



ผลของพัลลวแลน และทรีฮาโลส ในสูตรสารเคลือบต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์  
อะราเร่

โดย  
นางสาวอัจฉรา มาติยา

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร  
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2552  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลของพัลลูแลน และทรีฮาโลส ในสูตรสารเคลือบต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์  
อะคราเร่

โดย  
นางสาวอัจฉรา มาติยา

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร  
มหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร  
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2552  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF PULLULAN AND TREHALOSE IN COATING FORMULAR ON  
MOISTURE ADSORPTION OF ARARE PRODUCT

By  
Achara Matiya

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ ผลของพัลลูลแลน และทรีฮาโลส ในสูตรสารเคลือบต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะคราเร่ ” เสนอโดย นางสาวอัจฉรา มาติยา เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร)

...../...../.....

50403312 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : อะราเร่ / ซูโครส / พัลลูแลน / ทรีฮาโลส

อัจฉรา มาติยา : ผลของพัลลูแลน และทรีฮาโลส ในสูตรสารเคลือบต่อการดูดซับ  
ความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเร่. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : ผศ.ดร.ดวงใจ ภิรธรรมถาวร.  
73 หน้า.

อะราเร่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตดั้งเดิมเป็นของญี่ปุ่น ปัญหาสำคัญของผลิตภัณฑ์คือ  
การสูญเสียความกรอบซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับความชื้นในสิ่งแวดล้อม การทดลองนี้ศึกษาผล  
ของทรีฮาโลสและพัลลูแลนในสูตรสารเคลือบเพื่อลดการดูดซับความชื้นในผลิตภัณฑ์อะราเร่ ทรี  
ฮาโลสใช้ที่ความเข้มข้น 5,10 และ 15% โดยแทนที่น้ำตาล และพัลลูแลนเติมลงไปในการเคลือบที่  
ความเข้มข้น 3,5 และ 7% ของน้ำหนักแห้งตัดแปร โดยมีการทดสอบสมบัติต่างๆของสารเคลือบ  
สูตรต่างๆ สำหรับอะราเร่ที่เคลือบแล้วเก็บที่ตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70, 80 และ 90 เป็น  
เวลา 6 ชั่วโมงเพื่อศึกษาอัตราการดูดซับความชื้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทรีฮาโลสและพัลลู  
แลนในสูตรสารเคลือบมีผลต่อค่าความเป็นกรดต่าง ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าความหนืดของ  
สารละลาย และค่า  $A_w$  ของอะราเร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณ  
การเกาะติด สีและความชื้น โดยการใช้ทรีฮาโลสและพัลลูแลนในสูตรสารเคลือบสามารถชะลอการ  
ดูดซับความชื้นได้เมื่อเทียบกับสูตรสารเคลือบมาตรฐาน โดยสูตรสารเคลือบที่ใช้ทรีฮาโลส 10% มี  
ความกรอบน้อยกว่าสูตรสารเคลือบที่ใช้พัลลูแลน 5% และสูตรมาตรฐานและ เมื่อเก็บไว้ที่  
ตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสพบว่า  
การใช้พัลลูแลนในสูตรสารเคลือบยังคงความกรอบได้ดีกว่าสูตรสารเคลือบอื่นซึ่งสอดคล้องกับผล  
ซอร์บชั่นไอโซเทอมโดยพัลลูแลนที่ระดับความเข้มข้น 5% เข้าสู่ภาวะสมดุลช้าที่สุด ตามมาด้วยท  
รีฮาโลส 10% และชุดควบคุมให้การดูดซับความชื้นเข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วที่สุด

---

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร      บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร      ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ .....

50403312 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : ARARE, SUCROSE,PULLULAN,TREHALOSE

ACHARA MATIYA : EFFECT OF PULLULAN AND TREHALOSE IN COATING  
FORMULAR ON MOISTURE ADSORPTION OF ARARE PRODUCT. INDEPENDENT STUDY  
ADVISOR : ASST.PROF.DUANGJAI THIRATHUMTHAVORN ,Ph.D. 73 pp.

Arare is the traditional rice cracker in Japan which made from glutinous rice. The lost of its crunchiness is due to moisture adsorption from the environment. This experiment had intended to study the effect of Trehalose and Pullulan in the coating solution to retard moisture absorption of Arare. Trehalose was applied at a concentration of 5, 10 and 15 % of sucrose replacement, and pullulan was incorporated at a concentration of 3, 5 and 7% w/w of modified starch. The properties of coating solution and coated rice cracker were evaluated. Coated rice crackers were stored at 70% 80% and 90 % relative humidity in the Temp/RH controlled cabinet for 6 hours to investigate the moisture absorption. Results were shown that the addition of trehalose or pullulan in the coating solution for arare had an influence on pH, total soluble solid and viscosity of the coating solutions and Aw of the coated products significantly. Contrary to the percentage of coating pick up, color and moisture content of the coated products, there was no significant difference in all samples. The rice cracker coated with pullulan or trehalose can retard the moisture absorption compared to the control sample. The samples coated with 5% pullulan or 10% trehalose were selected for sensory evaluation. The crunchiness of the product coated with 10% trehalose containing solution was less than the control sample as well as the product coated with 5% pullulan containing solution. After conditioning in the 70% RH cabinet for 2 hours, it was found that the product coated with the solution containing 5% pullulan was still crunchy while the others lost the crunchiness. The results of moisture sorption isotherm were identified that the sample coated with 5% of pullulan reached equilibrium later than sample coated with 10% trehalose and the control sample.

---

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature .....

Independent Study Advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนวความคิด การแก้ไขและสนับสนุนทั้งด้านเอกสาร การเตรียมการสำหรับนำเสนอแนะ การวางโครงเรื่อง การสอดแทรกเนื้อหาต่าง จนการค้นคว้าอิสระฉบับนี้เป็นภาพเล่มขึ้นมา และขอขอบพระคุณในความเมตตาที่มีให้ลูกศิษย์ตลอดมา จนมีความรู้และจัดทำเป็นภาพเล่มได้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์และคณะกรรมการภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนด้านกำลังใจอย่างเต็มเปี่ยม ขอขอบคุณ คุณพิทยาภรณ์ เรืองฤทธิ์ คุณสุกานดา อรุณภัทรสกุล ที่เป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณน้องๆ และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทที่ช่วยสนับสนุนและช่วยเหลือจนการค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

อัจฉรา มาติยา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
กลไกการดูดความชื้นของอาหารแห้ง.....	4
ผลทางกายภาพต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์.....	5
ผลของการแพร่ผ่านของน้ำ จากหลักเทอร์โมไดนามิก.....	5
ลักษณะการเกาะตัวของน้ำในอาหาร.....	6
ทรีฮาโลส.....	7
พัลลูแลน.....	12
การจำแนกประเภทของอาหารตามค่า $a_w$ .....	15
Sorption isotherm.....	17
สมการที่ใช้สำหรับทำนายค่าน้ำในโมโนเลเยอร์.....	19
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	21
วัตถุประสงค์.....	21
อุปกรณ์.....	21
เครื่องมือ.....	21
4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	23
สมบัติเคมี กายภาพของสารเคลือบสูตรต่างๆและอะระเร่หลังเคลือบด้วย	
สารเคลือบสูตรต่างๆ.....	23

บทที่	หน้า
การดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมข้าวอบกรอบอะราเร่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ระดับร้อยละ 70 80 และ 90.....	28
คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังการเคลือบด้วยพัลลูลแลน หรือ ทรีฮาโลส .....	33
ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมข้าวอบกรอบอะราเร่หลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุม สูตรที่มีการผสมพัลลูลแลน หรือ ทรีฮาโลส และเมื่อเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน 2 ชั่วโมง ทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer.....	39
ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์อะราเร่ชุดควบคุม ชุดที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ผสมพัลลูลแลน 5 % และชุดที่เคลือบด้วยสูตรที่ผสมทรีฮาโลส 10%.....	41
5 สรุป.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี.....	54
ภาคผนวก ข การประเมินทางประสาทสัมผัส.....	62
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ.....	64
ประวัติผู้วิจัย.....	73

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	คุณสมบัติของ ทรีฮาโลส..... 12
2	สมบัติทางเคมีของสารเคลือบแต่ละสูตร..... 24
3	สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังเคลือบด้วยสารเคลือบแต่ละชนิด..... 27
4	ผลความชื้นและค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ก่อนการทดสอบและ (%) ของตัวอย่างเริ่มต้น (0h) เมื่อเทียบกับตัวอย่างซึ่งเก็บในตู้ควบคุมเมื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70% 2 ชั่วโมง..... 34
5	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมข้าวอบกรอบอะราเร่หลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่มีการผสม พัลลูแลน หรือ ทรีฮาโลส หลังเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน ชั่วโมง..... 37
6	ค่าแรงกดสูงสุดของขนมข้าวอบกรอบอะราเร่ หลังการเคลือบด้วย พัลลูแลน หรือ ทรีฮาโลสและเมื่อเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน 2 ชั่วโมง ทดสอบด้วย เครื่อง Texture analyzer..... 39
7	ตารางเปรียบเทียบค่าการดูดซับของอะราเร่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบแต่ละชนิด จากสมการ Gab (Guggenheim, anderson, de boer)..... 43
8	ตารางเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของ $a_w$ จากสมการแบบGABเปรียบเทียบกับเวลา.. 45
9	ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความเป็นกรดต่างของสูตรปรุงรส..... 65
10	ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าของแข็งรวม Brix ของสูตรปรุงรส..... 65
11	ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความหนืด ของสูตรปรุงรส.. 65
12	ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเร่..... 66

13	ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความน้ำอึสระ Aw ของผลิตภัณฑ์อะราเร่.....	66
14	ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าการเกาะติดของน้ำเชื่อมของผลิตภัณฑ์อะราเร่.....	66
15	ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อะราเร่.....	67
16	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความกรอบ (Crunchy) ของผลิตภัณฑ์หลังเคลือบ.....	67
17	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความกรอบ (Crunchy) ของผลิตภัณฑ์หลังให้ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%.....	67
18	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเกาะติดมือ (Sticky) ของผลิตภัณฑ์หลังเคลือบ.....	68
19	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเกาะติดมือ (Sticky) ของผลิตภัณฑ์หลังให้ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%.....	68
20	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเหนียว (Chewiness) ของผลิตภัณฑ์หลังเคลือบ.....	68
21	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเหนียว (Chewiness) ของผลิตภัณฑ์หลังให้ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%.....	69
22	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกดสูงสุด Maximum force ของผลิตภัณฑ์หลังเคลือบด้วยเครื่อง Texture analyzer.....	69
23	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกดสูงสุด Maximum force ของผลิตภัณฑ์หลังให้ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ด้วยเครื่อง Texture analyzer.....	69
24	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความกรอบ (Crunchy) ของชุดควบคุม ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	70
25	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการเกาะติด (Sticky) ของชุดควบคุม ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%.....	70

26	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ความเหนียว (Chewiness) ของชุดควบคุม ภายหลังจากเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	70
27	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความกรอบ (Crunchy) ของชุดที่เคลือบด้วยพัลลูลแลน 5% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	71
28	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการ เกาะติด (Sticky) ของชุดที่เคลือบด้วยพัลลูลแลน 5% ภายหลัง การเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	71
29	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ความเหนียว (Chewiness) ของชุดที่เคลือบด้วยพัลลูลแลน 5% ภายหลัง การเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	71
30	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความ กรอบ (Crunchy) ของชุดที่เคลือบด้วยทรีฮาโลส 10% ภายหลัง การเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	72
31	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการเกาะติด (Sticky) ของชุดที่เคลือบด้วยทรีฮาโลส 10% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	72
32	ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความ เหนียว (Chewiness) ของชุดที่เคลือบด้วยทรีฮาโลส 10% ภายหลัง การเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง.....	72

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. แผนผังแสดงอุณหภูมิแสดงสภาวะของแข็งคล้ายแก้วและของแข็งคล้ายยาง..	5
2. แผนผังการผลิตทรีฮาโลสโดยเอนไซม์มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ซินเทส Malto-oligosaccharide synthase ,MTSase และมอลโตโอลิโกซิล- ทรีฮาโลส ทรีฮาโลสไฮโดรเลส Malto-oligosyltrehalose trehalosehydrolase ,MTHase.....	8
3. แผนผังการผลิตทรีฮาโลสจากแป้ง.....	9
4. โครงสร้างน้ำตาลทรีฮาโลส Dihydrous.....	10
5. การละลายของทรีฮาโลสที่อุณหภูมิต่างๆ.....	10
6. ผลของทรีฮาโลส ซูโครส และตัวอย่างควบคุม ต่อการควบคุมการปลดปล่อย ความชื้นในผลิตภัณฑ์ เบเกอรี่.....	11
7. โครงสร้างพัลลูแลน.....	13
8. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Aw และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารที่ Aw ต่างๆ.....	15
9. แสดงความชื้นสมดุลกับ Aw และ Isotherm ของอาหาร.....	18
10. อัตราการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ของชุดทดลอง ชุดควบคุม พัลลูแลน 3, 5,7 % และ ทรีฮาโลส 5,10,15%.....	29
11. อัตราการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80 %ของชุดทดลอง ชุดควบคุม พัลลูแลน 3, 5,7 % และ ทรีฮาโลส 5,10,15%.....	31
12. อัตราการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % ของชุดทดลอง ชุดควบคุม พัลลูแลน 3, 5,7 % และ ทรีฮาโลส 5,10,15%.....	32
13. อัตราการดูดซับความชื้นที่ 70 % เวลา 2 ชั่วโมง.....	35
14. % ความชื้นและค่า Aw ที่อัตราการดูดซับความชื้น 70 % เวลา 2 ชั่วโมง.....	36
15. แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)และปริมาณ น้ำอิสระของขนมข้าวอบกรอบของชุดผลิตภัณฑ์ควบคุม.....	41

ภาพที่	หน้า
16. แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)และปริมาณ น้ำอิสระของขนมข้าวอบกรอบของชุดผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย พัลลูลีน 5 %.....	42
17. แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)และปริมาณ น้ำอิสระของขนมข้าวอบกรอบของชุดผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย สารเคลือบสูตรที่ผสมทรีฮาโลส 10 %.....	43
18. ภาพแสดงเครื่องวัดความชื้น Kett FD 620 series.....	55
19. ภาพแสดงเครื่องวัด Aw แบบรวดเร็ว (Series 4 Aqualab series4TE)....	56
20. ภาพแสดงเครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง Refracto meter.....	57
21. ภาพแสดงเครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH meter.....	58
22. ภาพแสดงตู้ควบคุมความชื้น Climacel model 404และการจัดเรียง ผลิตภัณฑ์ขณะวัด.....	59
23. ภาพแสดงลักษณะผลิตภัณฑ์ก่อนนำเข้าตู้อบ.....	60
24. ภาพแสดงเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser.....	61

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวเป็นอันดับ 6 ของโลก จากผู้ผลิตทั้ง 10 ประเทศ เรียงตามลำดับมากที่สุดตามลำดับ คือ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ เวียดนาม ไทย พม่า ญี่ปุ่น บราซิล และฟิลิปปินส์ ส่วนประเทศที่ส่งข้าวเป็นสินค้าออกมากที่สุดอันดับแรก คือ ไทย เวียดนาม ปากีสถาน และสหรัฐอเมริกา โดยประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกปี 2550 /2551 ในหมวด ข้าวและธัญพืชปริมาณ 9,495,669.35 ตัน มูลค่า 121,250.78 ล้านบาท และปี 2551 ปริมาณ 10,376,414. ตัน มูลค่า 18 204,886.52 ล้านบาท ปริมาณผลผลิตข้าวรวม 19.4 ล้านตัน ข้าวสาร คิดเป็นร้อยละ 4.41 ของผลผลิตข้าวโลก ประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ของโลกที่สำคัญ ได้แก่ จีน (30.72 %) อินเดีย (22.17 %) อินโดนีเซีย (8.24 %) บังคลาเทศ และเวียดนาม (6.73 และ 5.34 % ตามลำดับ) แต่ส่วนใหญ่ประเทศผู้ผลิตรายสำคัญจะผลิตเพื่อเป็นการบริโภคในประเทศ ปัจจุบันไทยครองส่วนแบ่งการตลาดข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลกด้วยสัดส่วนร้อยละ 30.48 (สถาบันอาหาร, 2552)

การส่งออกข้าวไทยจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ข้าวสารและผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าว โดยพบว่ามูลค่าการส่งออกในภาพข้าวสารมีประมาณร้อยละ 92 และผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูป ร้อยละ 8 ซึ่งตลาดส่งออกข้าวสารส่วนใหญ่จะอยู่ในภูมิภาคเอเชีย และแอฟริกา ส่วนการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา เอเชีย และสหภาพยุโรป (สถาบันอาหาร, 2552 ) ปัจจุบันได้มีความพยายามในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวให้มีมูลค่าสูงขึ้น โดยนิยมใช้ทำเป็นขนมหรือสินค้าแปรรูปจากข้าว และบางส่วนมีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารบางประเภท เช่น การผลิตสตาร์ชดัดแปร

ในต่างประเทศ เช่นที่ยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย มีแนวโน้มในการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวในภาพของขนมขบเคี้ยวสูงขึ้น เนื่องจากพื้นฐานของข้าวสามารถพัฒนาคู่กับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ได้อย่างหลากหลาย อาทิเช่น งา สมุนไพร หรือผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมเส้นใยอาหารธรรมชาติ เป็นต้น อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าวส่วนใหญ่ สามารถใช้

กระบวนการอบย่าง (Roasted or Bake) มากกว่าการทอด ปัจจุบันประชาชนหันมานิยมและใส่ใจในการดูแลสุขภาพมากขึ้นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เน้นด้านสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบ ย่าง มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้การทอด ดังนั้นแนวโน้มของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบ ยังคงมีศักยภาพในการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าว และการพองด้วยการย่างบนความร้อน (Baking) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อะราเร่ (อะราเร่) ที่ทำจากข้าวเหนียว และเซมเบ่ (senbei) ที่ทำจากข้าวเจ้าอมิโลสต่ำ เทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดนี้ นำมาจากชาวญี่ปุ่น ในการทำผลิตภัณฑ์อะราเร่ ข้าวเหนียวพันธุ์ที่นิยมใช้ คือ กข6 สำหรับผลิตภัณฑ์เซมเบ่ ข้าวที่เหมาะสม คือข้าวอมิโลสต่ำ (งามชื่น, 2000)

รายงานทั่วโลกระบุว่าธุรกิจขนมขบเคี้ยวทั่วโลกมีมูลค่าถึง 66 ล้าน ล้านบาท ในปี 2003 และ 3 ส่วนจากมูลค่าทั้งหมด เป็นมูลค่าที่เกิดขึ้นภายในอเมริกา (Anonymous, 2004) จากรายงานข้างต้นพบว่าโอกาสในการเติบโตของของขบเคี้ยวยังสามารถเจริญเติบโตได้อีกมากจากแนวโน้มของการเจริญเติบโตและการบริโภคโดยธุรกิจด้านขนมขบเคี้ยวมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง และมีการแข่งขันสูงขึ้นทั้งด้านการพัฒนาความรู้ใหม่ ด้านสารอาหาร กระบวนการผลิต การใช้วัตถุดิบใหม่ๆ การปรับปรุงคุณภาพและเนื้อสัมผัส

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์กลุ่มขนมขบเคี้ยวจากข้าวมีการขยายการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ในกลุ่มอเมริกา ยุโรป ออสเตรเลีย และอื่นๆ ปัญหาหลักอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เมื่อรับประทานร่วมกับเครื่องดื่ม โดยวางสัมผัสอากาศ เกิดการเหนียวติดมือ ซึ่งแตกต่างจากถั่วหรือผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่ไม่มีการเคลือบ เนื่องจากความชื้นที่สูงขึ้นเป็นผลทำให้ความกรอบลดลงและผิวขนมจะเริ่มเปียกแฉะ ภายใต้การเก็บที่สภาวะความชื้นสูง สำหรับประเทศไทยความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 75 –87 % อุณหภูมิอยู่ที่ 29- 34 °C สำหรับอเมริกาโดยเฉพาะรัฐที่ติดชายทะเล ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 70-90 % ทำให้เกิดการดูดซับความชื้นได้เร็วขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการใช้พัลลูแลนและทรีฮาโลสในสูตรสารเคลือบต่อการลดการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ และใช้สมการแบบ GAB ในการทำนายการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถชะลอการเกิดการดูดซับความชื้นได้โดยทำให้เกิดความเหนียวติดมือลดลง

## 1.1 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.1.1 เพื่อให้ทราบลักษณะการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ จากข่าวเหนียวจากสูตรพื้นฐานในการพัฒนาสูตรสารเคลือบเพื่อการลดการดูดซับความชื้นเข้าสู่ผลิตภัณฑ์

1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของพัลลูแลน และ ทรีฮาโลส ต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

## 1.2 สมมติฐานการศึกษา

1.2.1 พัลลูแลน และ ทรีฮาโลส ที่เติมในสารเคลือบสามารถลดการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะวาระได้

1.2.2 ความเข้มข้นของ พัลลูแลน และ ทรีฮาโลส มีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะวาระ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของขนมข้าวอบกรอบ

1.3.2 ศึกษา Sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์อะวาระสูตรพื้นฐานเพื่อใช้อ้างอิง

1.3.3 ศึกษาผลของ พัลลูแลน และ ทรีฮาโลส ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อะวาระ

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของขนมข้าวอบกรอบ ได้แก่ ความชื้น ค่า Aw และสมบัติของสารเคลือบปัจจุบัน ได้แก่ ความหนืด pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

1.4.2 ศึกษาผลของ พัลลูแลน และ ทรีฮาโลส ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการยืดอายุผลิตภัณฑ์ โดยแปรระดับความเข้มข้นของ พัลลูแลน และ ทรีฮาโลส แตกต่างกัน 3 ระดับ (ระดับการเพิ่มขึ้นกับชนิดของสารที่เติมในสารเคลือบ) และมีการตรวจสอบสมบัติต่างๆดังนี้

ก) สารเคลือบ ตรวจวัดความหนืด pH ปริมาณของแข็ง

ข) ขนมหลังการเคลือบ ตรวจวัด ปริมาณการเกาะติดของสารเคลือบ ปริมาตรจำเพาะ ความชื้น คุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

1.4.3 ศึกษา Sorption isotherm และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ อะวาระ หลังการเคลือบด้วย พัลลูแลน หรือ ทรีฮาโลส จากผลที่ดีที่สุดจากข้อ 1.3.3

## บทที่ 2

### เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารแห้งเกิดการดูดซับความชื้นได้มากขึ้น เมื่อวางไว้ในสภาวะแห้งเป็นผลจากหลักเทอร์โมไดนามิก และสมดุลความชื้นของผลิตภัณฑ์ (water activity equilibrium) หรือเกิดจากความแตกต่างระหว่างอาหาร สิ่งแวดล้อม หรือองค์ประกอบของอาหาร เหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนของน้ำ (ไพบูลย์, 2532. อ้างถึง Bravin, 2005)

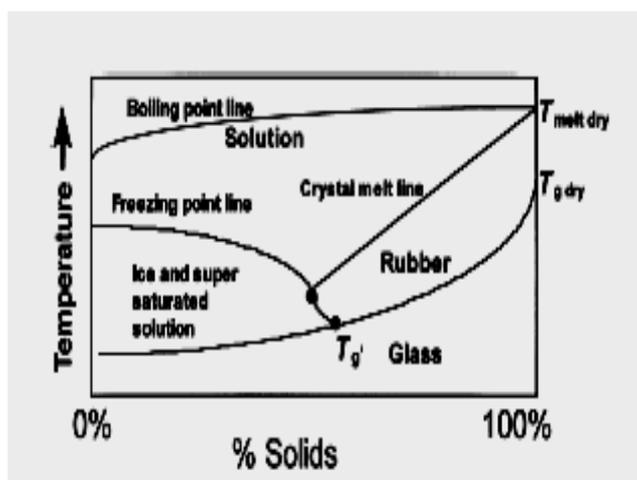
### กลไกการดูดความชื้นของอาหารแห้ง

การลดลงของความกรอบหรือความนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งในระหว่างการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ เป็นปัญหาหลักมาจากปริมาณน้ำในอาหาร โดยเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ Plasticization โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ Glass transition temperature ลดลงและคุณสมบัติด้านเทอร์โมไดนามิกรวมทั้งการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อคุณสมบัติรวมของ Dielectric นั่นคือน้ำจะมีความสามารถเป็นตัวทำละลาย สารเคมีต่างๆ สามารถละลายได้ เคลื่อนที่ได้ และทำปฏิกิริยาได้ ฉะนั้นถ้าค่า  $a_w$  ยิ่งสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็ยิ่งเร็วขึ้น การที่ผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นได้มากขึ้นเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักคือ การแพร่ผ่านของน้ำหรือความชื้นอันเป็นผลจากหลักเทอร์โมไดนามิก (thermodynamics) และสมดุลความชื้นของผลิตภัณฑ์ (water activity equilibrium) อันเป็นผลจากการเหนี่ยวนำของมวลสารหรือการเคลื่อนที่ของมวล (dynamic of mass transfer) จากองค์ประกอบที่หลากหลายของอาหาร (multi-domain) หรือความแตกต่างระหว่างอาหาร สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดแรงเคลื่อนหรือการแพร่ผ่านของน้ำในแต่ละส่วนของอาหาร ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการลดลงของความกรอบจนไม่เป็นที่ยอมรับ (Labuza, 1998)

องค์ประกอบของอาหารมักมีความหลากหลายโดยประกอบด้วยส่วนที่เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่และส่วนที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ความชื้น และค่า  $a_w$  ของส่วนประกอบอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักส่งผลต่อ อัตราการการแพร่ผ่านของน้ำหรือความชื้นและระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะความชื้นสมดุล

ผลทางกายภาพต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์

โครงสร้างหรือลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติความเป็นของแข็งคล้ายแก้ว crystallization, ความกรอบและความเหนียว ของอาหาร ความสามารถในการคงสภาพผลึกเป็นผลโดยตรงของอุณหภูมิ Glass transition temperature ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงอุณหภูมิแสดงสภาวะของแข็งคล้ายแก้วและของแข็งคล้ายยางในอาหารที่มาจาก : Labuza and Hyman (1998)

จากภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุด  $T_g$  หรือ ที่เป็นของแข็งคล้ายแก้ว  $T_g$  (Glass transition temperature) อาหารยังคงสภาวะเป็นของแข็งคล้ายแก้วซึ่งยึดเกาะกันด้วยพันธะที่แข็งแรงและไม่เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือเคลื่อนที่ได้เล็กน้อยในขณะที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า  $T_g$  อาหารจะเริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่มีลักษณะคล้ายยาง โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่และการแพร่ผ่านใน โครงสร้างที่เป็น คัพิลลารี (Capillary) ส่งผลให้น้ำเกิดการละลายและเคลื่อนที่ที่เกิดผลกระทบต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ โดยขึ้นกับขนาดของ capillary หรือขนาดของรูพรุน หากโครงสร้างของอาหารมีลักษณะที่เป็นคัพิลลารี หรือขนาดรูมากอัตราการดูดซับความชื้นก็จะเกิดเร็วขึ้น (Labuza and Hyman ,1998)

**ผลของการแพร่ผ่านของน้ำ จากหลักเทอร์โมไดนามิก (thermodynamics)**

อาหารที่มีองค์ประกอบหลากหลายมักพบว่าส่วนขององค์ประกอบที่มีค่า  $a_w$  สูงปริมาณน้ำจะแพร่ผ่านไปที่องค์ประกอบของอาหารที่มีค่า  $a_w$  ต่ำ ส่งผลให้ส่วนที่มีค่า  $a_w$  สูงมีค่า  $a_w$  ต่ำลง

เป็นผลให้เนื้อสัมผัสของอาหารนั้นนุ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทขนมปังกรอบสอดใส่ต่างๆ องค์ประกอบหลักของการแพร่ผ่านของน้ำเกิดขึ้นจาก 3 ปัจจัยหลักคือ ส่วนผสมหรือสูตรเครื่องปรุงในอาหาร การกระจายตัวและขนาดของท่อคัพิลลารี และความสามารถในการดูดซับความชื้นของผิวหน้าของอาหาร surface interaction

### ลักษณะการเกาะตัวของน้ำในอาหาร

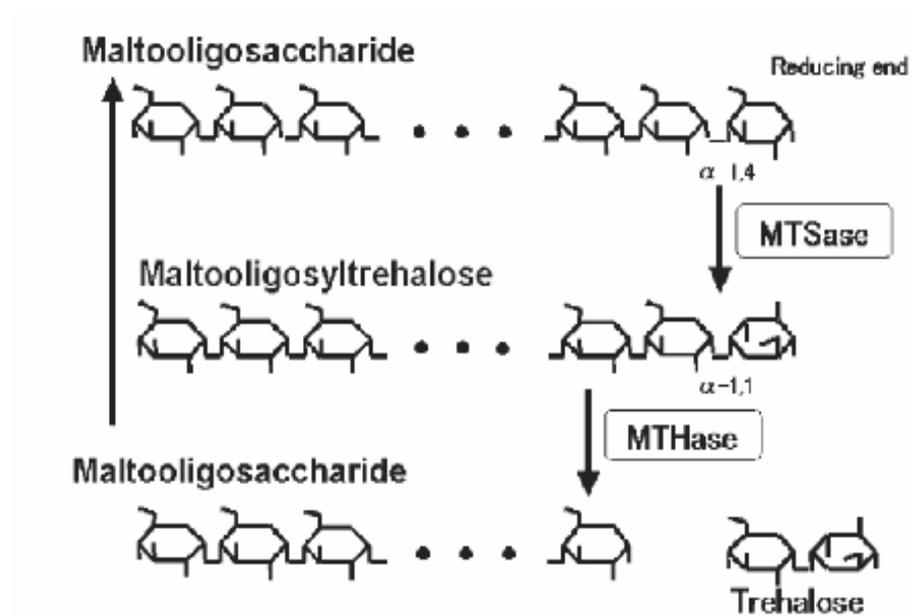
1. น้ำอิสระ หรือ Free water เป็นน้ำที่มีสารอื่นๆ ละลายอยู่หรือแขวนลอยอยู่ น้ำชนิดนี้จะอยู่รอบๆ เซลล์หรืออยู่ภายในเซลล์เป็นน้ำส่วนใหญ่ที่พบในอาหาร และสามารถแยกออกจากองค์ประกอบอื่นๆ ของอาหารได้ง่าย เช่น การระเหยจากการอบแห้ง การสกัดหรือคั้นออกจากอาหารได้ง่าย น้ำชนิดนี้มีผลต่อความสดของอาหาร
  2. น้ำเกาะติด (bound water) เป็นน้ำที่จับ เกาะ หรือยึดอยู่กับโครงสร้างของสารอาหารอื่น แยกออกจากอาหารได้ยาก เกาะจับกับสารอื่นด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง เช่น เป็นน้ำในผลึก เป็นต้น น้ำชนิดนี้ไม่สามารถเป็นตัวทำละลายของสารอาหารอื่น และมีความหนาแน่นมากกว่า น้ำอิสระ น้ำชนิดนี้อาจแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ
    - 2.1 โมโนเลเยอร์ หรือโมเลกุลเดี่ยวเลเยอร์ (Monolayer or Molecular layer) น้ำชนิดนี้เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่ออาหาร โดยเกาะติดกับอาหารเป็นส่วนแรกด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก จนไม่สามารถกำจัดออกด้วยความร้อนปกติ น้ำส่วนนี้ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ไม่ละลายสารอาหารอื่น ไม่เปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของแข็ง และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้
    - 2.2 มิลลิเลเยอร์หรือมัลติโมเลกุลเดี่ยวเลเยอร์ (Multilayer or Multimolecular layer) เป็นน้ำในอาหารที่เกาะอยู่กับน้ำส่วนแรก มีคุณสมบัติเป็นตัวกระจายสารอาหารอื่นได้ ทำให้มีผลต่อความดันของไอของอาหาร แต่เป็นน้ำที่จุลินทรีย์ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ การกำจัดน้ำส่วนนี้ยังคงต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติ
    - 2.3 น้ำในคัพิลลารี (Capillary water) เป็นน้ำที่เกาะติดอยู่กับน้ำในส่วนที่สองอย่างหลวมๆ จุลินทรีย์บางชนิดที่ต้องการความชื้นต่ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และมีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีบางชนิด เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นต้น (ไพบูลย์, 2532)
- ดังนั้นจากลักษณะการเกาะตัวของน้ำในอาหารและปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับความชื้น วิธีการที่มักถูกนำมาชะลอการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงมักนิยมทำวิธีการหลักๆ คือ
1. ปรับสูตรอาหารให้มี  $a_w$  ที่ใกล้เคียงกันเพื่อลดการเกิดการเหนียวนำความชื้นในองค์ประกอบของอาหาร

2. เลือกใช้เครื่องปรุงที่สามารถให้ค่าน้ำโมโนเลเยอร์สูง
3. ใช้กลไกทางกายภาพบีบอัดให้โครงสร้างคะฟิลลารีและโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมีขนาดเล็กลง
4. เติมสารที่มีความหนืดสูงเพื่อลดการแพร่หรือการเคลื่อนที่ของน้ำ
5. ใช้ชั้นฟิล์มบริโภาคได้เป็นตัวเคลือบเพื่อลดการแพร่ผ่านน้ำ (Labuza and Hyman, 1998)

ขนมอบกรอบประเภท Rice cracker ซึ่งเป็นประเภทอาหารแห้งมักพบปัญหา เช่นเดียวกันคือ ความกรอบลดลง หรือมีความเหนียวติดมือมากขึ้นเมื่อทิ้งไว้ที่สภาวะห้อง ซึ่งเป็นผลจากปัจจัยต่างๆ มีงานวิจัยที่ศึกษาการชะลอการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารแห้ง confectionary และขนมขบเคี้ยว โดยการนำสารประเภทไดแซคคาไรด์และ โพลีแซคคาไรด์มาใช้โดยเฉพาะในอุตสาหกรรม เบเกอรี่ ลูกอม บิสกิต เพื่อชะลอการดูดซับความชื้นและยืดอายุผลิตภัณฑ์ โดยใช้ ทรีฮาโลส และ พัลลูแลนเป็นส่วนผสมเนื่องจากคุณสมบัติในการลดการดูดซับสารต่างๆและการดูดซับความชื้น การเกิดเป็นฟิล์มและอื่นๆ

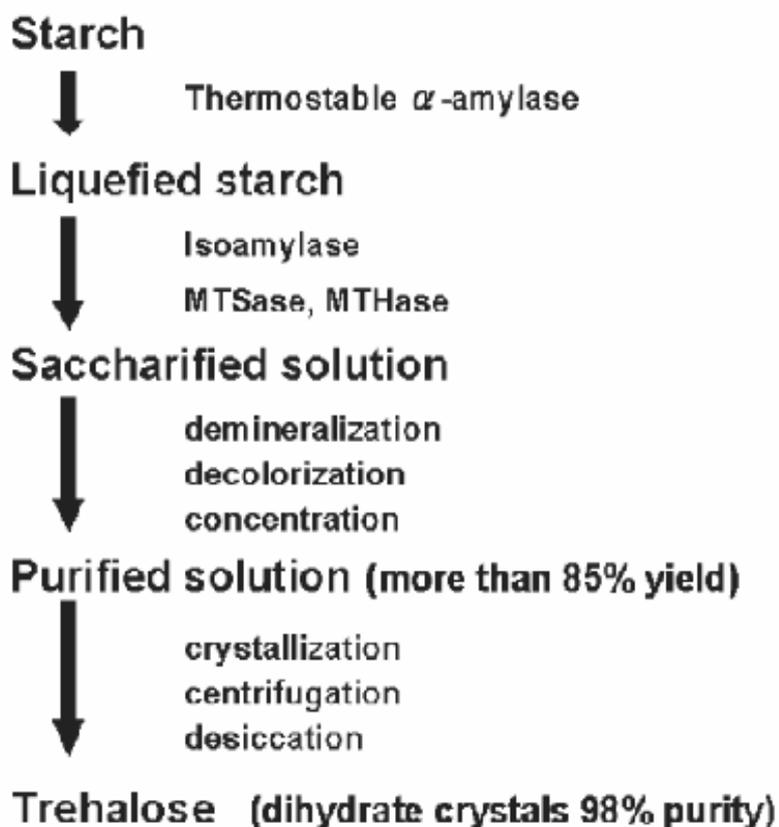
### ทรีฮาโลส

ทรีฮาโลส เป็นสารประกอบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha, \alpha$ -1,1-กลูโคซิดิก ทรีฮาโลสมีน้ำหนักโมเลกุลในภาพ Anhydrous และชนิด Dihydrate อยู่ที่ 342.296 g/mol และ 378.33 g/mol ตามลำดับ ทรีฮาโลสพบได้ทั่วไปในสิ่งมีชีวิตทั้ง ตระกูล เห็ด รา แมลง พืช และอื่นๆ ในปี 1994 ทรีฮาโลสถูกผลิตขึ้นโดยการสกัดจากยีสต์เป็นครั้งแรกซึ่งมีราคาแพงและให้ผลผลิตต่ำจึงไม่เป็นที่นิยมดังนั้นในช่วงเวลาต่อมาจึงได้ปรับกระบวนการผลิตโดยใช้แบคทีเรียที่คัดเลือกสายพันธุ์เฉพาะในการให้ผลผลิตที่สูงร่วมกับการใช้เอนไซม์โดยแบคทีเรียที่ได้จากดินในสายพันธุ์ที่มีชื่อว่า *Arthrobacter sp.Q36* ร่วมกับเอนไซม์มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ซินเทส Malto-oligosaccharide synthase ,MTHase และมอลโตโอลิโกซิลทรีฮาโลส ทรีฮาโลไฮโดรเลส Malto-oligosyltrehalose trehalohydrolase ,MTHase (Hagashimaya, 2002) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังการผลิตทรีฮาไลสโดยเอนไซม์มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ซินเทส Malto-oligosaccharide synthase ,MTSase และมอลโตโอลิโกซิลทรีฮาไลส ทรีฮาไลไฮโดรเลส Malto-oligosultrhalose ,trehalohydrolase ,MTHase

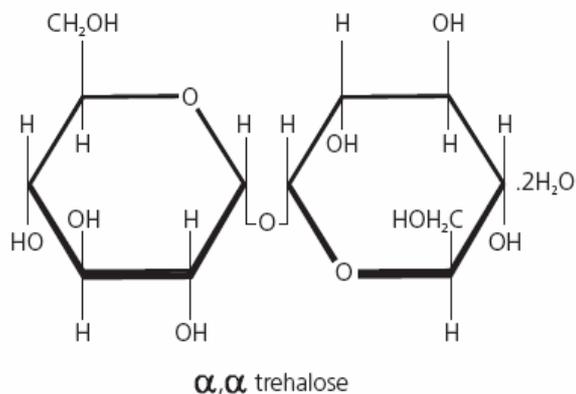
ที่มา : Hagashimaya (2002)



ภาพที่ 3 แผนผังการผลิตทรีฮาโลสจากแป้ง

ที่มา : Hagashimaya (2002)

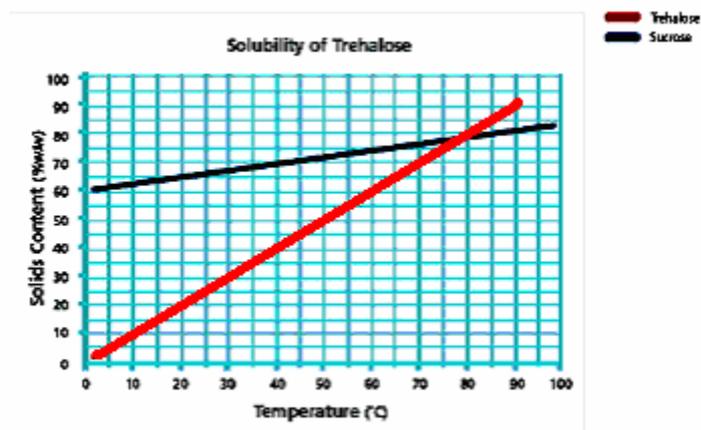
ในทางอุตสาหกรรมมักนำทรีฮาโลสมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาชนิดที่เป็นเม็ดเคลือบเนื่องจากคุณสมบัติของทรีฮาโลสโดยมีแคลอรีต่ำ ความหวานน้อยกว่าน้ำตาลทรายถึง 45% การดูดซับความชื้นต่ำ และมี Glass Transition Temperature หรือค่า Tg ต่ำอีกด้วยและไม่มีปัญหาต่อระบบการย่อยและการขับถ่ายต่อร่างกายมนุษย์ และไม่มีผลต่อระดับกลูโคสในเลือด อีกทั้งคุณสมบัติของทรีฮาโลสที่เป็น Low hygroscopic และ High Glass Transition จำหน่ายฟิฟ่าจึงทำให้มีการใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรมรวมถึงอุตสาหกรรมที่เป็น Confectionary และ Bakery เพื่อช่วยลดการดูดซับความชื้นในผลิตภัณฑ์ อีกด้วย (Hayashi company, 2002)



ภาพที่ 4 โครงสร้างน้ำตาลทรีฮาโลส Dihydrus  $C_{12}H_{22}O_{11}$

ที่มา : The new multi-functional food ingredient, Hayashi company (2009).

ในแง่ของการละลายทรีฮาโลสสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและเย็นและสามารถละลายได้ดีกว่าน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิสูงขึ้นดังภาพ

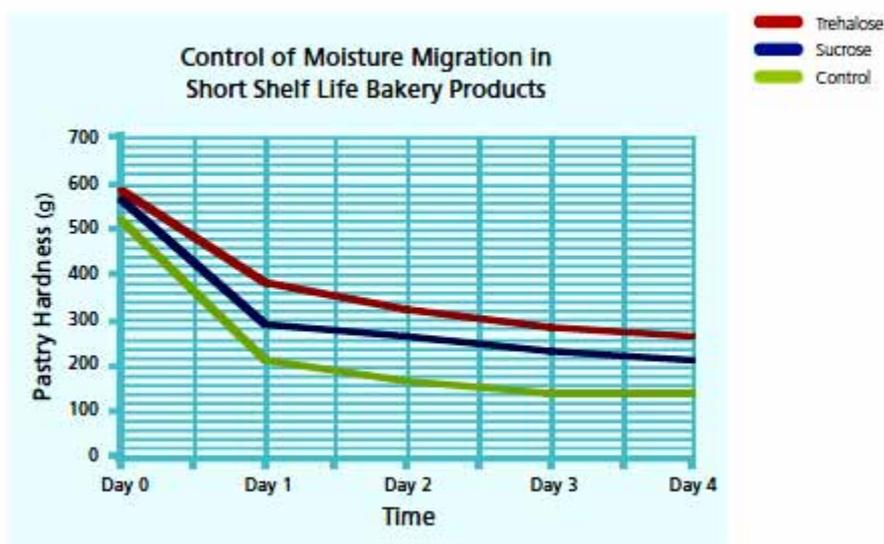


ภาพที่ 5 การละลายของทรีฮาโลสที่อุณหภูมิต่างๆ

ที่มา : The new multi-functional food ingredient, Hayashi company (2009).

นอกจากนี้ทรีฮาโลสยังมีความเสถียรสูงและทนต่อปฏิกิริยาเคมี ต่อกิจกรรมน้ำและไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการ ทนได้ดีที่ pH ต่ำ อุณหภูมิสูง และยังสามารถช่วยยืดอายุ

ผลิตภัณฑ์ให้เก็บได้นานขึ้น ซึ่งคุณสมบัตินี้ดีกว่า ไโดแซคคาไรด์ประเภทอื่นๆ ที่มักไม่ทนกรดหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนหรือกรดอมิโน ทรีฮาโลสยังสามารถลดค่า Water activity ( $a_w$ ) ได้เช่นเดียวกับน้ำตาลซูโครสและมีผลต่อความหวานน้อยกว่าซูโครสมาก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติของการเป็นสารดูดซับความชื้นต่ำหรือ Low Hygroscopicity โดยยังมีความสามารถเป็น Free flowing ได้แม้ว่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 94% ดังนั้นจึงสามารถนำมาผสมร่วมกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ เพื่อลดการดูดซับความชื้นและลดการเกิดการเกาะติด(Caking)ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ต้อง ใช้วิธีการเคลือบผิวได้และรวมถึงการควบคุมการปลดปล่อยความชื้นของผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่ (Hayashi company, 2002)



ภาพที่ 6 ผลของทรีฮาโลส ซูโครส และตัวอย่างควบคุม ต่อการควบคุมการปลดปล่อยความชื้นในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

ที่มา : The new multi-functional food ingredient, Hayashi company (2009).

ในแง่คุณสมบัติของการเป็น High Glass Transition Temperature ทรีฮาโลสยังเป็น ไโดแซคคาไรด์ชนิดที่มีคุณสมบัติเป็น High Glass Transition Temperature สูง ดังนั้นจึงมีความเสถียรและคงตัวสูงต่อกลิ่นรสชนิดที่เป็น Spray dried (Hayashi company, 2002)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของ ทรีฮาโลส

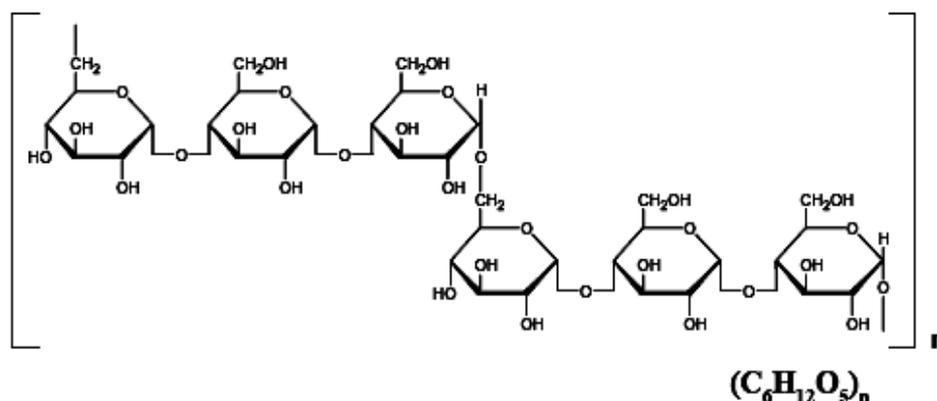
<b>Melting point</b>	<b>dihydrate</b>	97.0 °C
	<b>anhydride</b>	210.5 °C
<b>Heat of fusion</b>	<b>dihydrate</b>	57.8 kJ mol <sup>-1</sup>
	<b>anhydride</b>	53.4 kJ mol <sup>-1</sup>
<b>Solubility</b>	68.9 g/100 g H <sub>2</sub> O at 20 °C	
<b>Relative sweetness</b>	45 % of sucrose	
<b>Digestibility</b>	digested and absorbed by the small intestine	
<b>pH stability of solution</b>	>99 % (pH 3.5–10, at 100 °C for 24 h)	
<b>Heat stability of solution</b>	>99 % (at 120 °C for 90 min)	

ที่มา : Hagashimaya(2002)

จากคุณสมบัติของทรีฮาโลส Kobjar และคณะ (2008) และคณะได้ทำการศึกษาผลของทรีฮาโลสของไส้สตรอบเบอร์โดยแปรผันปริมาณน้ำตาลทรีฮาโลสและทดแทนน้ำตาลทรายที่ 3 ระดับคือ 3%,5% และ 10% ตามลำดับและติดตามผลโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณน้ำตาลทรีฮาโลสมีผลต่อการปล่อยความชื้นโดยไส้สตรอบเบอร์ที่มีการใช้ทรีฮาโลสยังคงเนียนนุ่มมากกว่าตัวควบคุม อีกทั้งกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ยังรักษาอยู่ได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ควบคุม ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า ปริมาณของทรีฮาโลสที่มากขึ้นสามารถรักษาเนื้อสัมผัสและ เก็บกลิ่นรส และสารต่างๆได้สูงขึ้น

### พัลลูแลน

พัลลูแลนเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งสามารถละลายได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน ผลิตได้จากการหมักแป้งจากเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Aureobasidium pullulan* พัลลูแลนประกอบด้วยหน่วยของ มอลโตไตรโอส (Maltotriose) ซึ่งเป็นน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$  1-4 ที่ต่อกันเป็นสายโพลีเมอร์ด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6 กลูโคซิดิก มีลักษณะเป็นผงสีขาวไม่มีกลิ่น คงตัวสูง โดยมีโครงสร้างดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โครงสร้างพอลิกลูแลน

ที่มา : [www.hayashibara-intl.com/cosmetics/พอลิกลูแลน.html](http://www.hayashibara-intl.com/cosmetics/พอลิกลูแลน.html) (2009).

พอลิกลูแลนมีความคงตัวในช่วง pH กว้างคือ 2 –11 และสามารถทนความร้อนได้ถึง 290° C มีความหนืดต่ำ ไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น Non hygroscopic สามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็นในระดับของความเข้มข้นสูงถึง 20% นอกจากนี้คุณสมบัติในการเป็นฟิล์มยังสามารถต้านการดูดซับความชื้นในระบบอาหารหรือเพื่อการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์และยังช่วยเก็บกักลินรส ลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ ลดอัตราการดูดซับปริมาณออกซิเจนสูงถึง 1.3 ซีซี/ลูกบาศก์เมตร/วัน นอกจากนี้ยังสามารถจับกับสารต่างๆ ทำให้เกิดการจับตัวเป็นฟิล์มกันอย่างแข็งแรงเช่นใน ผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มให้ความเย็น

จากคุณสมบัติที่หลากหลายของพอลิกลูแลน อุตสาหกรรมต่างๆจึงนำมาใช้เพื่อลดการดูดซับออกซิเจน ลดความชื้นและชะลอการปลดปล่อยกลิ่นรสต่างๆ เพื่อคงความสดใหม่และยืดอายุผลิตภัณฑ์ ข้อมูลจากการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ในอเมริกา ระบุว่ามีการใช้ พอลิกลูแลน อย่างน้อย 10 % ต่อน้ำหนักแห้ง ร่วมกับสารให้ความหวานตัวอื่นๆ เช่น ซูคราโลส แอสปาแตม อะซีซัลแฟม เคบราซเซอีน ในการทำแผ่นฟิล์มบริโภคสามารถกักเก็บกลิ่นรส สารให้กลิ่น สารให้ความเย็นและวิตามินต่างๆ ได้นานกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้ใช้ พอลิกลูแลนเป็นส่วนผสม (Anonymous, 2009.)

Tony และคณะ (2001) ศึกษาการเคลือบผิวของผลสตรอเบอร์รี่และกีวีโดยใช้ฟิล์มบริโภคได้ พอลิกลูแลนร่วมกับซอร์บิทอลและซูโครสแอสซิดเอสเทอร์เพื่อป้องกันการคายน้ำของผลไม้พบว่าในกรณีที่เคลือบด้วยพอลิกลูแลน เมื่อความชื้นของระบบเพิ่มสูงขึ้นความยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มจะมีมากขึ้นในขณะที่ความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์เองมีความเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการที่มีพอลิกลูแลนเคลือบมีผลต่อการยืดอายุผลไม้ให้ลดการคาย

น้ำ และคงความสด กรอบได้นานขึ้น ตลอดช่วงอายุการจัดเก็บ และการดูดซับความชื้นของพัลลูลูแลนเป็นแบบ ซิกมอยด์ (Sigmoid curve) อย่างไรก็ตามความสามารถในการลดการดูดซับหรือลดการแพร่ผ่านความชื้นของพัลลูลูแลนยังขึ้นกับลักษณะของความเป็นรูพรุนของอาหาร ปฏิสัมพันธ์กับอาหารและองค์ประกอบต่างๆในอาหารที่มีอยู่ Johnston และคณะ (1985) พบว่าผลของการดูดซับความชื้นเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ต่างๆ ที่เป็นส่วนผสม ซึ่งมาจากองค์ประกอบของอาหาร ที่แตกต่างกันทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง ส่วนของน้ำและองค์ประกอบอื่นๆ ไอโซเทอร์มของพัลลูลูแลนหรือระบบที่มีพัลลูลูแลนเป็นองค์ประกอบมีลักษณะเป็นภาพซิกมอยด์ซึ่งเป็นผลมาจากอนุพันธ์หรือโมเลกุลต่างๆ ในอาหารที่มีทั้งโมเลกุลขนาดใหญ่ เล็ก หรือมีโครงสร้างที่เป็นสายยาวเช่น โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ผลการศึกษาของ Tony และคณะ (2001) สอดคล้องกับผลของ Elena และคณะ (2007) ที่ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพัลลูลูแลนร่วมกับซอร์บิโพลชนิดที่เป็นนาโนคริสตัล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นฟิล์มที่ได้จากพัลลูลูแลนร่วมกับซอร์บิโพลในแป้งข้าวโพดชนิดแวกซีโดยปรับโครงสร้างแบบนาโนคริสตัลมีผลทำให้ฟิล์มพัลลูลูแลนแข็งแรงขึ้นค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันสูงขึ้น ทำให้ต้านการดูดซับความชื้นได้ดีขึ้น

### อายุการเก็บรักษา

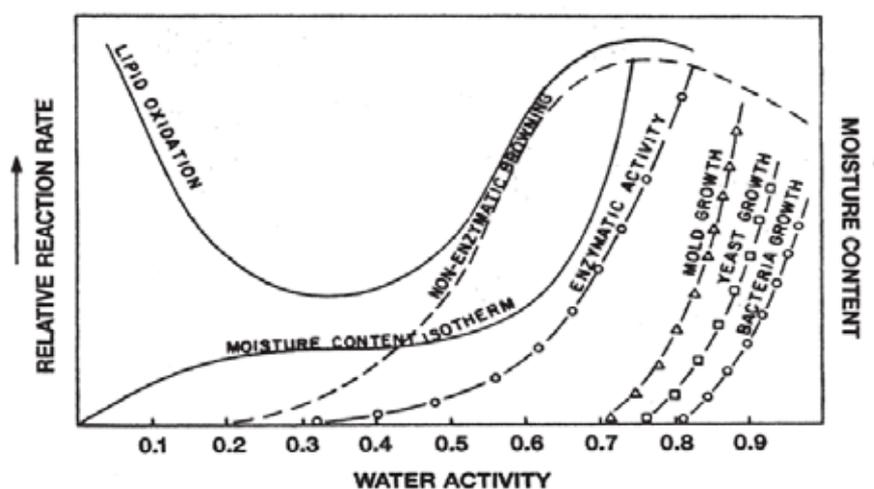
ปัจจัยสำคัญในการทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะกลุ่มอาหารที่เป็น Low Moisture food (LMF) มาจากความสัมพันธ์ของค่า  $a_w$  และ ค่าความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ หรือค่า Moisture sorption isotherm ที่เปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมซึ่งปัญหาหลักมาจากปริมาณน้ำในอาหาร ซึ่งเป็นปัญหาจากการที่น้ำทำให้เกิดปรากฏการณ์ Plasticization โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ Glass transition temperature ลดลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นได้มากขึ้นและเข้าสู่สมดุลความชื้นของผลิตภัณฑ์ (water activity equilibrium) เร็วขึ้น โดย Sorption isotherm มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำนายค่า  $a_w$  ที่ยอมรับของอาหารโดยเฉพาะค่าความชื้นวิกฤตหรือค่า  $a_w$  อยู่ในระดับใดที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับว่าควรอยู่ในระดับใดเพื่อทำนายหรือยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ก่อนการเสื่อมเสีย (ไพบูลย์ , 2532)

โดยทั่วไปการจำแนกประเภทของอาหารตามค่า  $a_w$  มักจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ดังนี้

### การจำแนกประเภทของอาหารตามค่า $a_w$

1. อาหารที่มีความชื้นสูง หรือที่เรียกว่า High moisture food (HMF) เป็นอาหารที่มีค่า  $a_w$  ที่ประมาณ 0.85 - 1.00 ตัวอย่างอาหารในกลุ่มนี้ได้แก่ เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ และน้ำผลไม้ เป็นต้น
2. อาหารที่มีความชื้นปานกลาง หรือที่เรียกว่า Intermediate moisture food (IMF) เป็นอาหารที่มีค่า  $a_w$  ที่ประมาณ 0.65 - 0.85 ตัวอย่างกลุ่มอาหารในกลุ่มนี้ได้แก่ นมข้นหวาน ผลไม้ แยม เป็นต้น
3. อาหารที่มีความชื้นต่ำ หรือที่เรียกว่า Low moisture food (LMF) เป็นอาหารที่มีค่า  $a_w$  ที่ประมาณ 0.01 - 0.65 ตัวอย่างกลุ่มอาหารในกลุ่มนี้ได้แก่ ช็อคโกแลต น้ำผึ้ง ขนมอบกรอบ เป็นต้น

กลุ่มต่างๆ ของอาหารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา และการเกิดการเสียดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a_w$  และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารที่  $a_w$  ต่างๆ  
ที่มา : Sewald and Devries (n.d.) cited Labuza, (1970)

จากการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาเคมีในอาหารสำหรับอาหารอบแห้งส่วนใหญ่เมื่อปริมาณความชื้นต่ำถึงระดับหนึ่ง อัตราการเสื่อมเสียจะไม่เกิดขึ้น ปริมาณความชื้นดังกล่าวนี้คือน้ำที่อยู่ใน

ชั้น Monolayer ซึ่งหาได้จากสมการ BET ของ Isotherm และโดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 0.2 - 0.4 (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532 อ้างถึง Labuza, 1984) ดังแสดงในภาพที่ 8 และจะพบว่าอัตราการเสื่อมเสียจะมากขึ้นเมื่อ ค่า  $a_w$  สูงกว่า 0.3 สำหรับปฏิกิริยาส่วนใหญ่ ที่ค่า  $a_w$  นี้ปริมาณน้ำที่ดูดซับที่บริเวณผิวหน้าใน Capillary มีค่ามากพอที่จะมีผลต่อคุณสมบัติรวมของ Dielectric นั่นคือน้ำจะมีความสามารถเป็นตัวทำละลาย สารเคมีต่างๆ สามารถละลายได้ เคลื่อนที่ได้ และทำปฏิกิริยาได้ ฉะนั้นถ้าค่า  $a_w$  ยิ่งสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็ยิ่งเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามค่า  $a_w$  ที่สูงบางค่า จะไม่พบการละลายของสารเคมีเพิ่มขึ้น เพราะว่าการเพิ่มค่า  $a_w$  จะไปลดความเข้มข้นของสารเคมีที่จะทำปฏิกิริยาหลง เนื่องจากอัตราการเกิดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นโมเลกุล ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นถึงสูงสุดแล้วลดลง โดยทั่วไปถ้าอาหารอบแห้งมีค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้น 0.1 หน่วย อายุการเก็บจะลดลง 2 -3 เท่า (ไพบูลย์, 2532 อ้างถึง Labuza, 1984) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมเสียใต้ชั้น Monolayer เช่นอาหารที่มีแนวโน้มการเกิดออกซิเดชัน ของไขมันไม่อิ่มตัว เช่นในเมล็ดธัญพืช อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ขณะที่  $a_w$  ลดลง เนื่องจากอาหารส่วนใหญ่จะมีไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ ดังนั้นการผลิตอาหารที่ทำให้ความชื้นหรือปริมาณน้ำอยู่ในชั้น Monolayer จะทำให้มีการเก็บยาวนานที่สุด

การเกาะตัวของน้ำแต่ละชั้นในอาหารมีผลต่อความกรอบ ความแข็งของอาหารอบแห้งที่ทำจากธัญพืชซึ่งเป็นฟังก์ชันกับค่า  $a_w$  เช่นที่ 0.4 -0.45 ขนมปังกรอบจะสูญเสียความกรอบไป โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีธัญพืชเป็นองค์ประกอบจะสูญเสียความกรอบในช่วงค่า  $a_w$  ดังกล่าว ดังนั้น Sorption isotherm ของความชื้นจึงใช้ทำนายความชื้นวิกฤตหรือ  $a_w$  ได้ สำหรับความแข็งซึ่งเป็นปัญหาของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง การทำนาย  $a_w$  วิกฤตของความแข็งยังทำได้ยากเนื่องจากขึ้นกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่นไขมันและสารอื่นๆ ซึ่งสามารถทำให้  $a_w$  วิกฤตลดลงได้ ซึ่งโดยทั่วไปอาหารประเภทกึ่งแห้งจะมีค่า  $a_w$  วิกฤตอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 -0.6 (ไพบูลย์, 2532)

ในกรณีของเบเกอรี่หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ หรืออาหารเข้าธัญพืชอบกรอบ ซึ่งผู้บริโภคต้องการความกรอบ มักสูญเสียความกรอบหรือความนุ่มในระหว่างการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ กันซึ่งปัญหาหลักมาจากปริมาณน้ำในซึ่งเป็นปัญหาจากการที่น้ำทำให้เกิดปรากฏการณ์ Plasticization โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ Glass transition temperature ลดลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นได้มากขึ้นและเข้าสู่สมดุลความชื้นของผลิตภัณฑ์ (water activity equilibrium) เร็วขึ้น การที่ผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นได้มากขึ้นเป็นผลจากหลักเทอร์โมไดนามิก

และสมดุลความชื้นของผลิตภัณฑ์ (water activity equilibrium) หรือเกิดจากความแตกต่างระหว่างอาหาร สิ่งแวดล้อม หรือองค์ประกอบ ของอาหารเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนของน้ำ (Bravin, 2005)

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ คือความสำคัญของค่า Sorption isotherm มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำนายค่า  $a_w$  ที่ยอมรับของอาหารว่าควรอยู่ในระดับใดก่อนการเสื่อมเสีย รวมถึงมีความสำคัญต่อการอบแห้ง การทำนายความชื้น การบรรจุ และการเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อประเมินอายุของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

### Sorption isotherm

ค่าไอโซเทอมเป็นข้อมูลหนึ่งซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ของการดูดซับน้ำของอาหารได้กราฟไอโซเทอมเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอาหารโดยประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัวคือ

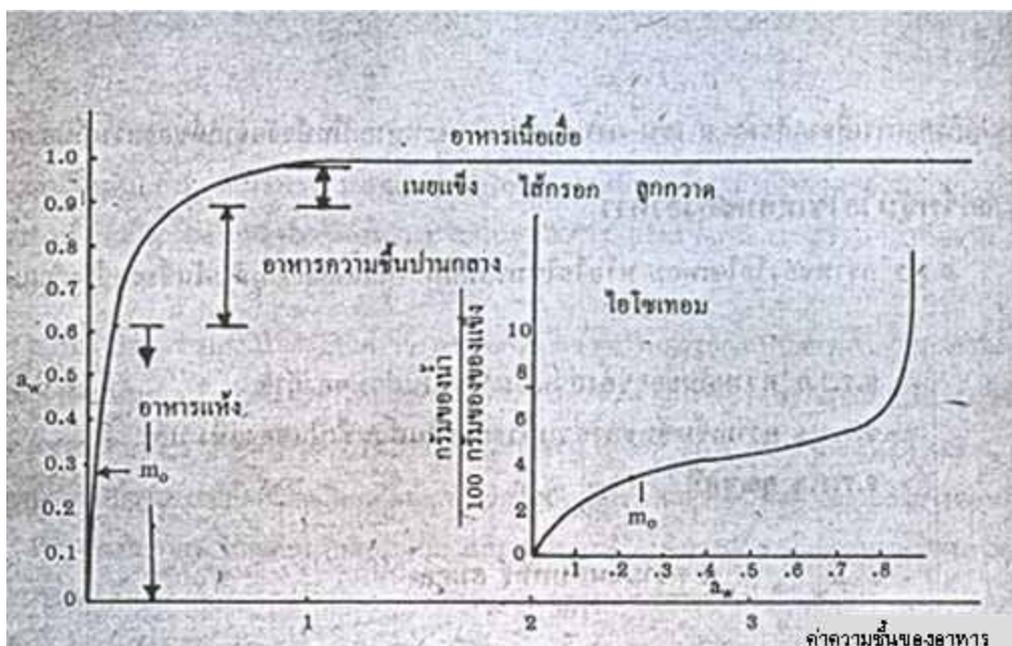
- 1.1 ความดันย่อยของส่วนประกอบในส่วนของก๊าซ
- 1.2 ความเข้มข้นของส่วนประกอบในส่วนที่เป็นของแข็ง
- 1.3 อุณหภูมิ

ไอโซเทอมของอาหารปกติจะได้ค่าที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งสามารถหาได้โดยการนำอาหารที่ทราบปริมาณความชื้น แล้วปล่อยให้เกิดสมดุลในภาชนะที่ปิดสนิท เมื่อทราบค่าความชื้นสัมพัทธ์ สมดุลสามารถหาค่า  $A_w$  ได้ดังสมการ

$$a_w = \% \text{ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล} / 100$$

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง  $A_w$  กับปริมาณความชื้นในอาหารที่อุณหภูมิคงที่ จะให้กราฟไอโซเทอมของอาหารนั้น (ไพบูลย์, 2532 อ้างถึง Labuza, 1994) นอกจากนี้อาจหาเส้นโค้งไอโซเทอมได้จากการนำตัวอย่างอาหารเล็กน้อยวางในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆกัน คงที่ เมื่อตัวอย่างอาหารเกิดสภาวะสมดุล นำมาหาปริมาณความชื้น โดยปกติภาพร่างของเส้นโค้งไอโซเทอมของอาหารจะเป็นภาพอักษร เอส (ไพบูลย์, 2532 อ้างถึง Karel, 1975) โดยเส้นโค้ง ไอโซเทอมมีประโยชน์ไม่เพียงแสดงว่าปริมาณความชื้นระดับใดจะเป็นที่ต้องการหรือไม่ต้องการแล้วยังแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่จะได้ในภาพของ  $a_w$  (ไพบูลย์, 2532 อ้างถึง

Troller and Christian, 1978) Isotherm ของอาหารจะแตกต่างกันไปตามลักษณะและชนิดของอาหารดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์สมดุลกับ  $a_w$  และ Isotherm ของอาหาร

ที่มา : ไพบูลย์, 2532 อ้างถึง Labuza (1984) และ Duckworth (1974)

การหา Sorption Isotherm นั้นสามารถทำได้โดยใช้อาหารเพียงเล็กน้อยใส่ในภาชนะวางไว้ในบรรยากาศที่มีเกลืออิ่มตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ กันจะเกิดภาวะสมดุล และ plot กราฟระหว่างค่า  $a_w$  และความชื้นของอาหาร จากนั้นจึงใช้สมการต่างๆ ในการคำนวณค่า  $n$  ในโมโนเลเยอร์

### สมการที่ใช้สำหรับทำนายค่าความชื้นในโมโนเลเยอร์

กลไกการดูดซับ Sorption isotherm สามารถอธิบายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือ BET

$$\text{BET model} = \frac{A_w}{m(1-A_w)} = \frac{1}{m_m c} + \left[ \frac{c-1}{m_m c} \right] A_w$$

โดย  $A_w$  = Water activity

$m$  = ปริมาณความชื้นที่ water activity นั้น ๆ (กรัม น้ำ / กรัม น้ำหนักแห้ง)

$m_m$  = ความชื้นที่ Monolayer

$C$  = ค่าคงที่

จากสมการข้างต้นจะทำให้ได้ กราฟระหว่าง  $A_w / m(1-A_w)$  กับ  $A_w$  จะได้กราฟเส้นตรง ทราบค่าความชื้น และจุดตัดแกน  $y$  ได้ โดย

$$\text{Monolayer } m_m = 1 / \text{จุดตัดแกน } y + \text{ความชื้น}$$

สมการอีกสมการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้คือ GAB model (Guggenheim-Anderson-de-Boer) ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านอาหารเนื่องจากสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีช่วง  $A_w$  กว้างคือ 0.10 – 0.90 ดังสมการ

$$m = \frac{C_1 k m_0 A_w}{(1 - k A_w)(1 - k A_w + c_1 k A_w)}$$

เมื่อ  $C_1$  และ  $k$  คือค่าคงที่ และ  $m_0$  คือ Monolayer moisture content

([www.decagon.com](http://www.decagon.com))

Siripatrawan และคณะ (2006) ทำการศึกษาลักษณะของ Sorption isotherm ของ ข้าวหอมมะลิอบกรอบที่อุณหภูมิ 30 45 และ 60 °C โดยศึกษา สมการของ BET และ GAB จาก การศึกษาพบว่า สมการ GAB เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิอบกรอบ

จากข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงได้กำหนดขึ้นมาเพื่อศึกษาผลของการ ใช้สารเคลือบที่เหมาะสมเพื่อชะลอการดูดซับน้ำในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเหนียว อะ ราเร่ และยังสามารถขยายผลไปยังผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเจ้า เช่นบับ ได้อีกทางหนึ่ง

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

##### 3.1 วัตถุประสงค์

- 3.1.1 ผลิตรัณฑ์ข้าวเหนียวอบกรอบชนิดไม่เคลือบ
- 3.1.2 พัลลูลานจากบริษัทฮายาชิบาร่า DP 1300 ,Mw 200KD
- 3.1.3 ทรีฮาโลสชนิดไดไฮเดรตจากบริษัทฮายาชิบาร่า
- 3.1.4 เครื่องปรุงรส

##### 3.2 อุปกรณ์เครื่องมือ (คอมพิวเตอร์รายละเอียดเครื่องต่างๆ)

- 3.2.1 เครื่องวัดความชื้นโดยใช้เครื่อง Infrared Moisture measurement (Kett FD 620 series )
- 3.2.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (AND HM-200 )
- 3.2.3 เครื่อง วัด Aw แบบรวดเร็ว (Series 4 Aqualab series 4TE USA)
- 3.2.4 Hand refractometer (N.O.W TOKYO Model 577-III )
- 3.2.5 เครื่องวัด pH ( Hanna Instrument 8417)
- 3.2.6 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ( Climacell model 404)
- 3.2.7 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Digital viscometer model DVII)
- 3.2.8 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser.TA-XT2i England)
- 3.2.9 Aquasorp Isotherm Generator (Decagon devices USA)
- 3.2.10 เครื่องวัดสี (Minolta CR300)

##### 3.3 วิธีการทดลอง

- 3.3.1 ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของขนมข้าวอบกรอบ ได้แก่ ความชื้น ค่า  $a_w$  และสมบัติของสารเคลือบปัจจุบัน ได้แก่ ความหนืด pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

3.3.2 ศึกษาผลของ พัลลูแลน และ ทรีฮาโลส ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการยืดอายุผลิตภัณฑ์ โดยแปรระดับความเข้มข้นของ พัลลูแลน 3%, 5% และ 7% ของน้ำหนักแป้ง ทรีฮาโลส 5%, 10%, และ 15% ของการทดแทนน้ำตาลทราย

3.3.2.1 สารเคลือบ ตรวจวัดความหนืด pH ปริมาณของแข็ง

3.3.2.2 ขนมหลังการเคลือบ ตรวจวัด ปริมาณการเกาะติดของสารเคลือบ ปริมาตรจำเพาะความชื้น คุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

3.3.2.3 ศึกษาอัตราการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ ที่ระดับร้อยละ 70 80 และ 90

3.3.3 ศึกษา Adsorption isotherm และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังการเคลือบด้วยพัลลูแลนหรือทรีฮาโลส จากผลที่ดีที่สุดจากข้อ (3.3.2.3) เทียบกับสูตรพื้นฐาน เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษา

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 สมบัติเคมี กายภาพของสารเคลือบสูตรต่างๆและอะระระเห่หลังเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ

#### 4.1.1 สมบัติทางเคมีของสารเคลือบ

ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดถูกเตรียมในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาการต้มสูตรซอสปรุงรสในแต่ละสูตรสารเคลือบขนรวมทั้ง อุณหภูมิและระยะเวลาการอบขนมหหลังเคลือบและนำมาวัดค่าทางเคมีกายภาพ โดยศึกษาผลของค่าความเป็นกรด ต่าง (pH) ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยศึกษาการผสมสาร 2 ชนิดได้แก่ พัลลูแลนที่การใช้ปริมาณ 3 , 5, 7 % เทียบต่อปริมาณแป้งดัดแปรที่ใช้ในสูตรและทรีฮาโลสที่ระดับการใช้ 5 , 10 และ 15% โดยทดแทนปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ใช้ในสูตรปกติ

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของสารเคลือบแต่ละสูตร

รายการ	สูตรควบคุม	พัลลูลแลน(ร้อยละโดยน้ำหนักของแป้งตัดแปร)			ทรีฮาโลส (ร้อยละโดยน้ำหนักการทดแทนน้ำตาลซูโครส)		
		3%	5%	7%	5%	10%	15%
pH	4.41 ± 0.10ab <sup>1/</sup>	4.73 ± 0.30bc	4.34 ± 0.01a	4.35 ± 0.02a	4.36 ± 0.04a	4.71 ± 0.32bc	4.88 ± 0.06c
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(° Brix)	64.67 ± 0.29d	63.67 ± 0.76bc	64.17 ± 0.29cd	64.67 ± 0.29d	63.50 ± 0.50bc	63.17 ± 0.29b	62.33 ± 0.76a
ความหนืด Viscosity (cP)	47.92 ± 1.32a	48.60 ± 7.470a	50.10 ± 4.86a	69.40 ± 4.27b	47.93 ± 1.62a	49.78 ± 1.62a	44.80 ± 2.80a

<sup>1/</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าความเป็นกรด ต่างของสารเคลือบสูตรควบคุมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับค่าความเป็นกรด ต่าง ของสารเคลือบสูตรที่ใช้พัลลูเลน 3 % 5% 7 % และทรีฮาโลส 5% และ 10% แต่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับสารเคลือบที่ใช้ทรีฮาโลส 15% แต่อย่างไรก็ตามสารเคลือบทุกสูตรมีค่าความเป็นกรดต่าง อยู่ในช่วง 4-6 ซึ่งเป็นช่วงที่โรงงานกำหนดเป็นมาตรฐานของสูตรสารเคลือบขนม

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของสารเคลือบที่เป็นสูตรควบคุมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับ สารเคลือบสูตรที่ใช้พัลลูเลน 5% และ 7 % แต่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับสารเคลือบสูตรที่ใช้พัลลูเลน 3 % ทรีฮาโลส 5% และ 10% และ 15% ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณของพัลลูเลนที่มีน้อยเกินไปในระบบทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สมบูรณ์เกิดการจับตัวกับองค์ประกอบที่เป็นของแข็งอื่นๆในระบบมีผลทำให้ปริมาณของแข็งในระบบกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและเกิดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่มีลักษณะที่กลายเป็นก้อนจนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำลดลงในขณะที่การใช้ทรีฮาโลสเป็นการลดน้ำตาลซูโครสในระบบจึงมีผลต่อค่าของแข็งที่ละลายน้ำโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของทรีฮาโลสต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส (Hayashi company, 2009)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของสารเคลือบสูตรมาตรฐาน พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบสูตรที่ใช้ทรีฮาโลส แต่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับค่าความหนืดของสารเคลือบสูตรที่ใช้พัลลูเลน 3 และ 7% โดยพบว่าการใช้พัลลูเลนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดของสารเคลือบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของพัลลูเลนที่เป็นโพลีแซคคาไรด์โมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยหน่วยของ มอลโตโทรโอส (Maltotriose) ซึ่งเป็นน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$  1-4 ที่ต่อกันเป็นสายโพลีเมอร์ด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6 กลูโคซิดิกมีโครงสร้างที่เป็นกิ่งก้านสาขาทำให้ความหนืดในระบบสูงขึ้นแม้ว่าโดยตัวของพัลลูเลนเองเมื่อเทียบกับกัมหรือโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ จะมีความหนืดต่ำแต่เนื่องจากปริมาณที่มากขึ้นของพัลลูเลนในระบบเป็นการเติมเพิ่มในสูตรสารเคลือบเมื่อคำนวณโดยน้ำหนักของแป้งตัดแปร โดยไม่มีการลดปริมาณของแป้งตัดแปรจึงทำให้มีความหนืดสูงขึ้นด้วย

#### 4.1.2 สมบัติเคมี กายภาพของผลิตภัณฑ์อะระระหลังเคลือบด้วยซอสสูตรต่างๆ

ผลิตภัณฑ์อะระระก่อนเคลือบจะถูกนำมาเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆโดยควบคุมระยะเวลาการเคลือบและการอบแห้งรวมทั้งอุณหภูมิการอบแห้งให้เท่ากัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังเคลือบจะถูกนำมาวัดผลการเกาะติดของสารเคลือบ ค่าความชื้น ค่า  $a_w$  และค่าสีของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังเคลือบด้วยสารเคลือบแต่ละชนิด

รายการ	สูตรควบคุม	พัลลูเลน(ร้อยละโดยน้ำหนักของแป้งดัดแปร)			ทรีฮาโลส (ร้อยละโดยน้ำหนักการทดแทนน้ำตาลซูโครส)		
		3%	5%	7%	5%	10%	15%
ความชื้น(%)	1.83 ± 0.06 <sup>ns1/</sup>	2.17 ± 0.25	1.97 ± 0.38	2.71 ± 0.21	2.07 ± 0.32	2.20 ± 0.26	2.43 ± 0.12
aw	0.22 ± 0.01b <sup>2/</sup>	0.21 ± 0.02b	0.19 ± 0.04a	0.20 ± 0.02ab	0.17 ± 0.02a	0.22 ± 0.01b	0.19 ± 0.01ab
ร้อยละการเกาะติด	9.20 ± 1.72 <sup>ns</sup>	9.04 ± 0.27	10.68 ± 2.40	10.61 ± 2.56	10.73 ± 1.76	10.51 ± 1.06	9.46 ± 1.27
ค่าความสว่าง L*	35.63 ± 1.00	38.44 ± 5.00	38.34 ± 2.36	36.38 ± 2.01	36.68 ± 1.81	34.91 ± 2.64	35.16 ± 1.83

<sup>2/</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>1/ns</sup> ข้อมูลในแนวนอนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อะราเร่ที่ผ่านการเคลือบซอสปรุงรสเรียบร้อยแล้วจะมีความชื้นอยู่ไม่เกิน 3 % โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรแตกต่างกัน ค่าความชื้นยังอยู่ในระดับมาตรฐานที่ระดับ  $2.5 \pm 0.5\%$  และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ของสารเคลือบที่ใช้ในแต่ละสูตร

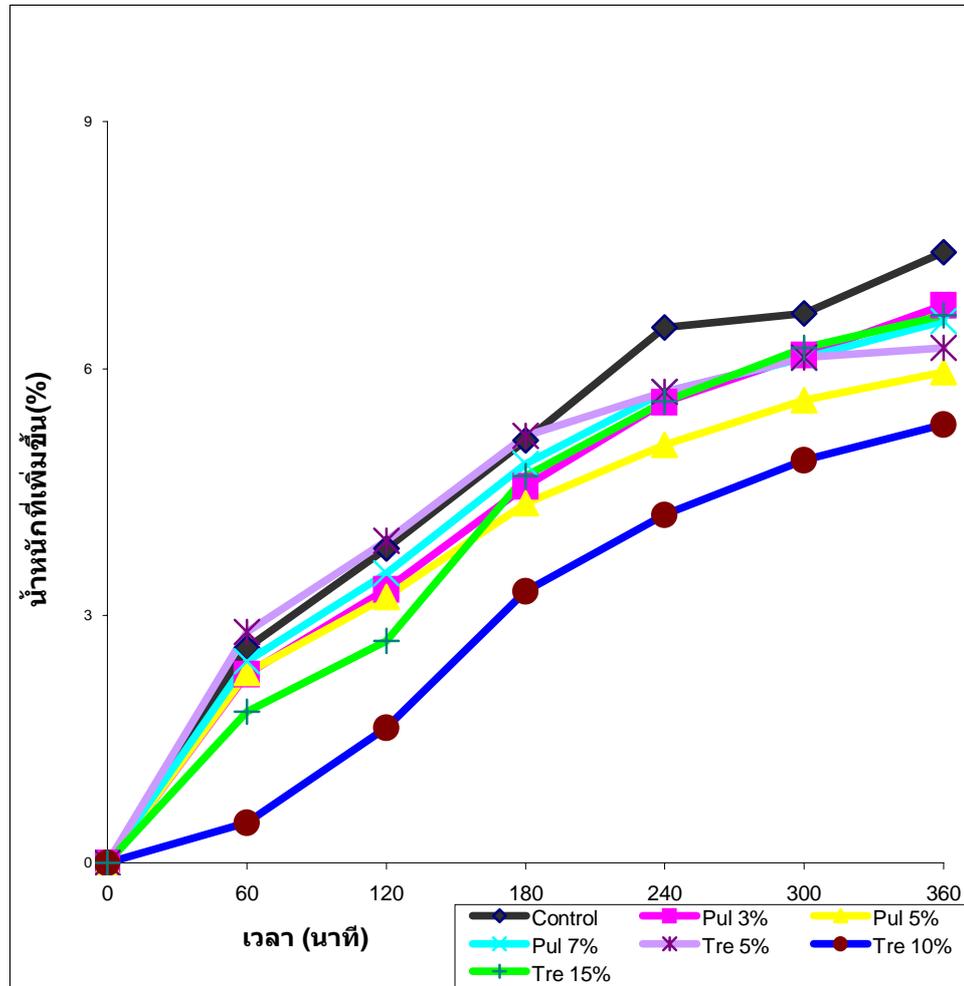
ค่า  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์อะราเร่ที่ผ่านการเคลือบซอสปรุงรสแล้วจะมีค่าโดยประมาณ ที่ 0.2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสูตรสารเคลือบและการเกาะติดของซอสแต่ละสูตร จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าค่า  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังเคลือบด้วยสูตรที่ใช้สารเคลือบแตกต่างกันนั้น ค่า  $a_w$  ยังอยู่ในระดับมาตรฐาน คืออยู่ในช่วง 0.17 – 0.22 โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของสารเคลือบแต่ละสูตร สารเคลือบสูตรที่ใช้พัลลูเลนและทรีฮาโลส 5% และ 15% ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนสูตรที่ใช้พัลลูเลน 3 % 7% และ ทรีฮาโลส 10 และ 15% มีค่า  $a_w$  ไม่ต่างจากสูตรควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของทรีฮาโลสและพัลลูเลนในระดับกลางทำให้การเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์สามารถเคลือบได้อย่างสม่ำเสมอ และความหนืดของพัลลูเลนที่ระดับ 5% ไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบความหนืดของสูตรควบคุมจึงทำให้การเคลือบพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยพัลลูเลนมีชั้นการเคลือบที่สม่ำเสมอเป็นผลทำให้ค่า  $a_w$  ที่ได้ต่ำกว่าสูตรสารเคลือบตัวอื่น

ค่า ร้อยละการเกาะติด ของผลิตภัณฑ์อะราเร่ที่ผ่านการเคลือบปรุงรสเรียบร้อยแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง 9-10 % (ตารางที่ 3) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสูตรสารเคลือบ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาค่าความสว่างของขนมหลังการเคลือบพบว่า ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์อะราเร่ ซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ในการทดลองนี้ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

4.2 การดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมข้าวอบกรอบอะราเร่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ระดับร้อยละ 70 80 และ 90

ผลิตภัณฑ์อะราเร่ที่ได้จากข้อ 4.1 จะนำมาวัดผลการดูดซับความชื้นโดยใช้เครื่อง Climacell model 404 ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยควบคุมอุณหภูมิที่

$25^{\circ} \pm 0.3^{\circ} \text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ  $70 \pm 5\%$  ,  $80 \pm 5\%$  และ  $90 \pm 5\%$  ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ

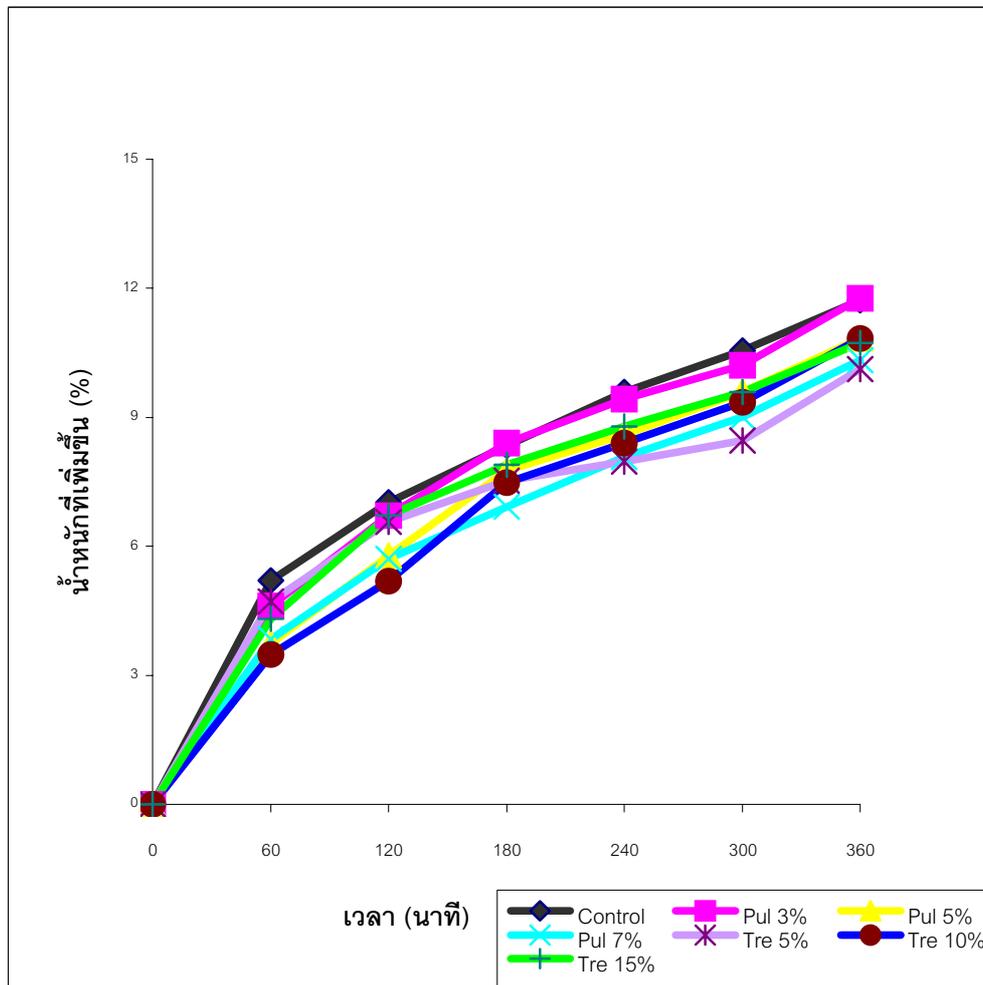


ภาพที่ 10 ผลการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ของขนมซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุม(control) และสูตรการใช้ที่มีพัลลูแลน (Pul) 3, 5, 7 % และ ทรีฮาไลส (Tre) 5, 10, 15 % ตามลำดับ

จากผลการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเว่หลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ซึ่งเก็บในตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ของอะราเว่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ (ภาพที่ 10) พบว่าขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุมมีการดูดซับความชื้นที่มากที่สุด ส่วนสูตรที่ให้ผลในการดูดซับความชื้นได้น้อยที่สุด 2 อันดับแรกคือสูตรที่ใช้สารเคลือบพัลลูแลน 5 %

และ ทรีฮาโลส 10% ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณพัลลูเลนที่ 5% เป็นปริมาณพัลลูเลนในปริมาณระดับกลางทำให้การเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์สามารถเคลือบได้อย่างสม่ำเสมอ ไม่มีผลต่อความหนืดต่อสูตรสารเคลือบและ ไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับความหนืดของสูตรควบคุม(ตารางที่ 2) จึงทำให้การเคลือบพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยพัลลูเลนมีชั้นการเคลือบที่สม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อทดสอบการดูดซับความชื้นโดยดูจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจึงพบว่าพัลลูเลนที่ระดับความเข้มข้น 5% มีการดูดซับน้อยกว่าพัลลูเลนที่ระดับ 3 และ 7%

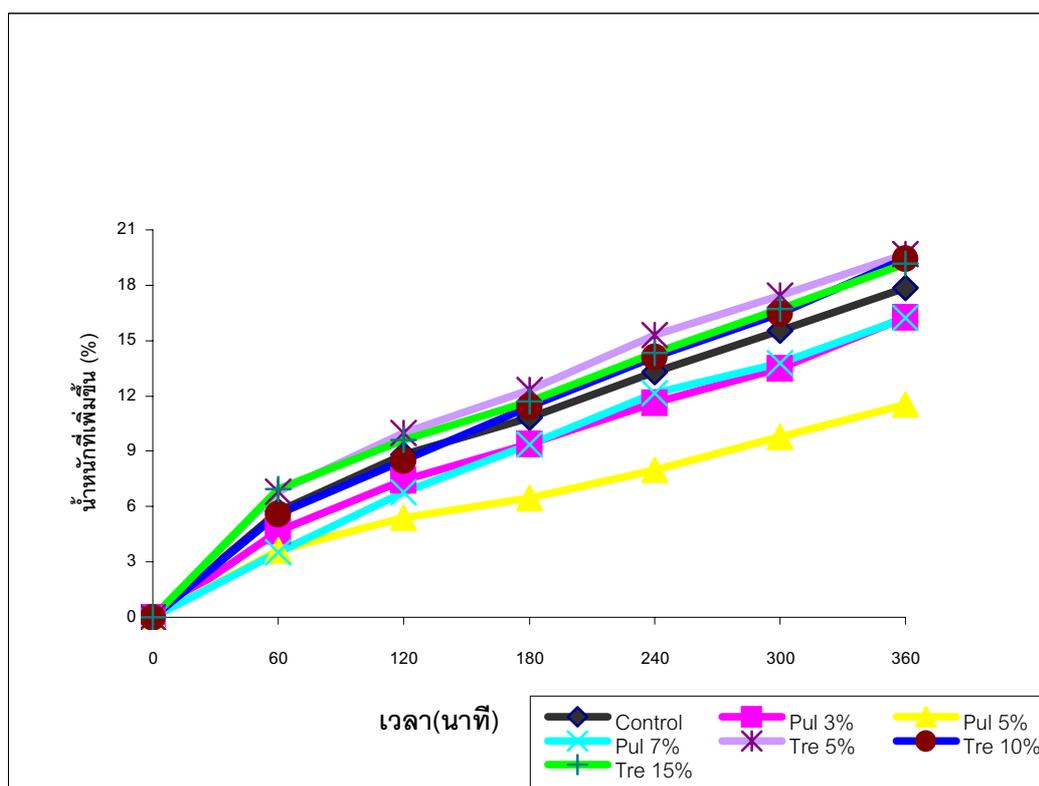
ผลของทรีฮาโลสที่ระดับความเข้มข้น 10% มีการดูดซับความชื้นที่ดีที่สุดและดีกว่าการดูดซับความชื้นที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 15% ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณทรีฮาโลสที่เติมทดแทนน้ำตาลซูโครสทำให้น้ำตาลซูโครสที่มีอยู่ในระบบลดลงและเนื่องจากน้ำตาลซูโครสมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ที่ทำให้เกิดความยืดหยุ่นของชั้นฟิล์มหรือสารเคลือบ จึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มที่เป็นชั้นเคลือบเกิดการยืดหยุ่นน้อยลงและเปราะง่ายจึงทำให้การดูดซับน้ำเกิดได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 11 ผลการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80 % ของขนมซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุม (control) และสูตรการใช้ที่มีพัลลูเลน (Pul) 3, 5, 7 % และ ทรีฮาโลส (Tre) 5, 10, 15% ตามลำดับ

จากผลการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ซึ่งเก็บในตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 80 % (ภาพที่ 11) ของอะราเร่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ พบว่าขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุมมีการดูดซับความชื้นที่สูงที่สุดและใกล้เคียงกับสูตรที่ใช้พัลลูเลน 3% เมื่อพิจารณาในช่วง 180 นาทีแรกพบว่าขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ใช้ ทรีฮาโลส 10% มีการดูดซับความชื้นได้น้อยที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% และมีการดูดซับใกล้เคียงกับสูตรสารเคลือบที่ใช้พัลลูเลน 5 และ

7% ตามลำดับ และที่เวลาหลัง 180 นาทีการดูดซับความชื้นของขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ใช้ทรีฮาโลสที่ความเข้มข้น 5 % มีแนวโน้มลดต่ำลงสอดคล้องกับผลการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% และมีการดูดซับความชื้นได้ต่ำสุดที่เวลา 360 นาที



ภาพที่ 12 ผลการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % ของขนมซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุม (control) และสูตรการใช้ที่มีพัลลูแลน (Pul) 3, 5, 7 % และ ทรีฮาโลส (Tre) 5,10,15% ตามลำดับ

จากผลการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเห่หลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุมซึ่งเก็บในตัวควบคุมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % (ภาพที่ 12) พบว่าขนมข้าวอบกรอบที่เคลือบด้วยสารเคลือบทุกสูตรมีการดูดซับความชื้นใกล้เคียงกันมากยกเว้นชุดทดลองที่ใช้พัลลูแลน 5% มีการดูดซับความชื้นต่ำสุด ในขณะที่ผลการดูดซับความชื้นที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของชุดทดลองอื่นที่มีการดูดซับที่ใกล้เคียงกัน โดยชุดการทดลอง ที่ใช้ทรีฮาโลสที่ทุกระดับความเข้มข้นมีการดูดซับความชื้นที่สูงกว่าชุดควบคุม ในขณะที่ชุดการทดลองที่ใช้พัลลูแลนทุกระดับ

ความเข้มข้นมีการดูดซับความชื้นต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 90 % ปริมาณน้ำในสภาพแวดล้อมมีมากทำให้เกิดการเกาะติดของน้ำที่ผิวของชิ้นผลิตภัณฑ์ส่งผลให้สารเคลือบที่มีทรีฮาโลสผสมเกิดการละลายเนื่องจากทรีฮาโลสเริ่มละลายที่ 20°C และความชื้นสัมพัทธ์สูง (Hagashimaya, 2002) แม้ว่าทรีฮาโลสจะมีคุณสมบัติในการเป็นสารที่ดูดซับความชื้นได้ต่ำ ในขณะที่พัลลูแลนยังคงสภาพของการเป็นฟิล์มอยู่ทำให้ปริมาณน้ำในสภาพแวดล้อมที่เกาะติดเกิดการซึมผ่านแผ่นฟิล์มของพัลลูแลนได้น้อย

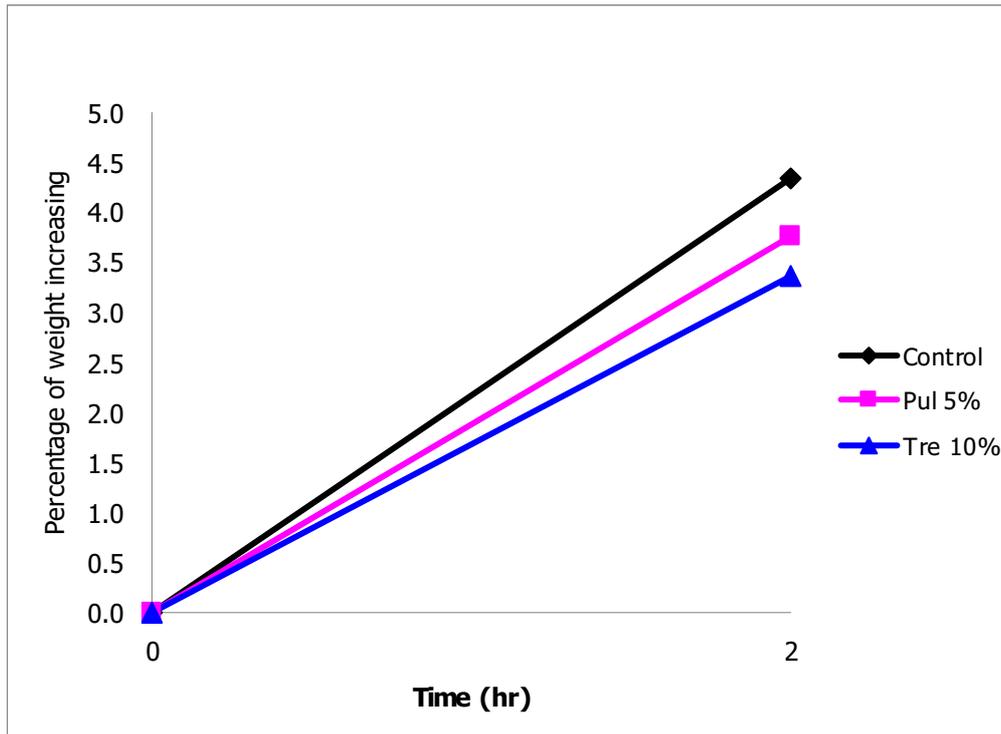
#### 4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อะราเร่หลังการเคลือบด้วย พัลลูแลน หรือ ทรีฮาโลส

จากผลการทดลองที่ได้ข้างต้นจึงได้ขนมที่มีการเคลือบของสูตรควบคุมและสูตรที่มีการผสมพัลลูแลนหรือทรีฮาโลสมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้านความกรอบ การเกาะติดมือและความเหนียวของผลิตภัณฑ์ โดยเลือกนำชุดที่สามารถป้องกันการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ใช้สารเคลือบซึ่งมีการผสมพัลลูแลน 5 % และทรีฮาโลส 10% โดยนำตัวอย่างมาวางในตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70 % เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าความชื้นและ  $a_w$  และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 10 ท่าน

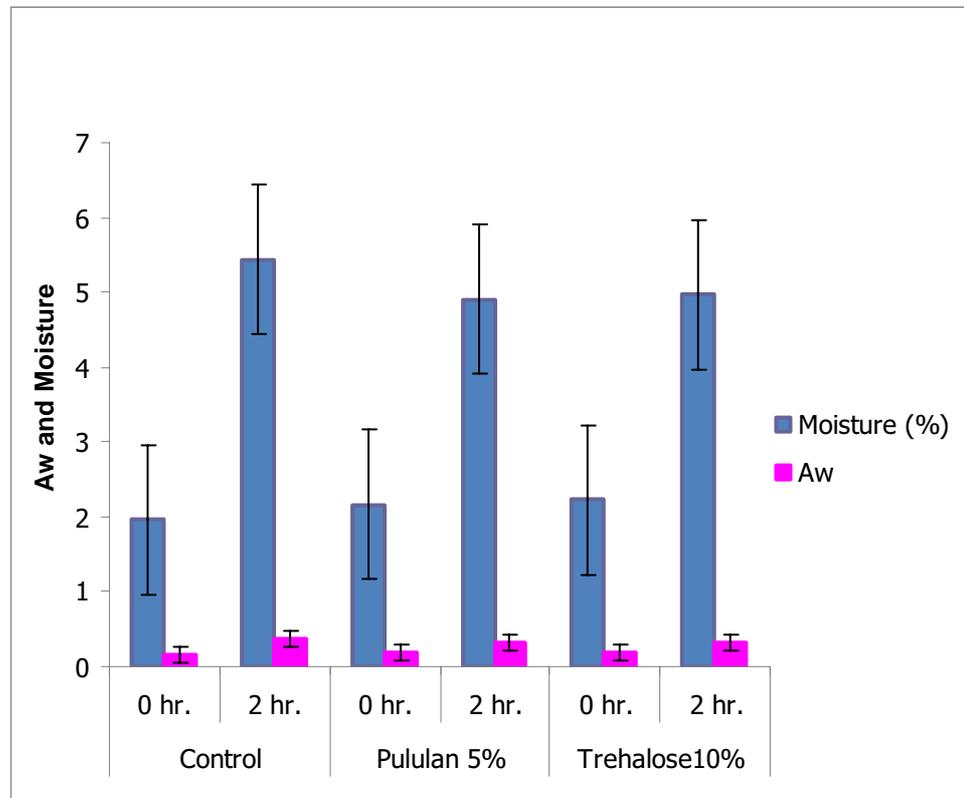
ตารางที่ 4 ผลความชื้นและค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ก่อนการทดสอบและ (%) ของตัวอย่างเริ่มต้น (0h) เมื่อเทียบกับตัวอย่างซึ่งเก็บในตู้ควบคุมเมื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70% 2 ชั่วโมง

รายการ	ตู้ควบคุม			พัลลูลแลน 5%(ร้อยละโดยน้ำหนักของแป้งดัดแปร)			ทรีฮาโลส 10%(ร้อยละโดยน้ำหนักการทดแทนน้ำตาลซูโครส)		
	0 h	2h	ร้อยละที่เพิ่ม	0 h	2h	ร้อยละที่เพิ่ม	0 h	2h	ร้อยละที่เพิ่ม
ความชื้น (%)	1.97 ± 0.29	5.43 ± 0.15	179.31 ± 31.15	2.17 ± 0.40	4.90 ± 0.17	133.33 ± 57.74	2.23 ± 0.29	4.97 ± 0.16	124.49±24.46
Aw	0.16 ± 0.11	0.38 ± 0.003	132.36 ± 16.65	0.19 ± 0.04	0.32 ± 0.04	73.56 ± 32.61	0.19 ± 0.01	0.32 ± 0.03	72.79 ± 7.73

ผลการวัดความชื้นและค่า  $a_w$  ของขนมข้าวอบกรอบระยะเวลาเร่งหลังการเคลือบแสดงให้เห็นว่าการให้ความชื้นกับผลิตภัณฑ์มีผลทำให้ค่าความชื้นและ  $a_w$  เพิ่มขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบการวัดการเพิ่มขึ้นของความชื้นและ  $a_w$  พบว่าการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีการผสมทรีฮาโลสให้การดูดความชื้นต่ำที่สุดดังแสดงในภาพที่ 13 และ 14



ภาพที่ 13 ผลการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % นาน 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 14 ความชื้นและค่า  $a_w$  ของขนมข้าวอบกรอบสูตรควบคุม สูตรผสมพัลูลาน 5% และ สูตรผสมทรีฮาโลส 10% หลังเก็บในตู้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 70 % นาน 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมข้าวอบกรอบอะราเร่หลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่มีการผสม พัลลูแลน หรือ ทรีฮาโลส หลังเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน 2 ชั่วโมง

สูตร	Crunchy		Sticky		Chewiness	
	เริ่มต้น ( 0 ชั่วโมง)	เก็บนาน ( 2 ชั่วโมง)	เริ่มต้น ( 0 ชั่วโมง)	เก็บนาน ( 2 ชั่วโมง)	เริ่มต้น ( 0 ชั่วโมง)	เก็บนาน ( 2 ชั่วโมง)
สูตรควบคุม	10.73 ± 1.05a <sup>1/A2/</sup>	6.62 ± 3.28aB	3.60 ± 1.74aA	6.37 ± 3.16aB	2.85 ± 1.57aA	5.21 ± 3.19aA
พัลลูแลน 5%	10.24 ± 1.42aA	10.04 ± 1.59bA	4.700 ± 3.00aA	4.71 ± 2.86aA	3.78 ± 1.70abA	4.15 ± 1.62aA
ทรีฮาโลส 10%	8.71 ± 2.34bA	6.31 ± 1.98aB	5.14 ± 2.45aA	5.81 ± 2.00aA	4.48 ± 2.22bA	6.66 ± 2.61aA

<sup>1/</sup> ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>2/</sup> ตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวนอนของคุณภาพแต่ละด้านแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95

### **ความกรอบหลังการเคลือบและเมื่อผ่านการให้ความขึ้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่ ความขึ้นสัมพัทธ์ 70 %**

ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อเคลือบด้วยพัลลูแลนและชุดควบคุมพบว่าเมื่อเคลือบเสร็จใหม่ผลของความกรอบในผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยทรีฮาโลสมีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ชุดควบคุมและชุดที่เคลือบด้วยพัลลูแลนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อให้ความขึ้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่ความขึ้นสัมพัทธ์ 70 % ผลการทดลองพบว่าความกรอบภายหลังการให้ความขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลของความกรอบพบว่าทุกสูตรผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลงในขณะที่ผลิตภัณฑ์ชุดที่เคลือบด้วยพัลลูแลนยังคง มีความกรอบมากที่สุด (10.04) และผู้บริโภคยังให้การยอมรับ

### **การเกาะติดมือหลังการเคลือบและเมื่อผ่านการให้ความขึ้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่ ความขึ้นสัมพัทธ์ 70 %**

ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าเมื่อเคลือบเสร็จใหม่ การเกาะติดมือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ระหว่างชุดควบคุม กับสูตรที่เคลือบด้วยพัลลูแลน และทรีฮาโลส และภายหลังการให้ความขึ้นนาน 2 ชั่วโมงที่ความขึ้นสัมพัทธ์ 70% พบว่าผลิตภัณฑ์อะราเร่ในสูตรสารเคลือบพัลลูแลน และสูตรที่เคลือบด้วยฮาโลส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับที่เวลาเริ่มต้น ในขณะที่ค่าการเกาะติดของสูตรควบคุมมีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับเวลาที่เริ่มต้น และเมื่อพิจารณาค่าการเกาะติดที่เพิ่มขึ้นพบว่าสูตรสารเคลือบที่ผสมพัลลูแลนมีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่สูตรควบคุมและสูตรสารเคลือบที่ผสมทรีฮาโลสอื่นมีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นสูงกว่าสูตรสารเคลือบที่ผสมพัลลูแลน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สูตรสารเคลือบพัลลูแลนยังคงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งอาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มพัลลูแลนที่ถูกเคลือบไว้มีความยืดหยุ่นและป้องกันไม่ให้น้ำผ่านเข้าชั้นฟิล์มและตัวผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเหนียวที่ผิวและลดการเกาะติดมือ

### ความเหนียวหลังการเคลือบและเมื่อผ่านการให้ความชื้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 %

ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อเคลือบด้วยพัลลูแลนและชุดควบคุมพบว่าเมื่อเคลือบเสร็จใหม่ผลของความเหนียวในผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยทรีฮาโลสและชุดควบคุมมีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ต่างจากชุดที่เคลือบด้วยพัลลูแลนในขณะที่ยังชุดควบคุมและชุดที่เคลือบด้วยพัลลูแลนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อให้ความชื้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ผลการทดลองพบว่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ภายหลังการให้ความชื้น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในสูตรสารเคลือบทุกสูตรและเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่เริ่มต้นและภายหลังการให้ความชื้นนาน 2 ชั่วโมงที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% พบว่าผลการทดสอบประสาทสัมผัสในด้านความเหนียวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ในสูตรสารเคลือบทุกสูตร แม้ว่าผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยพัลลูแลนมีค่าทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวน้อยที่สุด

4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมข้าวอบกรอบอะวาระห์หลังการเคลือบด้วย สารเคลือบสูตรควบคุม สูตรที่มีการผสมพัลลูแลน หรือ ทรีฮาโลสและเมื่อเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน 2 ชั่วโมง ทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer

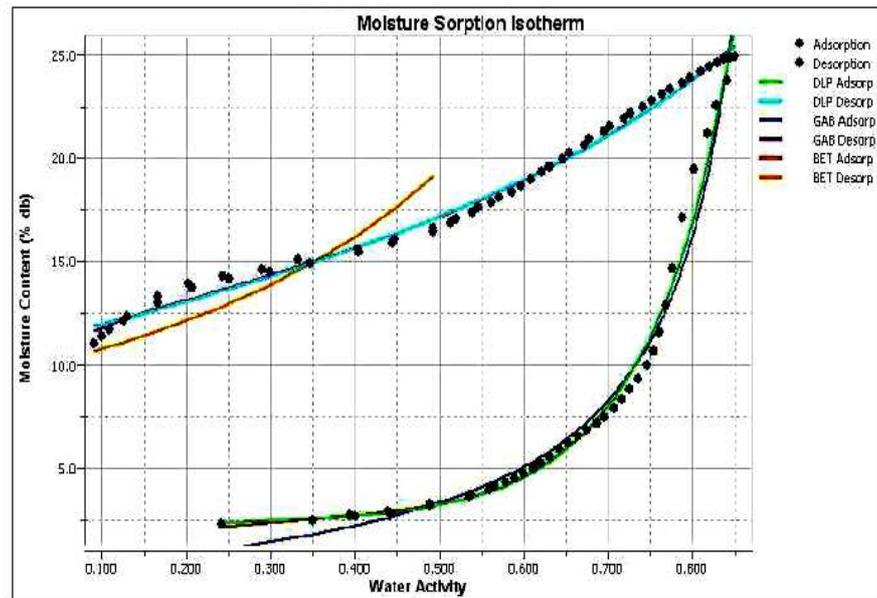
ตารางที่ 6 ค่าแรงกดสูงสุดของขนมข้าวอบกรอบอะวาระห์ หลังการเคลือบด้วย พัลลูแลน หรือ ทรีฮาโลสและเมื่อเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน 2 ชั่วโมง ทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer

สูตร	เริ่มต้น ( 0 ชั่วโมง)	เก็บนาน ( 2 ชั่วโมง)
สูตรควบคุม	87.66 ± 22.32 <sup>ns</sup>	110.95 ± 18.72
พัลลูแลน 5%	73.62 ± 7.55	111.65 ± 20.13
ทรีฮาโลส 10%	70.22 ± 18.09	96.81 ± 27.69

<sup>ns</sup> ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าแรงกดสูงสุดของตัวอย่างขนมข้าวอบกรอบหลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่มีการผสมพัลลูแลนหรือ ทรีฮาโลสและเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ที่ระยะเวลา 0 และ 2 ชั่วโมง ทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyser ผลจากการทดลองพบว่าค่าแรงกดสูงสุดที่วัดได้ในผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการเคลือบด้วยทรีฮาโลสและพัลลูแลนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากชุดควบคุมซึ่งผลการทดลองไม่สอดคล้องกับผลของความกรอบของผลิตภัณฑ์เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสและเมื่อให้ความชื้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ผลการทดลองพบว่าค่าแรงกดสูงสุดที่วัดได้ภายหลังจากการให้ความชื้น มีค่าสูงขึ้นในทุกสูตรสารเคลือบ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน 2 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าผลการทดสอบด้วยแรงกดที่กระทำต่อเนื้อสัมผัสนั้นเป็นแรงกดสูงสุดที่กระทำต่อพื้นผิวผลิตภัณฑ์และไม่สามารถบ่งชี้ในเรื่องความเหนียวของเนื้อสัมผัสได้ แต่ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyser ให้ผลสอดคล้องกันคือ เมื่อมีการให้ความชื้นต่อผลิตภัณฑ์ค่าแรงกดสูงสุดที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นในทุกสูตรสารเคลือบ

4.5 ซอร์ปชั่นไอโซเทอรั่มของผลิตภัณฑ์อะวาระชุ้ดควบคุม ชุ้ดที่เคลือบด้วยสารเคลือบสุ้ตรที่ผสมพั้ลลูแลน 5 % และชุ้ดที่เคลือบด้วยสุ้ตรที่ผสมทรีฮาโลส 10%

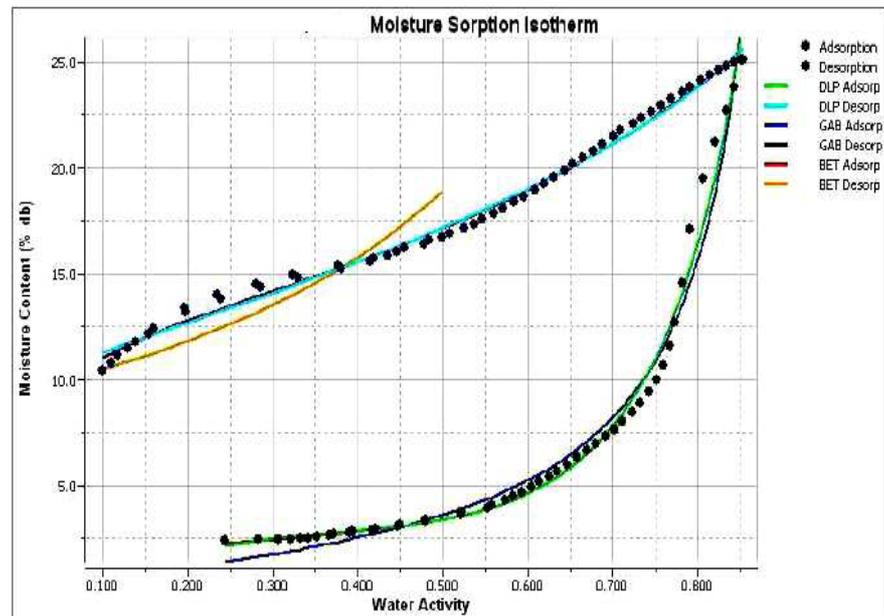


ภาพที่ 15 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)และปริมาณน้ำอิสระของขนมข้าวอบกรอบของผลิตภัณฑ์ควบคุม

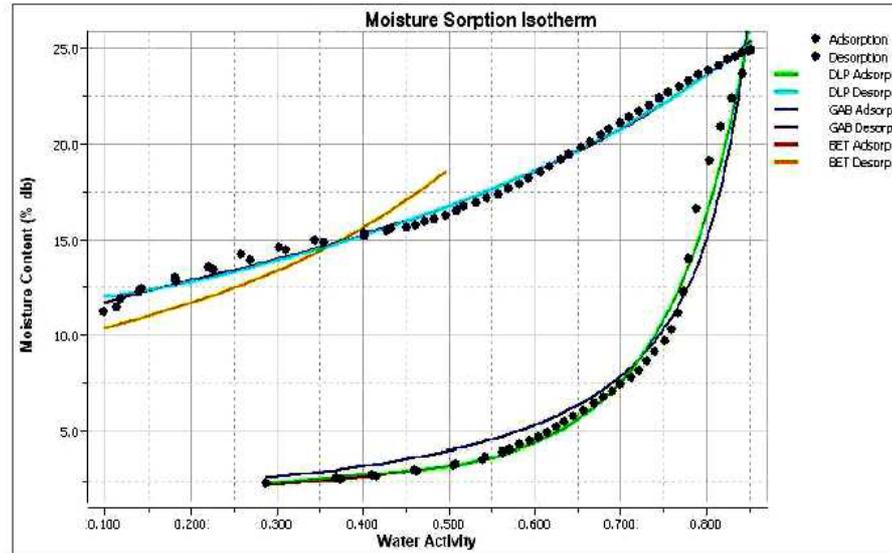
DLP ย่อมาจาก Double log polynomial

GAB ย่อมาจาก Guggenheim-Anderson-de Boer

BET ย่อมาจาก Brunauer-Emmett-Teller



ภาพที่ 16 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)และปริมาณน้ำอิสระของขนมข้าวอบกรอบของผลิตภัณฑ์อะราเว่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ผสม พัลลูแลน 5 %



ภาพที่ 17 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)และปริมาณน้ำอิสระของขนมข้าวอบกรอบของชุดผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ผสมทรีฮาโลส 10 %

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบค่าการดูดซับของอะวาระที่เคลือบด้วยสารเคลือบแต่ละชนิด จากสมการ GAB (Guggenheim, Anderson, de Boer)

ค่าจากการคำนวณ	ชุดควบคุม	พัลลูลเลน 5% ของน้ำหนักแป้งดัดแปร	ทรีฮาโลส 10 % ของการทดแทนน้ำตาลซูโครส
C1	1.2477	2.1926	4314.2915
K	1.0214	1.0777	1.0973
Mo	2.0609	2.3171	1.8317
R2	0.977	0.977	0.965
ระยะเวลาสิ้นสุด(ชม)	35 ชม.	39 ชม. 15 นาที	37 ชม. 30 นาที

GAB equation (Guggenheim, Anderson, de Boer) (0-0.85aw)

$$m = \frac{C_1 k m_0 a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C_1 k a_w)}$$

เมื่อ  $m$  = ปริมาณความชื้นที่ water activity นั้น ๆ (กรัมน้ำ / กรัมแห้ง)

$C_1$  และ  $k$  คือค่าคงที่ และ  $m_0$  คือ Monolayer moisture content

([www.decagon.com](http://www.decagon.com))

จากตารางที่ 7 เปรียบเทียบระยะเวลาการเพิ่มขึ้นของ  $A_w$  จนเข้าสู่สมดุลหรือที่ค่าน้ำอิสระเท่ากับ 0.85 โดยใช้สมการแบบ GAB เนื่องจากให้ผลที่วัดได้ช่วงกว้าง  $a_w$  0.1-0.9 เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดูดซับความชื้นจนค่าน้ำอิสระถึง 0.85 พบว่าขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุม มีระยะเวลาในการดูดซับความชื้น 35 ชั่วโมง ขนมที่เคลือบด้วยสูตรเคลือบพัลลูแลน 5% ใช้ระยะเวลานาน 39 ชั่วโมง 15 นาที และ ขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ผสมทรีฮาโลส 10% มีระยะเวลาในการดูดซับความชื้น 37 ชั่วโมง 30 นาที ผลการทดลองการดูดซับความชื้นแสดงให้เห็นว่าขนมที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีการผสมพัลลูแลน 5% มีการดูดซับความชื้นช้าที่สุด รองลงมาคือขนมที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่ ทรีฮาโลส 10% และ สูตรควบคุม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากซอสเคลือบที่ใช้พัลลูแลนนั้นจะแสดงลักษณะในการเกิดเป็นชั้นฟิล์มและป้องกันการดูดซับความชื้นได้ (Tony, 2001) ในขณะที่คุณสมบัติของทรีฮาโลสยังคงคุณสมบัติของความเป็น low hygroscopic คือสามารถลดการดูดซับน้ำได้สอดคล้องกับ ผลการทดลองของ Simperler และคณะ (2006) ที่ระบุว่าเมื่อมีการผสมทรีฮาโลสกับน้ำตาลซูโครสทำให้คุณสมบัติของสารผสมมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน Glass transition temperature  $T_g$  สูงขึ้นกว่าน้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียวส่งผลให้เกิดสภาวะการละลายได้ต่ำ เปลี่ยนสภาวะจากของแข็งคล้ายแก้ว (Glassy state) ไปเป็นของแข็งที่คล้ายยาง (Rubbery state) ได้ยากขึ้นทำให้การละลายและการดูดซับความชื้นต่ำลง

ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของ  $A_w$  จากสมการแบบ GAB เปรียบเทียบกับเวลา

ชนิดสารเคลือบ	น้ำหนัก(มก)	$a_w$ คำนวณจากสมการ GAB	ความชื้น %	ระยะเวลาที่ใช้	ค่า $a_w$ ที่เปลี่ยน	% GAB ที่เปลี่ยน <sup>1/</sup>	$A_w$ ที่เปลี่ยนเทียบกับเวลา ( $\text{min}^{-1}$ ) <sup>2/</sup>
สูตรควบคุม	2145.0	0.241	2.3				
	2148.0	0.35	2.45				
	2148.8	0.35	2.48				
	2152.1	0.4	2.64				
	2153.1	0.394	2.69				
	2156.8	0.442	2.86				
	2158.3	0.439	2.93				
	2163.6	0.489	3.19				
	2165.1	0.489	3.26	0:42:56	0.248	2.11	8.32
สูตรที่เคลือบ	2194.8	0.244	2.4				
ด้วยพัลลูเลน	2195.5	0.283	2.43				
5%	2195.6	0.307	2.44				
	2196.3	0.321	2.47				
	2197.3	0.332	2.52				
	2197.9	0.342	2.54				
	2198.8	0.352	2.59				

ตารางที่ 8 ต่อ

ชนิดสารเคลือบ	น้ำหนัก(มก)	$a_w$ คำนวณจากสมการ GAB	ความชื้น %	ระยะเวลาที่ใช้	ค่า $a_w$ ที่เปลี่ยน	% GAB ที่เปลี่ยน <sup>1/</sup>	$A_w$ ที่เปลี่ยนเทียบกับเวลา ( $\text{min}^{-1}$ ) <sup>2/</sup>
สูตรที่เคลือบ	2199.7	0.366	2.63				
ด้วยพัลลูเลน	2200.7	0.371	2.68				
5%	2202.3	0.390	2.75				
	2203.4	0.394	2.80				
	2205.3	0.417	2.89				
	2206.3	0.421	2.94				
	2208.8	0.447	3.05				
	2210.4	0.45	3.13				
	2213.8	0.479	3.29				
	2215.4	0.479	3.36	1:14:14	0.235	1.07	4.56
ทรีฮาโลส 10 %	2122.4	0.287	2.4				
	2125.9	0.374	2.57				
	2126.6	0.369	2.6				
	2129.5	0.416	2.74				
	2130.5	0.411	2.79				
	2134.6	0.462	2.99				

ตารางที่ 8 ต่อ

ชนิดสารเคลือบ	น้ำหนัก(มก)	$a_w$ คำนวณ จากสมการ GAB	ความชื้น %	ระยะเวลา ที่ใช้	ค่า $a_w$ ที่เปลี่ยน	% GAB ที่เปลี่ยน <sup>1/</sup>	$A_w$ ที่เปลี่ยนเทียบกับเวลา (min <sup>-1</sup> ) <sup>2/</sup>
	2135.7	0.46	3.04	0:31:47	0.173	0.34	7.84

<sup>1/</sup> คำนวณจาก % GAB เวลาสุดท้ายลบด้วยเวลาเริ่มต้น

<sup>2/</sup> คำนวณจาก  $a_w$  ที่เปลี่ยนหารด้วยเวลาทั้งหมดที่ใช้

การเกาะตัวของน้ำแต่ละชั้นในอาหารมีผลต่อความกรอบโดยมีการศึกษาพบว่า ความแข็งของอาหารอบแห้งที่ทำจากธัญพืชมีความสัมพันธ์กับค่า  $a_w$  เช่นที่  $a_w$  0.4 -0.45 ขนมปังกรอบจะสูญเสียความกรอบไป โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีธัญพืชเป็นองค์ประกอบจะสูญเสียความกรอบในช่วงค่า  $a_w$  ดังกล่าว ดังนั้น Sorption isotherm ของความชื้นจึงใช้ทำนายความชื้นวิกฤตหรือ  $a_w$  ได้ สำหรับความแข็ง ซึ่งเป็นปัญหาของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง การทำนาย  $a_w$  วิกฤตของความแข็งยังทำได้ยาก เนื่องจากขึ้นกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่น ไขมันและสารอื่นๆ ซึ่งสามารถทำให้  $a_w$  วิกฤตลดลงได้ โดยทั่วไปอาหารประเภทกึ่งแห้งจะมีค่า  $a_w$  วิกฤตอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 -0.6 (ไพบูลย์, 2532) จากตารางที่ 8 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของ  $a_w$  จากสมการแบบ GAB เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการดูดซับความชื้นจนค่าน้ำอิสระ ถึง 0.4 พบว่าขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรควบคุม มีระยะเวลาในการดูดซับความชื้น 43 นาที ค่า  $a_w$  ที่เปรียบเทียบกับเวลาเท่ากับ 8.32 ขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบผสมพัลลูแลน 5% ใช้เวลาในการดูดซับความชื้นเข้าสู่สมดุลนาน 1 ชั่วโมง 14 นาที ค่า  $a_w$  ที่เปรียบเทียบกับเวลาเท่ากับ 4.56 และ ขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ใช้ทรีฮาโลส 10% มีระยะเวลา  $a_w$  ในการดูดซับความชื้น 32 นาที ค่า  $a_w$  ที่เปรียบเทียบกับเวลาเท่ากับ 7.56 ผลการทดลองการดูดซับความชื้นแสดงให้เห็นว่าพัลลูแลนมีอัตราการดูดซับความชื้นเมื่อเทียบกับเวลาน้อยที่สุดจากทุกสูตรสารเคลือบสอดคล้องกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยพัลลูแลนยังคงความกรอบได้ดีเมื่อให้ความชื้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ความกรอบภายหลังการให้ความชื้น มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลของความกรอบพบว่าผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมีความกรอบลดลงเมื่อเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์นาน 2 ชั่วโมง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ชุดที่เคลือบด้วยพัลลูแลนมีความกรอบมากที่สุดและยอมรับได้ อีกทั้งอัตราการดูดซับความชื้นในช่วงค่าน้ำอิสระถึง 0.4 ยังสอดคล้องกับตารางที่ 7 เมื่อความชื้นเข้าสู่สมดุลที่ 0.85 อีกด้วย

## บทที่ 5

### สรุป

พัลลูแลนและทรีฮาโลสที่ใช้ในระดับความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีผลแตกต่างทางสถิติในด้านความชื้น สีและการเกาะติดของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่มีผลแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ต่อ ค่าความเป็นกรด ต่าง ของแข็งรวม ค่า aw และค่าความหนืด ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 และ 80 สารทั้งสองสามารถลดอัตราการดูดซับได้ดีกว่าสูตรควบคุม ในขณะที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 สูตรสารเคลือบที่ผสมพัลลูแลน 5% ให้ผลดีที่สุดแต่สูตรสารเคลือบที่ผสมด้วยทรีฮาโลสผลการทดลองไม่ชัดเจนและไม่มีความแตกต่างระหว่างสูตรควบคุม ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสพบว่าสารที่ใช้ในสูตรเคลือบมีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์โดยเมื่อเวลาผ่านไปและความชื้นสูงขนมที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ใช้พัลลูแลนให้ผลดีที่สุด สอดคล้องกับผลการวัดอัตราการดูดซับ Sorption isotherm ที่พบว่าสูตรสารเคลือบที่ใช้พัลลูแลนมีอัตราการดูดซับความชื้นต่ำสุด รองลงมาคือสูตรสารเคลือบที่ใช้ทรีฮาโลสและสูตรสารควบคุม

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyser ในทุกสูตรสารเคลือบให้ผลสอดคล้องกันโดยผลิตภัณฑ์จะมีค่าแรงกดสูงสุดที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นในทุกสูตรสารเคลือบ ภายหลังจากให้ความชื้นสัมพัทธ์ 70% นาน 2 ชั่วโมง

### ข้อเสนอแนะ

1. การให้ความชื้นกับผลิตภัณฑ์ในลักษณะการใส่ละอองไอน้ำเข้าไปในตู้อาจมีผลทำให้สารเคลือบละลายหลุดออกจากพื้นผิวผลิตภัณฑ์มีผลทำให้ค่าการดูดซับไม่เป็นไปตามทฤษฎี จึงควรปรับวิธีการให้ความชื้นกับผลิตภัณฑ์
2. เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมหลายอย่าง การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบต่างๆจึงมีความสำคัญต่อการเกิดการดูดซับความชื้นเกิดขึ้น
3. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของสารเคลือบมีผลต่อการดูดซับความชื้นในอาหารแต่อาจมีผลกระทบต่อเนื้อสัมผัส ซึ่งควรได้ศึกษาต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาศิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. โอ เอส พรีนติ้งเฮ้าส์: โอเดียนสโตร์.
- สถาบันอาหาร. 2552. อุตสาหกรรมข้าวและผลิตภัณฑ์แปรรูป. ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร (online). <http://fic.nfi.or.th/th/thaifood/product52-rice.asp>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม 2552).
- งามชื่น คงเสรี 2552. ผลิตภัณฑ์จากข้าว. จาร์พาเทคโนโลยี (online) . [http://library.uru.ac.th/webdb/images/charpa\\_rice\\_products.html](http://library.uru.ac.th/webdb/images/charpa_rice_products.html). (สืบค้นเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2552).
- Buera, P., Schebor, C. and Elizald, B. 2005. Effect of Carbohydrate crystallization on stability of dehydrated foods and ingredients formulations. *Journal of Food Engineering*. 67: 157-165.
- Diab, T., Biliaderis, G. C., Gerasopoulos, D. and Sfakiotakis, E. 2001. Physiochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81: 988 -1000.
- Fresh Patent . com. 2009. Patent No.20080274252(online). Anonymous. (Online 19 May 2009
- Hayashi company. 2009. The new multi-functional food ingredient
- Hagashimaya T. 2002. Novel and applications of Trehalose. *Pure Appl. Chem*. 7: 1263-1269.
- Kristo, E. and Biliaderis, G. C. 2007. Physical properties of starch nanocrystal – reinforced pullulan film; *Carbohydrate polymer* 68: 146-158
- Labuza, T. 1998. Creation of Moisture sorption isotherms for hygroscopic materials. *Trends in Food Science &Technology*. 9: 47-55.
- Leather, T.D. 2003. Biotechnological production and application of pullulan. *Appl Microbiol Biotechnol*. 62: 468-473.

- Minemoto, Y., Adachi, S. and Matsuno, R. Effect of Relative Humidity during Storage on the Autoxidation of Linoleic Acid Encapsulated with a polysaccharide by Hot-Air-Drying and Freeze-Drying. *Food Sci Technol.Res.* 7 (1). 91-93.
- Simperler, A., Kornher, A., Chopra, R., Bonnet, P. A., Jones, W., Motherwell, S. D.W. and Zifferer, G. 2006. Glass Transition Temperature of Glucose, Sucrose, and Trehalose: An Experimental and in Silico study. *J.Phys.Chem.* 110: 19678-19684.
- Siripatrawan, U. and Jantawat P. 2006. Determination of Moisture Sorption Isotherms of Jasmine Rice Cracker Using BET and GAB Models. *Food Science and Technology International.* 12 (6): 459-465
- Sitaula, R. and Bhowmick, S. 2006. Moisture sorption characteristics and thermophysical properties of Trehalose - PBS mixtures. *Cryobiology.* 52: 369-385.
- Roe, K.D. and Labuza, T.P. Glass transition of amorphous trehalose-sucrose mixture. *Journal of Food Science.* 68: 1970-1975.
- Roudaut, G., Dacremont, C., Pamies, V. B., Colas, B. and Meste, L. M. 2002. Crispness : a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science &Technology.* 13: 217-227.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี

1. วิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง Kett FD 620 series

- ชั่งตัวอย่างที่ป่นละเอียดจำนวน 5 กรัม เกลี่ยให้บางที่สุด
- ก่อตั้งอุณหภูมิที่ 85 °C ตั้งเวลา 30 นาที
- อ่านค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอ



ภาพที่ 18 ภาพแสดงเครื่องวัดความชื้น Kett FD 620 series

## 2. วัด Aw แบบรวดเร็ว (Series 4 Aqualab series 4TE)

- นำชิ้นตัวอย่าง 4-5 ชิ้น โดยไม่ต้องหัก ใสในตลับวัด Aw และวางลงในช่องสำหรับใส่ตลับ
- ปิดเครื่องพร้อมกดลิคค เครื่องจะทำงานเองโดยอัตโนมัติ
- อ่านค่าที่ปรากฏบนหน้าจอ



ภาพที่ 19 ภาพแสดงเครื่องวัด Aw แบบรวดเร็ว (Series 4 Aqualab series 4TE)

### 3. การวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง Refracto meter

- นำสุตรน้ำเชื่อมที่เตรียมแต่ละสูตรหลังเตรียมเสร็จใหม่ใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้
- ใช้ Droplet หยดลงบน Refracto meter ตรวจสอบข้อมูลในสเกลเพื่ออ่านค่าที่ได้



ภาพที่ 20 ภาพแสดงเครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง Refracto meter

#### 4. การวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH meter ( Hanna Instrument 8417)

- นำสุตรน้ำเชื่อมที่เตรียมแต่ละสูตรหลังเตรียมเสร็จใหม่ใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้
- วัด pH ของน้ำเชื่อมที่สูตรสารเคลือบแต่ละชนิด
- อ่านค่าที่ปรากฏบนหน้าจอ



ภาพที่ 21 ภาพแสดงเครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH meter ( Hanna Instrument 8417)

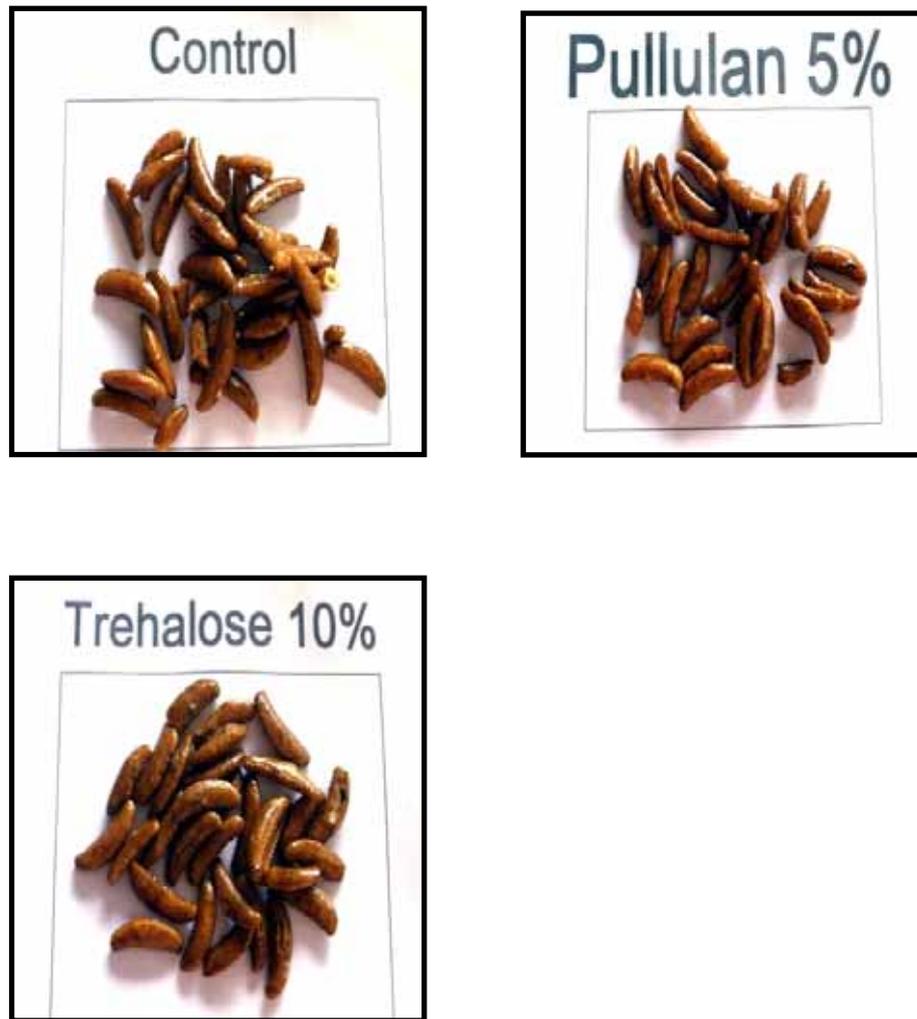
5. วิธีการตรวจสอบการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเร่ ด้วยตู้ควบคุมความชื้น Climacel model 404

- ชั่งผลิตภัณฑ์ที่เคลือบปรุจรสด้วยสารเคลือบทั้ง 3 ชนิดปริมาณ 50 กรัมด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง AND HM 200
- เปิดตู้ให้ความชื้นโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสโดยปรับระดับความชื้นสัมพัทธ์เป็น 3 ระดับคือ 70 80 และ 90 โดยเปิดตู้ไว้จนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามค่าที่กำหนดจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ชั่งเกลี่ยบางใส่ลงในตะกร้าดังภาพ
- นำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตู้ให้ความชื้นที่ได้มาชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทุก 1 ชั่วโมงจนครบเวลา 6 ชั่วโมงนำมาวิเคราะห์ผลน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชั่วโมง

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น} = \text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นชั่วโมงที่วัด} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}$$



ภาพที่ 22 ภาพแสดงตู้ควบคุมความชื้น Climacel model 404และการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ขณะวัด



ภาพที่ 23 ภาพแสดงลักษณะผลิตภัณฑ์ก่อนนำเข้าตู้อบ

6. วิธีการตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อะวาระด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser.TA-XT2i

- กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดก่อนที่ตกลงตัวอย่าง 3 มิลลิเมตรต่อวินาที
- ความเร็วของหัววัดขณะที่ตกลงบนตัวอย่าง 3 มิลลิเมตรวินาที
- ความเร็วของหัววัดที่ถอนขึ้นหลังจากวัดตัวอย่างแล้ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที
- ระยะทางที่หัววัดตกลงบนตัวอย่างจากผิวบนลงไป 3 มิลลิเมตรต่อวินาที จึงหยุด

กต



ภาพที่ 24 ภาพแสดงเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser.TA-XT2i

ภาคผนวก ข

การประเมินทางประสาทสัมผัส

### แบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ..... ชุดที่.....  
ชื่อผลิตภัณฑ์.....อะราเร่ ..... วันที่.....

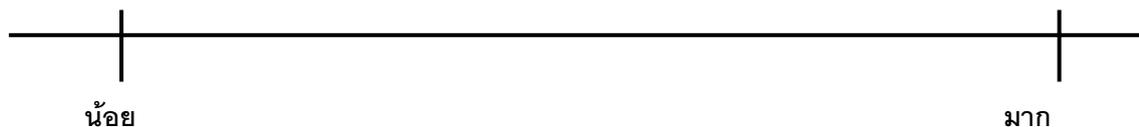
กรุณาประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

โดยทำเครื่องหมาย | ลงบนเส้นที่กำหนดตามความรู้สึกของท่าน แล้วระบุรหัสตัวอย่าง  
แต่ละรหัสเหนือเครื่องหมาย | แต่ละเครื่องหมาย

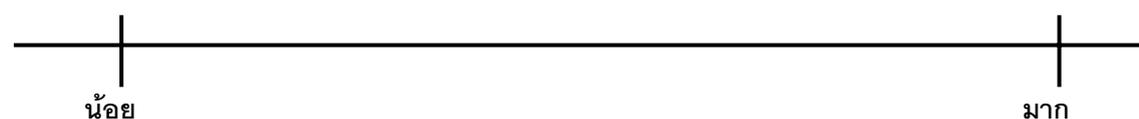
หมายเหตุ: กรุณาตีมน้ำก่อนชิมตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

รหัสตัวอย่าง ..... ..

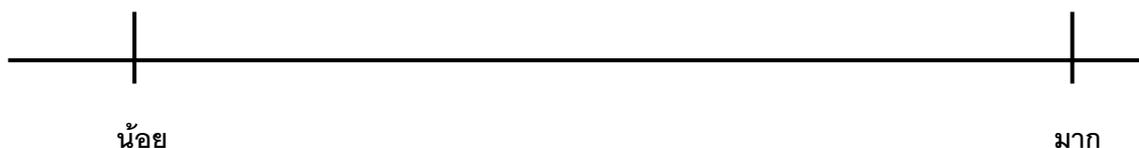
#### ความกรอบ



#### การเกาะติดมือ



#### ความเหนียว(เหน็ด)



ยอมรับ       ไม่สามารถรับได้

ข้อเสนอแนะ

.....  
.....

ขอขอบคุณอย่างสูง

ภาคผนวก ค  
วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความเป็นกรด ต่างของสูตรปรงรส

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.930(a)	6	.155	5.199	.005
Intercept	433.025	1	433.025	14531.048	.000
TRT	.930	6	.155	5.199	.005
Error	.417	14	.030		
Total	434.372	21			
Corrected Total	1.347	20			

ตารางที่ 10 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าของแข็งรวม Brix ของสูตรปรงรส

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.905(a)	6	2.651	13.098	.000
Intercept	85186.012	1	85186.012	420919.118	.000
TRT	15.905	6	2.651	13.098	.000
Error	2.833	14	.202		
Total	85204.750	21			
Corrected Total	18.738	20			

ตารางที่ 11 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความหนืด ของสูตรปรงรส

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1210.869(a)	6	201.811	12.493	.000
Intercept	55090.183	1	55090.183	3410.337	.000
TRT	1210.869	6	201.811	12.493	.000
Error	226.154	14	16.154		
Total	56527.207	21			
Corrected Total	1437.023	20			

ตารางที่ 12 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเร่

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.704(a)	6	.117	1.837	.163
Intercept	94.637	1	94.637	1480.465	.000
TRT	.704	6	.117	1.837	.163
Error	.895	14	.064		
Total	96.236	21			
Corrected Total	1.599	20			

ตารางที่ 13 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าความนำอิสระ Aw ของผลิตภัณฑ์อะราเร่

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.007(a)	6	.001	3.060	.040
Intercept	.847	1	.847	2293.595	.000
TRT	.007	6	.001	3.060	.040
Error	.005	14	.000		
Total	.859	21			
Corrected Total	.012	20			

ตารางที่ 14 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าการเกาะติดของน้ำเชื่อมของผลิตภัณฑ์อะราเร่

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.063(a)	6	1.844	.611	.718
Intercept	2110.012	1	2110.012	699.366	.000
TRT	11.063	6	1.844	.611	.718
Error	42.238	14	3.017		
Total	2163.313	21			
Corrected Total	53.301	20			

ตารางที่ 15 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคมีของสูตรสารเคลือบต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อะราเร่

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8.920(a)	6	1.487	.850	.553
Intercept	4454.196	1	4454.196	2545.262	.000
TRT	8.920	6	1.487	.850	.553
Error	24.500	14	1.750		
Total	4487.616	21			
Corrected Total	33.420	20			

ตารางที่ 16 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความกรอบ (crunchy) ของผลิตภัณฑ์หลังเคลือบ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	64.353(a)	11	5.850	2.980	.019
Intercept	2934.363	1	2934.363	1494.632	.000
TRT	22.240	2	11.120	5.664	.012
REP	42.114	9	4.679	2.383	.056
Error	35.339	18	1.963		
Total	3034.055	30			
Corrected Total	99.692	29			

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความกรอบ (crunchy) ของผลิตภัณฑ์หลังให้ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	176.416(a)	11	16.038	4.448	.003
Intercept	1757.971	1	1757.971	487.569	.000
trt	85.820	2	42.910	11.901	.001
rep	90.597	9	10.066	2.792	.030
Error	64.900	18	3.606		
Total	1999.287	30			
Corrected Total	241.317	29			

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเกาะติดมือ (Sticky) ของผลิตภัณฑ์หลังเคี้ยว

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	117.372(a)	11	10.670	3.360	.011
Intercept	601.933	1	601.933	189.555	.000
TRT	12.558	2	6.279	1.977	.167
REP	104.814	9	11.646	3.667	.009
Error	57.159	18	3.175		
Total	776.463	30			
Corrected Total	174.531	29			

ตารางที่ 19 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเกาะติดมือ (Sticky) ของผลิตภัณฑ์ หลังให้ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	75.193(a)	11	6.836	.894	.563
Intercept	950.344	1	950.344	124.232	.000
trt	14.356	2	7.178	.938	.410
rep	60.837	9	6.760	.884	.557
Error	137.696	18	7.650		
Total	1163.232	30			
Corrected Total	212.888	29			

ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเหนียว (Chewiness) ของผลิตภัณฑ์หลังเคี้ยว

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	74.352(a)	11	6.759	3.874	.005
Intercept	410.700	1	410.700	235.414	.000
TRT	13.287	2	6.644	3.808	.042
REP	61.065	9	6.785	3.889	.007
Error	31.402	18	1.745		
Total	516.455	30			
Corrected Total	105.755	29			

ตารางที่ 21 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเหนียว (Chewiness) ของผลิตภัณฑ์หลังให้  
ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	95.841(a)	11	8.713	1.404	.252
Intercept	852.267	1	852.267	137.380	.000
Trt	31.216	2	15.608	2.516	.109
Rep	64.625	9	7.181	1.157	.376
Error	111.667	18	6.204		
Total	1059.775	30			
Corrected Total	207.508	29			

ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกดสูงสุด Maximum force ของผลิตภัณฑ์หลัง  
เคลือบด้วยเครื่อง Texture Analyzer

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1539.073(a)	2	769.536	2.616	.094
Intercept	160777.830	1	160777.830	546.513	.000
Trt	1539.073	2	769.536	2.616	.094
Error	7060.524	24	294.188		
Total	169377.427	27			
Corrected Total	8599.597	26			

ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกดสูงสุด Maximum force ของผลิตภัณฑ์หลังให้  
ความชื้น 2 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ด้วยเครื่อง Texture Analyzer

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1262.325(a)	2	631.163	1.244	.306
Intercept	306079.956	1	306079.956	603.216	.000
trt	1262.325	2	631.163	1.244	.306
Error	12177.916	24	507.413		
Total	319520.197	27			
Corrected Total	13440.241	26			

ตารางที่ 24 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความกรอบ (crunchy) ของชุดควบคุม ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	84.255(a)	1	84.255	14.166	.001
Intercept	1504.245	1	1504.245	252.903	.000
trt	84.255	1	84.255	14.166	.001
Error	107.062	18	5.948		
Total	1695.563	20			
Corrected Total	191.317	19			

ตารางที่ 25 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการเกาะติด (Sticky) ของชุดควบคุม ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.365(a)	1	38.365	5.931	.026
Intercept	497.005	1	497.005	76.836	.000
trt	38.365	1	38.365	5.931	.026
Error	116.431	18	6.468		
Total	651.800	20			
Corrected Total	154.796	19			

ตารางที่ 26 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ความเหนียว (chewiness) ของชุดควบคุม ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27.848(a)	1	27.848	4.409	.050
Intercept	324.818	1	324.818	51.430	.000
trt	27.848	1	27.848	4.409	.050
Error	113.684	18	6.316		
Total	466.350	20			
Corrected Total	141.532	19			

ตารางที่ 27 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความกรอบ (crunchy) ของชุดที่เคลือบด้วยพัลลูลาน 5% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.200(a)	1	.200	.088	.771
Intercept	2056.392	1	2056.392	901.531	.000
trt	.200	1	.200	.088	.771
Error	41.058	18	2.281		
Total	2097.650	20			
Corrected Total	41.258	19			

ตารางที่ 28 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการเกาะติด (Sticky) ของชุดที่เคลือบด้วยพัลลูลาน 5% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000(a)	1	.000	.000	.997
Intercept	442.270	1	442.270	51.623	.000
trt	.000	1	.000	.000	.997
Error	154.212	18	8.567		
Total	596.483	20			
Corrected Total	154.212	19			

ตารางที่ 29 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความเหนียว (chewiness) ของชุดที่เคลือบด้วยพัลลูลาน 5% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.685(a)	1	.685	.249	.624
Intercept	313.632	1	313.632	114.109	.000
trt	.684	1	.684	.249	.624
Error	49.474	18	2.749		
Total	363.790	20			
Corrected Total	50.158	19			

ตารางที่ 30 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความกรอบ (crunchy) ของชุดที่เคลือบด้วยทรีฮาโลส 10% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	28.800(a)	1	28.800	6.111	.024
Intercept	1126.500	1	1126.500	239.033	.000
trt	28.800	1	28.800	6.111	.024
Error	84.830	18	4.713		
Total	1240.130	20			
Corrected Total	113.629	19			

ตารางที่ 31 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการเกาะติด (Sticky) ของชุดที่เคลือบด้วยทรีฮาโลส 10% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.258(a)	1	2.258	.452	.510
Intercept	599.294	1	599.294	120.043	.000
trt	2.258	1	2.258	.452	.510
Error	89.862	18	4.992		
Total	691.413	20			
Corrected Total	92.120	19			

ตารางที่ 32 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสความเหนียว (chewiness) ของชุดที่เคลือบด้วยทรีฮาโลส 10% ภายหลังจากเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% 2 ชั่วโมง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23.328(a)	1	23.328	3.976	.062
Intercept	617.161	1	617.161	105.196	.000
trt	23.328	1	23.328	3.976	.062
Error	105.601	18	5.867		
Total	746.090	20			
Corrected Total	128.930	19			

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวอัจฉรา มาติยา
ที่อยู่	39/700 แขวงสามตำ เขตบางขุนเทียน จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10150
ที่ทำงาน	บริษัท เอสเอ็มทีซี จำกัด ตำบลสำโรง อำเภอพระ ประแดง จังหวัดสมุทรปราการ โทรศัพท์ (02)7484265
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2537	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอก เทคโนโลยีชีวภาพ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2550	ศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยี อาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2537-ปัจจุบัน	ผู้จัดการวิจัยพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพ บริษัท เอสเอ็มทีซี จำกัด