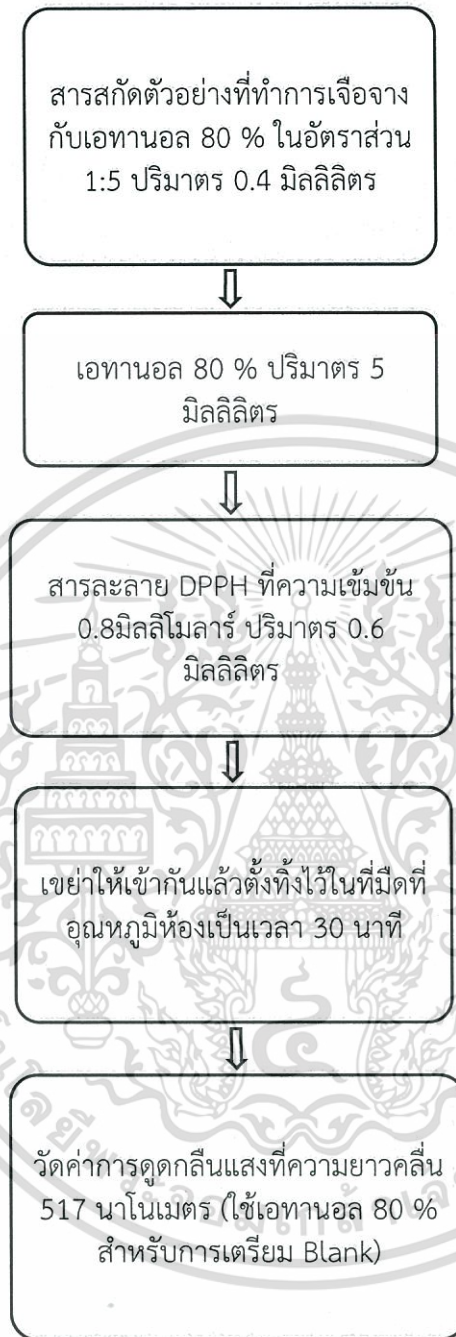
ตารางที่ ก.6 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรของสารสกัดตัวอย่างเฟียวเร่มะม่วง

สารสกัดตัวอย่างเฟียวเร่มะม่วง	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
ก่อนเก็บรักษา	0.351	0.355	0.344
หลังเก็บรักษา	0.202	0.189	0.194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

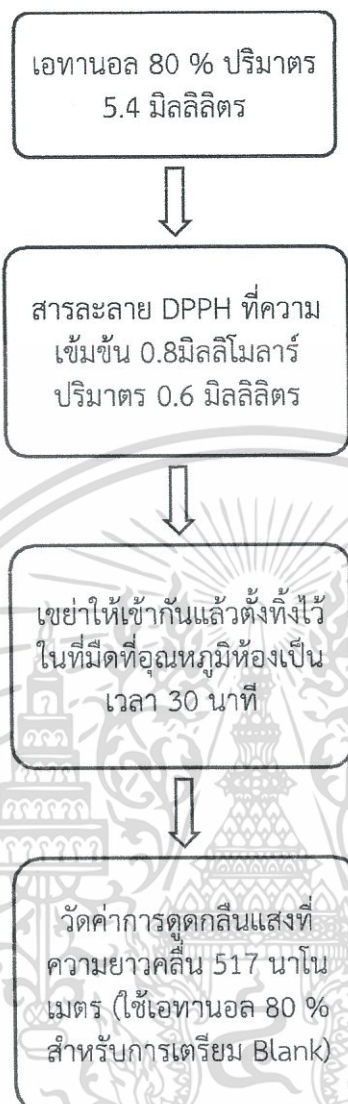


## วิธีทดสอบสำหรับตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีทดสอบสำหรับตัวควบคุม



## สูตรคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (\%)} = \left(1 - \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}}\right) \times 100$$

$A_{\text{sample}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง

$A_{\text{control}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายที่ใช้เป็นตัวควบคุม (control)

ในการศึกษาทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ย แล้วจึงจะวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (%) ของพืชสมุนไพรและพืชสมุนไพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การเตรียมกราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีน

#### การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีน

โดยดัดแปลงวิธีจากSanusi (2009)

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีนความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร จากการละลายสารเบต้าแคโรทีน 0.0100 กรัม ในอะซิโตน 10 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร
2. ปรับความเข้มข้นให้เป็น 20 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร
3. ทำให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเบต้าแคโรทีนในช่วง 1-7 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีนที่ได้อย่างน้อย 5 ระดับ ใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 0.25, 0.375, 0.5, 0.625 และ 0.75 มิลลิลิตร จากนั้นเติมอะซิโตนในแต่ละหลอดให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 5 มิลลิลิตร แล้วจะได้ปริมาณเบต้าแคโรทีนในแต่ละหลอดเท่ากับ 5, 7.5, 10, 12.5, 15 ไมโครกรัมตามลำดับ เขย่าให้เข้ากัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
4. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีน โดยเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตรกับปริมาณเบต้าแคโรทีน

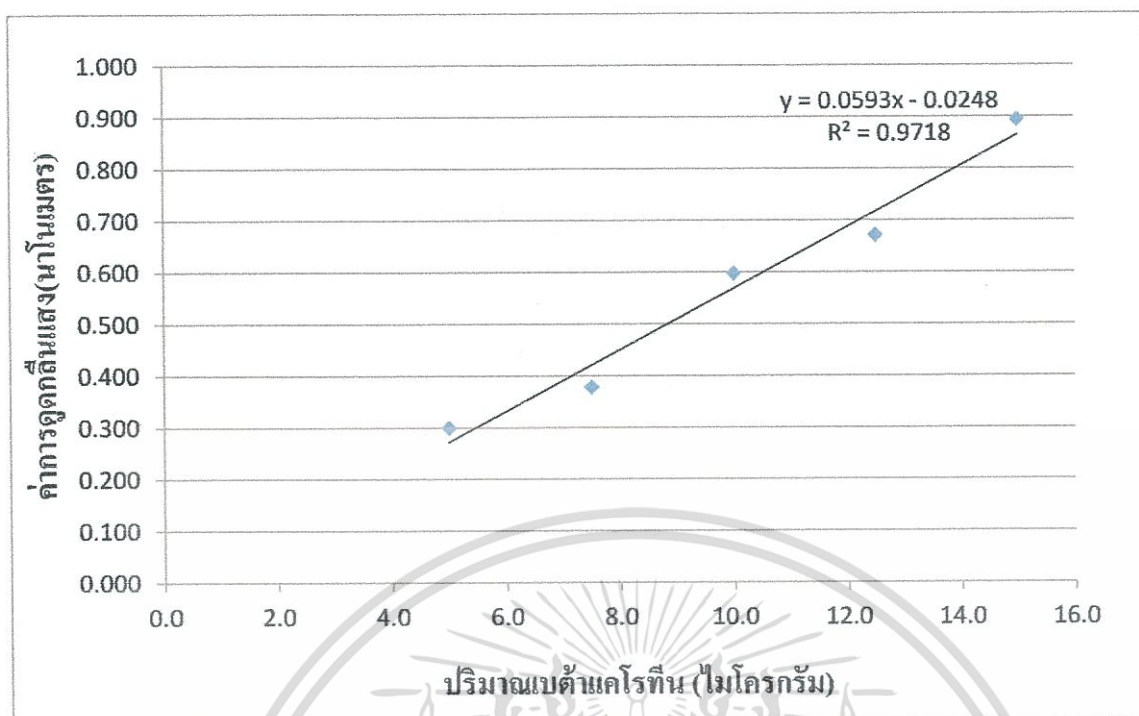
#### ตารางที่ ค.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีน

หลอดที่ 1	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรของสารละลาย เบต้าแคโรทีน(ไมโครลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)
1	1.00	250	4.750	5
2	1.50	375	4.625	7.5
3	2.00	500	4.500	10
4	2.50	625	4.375	12.5
5	3.00	750	4.250	15

#### ตารางที่ ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตรของสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีน

ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
5	0.298	0.299	0.302	0.300
7.5	0.378	0.366	0.389	0.378
10	0.594	0.597	0.601	0.597
12.5	0.661	0.671	0.680	0.671
15	0.901	0.899	0.882	0.894

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค. 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีนสำหรับพืชเหี่ยวเฉา

ตารางที่ ค.3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตรของสารสกัดตัวอย่างพืชเหี่ยวเฉา

สารสกัดตัวอย่างพืชเหี่ยวเฉา	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
ก่อนเก็บรักษา	0.452	0.449	0.451
หลังเก็บรักษา	0.418	0.394	0.420

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### การเตรียมตัวอย่างเพ็ชระมวงและเพ็ชระขาม

#### การเตรียมตัวอย่างเพ็ชระขาม



ภาพที่ ง.1 มะขามเปรี้ยว



ภาพที่ ง.2 มะขามเปรี้ยวที่แช่ในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 40 °C



ภาพที่ ง.3 ยีเนื้อมะขามเปรี้ยวบนตะแกรง

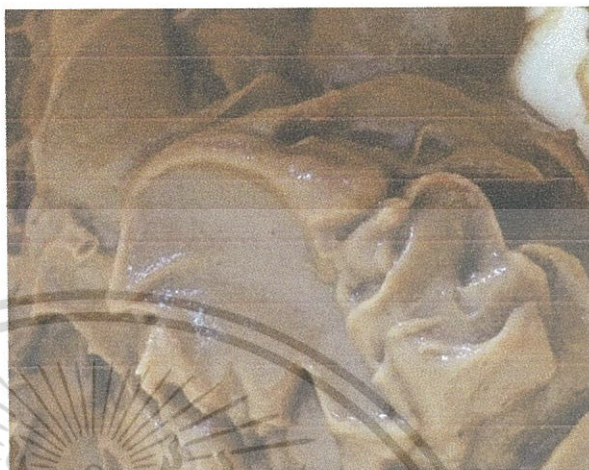


ภาพที่ ง.4 เพ็ชระขามที่ยังไม่ละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.5 ปั่นเพียวแรมะขามที่ยังไม่ละเอียด



ภาพที่ ง.6 เพียวแรมะขาม



ภาพ a



ภาพ b



ภาพ c

ภาพที่ ง.7 เพียวแรมะขามที่เจือจางความเข้มข้น 3 ระดับ (ภาพ a) 25 ปริกซ์, (ภาพ b) 20 ปริกซ์ และ (ภาพ c) 15 ปริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

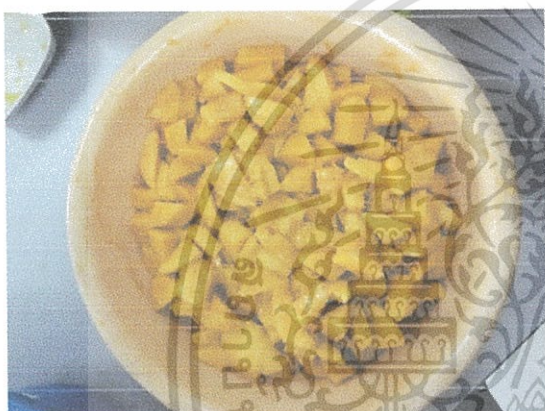
## การเตรียมตัวอย่างเพียวเระมะขาม



ภาพที่ ง.8 มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้



ภาพที่ ง.9 ปอกเปลือก



ภาพที่ ง.10 เนื้อมะม่วงชิ้นเล็ก



ภาพที่ ง.11 เพียวเระมะม่วง



ภาพที่ ง.12 เพียวเระมะม่วงที่เจือจางความเข้มข้น 3 ระดับ; (ภาพซ้ายสุด) 15 บริกซ์, (ภาพกลาง) 17 บริกซ์ และ (ภาพขวาสุด) 19 บริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

### การเตรียมสารสกัดตัวอย่างเพื่อหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและ ประสิทธิภาพความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

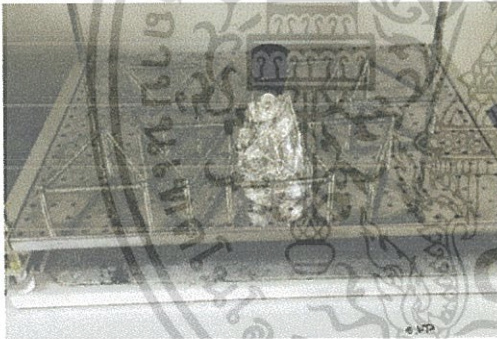
ยกตัวอย่างการเตรียมสารสกัดตัวอย่างเหี่ยวเริ่มะขาม



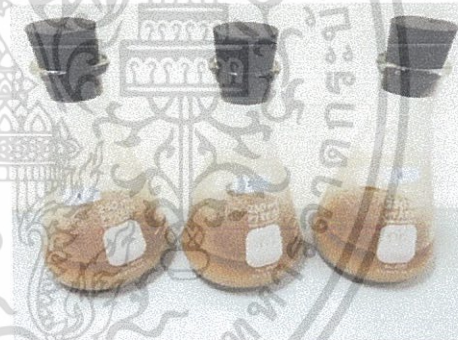
ภาพที่ จ.1 เหี่ยวเริ่มะขามปริมาณ 20 กรัม/ซ้ำ



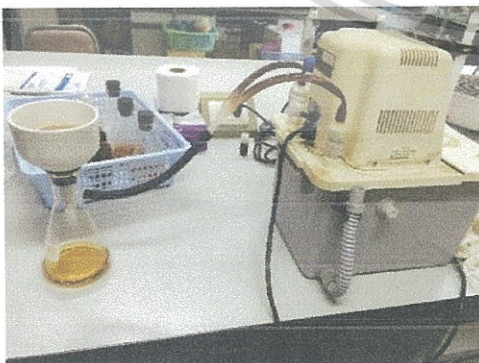
ภาพที่ จ.2 การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 80%



ภาพที่ จ.3 เหย้า 24 ชั่วโมง



ภาพที่ จ.4 หลังจากการเหย้า 24 ชั่วโมง



ภาพที่ จ.5 กรองสารสกัดตัวอย่าง



ภาพที่ จ.6 สารสกัดตัวอย่างเหี่ยวเริ่มะขาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

### การสกัดสารตัวอย่างเห็ดวุ้นเห็ดเพื่อหาปริมาณเบต้าแคโรทีน

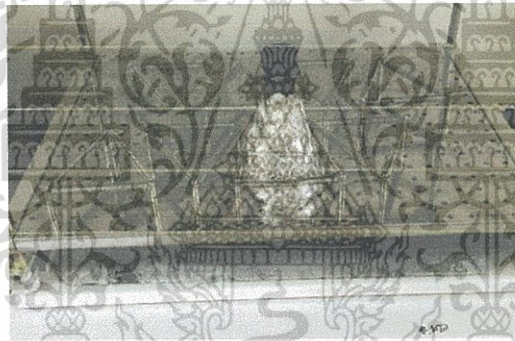


ภาพ a



ภาพ b

ภาพที่ ฉ.1 การสกัดเห็ดวุ้นเห็ดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน (ภาพ a) เห็ดวุ้นเห็ดก่อนเก็บรักษาและ (ภาพ b) เห็ดวุ้นเห็ดหลังเก็บรักษา



ภาพที่ ฉ.2 เซย่า 30 นาที



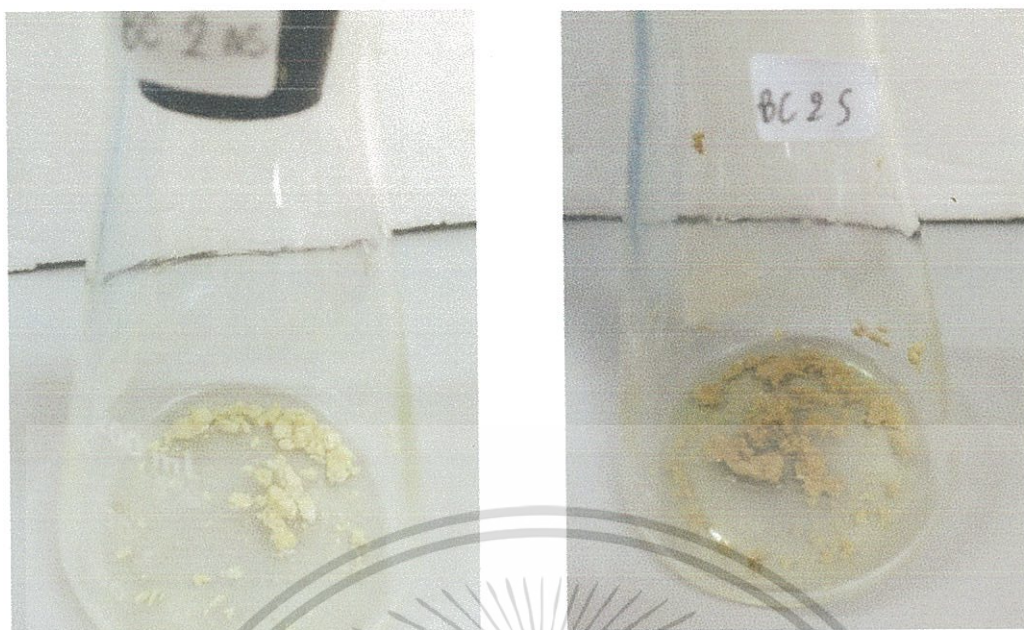
ภาพ c



ภาพ d

ภาพที่ ฉ.3 กรองสารสกัดตัวอย่างเห็ดวุ้นเห็ด (ภาพ c) เห็ดวุ้นเห็ดก่อนเก็บรักษาและ (ภาพ d) เห็ดวุ้นเห็ดหลังเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ e

ภาพ f

ภาพที่ ๑.4 เนื้อเพียวเริ่มมะม่วงหลังจากสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนครบทั้ง 3 ซ้ำ (ภาพ e) เพียวเริ่มมะม่วงก่อนเก็บรักษาและ (ภาพ f) เพียวเริ่มมะม่วงหลังเก็บรักษา



ภาพที่ ๑.5 สารสกัดตัวอย่างเพียวเริ่มมะม่วง

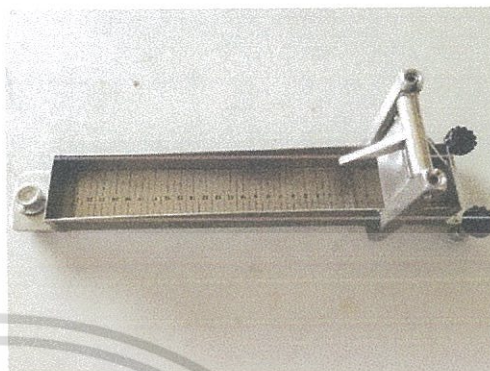
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### เครื่องมือและอุปกรณ์



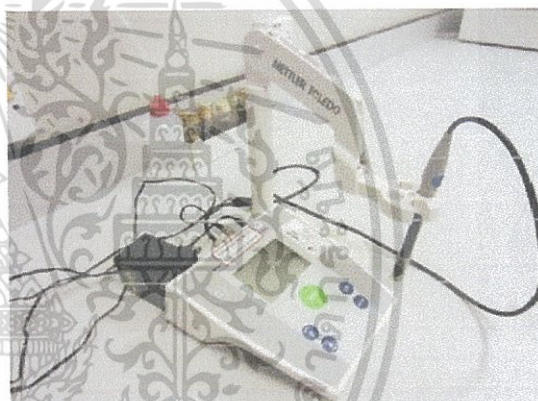
ภาพที่ ข.1 เครื่องวัดสี  
(Colorimeter: minolta CR-300)



ภาพที่ ข.2 เครื่องวัดความหนืดแบบราง  
(Bostwick consistometer)



ภาพที่ ข.3 เครื่องวัดค่า Total soluble solid  
(Refractometer)



ภาพที่ ข.4 เครื่องวัดค่า pH (pH meter)



ภาพที่ ข.5 เครื่องวัดค่าทางรีโอโลยี (Viscometer: Brookfield DV-III)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.6 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer: UV-1601)



ภาพที่ ข.7 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)



ภาพที่ ข.8 เครื่องเขย่า (Mechanical Shaker)

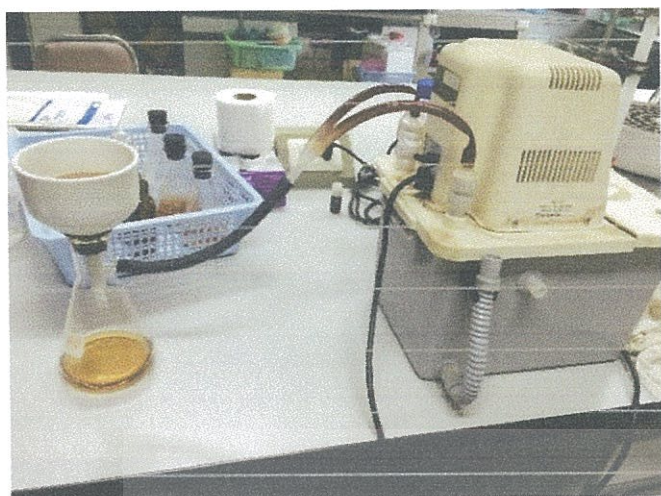


ภาพที่ ข.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

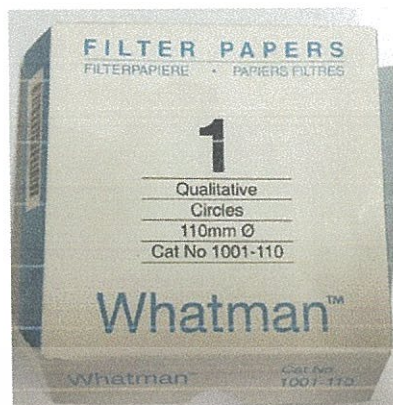


ภาพที่ ข.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.11 ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ  
(Vacuum aspirator)



ภาพที่ ข.12 กระดาษกรอง Whatman no.1



ภาพที่ ข.13 เครื่องผสมสาร  
(Vortex mixer)

ภาพที่ ข.14 ตู้เย็น (Refrigerator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การคำนวณผลการทดลอง

#### ข.1 การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเฟี้ยวเริ่มะขาม

จากสมการของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกที่ได้คือ  $y = 0.0068x - 0.0015$  สามารถคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดตัวอย่างเฟี้ยวเริ่มะขามได้ โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเฟี้ยวเริ่มะขามเป็นตัวแปร  $y$  ในสมการแล้วคำนวณหาค่า  $x$  โดยจะทำการคำนวณของตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ แล้วเฉลี่ยค่าจึงจะได้เป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเฟี้ยวเริ่มะขาม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ซ้ำที่ 1: ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเฟี้ยวเริ่มะขามก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 0.396 นาโนเมตร จากสมการของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกที่ได้คือ  $y = 0.0068x - 0.0015$  จะได้ค่า  $x$  เท่ากับ 58.456 ไมโครกรัม หรือ 0.058 มิลลิกรัม

เทียบบัญญัติไตรยางค์

จากการทดลอง บีบตัวอย่าง 0.15 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.058 มิลลิกรัม

ถ้าในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 38.67 มิลลิกรัม

โดยสารตัวอย่างทั้งหมด 100 มิลลิลิตร จะมีเฟี้ยวเริ่มะขามทั้งหมด 20 กรัม

ดังนั้น เฟี้ยวเริ่มะขาม 20 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 38.67 มิลลิกรัม

ถ้าเฟี้ยวเริ่มะขาม 100 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 193 มิลลิกรัม

การทดลองในซ้ำที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด(Total phenolic content) ในเฟี้ยวเริ่มะขามก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 193 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเฟี้ยวเริ่มะขาม (mg gallic acid/100 g tamarind puree)

เมื่อคำนวณใน ซ้ำที่ 2 และ 3 พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด(Total phenolic content) ในเฟี้ยวเริ่มะขามก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 180 และ 190 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเฟี้ยวเริ่มะขาม (mg gallic acid/100 g tamarind puree) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ซ้ำ ได้เท่ากับ 187.67 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเฟี้ยวเริ่มะขาม (mg gallic acid/100 g tamarind puree)

ดังนั้นจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด(Total phenolic content) ในเฟี้ยวเริ่มะขามก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 187.67 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเฟี้ยวเริ่มะขาม (mg gallic acid/100 g tamarind puree)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ช.2 การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเพียวเระมะม่วง

จากสมการของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกที่ได้คือ  $y = 0.0044x + 0.0674$  สามารถคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดตัวอย่างเพียวเระมะม่วงได้ โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเพียวเระมะม่วงเป็นตัวแปร  $y$  ในสมการแล้วคำนวณค่า  $x$  โดยจะทำการคำนวณของตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ แล้วเฉลี่ยค่าจึงจะได้เป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเพียวเระมะม่วง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ซ้ำที่ 1: ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเพียวเระมะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 0.351 นาโนเมตร จากสมการของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกที่ได้คือ  $y = 0.0044x + 0.0674$  จะได้ค่า  $x$  เท่ากับ 64.455 ไมโครกรัม หรือ 0.064 มิลลิกรัม

### เทียบบัญญัติไตรยางค์

จากการทดลอง ปิเปตตัวอย่าง 0.15 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.064 มิลลิกรัม

ถ้าในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 42.67 มิลลิกรัม

โดยสารตัวอย่างทั้งหมด 100 มิลลิลิตร จะมีเพียวเระมะม่วงทั้งหมด 20 กรัม

ดังนั้น เพียวเระมะม่วง 20 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 42.67 มิลลิกรัม

ถ้าเพียวเระมะม่วง 100 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 213 มิลลิกรัม

การทดลองในซ้ำที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ในเพียวเระมะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 213 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเพียวเระมะม่วง (mg gallic acid/100 g mango puree)

เมื่อคำนวณใน ซ้ำที่ 2 และ 3 พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ในเพียวเระมะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 217 และ 210 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเพียวเระมะม่วง (mg gallic acid/100 g mango puree) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ซ้ำ ได้เท่ากับ 213.33 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเพียวเระมะม่วง (mg gallic acid/100 g mango puree)

ดังนั้นจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ในเพียวเระมะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 213.33 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมเพียวเระมะม่วง (mg gallic acid/100 g mango puree)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ช.3 การคำนวณหาร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในพืชเหวี่ยงมะขาม

ตัวอย่างสารสกัดตัวอย่างเหวี่ยงมะขามก่อนเก็บรักษา เตรียมจากเหวี่ยงมะขามหนัก 20 กรัม ซึ่งสารสกัดตัวอย่างเหวี่ยงมะขามได้เจือจางกับเอทานอล 80 % ในอัตราส่วน 1:5 ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ได้ค่าการดูดกลืนแสงของ control เท่ากับ 0.965 นาโนเมตร

จากสูตร

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ} \left(1 - \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}}\right) \times 100$$

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ( $A_{\text{sample}}$ ) ที่ได้ซ้ำที่ 1 เท่ากับ 0.715 นาโนเมตร

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 25.91 เปอร์เซ็นต์

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ( $A_{\text{sample}}$ ) ที่ได้ซ้ำที่ 2 เท่ากับ 0.674 นาโนเมตร

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 30.16 เปอร์เซ็นต์

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ( $A_{\text{sample}}$ ) ที่ได้ซ้ำที่ 3 เท่ากับ 0.684 นาโนเมตร

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 29.12 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ซ้ำ ได้เท่ากับ 28.39 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นประสิทธิภาพความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH 28.39 เปอร์เซ็นต์ ของเหวี่ยงมะขามก่อนเก็บรักษา (ที่เจือจาง 1 มิลลิลิตร สารสกัดตัวอย่างเหวี่ยงมะขาม ต่อ 5 มิลลิลิตร เอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ซ.4 การคำนวณหาปริมาณเบต้าแคโรทีนในสารสกัดตัวอย่างพืชเหี่ยวระ่มะม่วง

จากสมการของกราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีนที่ได้คือ  $y = 0.0593x - 0.0248$  สามารถคำนวณหาปริมาณเบต้าแคโรทีนในสารสกัดตัวอย่างพืชเหี่ยวระ่มะม่วงได้ โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเหี่ยวระ่มะม่วงเป็นตัวแปร  $y$  ในสมการแล้วคำนวณค่า  $x$  โดยจะทำการคำนวณของตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ แล้วเฉลี่ยค่าจึงจะได้เป็นปริมาณเบต้าแคโรทีนในสารสกัดตัวอย่างพืชเหี่ยวระ่มะม่วง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ซ้ำที่ 1: ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างพืชเหี่ยวระ่มะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 0.452 จากสมการของกราฟมาตรฐานกรดกลูติกที่ได้คือ  $y = 0.0593x - 0.0248$  จะได้ค่า  $x$  เท่ากับ 8.040 ไมโครกรัม หรือ 0.008 มิลลิกรัม

เทียบบัญญัติไตรยางค์

จากการทดลอง ปีเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 0.008 มิลลิกรัม

ถ้าในตัวอย่าง 60 มิลลิลิตร มีปริมาณเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 0.48 มิลลิกรัม

โดยสารตัวอย่างทั้งหมด 60 มิลลิลิตร จะมีเหี่ยวระ่มะม่วงทั้งหมด 5 กรัม

ดังนั้น เหี่ยวระ่มะม่วง 5 กรัม มีปริมาณเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 0.48 มิลลิกรัม

ถ้าเหี่ยวระ่มะม่วง 100 กรัม มีปริมาณเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 9.60 มิลลิกรัม

การทดลองในซ้ำที่ 1 มีปริมาณเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene content) ในเหี่ยวระ่มะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 9.6 มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีน ต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ่มะม่วง (mg beta-carotene/100 g mango puree)

เมื่อคำนวณใน ซ้ำที่ 2 และ 3 พบว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene content) ในเหี่ยวระ่มะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 9.60 และ 9.60 มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีน ต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ่มะม่วง (mg beta-carotene/100 g mango puree) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ซ้ำ ได้เท่ากับ 9.60 มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีน ต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ่มะม่วง (mg beta-carotene/100 g mango puree)

ดังนั้นจึงมีปริมาณเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene content) ในเหี่ยวระ่มะม่วงก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 9.60 มิลลิกรัมเบต้าแคโรทีน ต่อ 100 กรัมเหี่ยวระ่มะม่วง (mg beta-carotene/100 g mango puree)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพนัญญา มุตตาหารัช
วัน เดือน ปี เกิด	30 ธันวาคม 2536
ประวัติการศึกษา	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนอัสสัมชัญลำปาง ในปี พ.ศ. 2555</li> <li>- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2559</li> <li>- กำลังศึกษาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) ในโครงการปริญญาตรีแบบก้าวหน้า คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</li> </ul>
ประสบการณ์การทำงาน	ฝึกงานที่บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)
และผลงานวิจัย	ในสายงานฝ่ายผลิต ตำแหน่งผู้ช่วยฝ่ายผลิต
รางวัลที่เคยได้รับ	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายรุ่งโรจน์ น่วมวิจิตร
วัน เดือน ปี เกิด	2 กุมภาพันธ์ 2537
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนเกลินวิทยา ในปี พ.ศ. 2552 - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสิริรัตนาร ในปี พ.ศ. 2555 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วท.บ.) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2559
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	ฝึกงานที่บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) ในสายงานฝ่ายผลิต ตำแหน่งผู้ช่วยฝ่ายผลิต
รางวัลที่เคยได้รับ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย ปิกร เนียวกุล
วัน เดือน ปี เกิด	23 เมษายน 2535
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2553 - สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2559
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	ฝึกงานที่บริษัท ลานนาโปรดักส์ จำกัด (มหาชน) ในสายงานฝ่ายผลิต ตำแหน่งผู้ช่วยฝ่ายผลิต
รางวัลที่เคยได้รับ	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้