

การผลิตสารขม้นตำปะหลังออกซิดซ์-พรีเจลาติไนซ์เพื่อเป็นสารเพิ่มการเกาะติดในแป้งชุบทอด



นางสาววนิดา เฝอญุโชค

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6761-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF OXIDIZED-PREGELATINIZED TAPIOCA STARCH  
FOR USE AS BINDING AGENT IN BATTERS

Miss Wanida Phaoenchoke



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6761-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์เพื่อเป็นสารเพิ่ม  
การเกาะติดในแป้งชุบทอด  
โดย                              นางสาววนิดา เผอญูโชค  
สาขาวิชา                      เทคโนโลยีทางอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษา              อาจารย์ ดร.จิรรัตน์ ทัดติยกุล  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม        รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณฯ ตูลยธัญ

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.จิรรัตน์ ทัดติยกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณฯ ตูลยธัญ)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช)

วนิดา เพ็ญโชค : การผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์เพื่อเป็นสารเพิ่มการเกาะติดในแป้งชุบทอด. (PRODUCTION OF OXIDIZED-PREGELATINIZED TAPIOCA STARCH FOR USE AS BINDING AGENT IN BATTERS) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.จิรรัตน์ ทัดติยกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.วรรณ คุลยัญญ 152 หน้า. ISBN 974-17-6761-7.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติและการใช้สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0–5.0%CI) เพื่อเป็นสารเพิ่มการเกาะติดของแป้งชุบทอด จากการศึกษาสมบัติของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ พบว่ามีความหนืดน้อยกว่าและมีอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร เมื่อระดับออกซิเดชันสูงขึ้นสตาร์ชออกซิไดซ์มีค่าการระเหยน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) มีกำลังการพองตัวลดลง มีค่าการละลายน้ำสูงขึ้น ส่วนในสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ พบว่าเมื่อระดับออกซิเดชันสูงขึ้นมีค่าการระเหยน้ำลดลง ค่าการละลายน้ำสูงขึ้น และค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ ) ลดลง จากการศึกษาการใช้สตาร์ชออกซิไดซ์และสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในแป้งชุบทอดโดยการแทนที่แป้งสาลีในสูตรที่ระดับ 5 และ 15% (w/w) อัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 1:1.5 ตรวจสอบสมบัติทางการไหลของน้ำแป้งชุบที่ shear rate  $1-100 \text{ s}^{-1}$  อุณหภูมิ  $25^{\circ}C$  พบว่าน้ำแป้งชุบมีลักษณะทางการไหลแบบ Pseudoplastic และ Thixotropic โดยแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์แทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นมีค่า yield stress ( $\sigma_0$ ) consistency index (K) และ  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  ลดลง สูตรแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์แทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นมีค่า  $\sigma_0$ , K และ  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มลดลงที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอดมีความสัมพันธ์กับค่า  $\sigma_0$ , K และ  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด (bulk density) ของสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์มีค่าใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน ยกเว้นสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5%CI แทนที่แป้งสาลี 5% ที่มีค่า bulk density น้อยกว่า ในขณะที่สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มีค่า bulk density ของก้อนแป้งทอดต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน แป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์และสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มีค่าการดูดซับน้ำมันสูงกว่าสูตรมาตรฐาน และมีแนวโน้มการดูดซับน้ำมันลดลงในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นและสูตรที่ผสมสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชไม่ดัดแปร ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์มีความกรอบน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน ส่วนสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มีลักษณะกรอบเปราะ การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งชุบสูตรที่มีค่าความกรอบ (slope, g/mm) และค่าความแข็ง (hardness, g) ใกล้เคียงกับแป้งชุบสูตรมาตรฐาน มีคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI แทนที่แป้งสาลี 10% ที่มีคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับโดยรวมที่ต่ำกว่า

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4572645223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : OXIDIZED STARCH / OXIDIZED-PREGELATINIZED STARCH / BATTER /  
TAPIOCA STARCH / BINDING AGENT

WANIDA PHAOENCHOKE : PRODUCTION OF OXIDIZED-PREGELATINIZED TAPIOCA  
STARCH FOR USE AS BINDING AGENT IN BATTERS THESIS ADVISOR : PROF. JIRARAT  
TATTIYAKUL, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. WANNA TULAYATAN, Ph.D.,  
152 pp. ISBN 974-17-6761-7.

The objective of this research was to investigate the functional properties of oxidized and oxidized-pregelatinized tapioca starch for use as binding agent in batters. The oxidized tapioca starches (1.5-5.0%Cl) investigated had lower viscosity and higher gelatinization temperature than the native tapioca starch. At high level of oxidation, oxidized starches had no significant difference ( $p > 0.05$ ) in water absorption index (WAI), lower swelling power, and higher water solubility index (WSI) compared to those at lower level of oxidation. For oxidized-pregelatinized starch, an increase in oxidation level caused a decrease in WAI, an increase in WSI, and a decrease in apparent viscosity ( $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ ). Substitution of wheat flour by oxidized starch and oxidized-pregelatinized starch was done at 5, 10 and 15% (w/w) levels in standard wheat flour-based batter (STDB). The batters were prepared at a solid-to-water ratio of :1.5. Rheological properties of the batters; STDB, batter with oxidized starch substitution (OB), and batter with oxidized-pregelatinized starch substitution (OPB), were evaluated at a shear rate range  $1 - 100 \text{ s}^{-1}$  and  $25^{\circ}C$ . It was found that the batters were Pseudoplastic and Thixotropic. An increase in oxidized starch substitution level in batters caused a decrease in yield stress ( $\sigma_0$ ) consistency index (K) and  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  whereas an increase in oxidized-pregelatinized starch substitution level in the batters resulted in an increase in  $\sigma_0$ , K and  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ . But the substitution of oxidized-pregelatinized starch which had high level of oxidation (3.0-5.0%Cl) caused a decrease in  $\sigma_0$ , K and  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ . It was found that  $\sigma_0$ , K and  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  related well with batter pickup and fry pickup-batter of battered chicken and carrot products. Bulk density of the fried OBs (1.5-5.0%Cl, 5-15%substitution levels) had no significant difference with that of fried STDB except the fried OB (1.5%Cl, 5%substitution level) which had lower bulk density while fried OPBs (0.0-5.0%Cl, 5-15%substitution levels) had lower bulk density compared to fried STDB. A substitution of oxidized and oxidized-pregelatinized starch at all oxidation level and substitution level also caused an increase in oil absorption level compared to STDB. However the oil absorption of the batters decreased when substituted with oxidized starch and pregelatinized native starch having high level of oxidation (3.0-5.0%Cl). The fried OBs were less or similarly crispy compared to STDB whereas fried OPBs were brittle with lower hardness. Sensory evaluation of deep fried battered product, which had a comparable slope and hardness with that of STDB, had a total acceptance score of no significant difference ( $p > 0.05$ ) compared to STDB, except the fried OPB (3.0%Cl, 10%substitution level) which had lower total acceptance score.

Department.....Food Technology.....  
Field of study.....Food Technology.....  
Academic year.....2004.....

Student's signature.....  
Advisor's signature.....  
Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดีจาก อ.ดร.จิราวัฒน์ ทัดติยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.วรรณมาศ ตูลยธัญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณพระคุณ ผศ.ดร.สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์ อ.ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อ.ดร.ชนจันทร์ มหาวนิช ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้ความรู้ ข้อคิดเห็น รวมทั้งวิเคราะห์ประเด็นผลการทดลอง ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญาโทและวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัท สวงวนวงศ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ที่สนับสนุนวัสดุดิบในงานวิจัย

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนในด้านการศึกษา และการเลี้ยงดูที่ดี และขอขอบคุณ ญาติ พี่น้อง เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ระดับปริญญาโททุกท่าน และ นายกิตติ ทวีปัญญาศ ที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	23
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	118
รายการอ้างอิง.....	122
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	131
ภาคผนวก ข.....	140
ภาคผนวก ค.....	142
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	152

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แป้งชูบทอดสูตรมาตรฐาน.....28
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่ดัดแปร.....33
4.2	ปริมาณคาร์บอนิลและปริมาณคาร์บอกซิลของสตาร์ชออกซิไดซ์.....34
4.3	ค่าสีของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี.....35
4.4	ครรชนิการดูดซับน้ำและครรชนิการละลายน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิห้อง..... 36
4.5	กำลังการพองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C.....38
4.6	ความสามารถในการละลายของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C.....39
4.7	สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี.....41
4.8	สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....43
4.9	ค่าความหนาแน่นและค่าครรชนิการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ และแป้งสาลี..... 44
4.10	ครรชนิการดูดซับน้ำและครรชนิการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของแป้งชูบทอด ที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....45
4.11	สมบัติทางการไหลของน้ำแป้งชูบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ ที่ shear rate 1-100 (s <sup>-1</sup> ) อุณหภูมิ 25 °C.....48
4.12	ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....53
4.13	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบและเปลือกแป้งทอดที่ผสม สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....55
4.14	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบและเปลือกแป้งทอดที่ผสม สตาร์ชออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทชูบแป้งทอด.....58
4.15	ค่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ใน ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....61
4.16	ค่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ใน ผลิตภัณฑ์แคโรทชูบแป้งทอด.....62



4.17	ความขึ้นของไถ่หลังทอดและความขึ้นของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ช มันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไถ่ชุบแป้งทอด.....	64
4.18	ความขึ้นของแครอทหลังทอดและความขึ้นของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ช มันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด.....	66
4.19	การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ ในผลิตภัณฑ์ไถ่ชุบแป้งทอด.....	68
4.20	การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด.....	70
4.21	ค่าเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ ในผลิตภัณฑ์ไถ่ชุบแป้งทอด.....	72
4.22	ค่าเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด.....	74
4.23	ปริมาณความขึ้นและค่าสีของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์.....	76
4.24	ค่าดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิห้อง.....	77
4.25	ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์.....	78
4.26	ค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ที่อัตราเลื่อน $20 \text{ s}^{-1}$ อุณหภูมิ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	79
4.27	ดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของแป้งชุบทอดที่ ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์.....	81
4.28	สมบัติทางการไหลของน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ที่ shear rate $1-100 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ อุณหภูมิ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	84
4.29	ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์.....	89
4.30	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ช มันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไถ่ชุบแป้งทอด.....	91
4.31	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ช มันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด.....	95

4.32	ค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	98
4.33	ค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ในผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอด.....	100
4.34	ความชื้นของไก่หลังทอดและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	102
4.35	ความชื้นของแคโรทหลังทอดและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอด.....	104
4.36	ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	106
4.37	ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอด.....	107
4.38	ผลลัษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์.....	109
4.39	ผลลัษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์.....	111
4.40	คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	113
4.41	คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอด.....	116

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ปฏิกิริยาการเกิด dialdehyde starch และ dicarboxyl starch.....4
2.2	ผลของ pH ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....6
2.3	ชนิดของกระบวนการทอด (a) shallow frying (b) deep-fat frying.....14
2.4	ลักษณะอาหารในน้ำมันขณะทอดเมื่อตัดตามขวางของชิ้นอาหาร.....15
2.5	รูปแบบการทอดของอาหารชุบแป้งทอด.....15
2.6	ลักษณะทางการไหลแบบ time-dependent non-Newtonian fluid.....22
3.1	กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ช.....26
4.1	กำลังการพองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (0.0 – 5.0%CI)และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C.....38
4.2	ความสามารถในการละลายของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C.....40
4.3	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี.....42
4.4	ดรรรชนีการดูดซับน้ำของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....46
4.5	ดรรรชนีการละลายน้ำของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....46
4.6	ค่า yield stress ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....49
4.7	ค่าความหนืดปรากฏของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....49
4.8	ค่า flow behavior index (n) ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....51
4.9	ค่า hysteresis loop ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์.....51
4.10	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ใน ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....56
4.11	ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ใน ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....56
4.12	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ใน ผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอด.....59
4.13	ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ใน ผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอด.....59
4.14	ดรรรชนีการดูดซับน้ำของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์.....82

4.15	ดรชนีการละลายน้ำของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์.....	82
4.16	ค่า yield stress ของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์....	85
4.17	ค่าความหนืดปรากฏของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์.....	86
4.18	ค่า hysteresis loop ของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์.....	88
4.19	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	92
4.20	ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	93
4.21	ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทชูบแป้งทอด.....	96
4.22	ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทชูบแป้งทอด.....	96
ก.1	pasting curve ของสตาร์ชที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA.....	138
ค.1	ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไดซ์ ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	142
ค.2	ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไดซ์ ในผลิตภัณฑ์แคโรทชูบแป้งทอด.....	144
ค.3	ค่า flow behavior index ของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์.....	146
ค.4	ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์.....	146
ค.5	การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	147
ค.6	การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทชูบแป้งทอด.....	147
ค.7	ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาตีไนซ์ ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด.....	148

ค.8 คำลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาดีนซ์  
ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด.....150



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 1

### บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2547 พบว่าผลผลิตหัวมันสดทั่วประเทศมีปริมาณ 22,192,509 ตัน (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2548) จากผลผลิตที่มีปริมาณมากและราคาขายหัวมันสดที่ต่ำทำให้อุตสาหกรรมมันสำปะหลังของประเทศไทยประสบปัญหาทางการตลาดและการผลิต ดังนั้นจึงได้มีการนำมันสำปะหลังมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์นอกเหนือจากการบริโภคโดยตรง เช่น การแปรรูปมันสำปะหลังเป็นมันเส้น มันอัดเม็ดและการผลิตสตาร์ชมันสำปะหลัง ในส่วนอุตสาหกรรมสตาร์ชมันสำปะหลังพบว่าประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก สตาร์ชมันสำปะหลังมีสมบัติที่ดี คือ มีความขาว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความบริสุทธิ์สูง และมีสิ่งปนเปื้อนต่ำเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในอาหาร โดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด เพิ่มความคงตัว เพิ่มเนื้อสัมผัส ดูดซับน้ำหรือน้ำมัน และป้องกันการแยกตัวของส่วนผสม แต่จากการที่สตาร์ชมันสำปะหลังมีสมบัติเฉพาะตัวซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการต่อการใช้ในระดับอุตสาหกรรมและจากการแข่งขันที่สูงของโรงงานผู้ผลิตสตาร์ชมันสำปะหลัง จึงได้มีการดัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังเพื่อให้มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้

ในผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอดนิยมใช้สตาร์ชดัดแปรเป็นส่วนผสมเพื่อให้แป้งชูบทอดมีสมบัติเฉพาะตามต้องการ (Suderman and Cunningham, 1983) สตาร์ชออกซิไดซ์เป็นสตาร์ชดัดแปรทางเคมีผลิตโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างสตาร์ชกับสารออกซิไดซ์ทำให้สตาร์ชมีสมบัติทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนแปลงไป คือ สตาร์ชมีหมู่คาร์บอกซิลและหมู่คาร์บอนิลในโมเลกุลทำให้ขัดขวางการรวมตัวของสายอะมิโลสหลังปรุงสุก paste ที่ร้อนจะมีความหนืดลดลง เจลที่ได้มีความคงตัวสูง สตาร์ชมีสีขาวขุ่นและมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ในด้านสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์มีสมบัติการเกาะติดและขึ้นรูปฟิล์มที่ดี จึงสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในแป้งชูบทอดได้ (Rutenberg and Solarek, 1984) เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสตาร์ชและน้ำทำให้สตาร์ชมีสมบัติการเกาะติดที่ดีกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร (Kaukpetoon and Wang, 2001) และเกิดจากการที่หมู่แอลดีไฮด์ของสตาร์ชออกซิไดซ์ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชในแป้งชูบทอด และหมู่อะมิโนอิสระของโปรตีนในกรณีอาหารที่ใช้ชูบเป็นเนื้อสัตว์ (Mukprasirt et al., 2000) จากการศึกษาของ Mukprasirt และคณะ (2001) พบว่าการใช้สตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์เป็นส่วนผสมในแป้งชูบทอดจะทำให้ปริมาณการเกาะติดของน้ำแป้งชูบ (batter pickup) ต่ำลง

เนื่องจาก ผลของ depolymerization ของสตาร์ชทำให้สตาร์ชมีความหนืดลดลง ดังนั้นการตัดแปรรสตาร์ชออกซิไคซ์ร่วมกับวิธีพรีเจลาติไนเซชันจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะปรับปรุงสมบัติการเกาะติดของน้ำแป้งชูบให้มีปริมาณการเกาะติดที่สูงขึ้น สตาร์ชพรีเจลาติไนเซชันเป็นสตาร์ชตัดแปรทางกายภาพผลิตโดยการให้ความร้อนแก่สารละลายสตาร์ชจนสตาร์ชสุกหรือเกิดเจลาติไนเซชันแล้วทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้ง (Powell, 1967) สตาร์ชพรีเจลาติไนเซชันมีสมบัติในการละลาย การกระจายตัวได้ในน้ำเย็นและให้ความข้นหนืดได้ทันทีที่อุณหภูมิห้อง เมื่อผสมสตาร์ชพรีเจลาติไนเซชันในแป้งชูบทอดจะทำให้แป้งเกาะติดชิ้นอาหารดีขึ้น ดังนั้นจึงมีแนวคิดเพื่อศึกษาการใช้สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไคซ์เป็นสารเพิ่มการเกาะติดของแป้งชูบทอด และผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไคซ์-พรีเจลาติไนซ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 การตัดแปรรสตา์ชด้วยวิธีออกซิเดชัน

การตัดแปรรสตา์ชด้วยวิธีออกซิเดชันเป็นการตัดแปรรทางเคมี โดยการใส่สารออกซิไดซ์ทำปฏิกิริยากับสตา์ช ทำให้โครงสร้าง สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของสตา์ชเปลี่ยนแปลงไป ในการผลิตสตา์ชออกซิไดซ์ในอุตสาหกรรมอาหาร สตา์ชจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนในรูปแบบของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ไม่เกินร้อยละ 5.5 และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีหมู่คาร์บอกซิลไม่เกิน 1.1% (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535) การผลิตทำโดยการเตรียมสารละลายสตา์ชเข้มข้น 33 – 44% ของน้ำหนักสตา์ชแห้ง (Rutenberg and Solarek, 1984) เติมน้ำตาลละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ปริมาณที่ใช้วัดเป็น available chlorine (%) ต่อน้ำหนักสตา์ชแห้ง เมื่อเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะเกิดปฏิกิริยากับเม็ดสตา์ชดังนี้



หลังจากเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์จนได้ระดับที่ต้องการแล้ว ปรับ pH ของสารละลายสตา์ชให้ เป็นกลางหรือกรดเล็กน้อยแล้วเติมน้ำรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไบซัลไฟท์หรือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากนั้นล้างสารละลายสตา์ช แล้วอบแห้งด้วย hot-air dryer จนได้ความชื้นที่คงที่

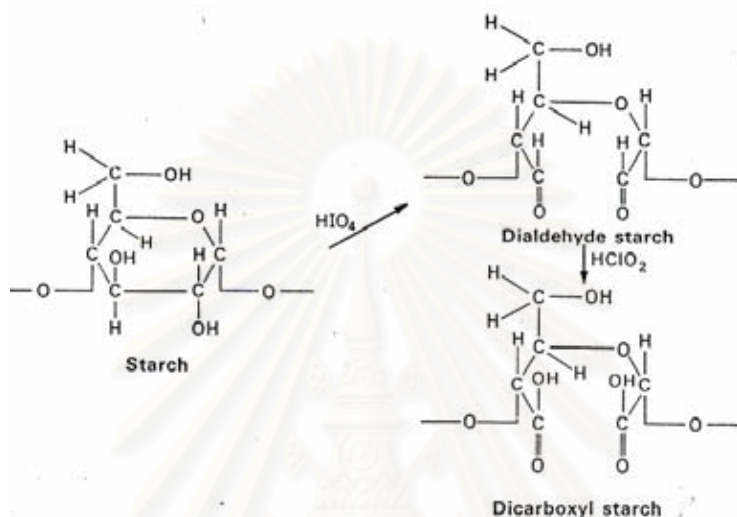
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสตา์ชจะเกิดแบบสุ่ม โดยโมเลกุลสตา์ชจะถูกออกซิไดซ์ เป็นหมู่แอลดีไฮด์ คีโตน หรือคาร์บอกซิล ตามทฤษฎีแล้วสามารถเกิดได้ 4 แบบ คือ

1. ออกซิเดชันของหมู่ aldehydic reducing end ไปเป็นหมู่คาร์บอกซิล
2. ออกซิเดชันของ primary hydroxyl ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ไปเป็นหมู่คาร์บอกซิล ในรูป uronic acid
3. ออกซิเดชันของ secondary hydroxyl ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 3 และ 4 ไปเป็นหมู่คีโตน
4. ออกซิเดชันของหมู่ glycol (หมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3) ไปเป็น aldehydic และเปลี่ยนเป็นหมู่คาร์บอกซิล

เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอะมิโลส และอะมิโลเพกติน พบว่าคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 มีบทบาทน้อยมากต่อการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากเป็นหมู่ reducing end และ non reducing end ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอะมิโลสโดยส่วนใหญ่จะเกิดที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 3 และ 6 ส่วนอะมิโลเพกตินเกิดที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 โดยหมู่ไฮดรอกซิล



ลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในโมเลกุลของอะมิโลเพกตินไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ เนื่องจากมีการมีพันธะแบบ (1,6) ในการผลิตสตาร์ชออกซิไดซ์ทางการค้าจะควบคุมให้มี pH 7 – 8 โดยหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ/ หรือคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 จะมีแนวโน้มเปลี่ยนเป็นหมู่คาร์บอกซิล และเมื่อทำปฏิกิริยาต่อ พันธะระหว่างคาร์บอนที่ 2 และ 3 จะแตกออกได้ dicarboxyl starch ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเกิด dialdehyde starch และ dicarboxyl starch  
ที่มา : Knight (1969)

## 2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

### 2.1.1.1 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์เพิ่มขึ้น ระดับออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูปของหมู่คาร์บอกซิลจะมีปริมาณมากขึ้น สมเกียรติ เกียรติกิตติกุล (2534) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังด้วยวิธีสร้างพันธะเชื่อมขวางร่วมกับวิธีออกซิเดชัน โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์เข้มข้น 3 4 และ 5% (w/w) Kuakpetoon และ Wang (2001) ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชมันฝรั่งออกซิไดซ์ สตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์ และสตาร์ชข้าวออกซิไดซ์ ดัดแปรที่สภาวะสารละลายสตาร์ชเข้มข้น 40% (w/w) pH 9.5 อุณหภูมิ 35 °C โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์เข้มข้น 0.8 และ 2% (Cl/dry starch, w/w) Wang และ Wang (2003) ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์ และสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิไดซ์ ดัดแปรที่สภาวะสารละลายสตาร์ชเข้มข้น 35% (w/w) pH 9.5 อุณหภูมิ 35 °C โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์เข้มข้น

0.25 – 3.00% (Cl/dry starch, w/w) จากการศึกษาเหล่านี้พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ปริมาณหมูคาร์บอกซิลจะเพิ่มมากขึ้น

### 2.1.1.2 ชนิดของสตาร์ช

สตาร์ชที่สกัดจากพืชหัวมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสตาร์ชจากธัญพืช เนื่องจากความหนาแน่นของผลึกโมเลกุลของสตาร์ชในกลุ่มพืชหัวเป็นแบบ B-type ซึ่งมีความหนาแน่นของผลึกน้อยกว่าแบบ A-type ที่พบได้ในสตาร์ชธัญพืช ทำให้สารออกซิไดซ์ทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า (Forssell et al., 1995; Kuakpetoon and Wang, 2001) สตาร์ชของพืชที่มีความแตกต่างทางสายพันธุ์จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน Wang และ Wang (2003) ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์ และสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิไดซ์ พบว่าสตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิไดซ์ เนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียว ทำให้มีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่า เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดได้ดีในบริเวณออสติฐานซึ่งมีอะมิโลสอยู่ (Kuakpetoon and Wang, 2001)

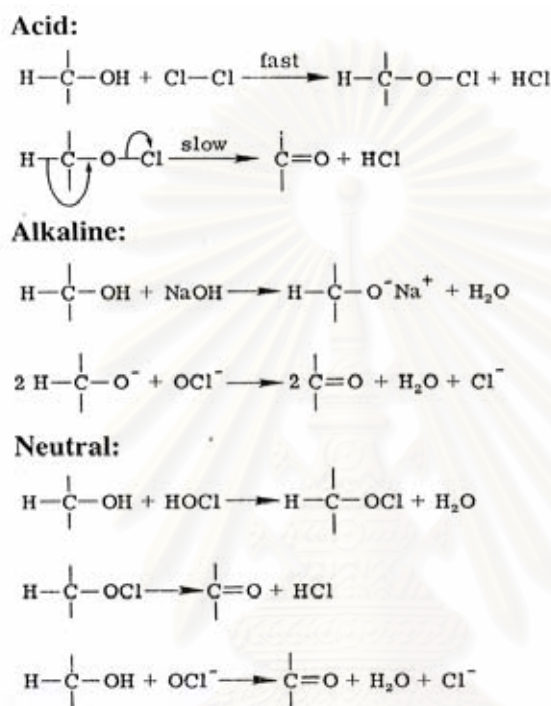
### 2.1.1.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งได้จากร้อนจากการดูดซับความร้อนจากการสลายตัวของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาต้องระวังความร้อนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจทำให้สตาร์ชพองตัวและละลาย เกิดการสูญเสียสตาร์ชในขั้นตอนการล้างนอกเหนือจากการสูญเสียจากการทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ โดยทั่วไปในการทำปฏิกิริยาจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21 – 38 °C (Rutenberg and Solarek, 1984)

### 2.1.1.4 ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดออกซิเดชัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อทำในสภาวะกรดสูงหรือด่างสูง ในสภาวะกรด ไฮโปคลอไรท์จะสลายตัวเป็นคลอรีนอย่างรวดเร็วและทำปฏิกิริยากับหมูไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชเกิดเป็นโครงสร้างของไฮโปคลอไรท์เอสเทอร์และไฮโดรคลอริก ดังรูปที่ 2.2 สารประกอบเอสเทอร์จะสลายตัวเป็นหมู่คีโตนและไฮโดรคลอริก ทั้งสองขั้นตอนนี้อะตอมของไฮโดรเจนจะถูกปลดปล่อยจากอะตอมของออกซิเจนและคาร์บอน การปลดปล่อยโปรตอนจะทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา ในสภาวะด่าง การเพิ่ม pH จะทำให้โมเลกุลสตาร์ชและไฮโปคลอไรท์

แตกตัวกลายเป็นประจุลบซึ่งเป็นการยากในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากแรงผลักระหว่างประจุลบทั้งสองตัว ในสถานะเป็นกลางหรือกรดอ่อนหรือด่างอ่อน โซเดียมไฮโปคลอไรท์จะไม่แตกตัวและจะทำปฏิกิริยากับสตาร์ชได้เอสเทอร์และน้ำ ต่อจากนั้นเอสเทอร์จะสลายตัวได้สตาร์ชออกซิไดซ์และกรดไฮโดรคลอริก และประจุลบของไฮโปคลอไรท์จะสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชในลักษณะเดียวกัน (Rutenberg and Solarek, 1984)



**รูปที่ 2.2** ผลของ pH ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : Rutenberg and Solarek (1984)

## 2.1.2 สมบัติของสตาร์ชออกซิไดซ์

### 2.1.2.1 สมบัติทางเคมี

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลสตาร์ชให้เป็นหมู่แอลดีไฮด์ หมู่คีโตน หรือหมู่คาร์บอกซิลซึ่งมีบทบาทอย่างมากต่อสมบัติของสตาร์ชออกซิไดซ์ เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลและหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการรวมตัวของสายอะมิโลสหลังปรุงสุก ทำให้การเกิดริโทรเกรเดชันลดลง และ paste ของสตาร์ชออกซิไดซ์มีความใสมากขึ้น นอกจากนี้ยังเกิด depolymerization ของสายอะมิโลสและอะมิโลเพกติน โดยอะมิโลสจะถูก

degrade เร็วกว่าที่ระยะแรกของการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งการตัดพันธะนี้ทำให้สตาร์ชออกซิเดชันมีความหนืดลดลง (Rutenberg and Solarek, 1984)

### 2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพ

ก. ลักษณะเม็ดสตาร์ช สตาร์ชออกซิเดชันจะมีสีขาวขึ้น เนื่องจากไฮโปคลอไรท์ที่มีสมบัติในการฟอกสี โดยที่ระดับความขาวจะเพิ่มตามระดับออกซิเดชันที่สูงขึ้น แต่สตาร์ชออกซิเดชันมีความไวต่อความร้อนจากการมีหมู่แอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในโมเลกุล ดังนั้นการอบแห้งสตาร์ชที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือการเก็บสตาร์ชไว้นานๆจะทำให้สตาร์ชออกซิเดชันมีสีคล้ำมากขึ้น (Rutenberg and Solarek, 1984) เม็ดสตาร์ชออกซิเดชันมีความคล้ายคลึงกับเม็ดสตาร์ชไม่ดัดแปร สมบัติ polarization และการยอมสีไอโอดีนคงเดิม ส่วนโครงสร้างผลึกไม่เปลี่ยนแปลง สตาร์ชออกซิเดชันมีความไวต่อเมทิลีนบลูและสีย้อมประจุบวก เนื่องจากการมีประจุลบของหมู่คาร์บอกซิล (Wurzberg, 1986)

ข. กำลังการพองตัวและการละลาย ผลของออกซิเดชันจะทำให้เม็ดสตาร์ชมีรอยแตกตามแนวรัศมีจากการทำปฏิกิริยาของสารออกซิเดชัน เมื่อให้ความร้อนเม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่จะแตกเป็นส่วนเล็กๆ และละลายในสารละลายมากกว่าที่จะพองตัวเหมือนสตาร์ชไม่ดัดแปรทั่วไป (Wurzberg, 1986) ดังนั้นกำลังการพองตัวของสตาร์ชออกซิเดชันจึงมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร Adebawale, Afolabi และ Lawal (2002) ศึกษากำลังการพองตัวของสตาร์ชออกซิเดชัน bambara groundnut พบว่ามีค่าต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร ในขณะที่ค่าการละลายมีค่าที่สูงกว่า Wang และ Wang (2003) พบว่าสตาร์ชข้าวโพดออกซิเดชัน มีความสามารถในการพองตัวต่ำที่อุณหภูมิ 95 °C ขณะที่สตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิเดชันมีความสามารถในการพองตัวต่ำทุกอุณหภูมิเมื่อเทียบกับสตาร์ชไม่ดัดแปร การละลายของสตาร์ชข้าวโพดออกซิเดชันและสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิเดชัน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับออกซิเดชันที่สูงขึ้นและมีค่าการละลายสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร ยกเว้นสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิเดชันที่ระดับออกซิเดชันต่ำ ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 85 °C และ 95 °C สตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิเดชันมีค่าการละลายน้อย เนื่องจากการมีสมบัติคล้ายกับ crosslink starch ทำให้สามารถป้องกันการละลายของอะมิโลเพกตินได้และเมื่อเทียบกับสตาร์ชข้าวโพดออกซิเดชัน พบว่ามีค่าการละลายที่สูงกว่าเนื่องจากอะมิโลสถูกตัดสายได้ง่ายกว่า เมื่อพิจารณาที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น ค่าการละลายของสตาร์ชทั้งสองจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากการตัดสายทั้งส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพกติน

ค. ความหนืด ผลของออกซิเดชันทำให้เกิด depolymerization ในโมเลกุลสตาร์ชทำให้สตาร์ชออกซิเดชันมีความหนืดขณะร้อนลดลง Kuakpetoon และ Wang (2001) ศึกษาสตาร์ชออกซิเดชันจากมันฝรั่ง ข้าวและข้าวโพด และ Wang และ Wang (2003) ศึกษาสตาร์ชข้าวโพดออกซิเดชันและสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิเดชัน พบว่าสตาร์ชออกซิเดชันจะมี pasting

temperature ลดลง และที่ระดับออกซิเดชันต่ำ peak viscosity ของสตาร์ชออกซิไดซ์จะสูงกว่า สตาร์ชไม่ดัดแปร เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลซึ่งแสดงสมบัติ hydrophilic หรือเกิดจากการมีหมู่แอลดีไฮด์ในระยะเวลาแรกของการเกิดออกซิเดชันทำให้เกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล เป็นผลให้สตาร์ชมีความเสถียรต่อแรงกล ยกเว้นสตาร์ชออกซิไดซ์จากมันฝรั่งที่พบว่า peak viscosity ต่ำเนื่องจากสตาร์ชมันฝรั่งมีความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน เมื่อระดับออกซิเดชันสูงขึ้นพบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์มี peak viscosity ลดลง เนื่องจากการตัดสายภายในโมเลกุลสตาร์ชทำให้ สตาร์ชออกซิไดซ์มีความหนืดลดลง

ง. อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชัน สตาร์ชออกซิไดซ์จะเกิดเจลลิตีในเซชัน ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร ยกเว้นที่ระดับออกซิเดชันต่ำๆอาจมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชัน สูงกว่าได้ (Wurzburg, 1986) Wang และ Wang (2003) พบว่าสตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์และ สตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิไดซ์มีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงที่ระดับออกซิเดชันต่ำและมีแนวโน้มลดลงที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการตัดสายโมเลกุลของสตาร์ชในส่วนผลึก

### 2.1.2.3 สมบัติเชิงหน้าที่

ก. สมบัติการเกาะติด สตาร์ชออกซิไดซ์มีสมบัติการเกาะติดที่สูงกว่า สตาร์ชไม่ดัดแปร เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นจะสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสตาร์ชและ น้ำ Kuakpetoon และ Wang (2001) ศึกษาสมบัติการเกาะติดของสตาร์ชออกซิไดซ์จากมันฝรั่ง ข้าวและข้าวโพด พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์ทั้งสามชนิดมีสมบัติการเกาะติดสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร

ข. สมบัติการขึ้นรูปฟิล์ม (film-forming) สตาร์ชออกซิไดซ์สามารถ ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แข็งและมีความใสมากขึ้น มีแนวโน้มในการหดตัว หรือแตกน้อยกว่าฟิล์มที่ได้จากสตาร์ชข่อยด้วยกรดหรือสตาร์ชไม่ดัดแปร ฟิล์มที่ได้จากสตาร์ช ออกซิไดซ์จะมีความสามารถในการละลายน้ำได้มากกว่า เนื่องจากการมีสมบัติชอบน้ำของหมู่ คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Scallet and Sowell, 1967)

### 2.1.3 การใช้สตาร์ชออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากสมบัติการขึ้นรูปฟิล์มที่ดีของสตาร์ชออกซิไดซ์จึงสามารถใช้สตาร์ชออกซิไดซ์ ทดแทนสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ได้ Chattopadhyaya, Singhal และ Kulkarni (1998) ศึกษา การใช้สตาร์ชออกซิไดซ์เพื่อทดแทนกัมอะราบิกในการทำ flavor encapsulation พบว่าร้อยละ ของการ encapsulate vanillin ในสตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์และสตาร์ช amaranth ออกซิไดซ์มีค่า ดีกว่ากัมอะราบิก และข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ มีสีขาว ไม่ดูความชื้น

Barrett และคณะ (2000, 2002, 2003) ผลิต chewing confectionery โดยใช้ สตาร์ชออกซิไดซ์จากสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งผสมร่วมกับกัมอะราบิกเพื่อทดแทนการใช้

เจลาติน การผลิตทำโดยให้ความร้อนแก่สารละลายสตาร์ชออกซิไดซ์จนเกิดเจลาตินไนซ์ และผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่เจลาตินไนซ์แล้วกับน้ำตาล กลูโคสซีรับ และส่วนผสมอื่นๆแล้วนำมาขึ้นรูป ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้สามารถเคี้ยวได้ยาวนาน (chewy)

Wargoeki, Wu และ Kunerth (2003) ศึกษาการใช้ฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชมันฝรั่งออกซิไดซ์ ผสมกับเจลาตินในอัตราส่วน 75/25 ถึง 25/75 เพื่อนำมาใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ด้วยวิธี electrostatic ได้ฟิล์มที่บางและมีลักษณะที่ดีกว่าการใช้เจลาตินกับสตาร์ชที่ไม่ตัดแปรหรือการใช้เจลาตินเพียงอย่างเดียว

จากสมบัติด้านความเหนียวที่ต่ำจึงใช้เป็นส่วนผสมในอาหารบรรจุกระป๋องที่ผ่านความร้อนสูงเพื่อยับยั้งการคืนตัวของน้ำแข็งกลับ (retrogradation) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวสุดท้ายตามต้องการ (Eastman, 1977; Chang et al., 1993; Cheuk and Dierking, 2003 )

การใช้ประโยชน์อื่นๆในอาหาร เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสัมผัสใน lemon curd ครีมสลัด และมายองเนส (Radley, 1976) Tenkai และคณะ (1994) ศึกษาการใช้สตาร์ชออกซิไดซ์ทดแทนไขมันและน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์สามารถทดแทนไขมันและน้ำมันได้บางส่วนหรือทดแทนได้ทั้งหมด เมื่อนำมาใช้ในอาหารเช่น มายองเนส และ frozen dessert จะไม่สูญเสียสมบัติทางกายภาพของอาหารและยังให้พลังงานต่ำ Miura, Murata และ Kimura (1994) ผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักและผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ร้อยละ 5 – 20 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อผ่านการ extrude และขึ้นรูป เส้นบะหมี่ที่ได้มีความยาวต่อเนื่องไม่ขาดตอน เมื่อผ่านการเติมน้ำร้อน บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจะมีเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่ดี สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเส้นสปาเก็ตตี้ได้

## 2.2 การตัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีพรีเจลาตินไนซ์

สตาร์ชพรีเจลาตินไนซ์เป็นสตาร์ชที่ได้จากการตัดแปรสตาร์ชทางกายภาพ โดยการทำให้สตาร์ชเกิดเจลาตินไนซ์ก่อน เม็ดสตาร์ชจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปหลอมเหลว (melted starch) และมีฟองอากาศอยู่ภายใน (Colonna et al., 1984) ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างที่โปร่ง แล้วจึงทำให้แห้ง (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535)

### 2.2.1 การผลิตสตาร์ชพรีเจลาตินไนซ์

การผลิตสตาร์ชพรีเจลาตินไนซ์สามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้ คือ ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (spray dryer) ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) และใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer)

### 2.2.1.1 การผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

การผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย เป็นวิธีที่ไม่นิยมนัก เนื่องจากมีข้อจำกัด คือ ต้องทำให้สสารเกิดเจลาติโนเซชันก่อน และต้องผสมสารละลายสสารพีริเจลาติโนซ์ให้เจือจางมากๆ เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจนพ่นเป็นฝอยไม่ได้ ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ให้ผลผลิตต่ำและค่าใช้จ่ายสูง

### 2.2.1.2 การผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์ด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูชัน

เอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ขับเคลื่อนวัตถุดิบด้วยสกรูให้วัสดุไหลผ่านช่องเปิด ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวมเอากระบวนการแปรรูปหลายอย่าง คือ การผสม การนวด การทำให้เกิดแรงเฉือน การขึ้นรูป การทำให้ร้อนจนถึงทำให้สุกอยู่ในกระบวนการเดียว การผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์ด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน เม็ดสสารจะถูกบีบอัด และเสีรูปร่างพร้อมกับการหลอมและสูญเสียโครงสร้างผลึก ความร้อนจากการเสียดสีกับความร้อนจากภายนอกจะทำให้สสารเกิดเจลาติโนเซชัน เมื่อสสารไหลผ่านช่องเปิด ความดันและอุณหภูมิจะลดลงทำให้สสารเกิดการขยายตัว มีการระเหยของน้ำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแห้งหรือกึ่งแห้ง

### 2.2.1.3 การผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

การผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่าย ความร้อนที่ใช้ทำแห้งผลิตภัณฑ์ได้มาจากไอน้ำภายในลูกกลิ้ง โดยการปรับอุณหภูมิของผิวลูกกลิ้งและอัตราการหมุนให้สอดคล้องกับปริมาณความชื้นและการเกิดเจลาติโนเซชันของสสารแต่ละชนิด (Kerr, 1950) ลูกกลิ้งที่ใช้มีทั้งแบบเดี่ยว (single) และแบบคู่ (double) ซึ่งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งต้องเท่ากับตลอดแนวยาวของลูกกลิ้งและสอดคล้องกับอุณหภูมิของไอน้ำภายในลูกกลิ้ง อัตราการหมุนของลูกกลิ้งและความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของโลหะที่ใช้ทำลูกกลิ้งต้องสม่ำเสมอ (Shimm, 1976) การผลิตทำโดยเตรียมน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 43 ป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ความร้อนจะทำให้สสารเกิดเจลาติโนเซชันและทำให้แห้งพร้อมกัน (Kerr, 1950) การผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์อาจทำให้แป้งสุกก่อนด้วยการให้ความร้อนแก่สสารในสภาพที่มีน้ำจนเกิดเจลาติโนเซชัน แล้วทำให้แห้งโดยผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Powell, 1967) ในการผลิตสสารพีริเจลาติโนซ์ต้องให้สสารดูดน้ำอย่างเต็มที่ด้วยการผสมสสารพีริเจลาติโนซ์กับน้ำอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ เพราะสสารที่เกาะกันอยู่เป็นก้อนจะดูดน้ำไม่เต็มที่และเมื่อนำมาผลิตเป็นสสารพีริเจลาติโนซ์แล้วจะพองตัวและให้ความหนืดน้อยเมื่อผสมกับน้ำ เมื่อความร้อนจากลูกกลิ้งทำให้สสารเกิดเจลาติโนเซชันและทำให้สสารแห้งแล้ว ใบมีดที่ติดอยู่กับลูกกลิ้งจะขูดออกเป็นแผ่นซึ่งต้องบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้

การเติมโซเดียมคาร์บอเนตหรือฟอสเฟตในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยให้  
 สตาร์ชเกิดเจลลิตีในเซชันได้เต็มที่ นอกจากนี้ความเป็นด่างยังช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่ง  
 เกิดขึ้นจากการที่สตาร์ชเจลาติไนซ์แล้วทำให้แห้ง มีผลให้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์นั้นไม่สามารถ  
 กระจายตัวในน้ำและให้ความข้นหนืดได้เทียบเท่ากับสตาร์ชที่ผสมน้ำแล้วให้ความร้อน (Kerr,  
 1950)

ลัลนา ยังประสิทธิพร (2532) ศึกษาการผลิตแป้งพรีเจลาติไนซ์เพื่อทำ  
 ผลิตภัณฑ์ขนมจีน โดยใช้แป้งข้าวเจ้าเข้มข้นร้อยละ 40 ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.004 นิ้ว  
 ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 28 รอบต่อนาที แป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้สามารถดูดซับน้ำได้ถึง 11.54  
 เท่า การปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่แคบลงทำให้แป้งพรีเจลาติไนซ์มีความบางมากขึ้น เมื่อ  
 บดเป็นผงแล้วผสมในน้ำจึงกระจายตัวได้ทั่วถึงมากขึ้น

สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) ศึกษาการผลิตแป้งพรีเจลาติไนซ์จากแป้ง  
 ข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวเพื่อเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอด โดยพบว่าสามารถช่วยเพิ่มความหนืด  
 ของน้ำแป้งชุบและช่วยให้เกาะติดสม่ำเสมอ การผลิตแป้งพรีเจลาติไนซ์ผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้ง  
 แบบลูกกลิ้งคู่ มีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว  
 ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ป้อนเข้าเครื่องร้อยละ 40  
 สำหรับแป้งข้าวเจ้า และร้อยละ 45 สำหรับแป้งข้าวเหนียว แป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้มีความชื้น  
 ร้อยละ 7.7–10.6 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.45-0.58 ค่าความหนาแน่น 0.31-0.45 g/mL ธรรมชาติ  
 การดูดซับน้ำ 9–22 มิลลิลิตรต่อแป้ง 1 กรัม

### 2.2.2 สมบัติของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์

สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มีความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) ได้  
 ดีกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร เนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย โดยทำลายส่วนที่เป็นผลึก  
 ในเม็ดสตาร์ช (Wootton and Bamunuarachchi, 1978) แต่ไม่มีผลให้โมเลกุลของอะมิโลสกับ  
 อะมิโลเพกตินเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จึงกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น ดูดซับน้ำได้  
 สูงและให้ความหนืดได้ทันที (Whistler and Paschall, 1967) เมื่อนำสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มาให้ความ  
 ความร้อน จะทำให้มีความหนืดและการเกิดเจลลดลงเมื่อเทียบกับสตาร์ชไม่ดัดแปร

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ คือ การบดเป็นผง เนื่องจากเมื่อ  
 ผสมสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ลงในน้ำจะพบว่าสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มีการลอยตัวบนผิวน้ำได้  
 มากกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร ซึ่งทำให้เกิดการเกาะกันเป็นก้อน (lumping) ได้ง่าย ถ้าสตาร์ชพรีเจลาติ  
 ไนซ์เป็นผงหยาบจะป้องกันการเกาะกันเป็นก้อนในระหว่างการกวนผสมกับน้ำได้ แต่มีการดูดซับ  
 น้ำช้าลง เนื่องจากผงมีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรลดลงทำให้ดูดน้ำช้าลง (Luallen, 1996)  
 การบดเป็นผงละเอียดจะทำให้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ดูดน้ำและให้ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Hoseney,



1996) มีความชื้นหนืดสูง และมีความเรียบเนียนเป็นมันมากกว่าที่เป็นผงหยาบ ส่วนปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อคุณภาพของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ คือ รูปร่างและความหนาแน่นของสตาร์ช ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากลักษณะของแผ่นแป้งที่ได้จากการทำแห้งโดยขึ้นกับความหนาของฟิล์ม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช ความเร็วลูกกลิ้งและระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งในระหว่างการทำแห้งแบบ drum drying (Oates, 1996)

สตาร์ชตัดแปรทางเคมีต่างๆสามารถนำมาตัดแปรต่อด้วยวิธีพรีเจลาติไนเซชันได้เช่นกัน (Powell, 1967) การตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาติไนเซชันนี้ถ้าต้องใช้ร่วมกับการตัดแปรวิธีอื่น มักจะทำการเป็นลำดับสุดท้าย (จำริญ อัจฉราภิรักษ์, 2537) เช่น การตัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีพันธะเชื่อมข้ามก่อนแล้วจึงทำพรีเจลาติไนเซชัน ซึ่งการตัดแปรร่วมตามตัวอย่างนี้ทำให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้นและรักษาความหนืดไว้ได้ในสภาวะอุณหภูมิสูงและสามารถละลายได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิปกติ

### 2.2.3 การใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

การใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะจำพวก อาหารเด็กอ่อน พุดดิ้ง เครื่องดื่มสำเร็จรูป ซอส น้ำเกรวี่ ซุปผง เค้กผงสำเร็จรูป และสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเพื่อช่วยทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน (binder) เพื่ออุ้มน้ำและรักษาความชื้น อีกทั้งช่วยในการดูดซับน้ำและอุ้มน้ำของอากาศได้ดีในผลิตภัณฑ์ขนมเค้ก ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้น และมีเนื้อสัมผัสที่ดี (Gramham, 1977) การนำแป้งพรีเจลาติไนซ์ไปเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดจะช่วยเพิ่มปริมาณการเกาะติดของแป้งให้สูงขึ้น สายสนม ประดิษฐดวง (2528) ศึกษาการใช้แป้งมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ในการทำข้าวเกรียบ พบว่าแป้งมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ให้การพองตัวที่ดี

## 2.3 แป้งชุบทอด

แป้งชุบทอดหรือแป้งสำหรับประกอบอาหารทอด หมายถึง แป้งที่ผสมกับส่วนประกอบอื่นใช้ชุบอาหารก่อนนำไปทอด เพื่อให้กรอบ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2534)

### 2.3.1 ส่วนผสมของแป้งชุบทอด

ส่วนผสมทั่วไปของแป้งชุบทอดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม (Suderman and Cunningham, 1983) ตามปริมาณและหน้าที่ คือ ส่วนผสมหลัก และส่วนผสมรอง

ก. ส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้ง แป้งที่นิยมใช้ คือ แป้งสาลีเอนกประสงค์ซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10 - 11 และแป้งขนมปังซึ่งมีโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 12-14 นอกจากนี้แป้งสาลีแล้วแป้งชนิดอื่นที่ใช้เป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอด ได้แก่ แป้งข้าวโพด (ประมาณร้อยละ 4-14)

แป้งข้าวเจ้า (ประมาณร้อยละ 4 - 9 ) นอกจากนี้ยังมีแป้งมันสำปะหลัง (อรอนงค์ นัยวิกุล และคณะ, 2526) หรือแป้งข้าวเหนียว ปริมาณแป้งที่ใช้เป็นแป้งชุบทอดจะใช้ประมาณร้อยละ 80-90 ของส่วนผสมทั้งหมด (Suderman, 1983) ซึ่งแป้งในส่วนผสมนี้เป็นแหล่งที่ให้สตาร์ชและโปรตีน (Suderman and Cunningham, 1983) นำนับเป็นส่วนผสมหลักที่ใช้และใช้ในปริมาณใกล้เคียงกับแป้ง น้ำช่วยปรับความชื้นหนืดและทำให้เกิดเจลลาตินในเซชันของเม็ดสตาร์ช (Kulp and Loewe, 1990) ในสูตรของแป้งชุบทอดจะมีอัตราส่วนของของแข็ง 1.5 - 2.0 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน (Suderman, 1983) ถ้าปริมาณของแข็งมากจะช่วยให้ส่วนผสมเคลือบได้หนาขึ้นและลอกได้ง่ายกว่าการเคลือบแบบบาง (Hanson and Fletcher, 1963)

ข. ส่วนผสมรอง ได้แก่ นม เวย์ แป้งถั่วเหลือง ไข่ ผงฟู สตาร์ช เกลือ น้ำตาล กัม เครื่องเทศ เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมนี้จะทำหน้าที่ให้กลิ่นรส ปรับสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งชุบทอด และ/หรือเสริมคุณค่าทางอาหาร

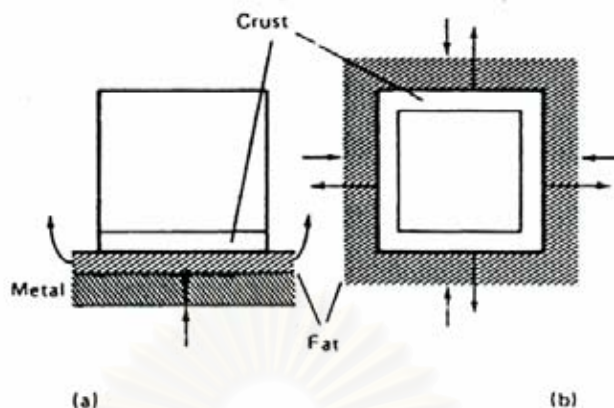
## 2.3.2 การให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารทอด (Fellow, 1990)

### 2.3.2.1 shallow (หรือ contact) frying

วิธีนี้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไข่ ความร้อนจะเคลื่อนที่ไปสู่อาหารด้วยตัวนำความร้อนจากผิวหน้าของกระทะที่ร้อนผ่านไปยังชั้นของน้ำมัน (รูปที่ 2.3a) ซึ่งมีปริมาณน้อยและไม่ท่วมชิ้นอาหาร อาหารจึงได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอของการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอดนี้

### 2.3.2.2 deep-fat frying

deep-fat frying เป็นวิธีการทอดแบบน้ำมันท่วม น้ำมันที่ใช้ทอดเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้แก่ชิ้นอาหาร โดยที่ทุกๆผิวหน้าของอาหารจะได้รับความร้อนที่เท่าๆกันทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีและลักษณะปรากฏเหมือนกัน (รูปที่ 2.3b) วิธี deep fat-frying นี้เหมาะสมกับอาหารที่มีรูปร่างต่างๆรวมถึงอาหารชุบแป้งทอดซึ่งจะใช้อุณหภูมิสูงในการทอด ประมาณ 150-220 °C (Thorner, 1973) ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้น้ำมันที่มีความเหมาะสม คือ มีจุดเกิดควันสูงเพราะต้องใช้ทอดที่อุณหภูมิสูงก่อนที่จะมีการสลายเป็นควันและให้สารพิษ และยังช่วยลดการอมน้ำมัน (สติเกษม ทองรงค์ และ พรณี เดชคำแหง, 2530) นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการด้วย น้ำมันปาล์มมีความคงทนต่อการเกิดออกซิเดชันได้ดี มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงและเกิดฟองเวลาทอดน้อย (Faur, 1975)



รูปที่ 2.3 ชนิดของกระบวนการทอด (a) shallow frying (b) deep-fat frying

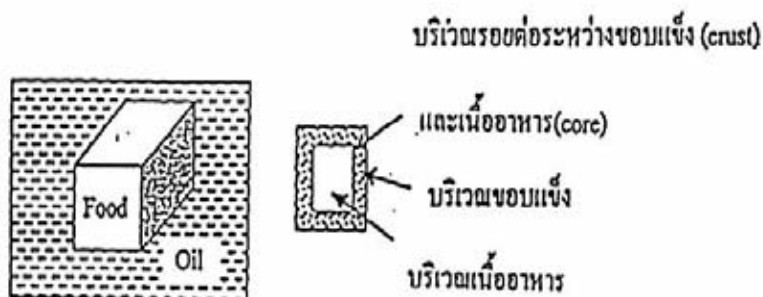
ที่มา : Fellow (1990)

ในระหว่างการทอดมีปฏิกิริยาที่สำคัญหลายอย่างเกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เกิดเมื่อน้ำออกจากอาหารและแป้งชุบทอด ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในสภาพที่มีความร้อน ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระซึ่งทำให้เกิดควันต่ำลงและเกิดกลิ่นผิดปกติของน้ำมัน สารประกอบทางเคมีอื่นที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรินอิสระ ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้เกิดควันต่ำลง และลดแรงตึงผิวระหว่างไขมันกับอาหาร ทำให้อาหารอมน้ำมันมากขึ้น (Varvil, 1983)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้นและมีกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ การมีโลหะหนัก เช่น เหล็กและทองแดง จะเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น (Varvil, 1983)

ปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน เป็นกระบวนการการสลายตัวของไขมันซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มาเชื่อมกันเกิดเป็นโพลิเมอร์ ทำให้น้ำมันมีสีเข้ม และมีลักษณะเป็นยางเหนียว (Varvil, 1983)

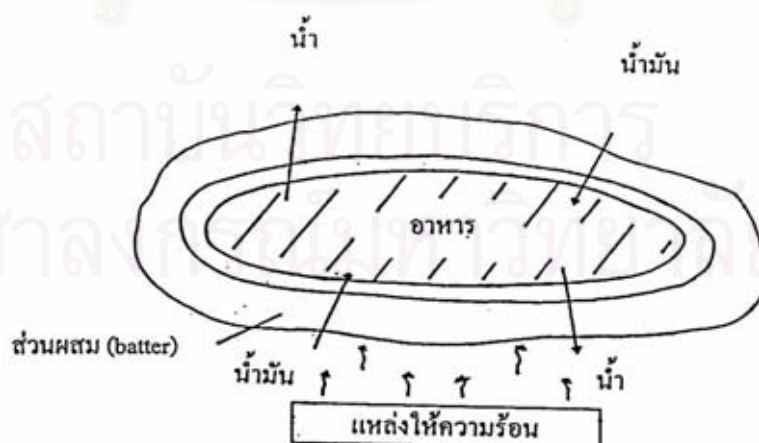
เมื่อนำอาหารลงทอดในน้ำมันที่ร้อน จะทำให้ผิวนอกเกิดขอบแข็ง (crust) ซึ่งจะพบเห็นได้มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีสตาร์ชอยู่ในปริมาณสูง ความหนาของขอบแข็งนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่การทอดดำเนินไป บริเวณเนื้ออาหาร (core) ที่ขอบแข็งหุ้มอยู่จะมีน้ำในสภาพของเหลว ในขณะที่มีการทอด น้ำจะกลายเป็นไอน้ำที่รอยต่อระหว่างขอบแข็งกับเนื้ออาหารที่พองตัวขึ้น (รูปที่ 2.4)



**รูปที่ 2.4** ลักษณะอาหารในน้ำมันขณะทอดเมื่อตัดตามขวางของชิ้นอาหาร  
ที่มา : Singh (1998)

สตาร์ชจะเกิดเจลลิตินในเซชันในระหว่างการทอด ซึ่งจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการทอดและตำแหน่งของสตาร์ชที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะทอด สตาร์ชจะเกิดเจลลิตินในเซชันที่ขอบแข็ง ซึ่งจะยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าสู่อาหาร ในขณะที่เดียวกันสตาร์ชเกิดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชภายใน ขณะทอดจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างลิพิดกับสตาร์ช (Singh, 1998)

สำหรับรูปแบบ (model) การทอดของอาหารชุบแป้งทอดแสดงในรูปที่ 2.5 พบว่าเมื่อนำอาหารชุบแป้งลงทอดในน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ เกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันเข้าสู่ชิ้นอาหาร โดยผ่านเปลือกแป้งที่หุ้มอยู่ น้ำที่อยู่ในเปลือกแป้งและชิ้นอาหารจะกลายเป็นไอ ซึ่งเคลื่อนที่สู่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำมันแทรกเข้าสู่เปลือกแป้ง (Suderman, 1990)



**รูปที่ 2.5** รูปแบบการทอดของอาหารชุบแป้งทอด  
ที่มา : Suderman (1990)

เมื่อแป้งที่เกาะติดกับชิ้นอาหารได้รับความร้อนก็จะเกิดเจลลาติโนเซชัน (Kulp and Loewe, 1990) การเกิดเจลลาติโนเซชันในแป้งชุบทอดเป็นการเกิดเจลลาติโนเซชันในสภาวะที่มีปริมาณน้ำจำกัด (Suderman and Cunningham, 1983) อาหารประเภทชุบแป้งเมื่อนำไปทอดที่อุณหภูมิประมาณ 150-220 °C น้ำภายในอาหารจะระเหยไปอย่างรวดเร็วและแป้งบริเวณผิวนอกจะสัมผัสกับอุณหภูมิสูงมากจนเกิดการพองใสเพิ่มขึ้นมากกว่าแป้งที่อยู่ด้านใน เมื่อความชื้นที่ผิวด้านนอกนี้ลดลงถึงจุดหนึ่งจะเกิดการพองกรอบและเป็นสีน้ำตาล (Robbin, 1976)

### 2.3.3 คุณสมบัติที่ต้องการของแป้งชุบทอด

#### 2.3.3.1. ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร

ปัญหาที่มักพบในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด คือ ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารที่น้อยทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ไม่ดี ผู้บริโภคไม่ยอมรับ การเกาะติดชิ้นอาหารจะขึ้นกับความหนืดของส่วนผสมแป้งชุบทอด ความหนืดที่พอเหมาะจะทำให้แป้งชุบทอดเกาะติดกับชิ้นอาหารได้ดี

#### ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร

##### ก. องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักของแป้ง ดังนั้นสัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในสตาร์ชมีผลต่อโครงสร้างของสตาร์ชมาก ถ้ามีอะมิโลสต่ำและอะมิโลเพกตินปริมาณสูง จะทำให้แป้งที่ชุบอาหารมีโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาและเปราะ (Feldberg, 1969) หลุดจากชิ้นอาหารได้ง่าย (Hanson and Fletcher, 1963) ในขณะที่สตาร์ชที่มีอะมิโลสสูงจะให้ฟิล์มที่แข็งแรงและมีความยืดหยุ่น (Feldberg, 1969) มีรายงานว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงถึง 70% จะช่วยให้แป้งชุบทอดเกาะติดผิวอาหารมีพื้นผิวสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับอาหารชุบทอดแช่เยือกแข็งที่นำมาอุ่นให้ร้อนอีกครั้งด้วยไมโครเวฟ (Kulp and Loewe, 1990) สตาร์ชที่กินตัวได้ดีจะช่วยเพิ่มการเกาะติดชิ้นอาหารให้ดีขึ้น และสตาร์ชดัดแปรโดยวิธีพรีเจลลาติโนเซชันจะช่วยให้การเกาะติดชิ้นอาหารดีขึ้น (Suderman and Cunningham, 1983) เนื่องจากสตาร์ชที่ผ่านการพรีเจลลาติโนเซชันจะสามารถกระจายตัวในน้ำและให้ความข้นหนืดได้ทันทีที่อุณหภูมิห้อง การชุบอาหารลงในน้ำแป้งสุกที่มีความข้นหนืดจะทำให้การเกาะติดของน้ำแป้งสุกบนชิ้นอาหารนั้นดีขึ้น

##### ข. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม

ความหนืดมีความสำคัญอย่างมากต่อการเกาะติดของส่วนผสมบนชิ้นอาหาร (Hsia, Smith, and Steffe, 1992) ถ้าใช้น้ำในอัตราส่วนต่ำๆจะทำให้แป้งชุบทอดมีความหนืดสูงซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารสูงขึ้นเช่นกัน แต่จะมีผลทำให้การเกิด

เจลาตินในเซชันของเม็ดสตาร์ชไม่สมบูรณ์ (Suderman, 1983) ส่วนการเติมน้ำปริมาณมากทำให้ความหนืดลดลง การเกาะติดขึ้นอาหารจะลดลง สารยึดเกาะที่ใช้เป็นส่วนผสมในแป้งผสมซุบทอดทำให้แป้งมีการยึดเกาะกับชิ้นอาหารได้ดีขึ้น เช่น สารพอลิฟอสเฟต โปรตีนจากยีสต์ น้ำมันพืช แป้งออกซิไดซ์ และกัมจากพืช (Loewe, 1996)

#### ค. วิธีการให้ความร้อน

ในการทอดแบบน้ำมันท่วมโดยทั่วไปจะทำให้การยึดติดลดลง เนื่องจากชิ้นอาหารภายในเกิดการหดตัวจากการได้รับความร้อน ดังนั้นอาจทำให้ชิ้นอาหารที่จะนำมาซุบทอดนั้นสุกบางส่วนก่อนซุบแป้งจะทำให้การยึดเกาะดีขึ้น

### 2.3.3.2. ความกรอบ

ความกรอบมีความสัมพันธ์กับการพองตัวของสตาร์ช เมื่ออาหารได้รับความร้อนจะทำให้น้ำในอาหารระเหยออกมา ทำให้เกิดแรงดัน ขณะที่เกิดแรงดันในเนื้ออาหารก็จะเกิดแรงต้านทานหรือแรงยึดมิให้น้ำระเหยออกไป เมื่อมีความดันเพิ่มขึ้น แรงยึดหรือแรงต้านทานนี้ก็จะเพิ่มขึ้น ความต้านทานจะคงที่อยู่ระยะหนึ่ง ซึ่งเป็นขณะที่พลังงานความร้อนที่ใส่เข้าไปพอเหมาะที่จะทำให้เกิดความดันทำให้อาหารพองตัว จากนั้นความดันก็เริ่มลดลงพร้อมทั้งความต้านทานก็เริ่มลดลงจนมีค่าเท่ากัน ถ้าพลังงานความร้อนที่ได้รับพอเหมาะที่จะทำให้เกิดความดันเท่ากับความต้านทาน จะทำให้ได้รูพรุนสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น มีความชื้นเหลือพอเหมาะที่ทำให้กรอบพอดี อาหารมีโครงสร้างและเนื้อสัมผัสดี แต่ถ้าความดันมากกว่าความต้านทานจะทำให้เกิดการแตกแยกของโครงสร้างได้ ถ้าความดันน้อยกว่าความต้านทานจะทำให้เกิดรูพรุนที่ไม่สม่ำเสมอ (Eskew, Cording, and Sullivan, 1963)

#### ปัจจัยที่มีผลต่อความกรอบ

##### ก. องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม

สตาร์ชที่มีอะมิโลสสูงจะมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันสูง ซึ่งช่วยให้น้ำที่ผสมในแป้งหรือในชิ้นอาหารมีโอกาสได้รับความร้อนและระเหยออกมาได้มากก่อนที่แป้งจะเป็นเจลเคลือบชิ้นอาหาร ทำให้แป้งที่เคลือบอยู่หลังจากทอดสุกแล้วดูดซับน้ำจากชิ้นอาหารได้น้อยลง จึงยังคงมีความกรอบมากกว่าแป้งที่มีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันต่ำ ซึ่งจะเกิดเป็นเจลอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อะมิโลสยังเกิดเป็นฟิล์มที่มีโครงสร้างแข็งแรงกว่าอะมิโลเพกติน ดังนั้นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์แป้งซุบทอดมีความกรอบสูงขึ้น แต่ต้องมีอัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินในระดับที่เหมาะสม ไม่สูงเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากถ้ามีอะมิโลสสูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้างจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Suderman and Cunningham, 1983)

### ข. วิธีการให้ความร้อน

การให้ความร้อนแบบที่นิยม คือ deep-fat frying ซึ่งเป็นการทอดในกะทะก้นลึกที่มีน้ำมันมาก (Fox and Cameron, 1977) ซึ่งต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอดให้อยู่ระหว่าง 150 - 220 °C เพราะถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 150 °C ผลผลิตจะมีความพองกรอบน้อยลง เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ให้ไม่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดไอน้ำที่มีความดันสูงพอที่จะเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างของแป้ง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 220°C จะเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเร็วขึ้น ทำให้ผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำในชิ้นอาหารระเหยออกไปได้น้อย ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง (Robbin, 1976) นอกจากนี้วิธีการทำให้ชิ้นอาหารสุกก่อนนำมาชุบแป้งก็มีส่วนช่วยให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น เนื่องจากน้ำมันบางส่วนในชิ้นอาหารได้ระเหยออกไปก่อนนำมาชุบแป้งทอด (Suderman and Cunningham, 1983)

#### 2.3.3.3. สี

สีที่เกิดในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด Priestley (1979) รายงานว่าเกิดจากการไฮโดรไลซิสของสตาร์ชได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งสามารถเข้าสู่ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันที่อุณหภูมิประมาณ 140 - 150 °C จนได้สารสีน้ำตาล Van Beynum และ Roels (1985) พบว่าสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดจากน้ำตาลในแป้งเองและเกิดจากการย่อยสลายโมเลกุลสตาร์ชที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 °C สามารถทำลายพันธะแอลฟา 1,4 กลูโคซิดิกได้

#### ปัจจัยที่มีผลต่อสี

##### ก. ชนิดของแป้งที่เป็นส่วนผสม

แป้งแต่ละชนิดจะให้สีของผลิตภัณฑ์หลังทอดแตกต่างกัน เช่น แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวจะให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลแฉาว (Hanson and Fletcher, 1963) เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสในแป้งธัญพืชจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เนื่องจากเกิดเดกซ์ทรินจากปฏิกิริยาการย่อยสตาร์ชที่ถูกทำลาย (damaged starch) ซึ่งเดกซ์ทรินทำให้เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันมากขึ้นในระหว่างการทอด (Olexnik and Kulp, 1990)

##### ข. วิธีการให้ความร้อน

การทอดที่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่มีผลทำให้เกิดสี ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ

### 2.3.3.4. การดูดซับน้ำมัน

ในการนำอาหารไปทอดในน้ำมัน หากมีการควบคุมปัจจัยต่างๆไม่เหมาะสมจะส่งผลให้ชิ้นอาหารดูดซับน้ำมันได้ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยทั่วไปอาหารชุบแป้งทอดจะดูดซับน้ำมันประมาณร้อยละ 25 (Meyers, 1990)

#### ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมัน

##### ก. องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม

แป้งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก สตาร์ชที่มีอะมิโลสสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวต่ำ ซึ่งมีผลทำให้ดูดซับน้ำมันน้อยลง แต่ถ้าสตาร์ชมีอะมิโลเพกตินสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวดี จึงดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดได้มาก (Feldberg, 1969) นอกจากนี้สตาร์ชที่คัดแปรด้วยวิธีพันระข้ามจะช่วยให้การดูดซับน้ำมันลดลง เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นและเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของอะมิโลเพกตินหนาแน่น คล้ายอะมิโลสมากขึ้น มีผลทำให้การพองตัวต่ำลง (Thorner, 1973) สำหรับสตาร์ชที่มีความแข็งแรงของเจล (gel strength) สูงจะช่วยให้อาหารชุบแป้งทอดดูดซับน้ำมันต่ำลงเช่นกัน (Pinthus, Weinberg, and Saguy, 1992)

##### ข. วิธีการให้ความร้อน

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออาหารชุบแป้งทอด ดังนั้นควรใช้อุณหภูมิในการทอดสูงประมาณ 150-220 °C และใช้เวลาสั้นๆ ซึ่งทำให้การดูดซับน้ำมันต่ำลงเพราะขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นของน้ำมันต่ำลง นอกจากนี้เวลาการทอดที่น้อยลงทำให้การดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นอย่างจำกัด การใช้อุณหภูมิในการทอดต่ำต้องใช้เวลาดทอดนานขึ้นทำให้อาหารดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น (Yang and Chen, 1979) เมื่อใช้น้ำมันที่มีจุดเกิดควันต่ำในการทอดจะทำให้อาหารดูดซับน้ำมันมากขึ้นเพราะไม่สามารถใช้อุณหภูมิในการทอดสูงได้

## 2.4 การใช้สตาร์ชตัดแปรในผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอด

### 2.4.1 การใช้สตาร์ชออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอด

จากสมบัติการยึดเกาะติดที่ดีของสตาร์ชออกซิไดซ์ จึงสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอด (batter and breading) ได้ (Rutenberg and Solarek, 1984) Meyer และ Lee (1982) กัดค้นสูตรการผลิตแป้งชุบทอดพร้อมใช้ มีส่วนผสมหลัก คือ สตาร์ชออกซิไดซ์ ไขมันเหลว ขนมะปราง สารปรุงแต่งสีและรส สามารถเก็บได้นานโดยไม่ใส่สารกันเสียหรือผ่านกรรมวิธีใดๆ ใช้ได้ทั้งในอาหารอบและอาหารทอด



Miyamura, Miyazaki และ Abe (1996) ผลิตแป้งชุบทอดที่ประกอบด้วยสตาร์ชออกซีไดซ์ผสมกับสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวในอัตราส่วน 7 : 3 ถึง 3 : 7 เมื่อนำไปผลิตเป็นอาหารชุบทอดจะได้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ไม่เหนียว

Ueki และ Motoi (1998) ผลิตแป้งชุบทอดที่ประกอบด้วยสตาร์ชออกซีไดซ์จากข้าวโพดผสมกับแป้งสาลี แป้งข้าว กรดซัคซินิก โมโนกลีเซอไรด์ เมื่อนำไปผลิตเป็นอาหารชุบทอดจะให้ความกรอบที่ยาวนานหลังการทอด

Mukprasirt และคณะ (2000) ศึกษาผลของส่วนผสม คือ สตาร์ชออกซีไดซ์จากข้าวโพด แป้งข้าวโพด เมทิลเซลลูโลส แซนแทนกัม ต่อความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารของแป้งชุบทอดที่มีแป้งข้าวเป็นส่วนผสมหลัก พบว่าการใช้สตาร์ชออกซีไดซ์ร้อยละ 15 ของส่วนผสมจะให้การยึดเกาะติดผิวอาหารที่ดี เนื่องจากการสร้างพันธะ covalent และ noncovalent หรือเกิดจากหมู่แอลดีไฮด์ของสตาร์ชออกซีไดซ์อาจทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนอิสระของโปรตีน และหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชในแป้งชุบทอด

Mukprasirt และคณะ (2001) ศึกษาผลของส่วนผสม คือ สตาร์ชออกซีไดซ์ แป้งสาลี แป้งข้าวโพด เมทิลเซลลูโลส ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งชุบทอดที่มีแป้งข้าวเป็นส่วนผสมหลัก พบว่าการใช้สตาร์ชออกซีไดซ์ร้อยละ 15 ของส่วนผสมมีความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบ (batter pickup) ต่ำสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น แต่มีความสามารถในการยึดเกาะติดผิวอาหารที่ดีเมื่อเก็บในสภาวะแช่แข็ง

Mukprasirt, Herald และ Seib (2002) ศึกษาผลของสตาร์ชออกซีไดซ์จากข้าวโพด เมทิลเซลลูโลส และแป้งสาลี ต่อพฤติกรรมความหนืดของแป้งชุบทอดที่ใช้แป้งข้าวเป็นส่วนผสมหลัก พบว่าการเพิ่มปริมาณสตาร์ชออกซีไดซ์ในสูตรจะลดการแตกหัก (breakdown) ของแป้งชุบทอด ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการสูญเสียระหว่างการทอด

#### 2.4.2 การใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอด

การใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ในเซชันในผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอดจะช่วยให้แป้งกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น (Suderman and Cunningham, 1983) และยังช่วยเพิ่มความหนืดและทำให้การเกาะติดของส่วนผสมบนชิ้นอาหารสม่ำเสมอยิ่งขึ้น (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2534) โดยสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จะช่วยให้แป้งไม่หยด (dripless) จากชิ้นอาหารก่อนทอด (Fischer et al., 1973) ซึ่งทำให้การควบคุมปริมาณการเกาะติดทำได้ง่ายขึ้นและสะดวกต่อการใช้งาน

จารุวรรณ อธิธินันท์กิจ และ ชนินยา วัฒนภิรมย์. (2535) ศึกษาการตัดแปรสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด พบว่าการใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จะเพิ่มความหนืดของน้ำแป้งชุบและปริมาณการเกาะติดเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณสูงสุดของแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่สามารถทดแทนแป้งสาลีในสูตร คือ 20%

สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) ศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์หรือ แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนซ์ผสมกับแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วน 1:5 พบว่าการใช้แป้งข้าวเจ้า พรีเจลาติไนซ์มีการเกาะติดของแป้งดี สีน้ำตาลชืดขุ่นแห้ง ขาดความเลื่อมมัน ไม่พองตัว เนื้อสัมผัส นุ่ม กลิ่นรสดี ส่วนการใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์จากแป้งข้าวเหนียว พบว่า มีการเกาะติดของแป้งดี สีน้ำตาลชืด โปร่งแสงเล็กน้อย เลื่อมมัน พองตัว เนื้อสัมผัสนุ่ม มีกลิ่นแป้งสุก

## 2.5 ลักษณะทางการไหลของอาหาร

การแบ่งประเภทของของเหลวสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทหลัก คือ Newtonian fluid และ non-Newtonian fluid ของเหลวที่มีลักษณะเป็นแบบ Newtonian fluid จะมีความหนืดที่ไม่ขึ้นกับ อัตราเฉือนและประวัติการได้รับแรงเฉือน (shear history) ความหนืดของของเหลวประเภทนี้จะ ขึ้นกับอุณหภูมิและองค์ประกอบของของเหลวเท่านั้น ของเหลวที่มีลักษณะเป็นแบบ non-Newtonian fluid สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ของเหลวที่มีความหนืดเปลี่ยนแปลงตาม อัตราเฉือนแต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time-independent non-Newtonian fluid) และของเหลวที่ มีความหนืดเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time-dependent non-Newtonian fluid)

ลักษณะทางการไหลของอาหารเหลวมีกลไกที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบของอาหาร อัตราเฉือน ระยะเวลาของการให้อัตราเฉือน และประวัติของของเหลว ในการได้รับความร้อนและอัตราเฉือนมาก่อน (Rao, 1977; Halmos, 1981; Steffe, 1996) พฤติกรรมของอาหารเหลวทั่วไปจะเป็นแบบ pseudoplastic fluid ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรม ทางการไหลได้จากสมการ power law model ดังสมการที่ 1

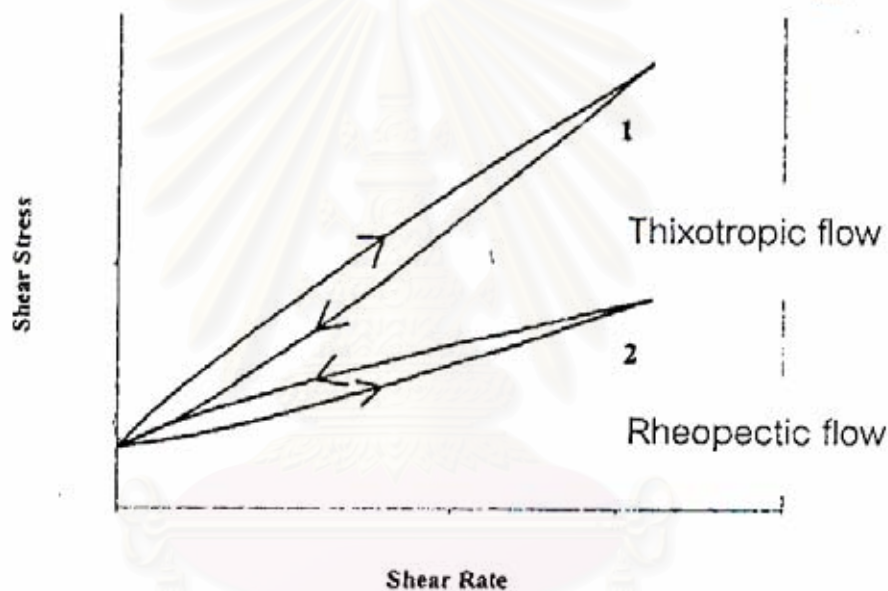
$$\sigma = K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ ค่าความเค้นเฉือน (shear stress, Pa) ค่า  $K$  คือ ค่า consistency index ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนืดของของเหลว กล่าวคือ ถ้าของเหลวมีค่า  $K$  มากแสดงว่ามีความหนืดมาก  $\dot{\gamma}$  คือ ค่าอัตราเฉือน (shear rate,  $\text{s}^{-1}$ ) ค่า  $n$  คือ ค่า flow behavior index เป็นค่าที่ บ่งถึงลักษณะการไหลของของเหลว ถ้าค่า  $n$  มากกว่า 1 ของเหลวชนิดนั้นจะมีลักษณะเป็น shear-thickening fluid หรือ dilatant fluid คือ มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อให้อัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ถ้าค่า  $n$  น้อยกว่า 1 ของเหลวชนิดนั้นจะมีลักษณะเป็น shear-thinning fluid หรือ pseudoplastic fluid คือ มีความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ของเหลวชนิดนั้นมีค่า yield stress ( $\sigma_0$ ) มาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นค่าความเค้นเฉือนที่ต่ำสุด ของเหลวจะต้องได้รับความเค้นเฉือนที่มากกว่าค่า yield stress ของเหลวจึงจะเกิดการไหลได้ เรียกสมการนี้ว่าสมการ Herschel-Bulkley model ดังสมการที่ 2

$$\sigma = \sigma_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

สมการ Herschel-Bulkley model เป็นสมการที่สามารถอธิบายพฤติกรรมทางการไหลซึ่งมี ค่า yield stress มาเกี่ยวข้อง โดยที่ค่า yield stress สามารถใช้ในการบอกถึงความสามารถในการ

เกาะติดของน้ำแป้งชูบในผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอดได้ โดยที่น้ำแป้งชูบที่มีค่า yield stress สูงแสดงว่า มีการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่สูง ค่า hysteresis loop เป็นค่าที่สามารถบอกถึงพฤติกรรมของ ของเหลวที่มีลักษณะทางการไหลที่ขึ้นกับเวลาในการให้อัตราเฉือน ค่า hysteresis loop สามารถ หาค่าได้จากการหาพื้นที่ภายใน loop การแบ่งประเภทของของเหลวที่มีลักษณะทางการไหลที่ ขึ้นกับเวลาในการให้อัตราเฉือน สามารถแบ่งของเหลวในกลุ่มที่มีลักษณะทางการไหลที่ขึ้นกับเวลา (time-dependent non-Newtonian fluid) ได้เป็นสองประเภท คือ ของเหลวที่มีความหนืดลดลงเมื่อ ได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาเพิ่มขึ้น (thixotropic fluid) และของเหลวที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาเพิ่มขึ้น (rheopectic fluid หรือ antithixotropic fluid) แสดง ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะทางการไหลแบบ time-dependent non-Newtonian fluid

Mukprasirt, Herald และ Flores (2000) ศึกษาลักษณะทางการไหลของแป้งชูบทอดที่มี ส่วนผสมหลักเป็นแป้งข้าว โดยการแปรปริมาณแป้งข้าวโพด เมทิลเซลลูโลส และสตาร์ชข้าวโพด ออกซิไดซ์ ทำการทดลองที่อัตราเฉือน  $30 - 132 \text{ s}^{-1}$  อุณหภูมิ 5, 15 และ  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  พบว่าแป้งชูบ ทอดที่มีส่วนผสมหลักเป็นแป้งข้าวจะมีพฤติกรรมทางการไหลแบบ pseudoplastic fluid และสูตร แป้งชูบทอดที่มีส่วนผสมเป็นสตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์จะมีค่า yield stress และ consistency index ที่มีแนวโน้มลดลง

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

1. สตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปร (0.0% Cl)  
จากบริษัทสงวนวงศ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา
2. สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโปคลอไรท์  
ที่ระดับความเข้มข้นของ active chlorine 1.5 2.0 3.0 และ 5.0%  
จากบริษัทสงวนวงศ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา
3. แป้งสาลีตราว่าว
4. เครื่องปรุงรส ได้แก่ พริกไทย เกลือ น้ำตาล ผงฟู ผงชูรส
5. เนื้ออกไก่
6. แครอท
7. น้ำมันปาล์มตราหยก
8. เม็ดแมงลัก

##### 3.1.2 สารเคมี

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)                             | A.R.grade |
| 2. กรดบอริก (Boric acid)                                   | A.R.grade |
| 3. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)                      | A.R.grade |
| 4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)                    | A.R.grade |
| 5. ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)                     | A.R.grade |
| 6. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)                          | A.R.grade |
| 7. ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride) | A.R.grade |

##### 3.1.3 อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น modell 600, Germany)
2. Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)

3. Buchi distillation unit (รุ่น B-324, Switzerland)
4. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
5. Soxtec Automatic 2050 (Foss, Sweden)
6. หม้อทอดไฟฟ้า (TURBO-SF, Fritel, Belgium)
7. เครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR 300 series (Minolta CO., Ltd., Japan)
8. เครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA, Newport Scientific Pty. Ltd., Australia)
9. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC-7, Perkin-Elmer Instrument Ltd., USA)
10. เครื่อง Texturometer (Texture Analyzer, TA-XT2, Stable Micro Systems, U.K.)
11. เครื่อง Bohlin Rheometer (C-VOR, Bohlin Instrument Ltd., UK)

### 3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.2.1 ตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

ทำการสุ่มตัวอย่างสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์มาวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

- 3.2.1.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ A.O.A.C (1995)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1
- 3.2.1.2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ A.O.A.C (1995)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2
- 3.2.1.3 วิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ A.O.A.C (1995)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3
- 3.2.1.4 วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยตามวิธีของ A.O.A.C (1995)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4
- 3.2.1.5 วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีของ A.O.A.C (1995)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5
- 3.2.1.6 วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตตามวิธีของ A.O.A.C (1995)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6
- 3.2.1.7 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอกซิลตามวิธีของ Smith (1967)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7
- 3.2.1.8 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนิคตามวิธีของ Mattisson และ Legendre (1952)  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8
- 3.2.1.9 วิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR 300 series

ในระบบ CIE L\* a\* b\* แหล่งกำเนิดแสง D65

3.2.1.10 วิเคราะห์ค่าดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องตามวิธีของ Anderson และคณะ (1969)

ซึ่งตัวอย่างสตาร์ชที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจำนวน 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคนเบาๆ ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 x g ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก นำไปประเหยให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI) โดยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างแห้งและชั่งน้ำหนักตะกอนหรือเจลที่อยู่ในหลอด centrifuge เพื่อคำนวณค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI) โดยคิดเป็นน้ำหนักของเจลต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม

3.2.1.11 วิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิสูงตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Leach, McCawen และ Schoch (1959)

ซึ่งตัวอย่างสตาร์ชที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในหลอด centrifuge เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร นำไปวางในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (water bath) และปรับอุณหภูมิของแต่ละตัวอย่างให้คงที่ คือ อุณหภูมิ 55 65 75 และ 85 °C ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที พร้อมกับกวนเบาๆ ทุกๆ 5 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที รินน้ำส่วนใสลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปประเหยในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C จนแห้ง ชั่งน้ำหนักหาปริมาณส่วนที่ละลายในน้ำ เพื่อคำนวณเป็นร้อยละการละลายและช่วงขูด centrifuge พร้อมตะกอนหรือเจลที่เหวี่ยงได้เพื่อคำนวณกำลังการพองตัว

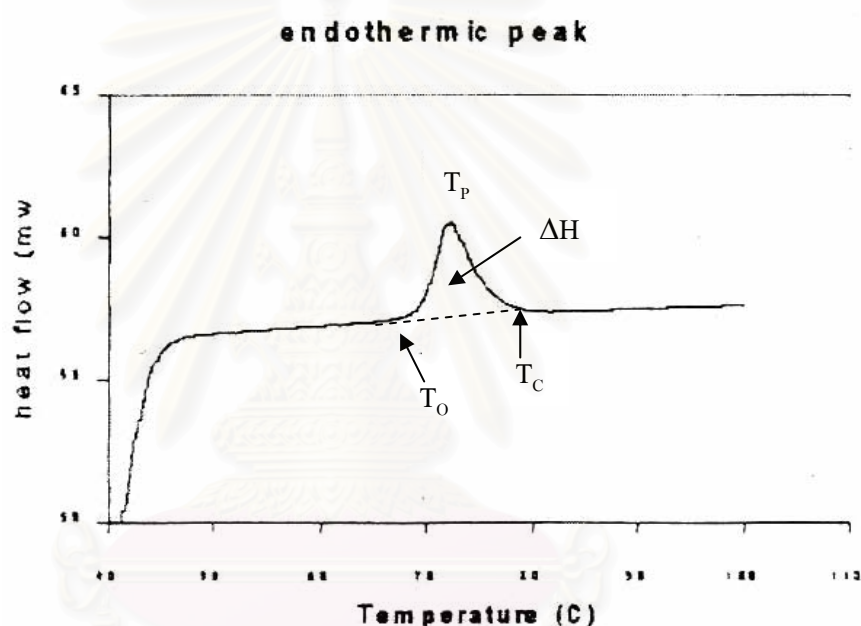
$$\text{ร้อยละของการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักของสตาร์ชที่ละลาย (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนหรือเจลที่เหวี่ยงได้} \times 100}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (100 - ร้อยละของการละลาย)}}$$

3.2.1.12 วิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer  
รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9

3.2.1.13 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง  
Differential Scanning Calorimeter

ซึ่งตัวอย่างสตาร์ชให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 3.5 มิลลิกรัม (mg) ใส่ลงใน aluminum pan เติมน้ำกลั่นจำนวน 8 ไมโครลิตร ( $\mu\text{L}$ ) ปิดฝา aluminum pan แล้วนำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนการทำการวิเคราะห์เพื่อให้สตาร์ชดูดซับน้ำได้เต็มที่ หลังจากนั้นให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตราการให้ความร้อน (heating rate)  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  แสดงดังรูปที่ 3.1 onset temperature ( $T_o$ ) คือ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อน peak temperature ( $T_p$ ) คือ อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อนสูงสุด conclusion temperature ( $T_c$ ) คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดการเปลี่ยนแปลง และค่าเอนทัลปี (enthalpy,  $\Delta H$ ) คือ ค่าพื้นที่ใต้กราฟ



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ช

#### 3.2.1.14 วิเคราะห์ความหนาแน่นของสตาร์ชตามวิธีของ Wollermann และ Makstell (1958)

ซึ่งตัวอย่างสตาร์ช 10 กรัม ใส่กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิตร กระแทกกระบอกตวงเบาๆกับโต๊ะ 4-5 ครั้ง จนระดับของสตาร์ชไม่เปลี่ยนแปลง อ่านค่าปริมาตรของสตาร์ช แล้วคำนวณค่าความหนาแน่นของสตาร์ช ( $\text{g}/\text{mL}$ )

#### 3.2.1.15 วิเคราะห์ค่าดัชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชตามวิธีของ Lin และ Humbert (1974)

ชั่งตัวอย่างสตาร์ช 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอด centrifuge เต็มน้ำมันปาล์ม 3 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งแก้วคนแล้วนำไปผสมด้วยเครื่อง vortex ให้เข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 1,650 x g เป็นเวลา 25 นาที จำนวนค่าตรวจวิเคราะห์การดูดซับน้ำมันแสดงเป็นกรัมของน้ำมันที่ถูกดูดซับต่อกรัมของสตาร์ช

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ยกเว้นหัวข้อ 3.2.1.12 และ 3.2.1.13 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

### 3.2.2 การผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก จำريญ อัจฉราภิรักษ์ (2537)

การผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ทำได้โดยการเตรียมสารแขวนลอยของสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปร (0.0%CI) และสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5 5.0 3.0 5.0 %CI/dry starch) เข้มข้น 20% (w/w) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วมาป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่มีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 3 รอบต่อนาที ความดันไอน้ำภายในลูกกลิ้ง 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วนำแผ่นสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ที่ได้บดให้เป็นผงนำเข้าอบในตู้อบ tray dryer ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นบดสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์อีกครั้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh

#### 3.2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ A.O.A.C (1995)

รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

#### 3.2.2.2 วิเคราะห์ค่าสีของสตาร์ชโดยใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter

CR 300 series ในระบบ CIE L\* a\* b\* แหล่งกำเนิดแสง D65

#### 3.2.2.3 วิเคราะห์ค่าตรวจวิเคราะห์การดูดซับน้ำและตรวจวิเคราะห์การละลายน้ำตามวิธีของ

Anderson และคณะ (1969) รายละเอียดแสดงตามข้อ 3.2.1.10

#### 3.2.2.4 วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของสตาร์ชตามวิธีของ

Wollermann และ Makstell (1957) รายละเอียดแสดงตามข้อ 3.2.1.14

#### 3.2.2.5 วิเคราะห์ค่าตรวจวิเคราะห์การดูดซับน้ำมันตามวิธีของ

Lin และ Humbert (1974) รายละเอียดแสดงตามข้อ 3.2.1.15

#### 3.2.2.6 วิเคราะห์ค่าสมบัติทางการไหลโดยใช้เครื่อง Bohlin Rheometer C-VOR

ค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ จะทำการวัดโดยใช้เครื่อง Bohlin Rheometer C-VOR โดยการหาความหนืดปรากฏที่ระดับความ



เข้มข้นต่างๆเปรียบเทียบกัน โดยการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์กับน้ำในอัตราส่วนที่เท่ากับการผสมเป็นน้ำแป้งชูที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% เพียงแต่จะไม่มีการผสมแป้งสาลีและส่วนผสมอื่นๆ เพื่อจะได้นำผลมาเปรียบเทียบกับค่าความหนืดปรากฏของแป้งผสมชูทอดที่ทำการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีระดับต่างๆ ค่าความหนืดที่ได้จะเป็นค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity,  $\eta$ ) ที่อัตราเฉือน  $20 \text{ s}^{-1}$  อุณหภูมิ  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ยกเว้นหัวข้อ 3.2.2.6 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

### 3.2.3 ตรวจสอบสมบัติของแป้งชูทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์และแป้งชูทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

กำหนดสูตรแป้งชูทอดสูตรมาตรฐานคัดแปลงจาก จารุวรรณ อิทธีฉันทกิจ และชนิยา วัฒนภิรมย์ (2535) แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยแปรปริมาณสตาร์ชออกซิไดซ์ และสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0%CI) แทนที่แป้งสาลีที่ระดับการแทนที่ 5 10 และ 15% (w/w) ผสมส่วนผสมต่างๆให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักแป้งชูทอดกับน้ำในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 1:1.5 ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ผลดังนี้

ตารางที่ 3.1 แป้งชูทอดสูตรมาตรฐาน

ส่วนผสม	%
แป้งสาลี	90
ผงฟู	4.9
ผงชูรส	1.3
น้ำตาล	2.0
เกลือ	1.5
พริกไทย	0.3

ที่มา: คัดแปลงจากจารุวรรณ อิทธีฉันทกิจ และชนิยา วัฒนภิรมย์ (2535)

### 3.2.3.1 ตรวจสอบสมบัติของแป้งชูบทอด

3.2.3.1.1 วิเคราะห์ค่าครรชนิการดูดซับน้ำและครรชนิการละลายน้ำตามวิธี Anderson และคณะ (1969) รายละเอียดแสดงตามข้อ 3.2.1.10

3.2.3.1.2 วิเคราะห์สมบัติทางการไหลของน้ำแป้งชูบโดยใช้เครื่อง

Bohlin Rheometer C-VOR

ซึ่งแป้งชูบทอดคับน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ แล้วนำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง magnetic stirrer เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer C-VOR รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.10

3.2.3.1.3 วิเคราะห์ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด (bulk density) ตามวิธีของ Lewis (1987)

ซึ่งแป้งชูบทอดคับน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที ใช้ช้อนตวงขนาด 5 มิลลิลิตร ตวงน้ำแป้งคิบเทใส่พิมพ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ที่แช่อยู่ในกะทะที่มีน้ำมันท่วมอุณหภูมิ 200 °C ทอดเป็นเวลา 1 นาที แล้วตักขึ้นทิ้งให้สะเด็ดน้ำมัน 5 นาที วางบนกระดาษซับน้ำมันอีก 5 นาที ซึ่งน้ำหนักก้อนแป้งทอด หลังจากนั้นนำกระบอกลดขนาด 250 มิลลิลิตรมาใส่เม็ดแมงลัก กระแทกกระบอกลดตวงจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำกระบอกลดตวงมาอีก 1 อัน เติมเม็ดแมงลักที่ได้ตวงปริมาตรไว้แล้วใส่ลงในกระบอกลดตวงประมาณ 20 มิลลิลิตร และใส่ก้อนแป้งทอดพร้อมกับเติมเม็ดแมงลักส่วนที่เหลือลงในกระบอกลดตวงจนปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง แล้วอ่านค่าปริมาตรที่เกินจาก 100 มิลลิลิตร ค่าที่ได้จะเป็นค่าปริมาตรของก้อนแป้งทอด

$$\text{ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด (g/mL)} = \frac{\text{น้ำหนักก้อนแป้งทอด (g)} \times 100}{\text{ปริมาตรของก้อนแป้งทอด (mL)}}$$

### 3.2.3.2 ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดและผลิตภัณฑ์

#### แครอทชุบแป้งทอด

ผสมแป้งชูบทอดคับน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้เป็นเวลา 10 นาที นำชิ้นไก่ขนาด 3x3x1.5 เซนติเมตร และแครอทขนาด 1x1x7 เซนติเมตร ชุบลงในน้ำแป้งชูบเป็นเวลา 10 วินาที แล้วตั้งขึ้นให้สะเด็ดน้ำแป้งชูบเป็นเวลา 10 วินาที วิเคราะห์ความสามารถในการเกาะติดตามข้อ 3.2.3.2.1 หลังจากนั้นนำลงทอดในกะทะที่มีน้ำมันท่วมอุณหภูมิ 175±5 °C เป็นเวลา 2 นาที สำหรับไก่ และ 1.50 นาที สำหรับแครอท แล้วตักขึ้นทิ้งให้สะเด็ดน้ำมัน 5 นาที วางบนกระดาษซับน้ำมัน 5 นาที จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอดตามวิธีในข้อ 3.2.3.2.2 – 3.2.3.2.7

3.2.3.2.1 วิเคราะห์ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบตามวิธี  
Olewnik and Kulp (1990)

ผสมแป้งชุบทอดกับน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้เป็นเวลา 10 นาที นำขึ้นไก่อ่และแครอทที่ซังน้ำหนักแล้วชุบลงในน้ำแป้งชุบเป็นเวลา 10 วินาที แล้วดึงขึ้นให้ สะเด็ดน้ำแป้งชุบเป็นเวลา 10 วินาที ซังน้ำหนัก คำนวณร้อยละการเกาะติดของน้ำแป้งชุบ

$$\text{ร้อยละการเกาะติดของน้ำแป้งชุบ (\%)} = \frac{B - I}{I} \times 100$$

เมื่อ

B = น้ำหนักของชิ้นอาหารที่ชุบน้ำแป้ง

I = น้ำหนักของชิ้นอาหารเริ่มต้น

3.2.3.2.2 วิเคราะห์ปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งทอด

ตามวิธีของ Shih และ Daigle (1999)

ซังน้ำหนักผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่ทอดแล้ว จากนั้นแกะเปลือกแป้งออกจากชิ้นอาหารและล้างเปลือกแป้งที่ติดอยู่บนชิ้นอาหารออกให้หมดให้เหลือแต่ชิ้นอาหารอย่างเดียว ซังน้ำที่ใส่ล้างออกจากชิ้นอาหารให้หมดแล้วซังน้ำหนักชิ้นอาหาร

$$\text{ปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้ง (\%)} = \frac{BF - IF}{IF} \times 100$$

เมื่อ

BF = น้ำหนักของชิ้นอาหารชุบแป้งทอด

IF = น้ำหนักของชิ้นอาหารที่แกะเปลือกแป้งออก

3.2.3.2.3 วิเคราะห์ค่าสีของเปลือกแป้งชุบทอดโดยใช้เครื่อง Minolta  
Chroma Meter CR 300 series ในระบบ CIE L\* a\* b\*  
แหล่งกำเนิดแสง D65

3.2.3.2.4 วิเคราะห์ความชื้นของชิ้นอาหารหลังทอดตามวิธีของ  
A.O.A.C (1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

3.2.3.2.5 วิเคราะห์ความชื้นของเปลือกแป้งทอดตามวิธีของ  
A.O.A.C (1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

3.2.3.2.6 วิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดตามวิธีของ  
Olewnik และ Kulp (1990)

แยกชั้นเปลือกแป้งชุบทอดออกจากชิ้นอาหาร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นบดตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ปราศจากความชื้นประมาณ 2 – 3 กรัม หาค่าการดูดซับน้ำมัน ตามวิธีของ A.O.A.C (1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. 5

3.2.3.2.7 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด  
โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2)

นำผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดวางลงบนแท่นของเครื่องวัดเนื้อสัมผัส วัดเนื้อสัมผัสโดยใช้แรงกด (compression) จากหัววัดแบบ SMS P/6 ที่เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยตั้งค่าความเร็วหัวเข็มก่อนและหลังสัมผัสกับตัวอย่าง 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหัวเข็มขณะสัมผัสตัวอย่าง 5 มิลลิเมตรต่อวินาที (ดัดแปลงจากวิธีของ Moreira et al., 1995) จากกราฟคำนวณหาค่าต่างๆดังนี้

(ก) ความชัน (slope, g/mL)

แสดงถึงความกรอบ

(Jackson, Bourne, and Barnard, 1996)

โดยคิดตั้งแต่หัววัดเริ่มสัมผัสตัวอย่างจนเจาะลึกลงไป 0.5 มิลลิเมตร

(ข) ค่า peak force (g)

เป็นแรงที่ใช้ทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหัก

(ค) ค่าพื้นที่ใต้กราฟ (area, g-mm)

แสดงถึง งานที่ใช้ในการกด

(work of compression) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวชิ้นอาหาร

(ง) ค่า distance (mm)

คำนวณตั้งแต่ระยะทางที่หัวเข็มเริ่มสัมผัสตัวอย่างจนถึงระยะทางที่ทำให้เกิด peak force

วางแผนการทดลองแบบ Factorial Design with Control ขนาด 5x3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

### 3.2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอด

การเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอดจะใช้วิธีการเปรียบเทียบแบบเชิงปริมาณ โดยผู้ทดสอบชิมตัวอย่างและพิจารณาปริมาณการเกาะติดของแป้ง การดูดซับน้ำมัน ความกรอบและการยอมรับโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบที่แสดงในภาคผนวก ข.2

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน ทำการทดลองเป็นจำนวน 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

##### 4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่ดัดแปร

สตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่ดัดแปรมีความชื้นร้อยละ 9.46 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.14 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณไขมันร้อยละ 0.61 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณเส้นใยน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างหลักของสตาร์ชโดยทั่วไปประกอบด้วยโพลีเมอร์ของกลูโคสเรียงต่อกันและสตาร์ชมันสำปะหลังเป็นสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูงมากจึงมีสิ่งปนเปื้อนต่ำ (Davies, Miller, and Procter, 1980)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่ดัดแปร

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง
ความชื้น	$9.46^1 \pm 0.05$
เถ้า	$0.17 \pm 0.00$
โปรตีน	$0.14 \pm 0.00$
ไขมัน	$0.61 \pm 0.02$
เส้นใย	- <sup>2</sup>
คาร์โบไฮเดรต	89.62

<sup>1</sup> ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

<sup>2</sup> มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

##### 4.1.2 ปริมาณคาร์บอนิลและปริมาณคาร์บอกซิลของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ที่ใช้ในงานวิจัยมี 4 ตัวอย่าง แบ่งตามร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสตาร์ช คือ ร้อยละ 1.5 2.0 3.0 และ 5.0 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสตาร์ชจะเกิดแบบสุ่ม โดยหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของสตาร์ชจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นหมู่คาร์บอนิล และหมู่คาร์บอกซิล

จากผลการทดลองหาปริมาณคาร์บอกซิลและปริมาณคาร์บอนิลของสตาร์ช  
มันสำปะหลังออกซิไดซ์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสตาร์ช  
เพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 1.5 2.0 3.0 และ 5.0 ปริมาณคาร์บอกซิลของสตาร์ชออกซิไดซ์จะเพิ่มขึ้นเป็น  
ร้อยละ 0.28 0.29 0.45 และ 0.77 ตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าไม่เกินจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์แปรรูปสำหรับ  
อุตสาหกรรมอาหารที่กำหนดไว้ว่า สตาร์ชออกซิไดซ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต้องทำปฏิกิริยา  
กับคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ไม่เกินร้อยละ 5.5 และผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องมีปริมาณ  
คาร์บอกซิลไม่เกินร้อยละ 1.1 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535) ส่วนปริมาณคาร์บอนิลของสตาร์ช  
ออกซิไดซ์ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.03 0.04 0.05 และ 0.08 ตามลำดับและแตกต่าง  
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ  
คลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสตาร์ชจะทำให้สตาร์ชเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดียิ่งขึ้น วัดได้  
จากปริมาณหมู่คาร์บอกซิลและปริมาณหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของสตาร์ช

ตารางที่ 4.2 ปริมาณคาร์บอนิลและปริมาณคาร์บอกซิลของสตาร์ชออกซิไดซ์

	ความเข้มข้นของ active chlorine <sup>1</sup> (%)			
	1.5	2.0	3.0	5.0
ปริมาณคาร์บอกซิล	0.28 <sup>a</sup> ± 0.00	0.29 <sup>b</sup> ± 0.01	0.45 <sup>c</sup> ± 0.00	0.77 <sup>d</sup> ± 0.00
ปริมาณคาร์บอนิล	0.03 <sup>a</sup> ± 0.00	0.04 <sup>b</sup> ± 0.00	0.05 <sup>c</sup> ± 0.00	0.08 <sup>d</sup> ± 0.00

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.1.3 ค่าสีของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี

การวัดสีของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลีวัดในหน่วย  $L^* a^* b^*$  โดยค่า  $L^*$  จะแสดงถึงความสว่าง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 แสดงถึงสีขาวและต่ำสุดเท่ากับ 0 แสดงถึงสีดำ ค่า  $a^*$  ที่เป็นค่าบวก (+) จะหมายถึงสีแดง ถ้าเป็นค่าลบ (-) จะหมายถึงสีเขียว ค่า  $b^*$  ถ้าเป็นค่าบวก (+) จะหมายถึงสีเหลือง ถ้าเป็นค่าลบ (-) จะหมายถึงสีน้ำเงิน

สมบัติของสตาร์ชออกซิไดซ์โดยทั่วไปจะมีสีขาวขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ช  
ไม่ดัดแปร เนื่องจากการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีออกซิเดชันจะละลายรงควัตถุและส่วนที่ไม่บริสุทธิ์  
ออกไป และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ยังมีสมบัติเป็นสารฟอกขาวทำให้สามารถฟอกสีของรงควัตถุที่  
มีอยู่ในสตาร์ชให้ขาวขึ้นได้ โดยที่ระดับความขาวจะเพิ่มขึ้นตามระดับออกซิเดชันที่สูงขึ้น

(Rutenberg and Solarek, 1984) จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ของสตาร์ชออกซิไดซ์และแป้งสาลีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยค่า  $L^*$  ของสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI มีค่าสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$  ของสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปพบว่ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสตาร์ชออกซิไดซ์มีหมู่คาร์บอนิลที่เป็น reactive compound สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ amino compound ได้ ดังนั้นการอบแห้งสตาร์ชที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือการเก็บสตาร์ชออกซิไดซ์ไว้เป็นระยะเวลานานๆจะทำให้สตาร์ชมีสีคล้ำเพิ่มมากขึ้น (Rutenberg and Solarek, 1984) ซึ่งสอดคล้องกับค่า  $b^*$  ของสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปซึ่งพบว่ามีค่าเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีของแป้งสาลีพบว่ามีค่า  $L^*$  ต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าเท่ากับ 95.3 ส่วนค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  มีค่าเท่ากับ 0.1 และ 7.7 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าเป็นสีเหลืองมากกว่าเมื่อเทียบกับสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี

active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0.0	99.2 <sup>c</sup> ± 0.0	-0.1 <sup>a</sup> ± 0.1	1.2 <sup>a</sup> ± 0.0
1.5	99.6 <sup>d</sup> ± 0.0	-0.1 <sup>a</sup> ± 0.0	1.5 <sup>b</sup> ± 0.0
2.0	99.0 <sup>b</sup> ± 0.0	0.1 <sup>bc</sup> ± 0.1	2.1 <sup>c</sup> ± 0.0
3.0	99.0 <sup>b</sup> ± 0.1	0.1 <sup>b</sup> ± 0.0	2.5 <sup>c</sup> ± 0.1
5.0	98.9 <sup>b</sup> ± 0.0	0.2 <sup>c</sup> ± 0.0	2.3 <sup>d</sup> ± 0.1
wheat flour	95.3 <sup>a</sup> ± 0.2	0.1 <sup>b</sup> ± 0.1	7.7 <sup>f</sup> ± 0.1

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.1.4 ธรรมชาติการดูดซับน้ำและธรรมชาติการละลายน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลีที่อุณหภูมิห้อง

สตาร์ชแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำและละลายไม่เท่ากัน ซึ่งการดูดซับน้ำและการละลายน้ำมีผลต่อความหนืด ดังนั้นการนำสตาร์ชต่างชนิดกันมาผลิตเป็นแป้งชุบทอด จะทำให้มีความหนืดและการเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้ง



สารีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 1.97 – 2.23 กรัม/กรัมสตา์รซ์แห้ง ค่าครรชนีการละลายน้ำของสตา์รซ์มันสำปะหลังออกซิดซ์และแป้งสารีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าแป้งสารีมีค่าครรชนีการละลายน้ำสูงสุด คือ 6.71% สตา์รซ์มันสำปะหลังไม่ค้ดแปรมีค่าครรชนีการละลายน้ำต่ำที่สุด คือ 0.46% เมื่อพิจารณาในกลุ่มของสตา์รซ์ออกซิดซ์ (1.5 – 5.0% CI) พบว่าเมื่อระดับออกซิดซ์สูงขึ้น ค่าครรชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยเพิ่มจาก 0.53% ในสตา์รซ์ออกซิดซ์ที่มีระดับออกซิดซ์ 1.5% CI เป็น 2.13% ในสตา์รซ์ออกซิดซ์ที่มีระดับออกซิดซ์ 5.0% CI

**ตารางที่ 4.4** ครรชนีการดูดซ้บน้ำและครรชนีการละลายน้ำของสตา์รซ์มันสำปะหลังออกซิดซ์และแป้งสารี ที่อุณหภูมิห้อง

active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)	ครรชนีการดูดซ้บน้ำ <sup>ns</sup> (กรัม/กรัมสตา์รซ์แห้ง)	ครรชนีการละลายน้ำ (%)
0.0	2.23 ± 0.06	0.46 <sup>a</sup> ± 0.01
1.5	2.15 ± 0.22	0.53 <sup>a</sup> ± 0.02
2.0	2.01 ± 0.01	1.36 <sup>b</sup> ± 0.28
3.0	2.01 ± 0.01	1.63 <sup>b</sup> ± 0.00
5.0	2.03 ± 0.01	2.13 <sup>c</sup> ± 0.02
wheat flour	1.97 ± 0.04	6.71 <sup>d</sup> ± 0.06

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตา์รซ์ (โดยน้ำหนักแห้ง)  
ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

สตา์รซ์โดยทั่วไปจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซ้บน้ำไว้ได้ประมาณ 25 – 30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้ (Kerr, 1950) ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นระหว่างโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในโครงสร้างผลึก จึงทำให้สตา์รซ์ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนอัสัณฐานซึ่งเป็นส่วนที่เกาะกันอย่างหลวมๆและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถดูดซ้บน้ำได้บ้างในน้ำเย็น (Leach et al., 1959) ดังนั้นสตา์รซ์ไม่ค้ดแปรจึงมีค่าครรชนีการละลายน้ำต่ำสุด ส่วนในกลุ่มของสตา์รซ์ออกซิดซ์ พบว่ามีค่าการละลายที่สูงกว่าสตา์รซ์ไม่ค้ดแปร เนื่องจากการค้ดแปรสตา์รซ์ด้วยวิธีออกซิดซ์จะทำให้เกิดหมู่คาร์บอกซิล

ในโมเลกุลซึ่งมีสมบัติเป็นหมู่ hydrophilic ทำให้มีความสามารถในการจับน้ำได้ดี (Wang and Wang, 2003)

#### 4.1.5 กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C

จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่ากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสตาร์ชแต่ละชนิดมีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากส่วนอสัณฐานของสตาร์ชมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากขึ้น และพันธะระหว่างโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกเริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลในส่วนที่คลายตัวจะมีการดูดซับน้ำได้มากขึ้น ทำให้เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นอีก พันธะส่วนผลึกที่เหลือจะคลายตัวทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่ เม็ดสตาร์ชอาจแตกออกทำให้เกิดการละลายมากขึ้น เมื่อพิจารณาในกลุ่มสตาร์ชออกซิไดซ์ พบว่ามีกำลังการพองตัวที่ต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร (รูปที่ 4.1) ยกเว้นที่อุณหภูมิ 55 °C ซึ่งพบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI มีกำลังการพองตัวสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปรและสตาร์ชออกซิไดซ์กลุ่มอื่น ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Wang และ Wang (2003) ที่พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์จากข้าวโพดข้าวเหนียวมีกำลังการพองตัวต่ำทุกอุณหภูมิเมื่อเทียบกับสตาร์ชไม่ดัดแปร Wang และ Wang (2003) ให้เหตุผลว่าสตาร์ชออกซิไดซ์โดยทั่วไปมีโครงสร้างเป็นโพรงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำระหว่างการให้ความร้อนแต่จะไม่เสถียรเมื่อนำไป centrifuge ในขณะที่สตาร์ชไม่ดัดแปรจะมีการดูดซับน้ำและเกิดพันธะกับโมเลกุลของน้ำที่แข็งแรงกว่า จากการสังเกตพบว่าที่อุณหภูมิ 75 และ 85 °C สตาร์ชออกซิไดซ์ที่ 5.0% CI ไม่สามารถวัดตะกอนหรือเจลแข็งที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากผลของออกซิเดชันจะทำให้เม็ดสตาร์ชมีรอยแตกตามแนวรัศมีจากการทำปฏิกิริยาของสารออกซิไดซ์ ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายสตาร์ชจะทำให้สตาร์ชส่วนใหญ่มีแนวโน้มแตกเป็นส่วนเล็กๆและละลายในสารละลายมากกว่าที่จะพองตัวเหมือนสตาร์ชไม่ดัดแปร (Wurzburg, 1986) ส่วนกำลังการพองตัวของแป้งสาลีพบว่ามีค่าต่ำ เนื่องจากแป้งสาลีเป็นแป้งในกลุ่มธัญพืชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง จึงทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนที่มีในแป้งสาลีอาจยับยั้งการพองตัวของแป้งได้ ทำให้แป้งสาลีมีการพองตัวต่ำ (Leach et al., 1959)

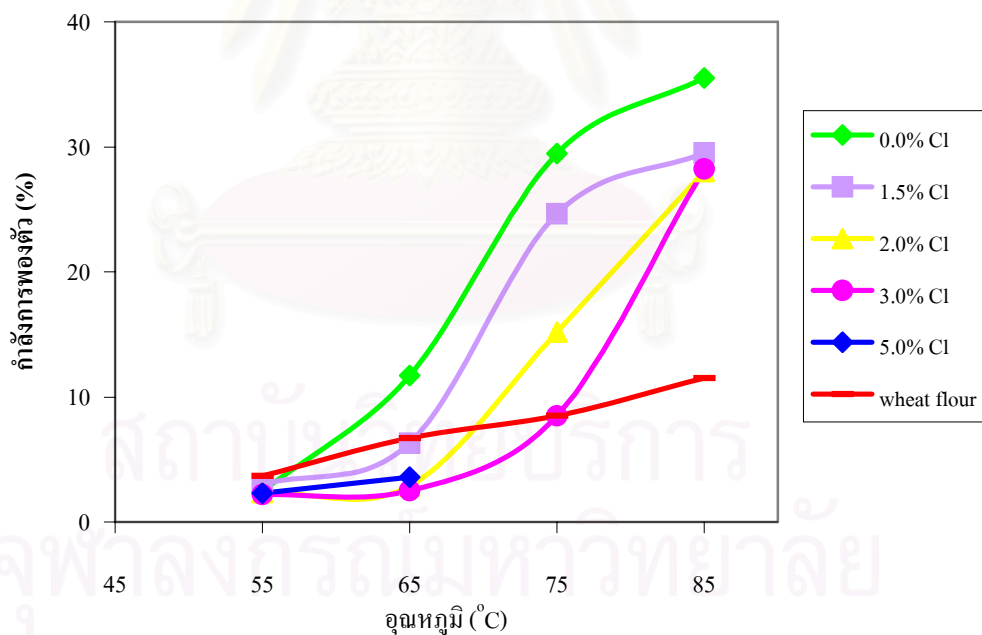
ตารางที่ 4.5 กำลังการฟองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี  
ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C

อุณหภูมิที่ทดสอบ	กำลังการฟองตัว (%)					wheat flour
	สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร โดยใช้ active chlorine <sup>1</sup> (concentration, %)					
	0.0	1.5	2.0	3.0	5.0	
55 °C	2.46 <sup>b</sup> ±0.10	3.03 <sup>c</sup> ±0.05	2.34 <sup>ab</sup> ±0.21	2.19 <sup>a</sup> ±0.03	2.31 <sup>ab</sup> ±0.06	3.69 <sup>d</sup> ±0.10
65 °C	11.72 <sup>f</sup> ±0.25	6.29 <sup>d</sup> ±0.25	2.84 <sup>b</sup> ±0.04	2.50 <sup>a</sup> ±0.05	3.58 <sup>c</sup> ±0.04	6.68 <sup>c</sup> ±0.15
75 °C	29.44 <sup>d</sup> ±0.95	24.67 <sup>c</sup> ±0.35	15.19 <sup>b</sup> ±0.31	8.50 <sup>a</sup> ±0.20	- <sup>2</sup>	8.51 <sup>a</sup> ±0.12
85 °C	35.49 <sup>d</sup> ±1.33	29.51 <sup>c</sup> ±0.43	28.02 <sup>b</sup> ±0.29	28.21 <sup>b</sup> ±0.12	- <sup>2</sup>	11.52 <sup>a</sup> ±0.45

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่สามารถวัดตะกอนหรือเจลแข็งได้ เนื่องจากสตาร์ชมีความสามารถในการละลาย 100%



รูปที่ 4.1 กำลังการฟองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (0.0 – 5.0% Cl)  
และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C

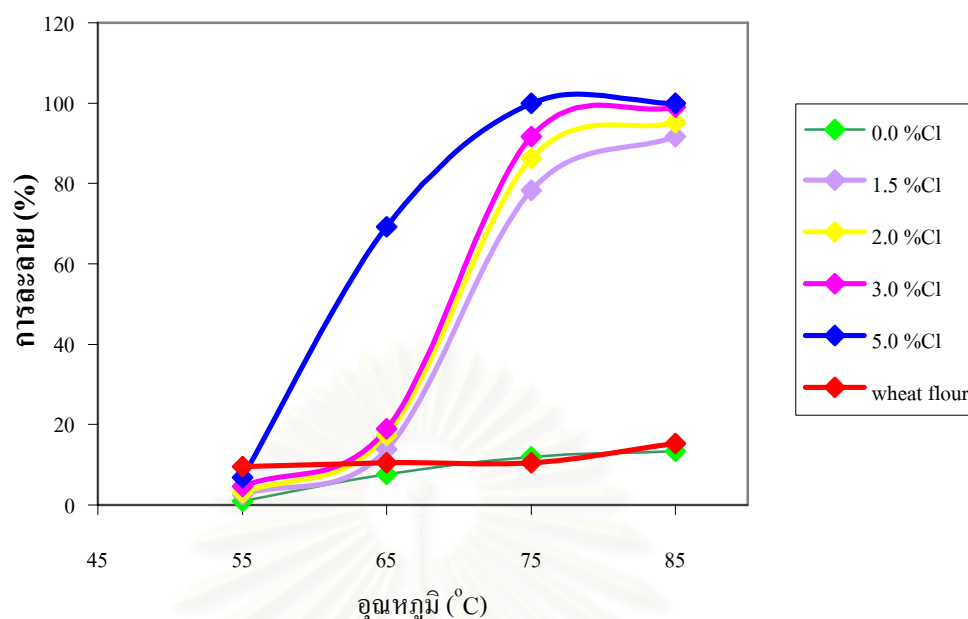
ความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปร (0.0% CI) สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5–5.0% CI) และแป้งสาลีแสดงดังตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ชทุกชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 75 °C และ 85 °C สตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI มีค่าการละลายสูงถึง 100% เมื่อพิจารณาในแต่ละอุณหภูมิพบว่า การละลายน้ำของสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) มีค่าการละลายน้ำสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และมีค่าการละลายสูงขึ้นตามระดับออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2) เนื่องจากการมีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลและผลจากการเกิด depolymerization ของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่ระดับออกซิเดชันสูงๆ ส่วนแป้งสาลีมีความสามารถในการละลายต่ำทุกอุณหภูมิ ยกเว้นที่อุณหภูมิ 55 °C ซึ่งพบว่ามีค่าการละลายสูงกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (0.0 – 5.0% CI) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการละลายของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C

อุณหภูมิที่ทดสอบ	ความสามารถในการละลาย (%)					wheat flour
	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร โดยใช้ active chlorine <sup>1</sup> (concentration, %)					
	0.0	1.5	2.0	3.0	5.0	
55 °C	1.00 <sup>a</sup> ±0.04	2.56 <sup>b</sup> ±0.11	3.05 <sup>c</sup> ±0.12	4.60 <sup>d</sup> ±0.08	6.90 <sup>e</sup> ±0.18	9.51 <sup>f</sup> ±0.11
65 °C	7.68 <sup>a</sup> ±0.21	13.88 <sup>c</sup> ±0.65	17.32 <sup>d</sup> ±0.32	18.89 <sup>e</sup> ±0.46	69.28 <sup>f</sup> ±0.34	10.46 <sup>b</sup> ±0.04
75 °C	11.86 <sup>b</sup> ±0.20	78.34 <sup>c</sup> ±0.09	86.19 <sup>d</sup> ±0.81	91.64 <sup>e</sup> ±0.29	100.0 <sup>f</sup> ±0.00	10.53 <sup>a</sup> ±0.19
85 °C	13.35 <sup>a</sup> ±0.40	91.74 <sup>c</sup> ±0.42	95.21 <sup>d</sup> ±0.28	99.06 <sup>e</sup> ±0.27	100.0 <sup>f</sup> ±0.00	15.35 <sup>b</sup> ±0.46

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 4.2 ความสามารถในการละลายของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C

#### 4.1.6 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชด้วยเครื่อง RVA แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) มีค่า peak viscosity ค่า trough ค่า breakdown ค่า final viscosity และค่า setback น้อยมากและแตกต่างจากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรและแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากรูปที่ 4.3 พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5-5.0% CI) มีความหนืดน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็น peak viscosity ได้ โดยมีค่า peak viscosity อยู่ในช่วง 1 – 6 RVU ค่า trough อยู่ในช่วง 0 – 2 RVU ค่า breakdown อยู่ในช่วง 1 – 4 RVU ค่า final viscosity อยู่ในช่วง 0 – 4 RVU และค่า setback อยู่ในช่วง 1 – 2 RVU ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kuakpetoon และ Wang (2001) และ Wang และ Wang (2003) ที่พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์มีค่า peak viscosity ค่า trough ค่า breakdown ค่า final viscosity และค่า setback ลดลงเมื่อระดับออกซิเดชันสูงขึ้น

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี

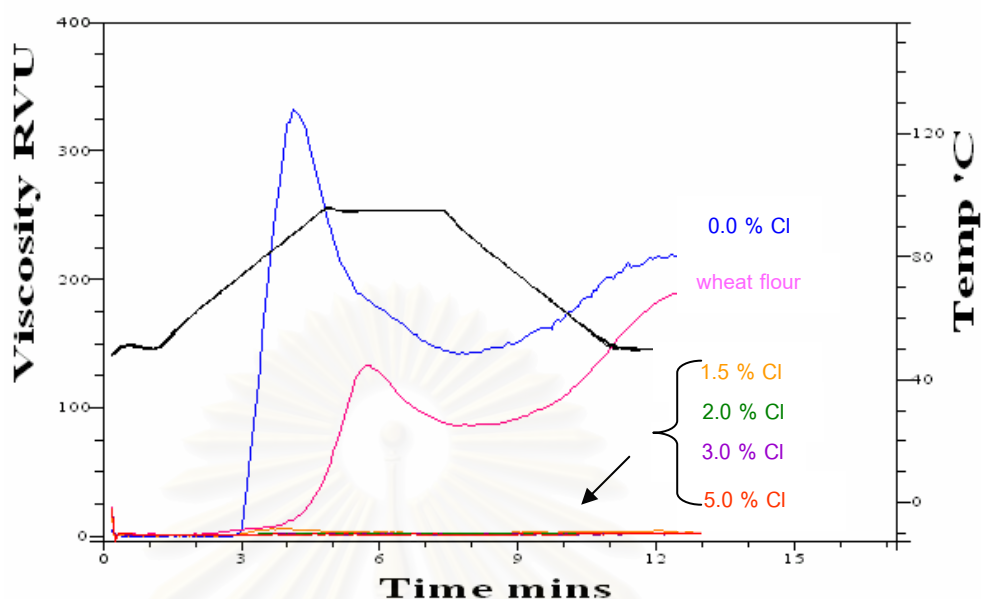
chlorine conc. <sup>1</sup> (%)	peak			final			pasting temperature (°C)
	viscosity (RVU)	trough (RVU)	breakdown (RVU)	viscosity (RVU)	setback (RVU)	peak time (min)	
0.0	329.0 <sup>c</sup> ±4.0	140.0 <sup>c</sup> ±3.0	189.0 <sup>d</sup> ±1.0	213.0 <sup>c</sup> ±6.0	73.0 <sup>b</sup> ±3.0	4.2 <sup>a</sup> ±0.1	72.3±1.1
1.5	6.0 <sup>a</sup> ±0.0	2.0 <sup>a</sup> ±0.0	4.0 <sup>b</sup> ±1.0	4.0 <sup>a</sup> ±1.0	2.0 <sup>a</sup> ±0.0	3.9 <sup>a</sup> ±0.0	- <sup>2</sup>
2.0	2.0 <sup>a</sup> ±1.0	1.0 <sup>a</sup> ±1.0	1.0 <sup>a</sup> ±1.0	1.0 <sup>a</sup> ±2.0	1.0 <sup>a</sup> ±1.0	4.0 <sup>a</sup> ±0.3	- <sup>2</sup>
3.0	1.0 <sup>a</sup> ±1.0	0.0 <sup>a</sup> ±2.0	1.0 <sup>a</sup> ±0.0	1.0 <sup>a</sup> ±1.0	1.0 <sup>a</sup> ±0.0	3.9 <sup>a</sup> ±0.2	- <sup>2</sup>
5.0	1.0 <sup>a</sup> ±1.0	0.0 <sup>a</sup> ±2.0	1.0 <sup>a</sup> ±1.0	0.0 <sup>a</sup> ±2.0	1.0 <sup>a</sup> ±0.0	5.4 <sup>b</sup> ±0.7	- <sup>2</sup>
wheat flour	131.0 <sup>b</sup> ±3.0	85.0 <sup>b</sup> ±1.0	46.0 <sup>c</sup> ±1.0	191.0 <sup>b</sup> ±3.0	106.0 <sup>c</sup> ±2.0	5.8 <sup>b</sup> ±0.1	87.9±0.6

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่สามารถหาค่า pasting temperature ได้ เนื่องจากไม่ปรากฏ peak ความหนืดสูงสุด

ทั้งนี้สามารถอธิบายผลการทดลองนี้ได้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดการตัดสายโมเลกุล (depolymerization) ของสตาร์ชออกซิไดซ์ให้สั้นลง ส่งผลให้สตาร์ชออกซิไดซ์มีความหนืดต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร และเนื่องจากหมู่คาร์บอนิลและหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการรวมตัวของสายอะมิโลสหลังปรุงสุก (Wurzberg, 1986) ทำให้มีแนวโน้มการเกิดเจลและการรวมตัวของน้ำสตาร์ชสุกลดลง จากการสังเกตสตาร์ชเปียกของสตาร์ชออกซิไดซ์ พบว่ามีความใสและมีความเป็นของเหลวมากขึ้น ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีค่า peak viscosity ค่า trough ค่า breakdown และค่า final viscosity สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชออกซิไดซ์และแป้งสาลี ส่วนค่า setback ของสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปร มีค่าต่ำกว่าแป้งสาลี เนื่องจากสตาร์ชมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลเพกติน 83% และแป้งสาลีมีปริมาณอะมิโลเพกติน 72% (Hizukuri, 1988) ซึ่งสตาร์ชมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลเพกติน (83%) ที่สูงกว่าแป้งสาลี (72%) ดังนั้นจึงเกิดการคืนตัวได้น้อยกว่า ส่งผลให้มีค่า setback ที่น้อยกว่าแป้งสาลี ส่วน pasting temperature ของสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีค่าเท่ากับ 72.3 °C และ pasting temperature ของแป้งสาลีมีค่าเท่ากับ 87.9 °C ในกลุ่มของสตาร์ชออกซิไดซ์พบว่าไม่สามารถหาค่า pasting temperature ได้



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี

#### 4.1.7 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

การตรวจวัดสมบัติทางความร้อนเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงที่บอกถึงพลังงานที่ต้องให้กับตัวอย่างในการเปลี่ยนสถานะ พลังงานที่ใช้ไปเรียกว่าเอนทัลปี (enthalpy,  $\Delta H$ ) อุณหภูมิที่ตัวอย่างเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเรียกว่า onset temperature ( $T_0$ ) ที่อุณหภูมินี้ตัวอย่างจะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงและมีการให้หรือรับพลังงานเพื่อเปลี่ยนแปลงสถานะ (Swinkels, 1985)

จากการทดลองหาสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสตาร์ชออกซิไดซ์ โดยใช้เครื่อง DSC พบว่าค่า  $T_0$ ,  $T_p$  และ  $T_c$  มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปร มีอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันระหว่าง  $T_0$  ถึง  $T_p$  คือ  $64.0^\circ\text{C} - 70.1^\circ\text{C}$  สตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI มีค่า  $64.3^\circ\text{C} - 72.0^\circ\text{C}$  สตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI มีค่า  $68.5^\circ\text{C} - 73.7^\circ\text{C}$  สตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0% CI มีค่า  $67.1^\circ\text{C} - 73.5^\circ\text{C}$  สตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI มีค่า  $67.2^\circ\text{C} - 73.2^\circ\text{C}$  จากผลการทดลองพบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) มีอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น (3.0 และ 5.0% CI) พบว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Wang และ Wang (2003) ซึ่งพบว่าสตาร์ชข้าวโพดออกซิไดซ์และสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวออกซิไดซ์มีอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันสูงขึ้นที่ระดับออกซิเดชันต่ำ (0.25-1.25% CI) เนื่องจากมีการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ในส่วนอสัณฐาน (Forssell et al., 1995) และมีอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชัน

ลดลงในสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น (1.5 – 3.0% CI) เนื่องจากพันธะในส่วนผลึก มีความแข็งแรงลดลง ส่วนค่าเอนทัลปี ( $\Delta H$ ) ของสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ตัดแปร (0.0% CI) และ สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 13.6 - 15.4 (J/g)

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

	active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)				
	0.0	1.5	2.0	3.0	5.0
$T_o$ (°C)	64.0 <sup>a</sup> ±0.1	64.3 <sup>b</sup> ±0.2	68.5 <sup>d</sup> ±0.0	67.1 <sup>c</sup> ±0.0	67.2 <sup>c</sup> ±0.0
$T_p$ (°C)	70.1 <sup>a</sup> ±0.1	72.0 <sup>b</sup> ±0.2	73.7 <sup>d</sup> ±0.1	73.5 <sup>cd</sup> ±0.1	73.2 <sup>c</sup> ±0.2
$T_c$ (°C)	79.5 <sup>a</sup> ±1.2	82.4 <sup>b</sup> ±0.3	84.6 <sup>c</sup> ±0.3	86.5 <sup>e</sup> ±0.4	86.0 <sup>de</sup> ±0.1
$\Delta H$ (J/g)	13.9 <sup>a</sup> ±1.6	14.4 <sup>a</sup> ±0.5	14.8 <sup>a</sup> ±1.1	13.6 <sup>a</sup> ±1.4	15.4 <sup>a</sup> ±0.4

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.1.8 ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี

ความหนาแน่นของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งสาลีมีค่าความหนาแน่นของสตาร์ชมากที่สุด คือ 0.70 g/mL ส่วนสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI มีค่าความหนาแน่นของสตาร์ชต่ำที่สุด คือ 0.57 g/mL ซึ่งค่าความหนาแน่นของสตาร์ชมีผลต่อการบรรจุผลิตภัณฑ์ ถ้าค่าความหนาแน่นของสตาร์ชมีค่าต่ำจะทำให้เปลืองเนื้อที่ในการบรรจุ เมื่อพิจารณาสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ 0.0 – 3.0% CI พบว่ามีค่าความหนาแน่นของสตาร์ชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าความหนาแน่นของสตาร์ชอยู่ในช่วง 0.63 - 0.66 g/mL

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.96 – 1.21 กรัม/น้ำหนักสตาร์ชแห้ง ซึ่งจากผลการทดลองก่อนหน้านี้ พบว่าสตาร์ชที่ระดับออกซิเดชันสูงจะมีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลซึ่งมีสมบัติเป็นหมู่ hydrophilic เพิ่มสูงขึ้น แต่จากการทดลองหาค่าดัชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชออกซิไดซ์ พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดจากการมีหมู่คาร์บอนิล และหมู่คาร์บอกซิลแทนที่หมู่



ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของสตาร์ชออกซิไดซ์ ซึ่งหมู่คาร์บอนิล และหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นจะแสดงลักษณะเป็นหมู่ bulky group ทำให้ส่วนอสัณฐานของสตาร์ชมีความหนาแน่นลดลง จึงสามารถดูดซับน้ำมันเข้าไปได้ดีขึ้น

**ตารางที่ 4.9** ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ และแป้งสาลี

active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)	ค่าความหนาแน่นของสตาร์ช (g/mL)	ค่าดัชนีการดูดซับน้ำมัน (กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง)
0.0	0.66 <sup>bc</sup> ± 0.01	0.97 <sup>ab</sup> ± 0.03
1.5	0.64 <sup>b</sup> ± 0.01	0.98 <sup>ab</sup> ± 0.04
2.0	0.65 <sup>bc</sup> ± 0.03	1.02 <sup>b</sup> ± 0.01
3.0	0.63 <sup>b</sup> ± 0.00	1.13 <sup>c</sup> ± 0.02
5.0	0.57 <sup>a</sup> ± 0.02	1.21 <sup>d</sup> ± 0.01
wheat flour	0.70 <sup>c</sup> ± 0.04	0.96 <sup>a</sup> ± 0.04

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

## 4.2 การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แป้งชูทอด

### 4.2.1 สมบัติของแป้งชูทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

#### 4.2.1.1 ดรรชนีการดูดซับน้ำและดรรชนีการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของ

##### แป้งชูทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

ค่าดรรชนีการดูดซับน้ำและดรรชนีการละลายน้ำของแป้งชูทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าดรรชนีการดูดซับน้ำและค่าดรรชนีการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์และแป้งสาลี (ตารางที่ 4.4) โดยสูตรแป้งชูทอดสูตรมาตรฐานซึ่งประกอบด้วยแป้งสาลีเพียงชนิดเดียวและเครื่องปรุงรสอื่น ๆ มีค่าดรรชนีการดูดซับน้ำต่ำสุด คือ 1.77 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง และมีค่าดรรชนีการละลายน้ำสูงสุด คือ 14.17% ส่วนแป้งชูทอดที่มีการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรและสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

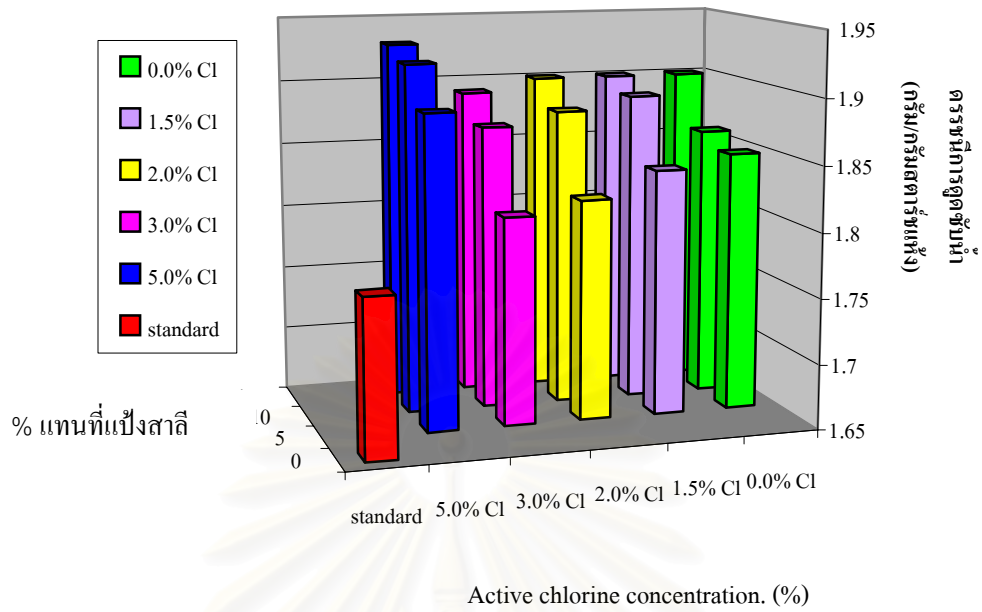
(1.5 - 5.0% CI) แทนที่แป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้นจะให้ค่าครรชนีการดูดซับน้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.4) และให้ค่าครรชนีการละลายน้ำที่มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.5)

**ตารางที่ 4.10** ครรชนีการดูดซับน้ำและครรชนีการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของแป้งชুবทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

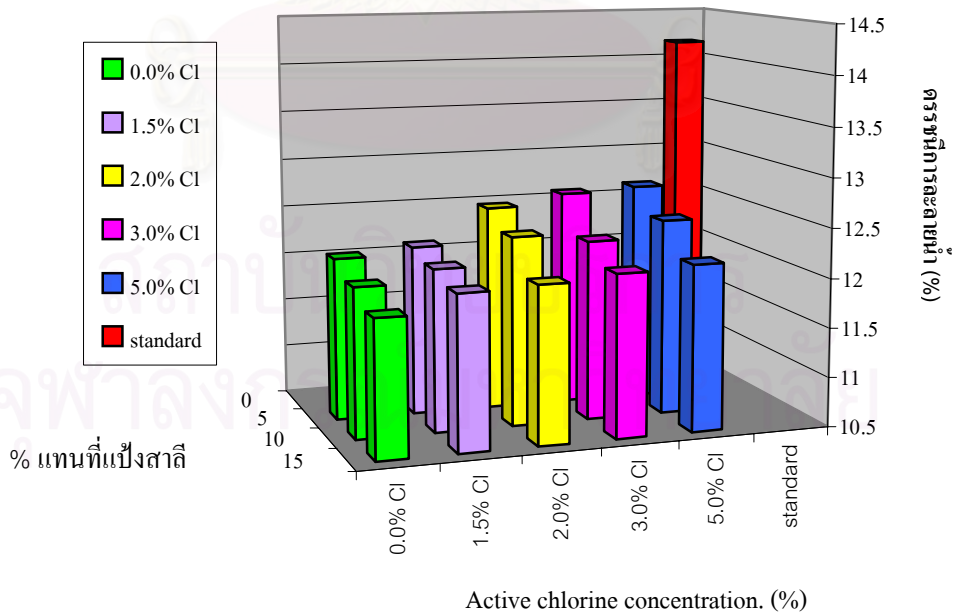
สูตรแป้งชুবทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	ครรชนีการดูดซับน้ำ (กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง)	ครรชนีการละลาย (%)
สูตรมาตรฐาน	0	1.77 <sup>a</sup> ±0.01	14.17 <sup>h</sup> ±0.04
0.0 <sup>1</sup>	5	1.85 <sup>cd</sup> ±0.00	12.15 <sup>bcd</sup> ±0.05
	10	1.86 <sup>cde</sup> ±0.01	12.01 <sup>ab</sup> ±0.08
	15	1.90 <sup>ghi</sup> ±0.01	11.87 <sup>a</sup> ±0.02
	5	1.84 <sup>bc</sup> ±0.00	12.22 <sup>cd</sup> ±0.00
1.5 <sup>1</sup>	10	1.89 <sup>fgh</sup> ±0.00	12.14 <sup>bcd</sup> ±0.04
	15	1.90 <sup>ghi</sup> ±0.01	12.05 <sup>bc</sup> ±0.03
	5	1.82 <sup>b</sup> ±0.02	12.58 <sup>fg</sup> ±0.04
2.0 <sup>1</sup>	10	1.88 <sup>defg</sup> ±0.02	12.42 <sup>ef</sup> ±0.13
	15	1.90 <sup>ghi</sup> ±0.01	12.08 <sup>bc</sup> ±0.14
	5	1.81 <sup>b</sup> ±0.01	12.69 <sup>g</sup> ±0.02
3.0 <sup>1</sup>	10	1.87 <sup>cdef</sup> ±0.02	12.32 <sup>de</sup> ±0.23
	15	1.89 <sup>efg</sup> ±0.02	12.14 <sup>bcd</sup> ±0.01
	5	1.89 <sup>fgh</sup> ±0.01	12.73 <sup>g</sup> ±0.04
5.0 <sup>1</sup>	10	1.92 <sup>hi</sup> ±0.01	12.49 <sup>ef</sup> ±0.01
	15	1.93 <sup>i</sup> ±0.01	12.18 <sup>bcd</sup> ±0.01

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 4.4 ครรชณีการคูดซบนำของเป็งซบทอดที่ผสมสตาเรซมันสำปะหลังออกซีไคซ์



รูปที่ 4.5 ครรชณีการละดาขนำของเป็งซบทอดที่ผสมสตาเรซมันสำปะหลังออกซีไคซ์

เมื่อพิจารณาสูตรแป้งชุบทอดที่มีการแทนที่แป้งสาลี 5% พบว่ามีค่าครรชนีการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 1.81 – 1.89 กรัม/กรัมสแตร์ชแห้ง และค่าครรชนีการละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 12.15 – 12.73% สูตรแป้งชุบทอดที่มีการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าครรชนีการดูดซับน้ำในช่วง 1.86 – 1.92 กรัม/กรัมสแตร์ชแห้ง และมีค่าครรชนีการละลายน้ำในช่วง 12.01 – 12.49% สูตรแป้งชุบทอดที่มีการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่าครรชนีการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 1.89 – 1.93 กรัม/กรัมสแตร์ชแห้ง และมีค่าครรชนีการละลายน้ำในช่วง 11.87 – 12.18% จากการพิจารณาที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเดียวกัน พบว่าเมื่อเพิ่มระดับออกซิเดชัน แป้งชุบทอดจะมีแนวโน้มให้ค่าครรชนีการละลายน้ำสูงขึ้น

#### 4.2.1.2 สมบัติทางการไหลของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

จากผลการทดลองพบว่าน้ำแป้งชุบทุกสูตรมีค่า flow behavior index ( $n$ ) น้อยกว่า 1 นั่นคือ มีพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thinning หรือ pseudoplastic คือ มีความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4.11 พบว่าค่า yield stress ( $\sigma_0$ ) ของน้ำแป้งชุบทุกสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานมีค่า yield stress สูงสุด คือ 1.08 Pa แสดงว่าแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานมีแนวโน้มที่ให้การเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่สูง ส่วนสูตรน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่า yield stress ต่ำที่สุด คือ 0.34 Pa เมื่อพิจารณาน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6) พบว่ามีค่า yield stress ที่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ ) จากตารางเดียวกันพบว่าให้ผลที่สอดคล้องกัน คือ น้ำแป้งชุบที่มีค่าความหนืดที่น้อยกว่าจะมีปริมาณน้ำอิสระที่มากขึ้นในการหล่อลื่นอนุภาคของเม็ดสตาร์ชและช่วยเพิ่มการไหล เป็นผลให้น้ำแป้งชุบที่มีความหนืดที่น้อยกว่ามีค่า yield stress ลดลง (Muakprasirt et al., 2000)

เนื่องจากค่า consistency index ( $K$ ) มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity,  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ ) ดังนั้นจึงอธิบายผลไปรวมกัน จากผลการทดลองพบว่าแป้งชุบทอดทุกสูตรมีค่า consistency index กับค่าความหนืดปรากฏ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าน้ำแป้งชุบสูตรมาตรฐานมีค่า consistency index กับค่าความหนืดปรากฏสูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรน้ำแป้งชุบสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 2.87 Pa.s<sup>n</sup> และ 1.27 Pa.s ตามลำดับ และสูตรน้ำแป้งชุบที่มีการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่า consistency index กับค่าความหนืดปรากฏต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.41 Pa.s<sup>n</sup> และ 0.71 Pa.s ตามลำดับ และน้อยกว่าค่า consistency index และค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งชุบสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สูตรแป้งชุบที่ผสม

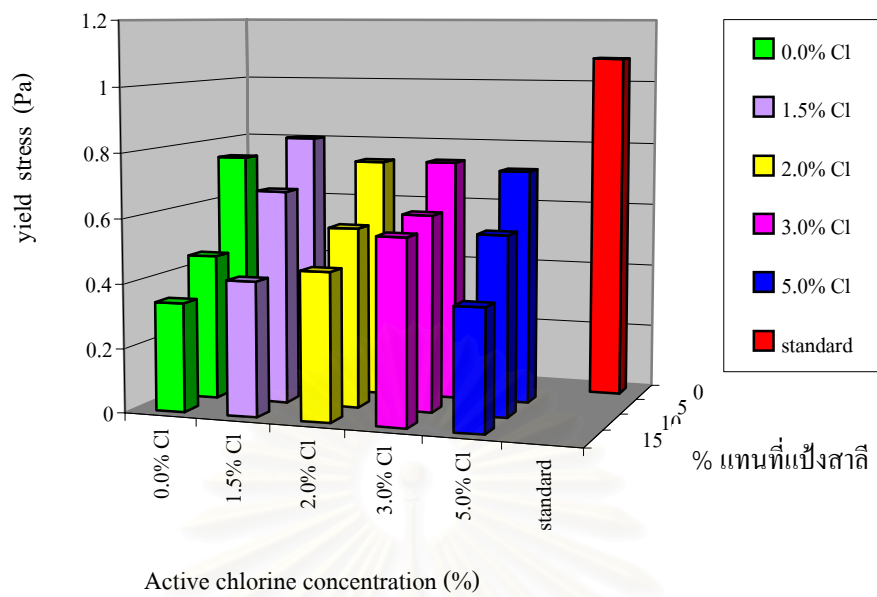
สตาร์ชมันสำปะหลังไม่ตัดแปรและสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้นไปจะมีค่า consistency index กับค่าความหนืดปรากฏที่มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.7)

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางการไหลของน้ำแป้งหุบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ ที่ shear rate 1-100 (s<sup>-1</sup>) อุณหภูมิ 25 °C

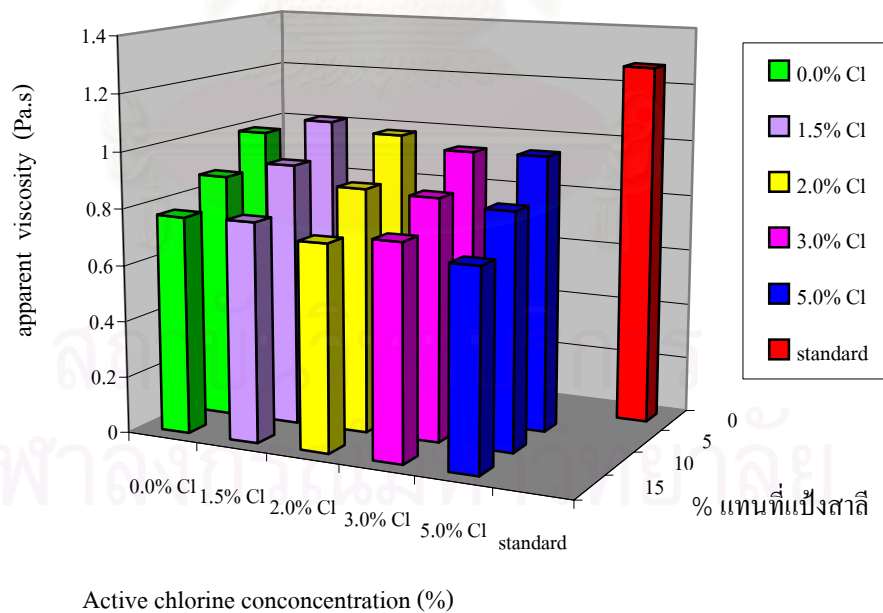
สูตรแป้งหุบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	$\sigma_0$ (Pa)	K (Pa.sn)	n	$\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ (Pa.s)	hysteresis loop (Pa.s <sup>-1</sup> )
สูตรมาตรฐาน	0	1.08 <sup>h</sup> ±0.04	2.87 <sup>i</sup> ±0.04	0.72 <sup>a</sup> ±0.00	1.27 <sup>j</sup> ±0.03	5.89 <sup>efg</sup> ±0.28
0.0 <sup>1</sup>	5	0.75 <sup>f</sup> ±0.04	2.20 <sup>gh</sup> ±0.08	0.73 <sup>abc</sup> ±0.01	1.00 <sup>gh</sup> ±0.00	5.02 <sup>bc</sup> ±0.47
	10	0.45 <sup>c</sup> ±0.00	1.82 <sup>c</sup> ±0.04	0.75 <sup>cd</sup> ±0.00	0.87 <sup>c</sup> ±0.01	6.57 <sup>g</sup> ±0.04
	15	0.34 <sup>a</sup> ±0.02	1.69 <sup>d</sup> ±0.01	0.74 <sup>bc</sup> ±0.00	0.77 <sup>c</sup> ±0.02	4.48 <sup>ab</sup> ±0.32
1.5 <sup>1</sup>	5	0.82 <sup>g</sup> ±0.02	2.32 <sup>h</sup> ±0.12	0.73 <sup>abc</sup> ±0.01	1.05 <sup>i</sup> ±0.02	6.20 <sup>fg</sup> ±0.04
	10	0.67 <sup>c</sup> ±0.00	1.96 <sup>f</sup> ±0.02	0.74 <sup>bc</sup> ±0.00	0.93 <sup>f</sup> ±0.01	5.62 <sup>cdef</sup> ±0.40
	15	0.42 <sup>bc</sup> ±0.00	1.56 <sup>bc</sup> ±0.06	0.76 <sup>dc</sup> ±0.02	0.78 <sup>c</sup> ±0.01	5.08 <sup>bcd</sup> ±0.33
2.0 <sup>1</sup>	5	0.75 <sup>f</sup> ±0.01	2.28 <sup>h</sup> ±0.11	0.72 <sup>ab</sup> ±0.01	1.02 <sup>h</sup> ±0.01	5.56 <sup>a</sup> ±0.12
	10	0.56 <sup>d</sup> ±0.02	1.84 <sup>c</sup> ±0.05	0.74 <sup>bc</sup> ±0.01	0.87 <sup>dc</sup> ±0.01	5.12 <sup>def</sup> ±0.06
	15	0.46 <sup>c</sup> ±0.03	1.45 <sup>ab</sup> ±0.02	0.76 <sup>dc</sup> ±0.01	0.73 <sup>ab</sup> ±0.01	3.81 <sup>a</sup> ±0.18
3.0 <sup>1</sup>	5	0.75 <sup>f</sup> ±0.02	2.12 <sup>g</sup> ±0.01	0.73 <sup>abc</sup> ±0.00	0.98 <sup>g</sup> ±0.00	5.83 <sup>def</sup> ±0.25
	10	0.61 <sup>d</sup> ±0.02	1.83 <sup>c</sup> ±0.00	0.74 <sup>bc</sup> ±0.00	0.86 <sup>dc</sup> ±0.01	4.48 <sup>ab</sup> ±0.07
	15	0.57 <sup>d</sup> ±0.04	1.46 <sup>ab</sup> ±0.00	0.77 <sup>c</sup> ±0.00	0.76 <sup>bc</sup> ±0.00	4.48 <sup>ab</sup> ±0.02
5.0 <sup>1</sup>	5	0.73 <sup>f</sup> ±0.01	2.12 <sup>g</sup> ±0.01	0.74 <sup>bc</sup> ±0.01	0.98 <sup>g</sup> ±0.01	5.58 <sup>cdef</sup> ±0.66
	10	0.56 <sup>d</sup> ±0.02	1.68 <sup>cd</sup> ±0.04	0.76 <sup>dc</sup> ±0.00	0.84 <sup>d</sup> ±0.02	5.34 <sup>cde</sup> ±0.54
	15	0.38 <sup>ab</sup> ±0.02	1.41 <sup>a</sup> ±0.01	0.76 <sup>dc</sup> ±0.01	0.71 <sup>a</sup> ±0.03	4.16 <sup>a</sup> ±0.04

a, b,... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 4.6 ค่า yield stress ของแป้งชุบทอดที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์

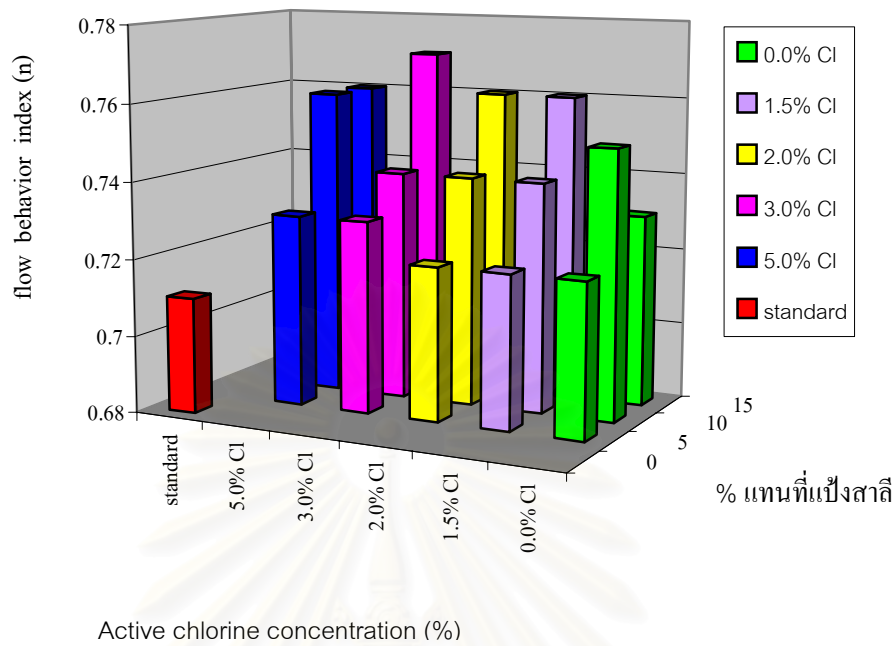


รูปที่ 4.7 ค่าความหนืดปรากฏของแป้งชุบทอดที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์

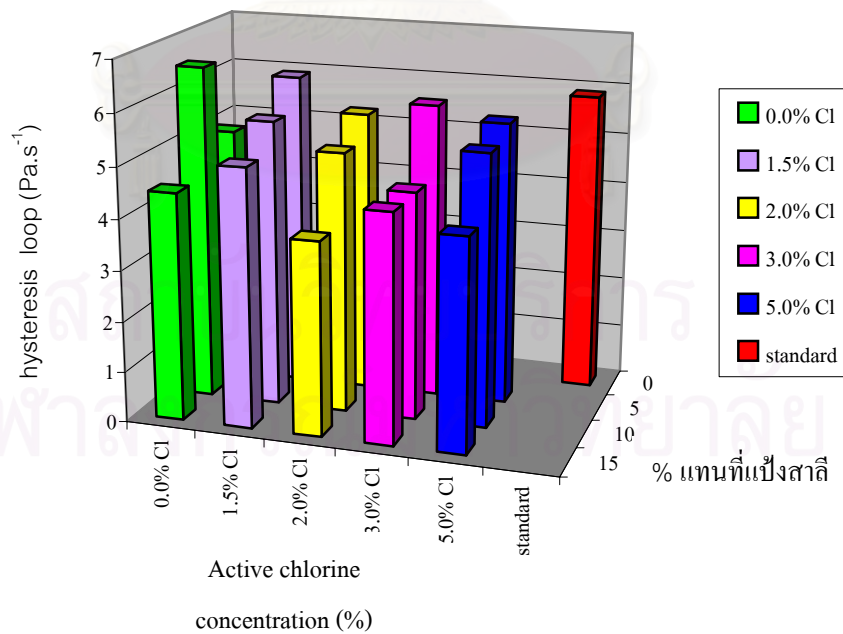
เมื่อพิจารณาสูตรแป้งขุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% พบว่าสูตรแป้งขุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 0.0 - 2.0% CI มีค่า consistency index อยู่ในช่วง 2.20 - 2.32 Pa.s<sup>n</sup> และมีแนวโน้มลดลงในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0 - 5.0% CI คือ มีค่าเท่ากับ 2.120 Pa.s<sup>n</sup> ส่วนค่าความหนืดปรากฏ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 0.98 - 1.02 Pa.s ยกเว้นแป้งขุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ให้ค่าความหนืดสูงขึ้นเป็น 1.05 Pa.s แป้งขุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% ของสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 0.0 - 3.0% CI มีค่า consistency index ในช่วง 1.82 - 1.96 Pa.s<sup>n</sup> และมีค่าลดลงอย่างมากในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI คือ มีค่าเท่ากับ 1.680 Pa.s<sup>n</sup> ส่วนค่าความหนืดปรากฏของแป้งขุบทอดมีค่าในช่วง 0.84 - 0.93 Pa.s แป้งขุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% ของสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นมีค่า consistency index และค่าความหนืดปรากฏลดลง โดยมีค่า consistency index อยู่ในช่วง 1.41 - 1.69 Pa.s<sup>n</sup> และค่าความหนืดปรากฏในช่วง 0.71 - 0.78 Pa.s

จากผลการทดลองพบว่าแป้งขุบทอดสูตรมาตรฐานมีค่า flow behavior index น้อยสุดและแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 0.72 แสดงว่าเมื่อให้อัตราเฉือนเพิ่มขึ้นแป้งขุบทอดสูตรมาตรฐานจะมีความหนืดลดลงมากกว่าแป้งขุบทอดสูตรอื่นๆ เมื่อพิจารณาแป้งขุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น (รูปที่ 4.8) พบว่าค่า flow behavior index มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และแปรผกผันกับค่าความหนืดปรากฏ แป้งขุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% 10% และ 15% ในแต่ละระดับออกซิเดชัน มีค่า flow behavior index อยู่ในช่วง 0.72 - 0.74, 0.74 - 0.76 และ 0.74 - 0.77 ตามลำดับ

จากการพิจารณาพบว่าน้ำแป้งขุบทุกสูตรมีพฤติกรรมทางการไหลเป็นแบบ thixotropic คือ มีความหนืดลดลงเมื่อได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาเพิ่มขึ้น นั่นคือ เมื่อมีการผสมน้ำแป้งขุบทิ้งไว้เป็นระยะเวลาที่นานขึ้น น้ำแป้งขุบจะมีความเหลวมากขึ้น เป็นผลให้มีความหนืดลดลง โดยสามารถแสดงผลของเวลาต่อการเพิ่มหรือลดความหนืดได้จากค่า hysteresis loop จากผลการทดลองพบว่าค่า hysteresis loop ของแป้งขุบทอดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งขุบทอดที่มีการแทนที่แป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้นมีค่า hysteresis loop ที่มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.9) โดยแป้งขุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% 10% และ 15% ในแต่ละระดับออกซิเดชัน มีค่า hysteresis loop ในช่วง 5.02 - 6.20 Pa.s<sup>-1</sup>, 4.48 - 6.57 Pa.s<sup>-1</sup> และ 3.81 - 5.08 Pa.s<sup>-1</sup> ตามลำดับจากการสังเกตพบว่าความเป็น thixotropic ของน้ำแป้งขุบมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของน้ำแป้งขุบเช่นเดียวกับความเป็น pseudoplasticity



รูปที่ 4.8 ค่า flow behavior index (n) ของแป้งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์



รูปที่ 4.9 ค่า hysteresis loop ของแป้งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์



#### 4.2.1.3 ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด (bulk density) สามารถบอกแนวโน้มในการพองตัวของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดได้ ถ้าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดมีค่าน้อยแสดงว่าก้อนแป้งทอดมีแนวโน้มในการพองตัวสูง จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 10% มีค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดต่ำกว่าแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 – 5.0% CI มีค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน ยกเว้นสูตรที่สตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% ที่พบว่ามีความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดต่ำกว่าแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐาน

จากการพิจารณาสมบัติของสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่ามียอดประกอบเป็นสตาร์ชเกือบทั้งหมด (89.62%) ดังนั้นเมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสรวมถึงการพองตัวเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับการใช้แป้งสาลี เนื่องจากสตาร์ชมันสำปะหลังมีอัตราการเกิดเจลลาคีในเซชันสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวสูงเมื่อได้รับความร้อน (Noguchi et al., 1981) เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดในแต่ละสูตรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น พบว่าก้อนแป้งทอดของสูตรที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปรและสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น นั่นคือ มีการพองตัวของก้อนแป้งทอดลดลง แต่ยังคงมีการพองตัวที่สูงกว่าสูตรมาตรฐาน จากการสังเกตพบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปรและสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับแทนที่แป้งสาลี 5% มีค่าการพองตัวที่สูง ดังนั้นการแทนที่แป้งสาลีที่ระดับสูงขึ้นก็น่าที่จะให้ค่าการพองตัวที่สูงขึ้นเช่นกัน แต่จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 15% การพองตัวของก้อนแป้งทอดกลับมีค่าลดลง อาจเกิดจากการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังในอัตราส่วนที่มากเกินไปทำให้น้ำแป้งหุบมีลักษณะเหลวมากขึ้น จึงทำให้มีบางส่วนของแป้งเกิดการกระจายตัวขณะทอด จึงได้ก้อนแป้งทอดที่ไม่สมบูรณ์ ปริมาตรของก้อนแป้งทอดจึงมีค่าน้อยลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

สูตรแป้งชุบทอด	การแทนที่แป้งสาลี (%)	ความหนาแน่นของก้อนแป้งชุบทอด (g/mL)
สูตรมาตรฐาน	0	0.45 <sup>def</sup> ± 1.91
0.0 <sup>1</sup>	5	0.38 <sup>a</sup> ± 2.07
	10	0.41 <sup>abc</sup> ± 2.32
	15	0.43 <sup>bcd</sup> ± 0.70
1.5 <sup>1</sup>	5	0.40 <sup>ab</sup> ± 0.30
	10	0.44 <sup>def</sup> ± 1.11
	15	0.46 <sup>ef</sup> ± 1.03
2.0 <sup>1</sup>	5	0.44 <sup>de</sup> ± 1.35
	10	0.43 <sup>cde</sup> ± 1.30
	15	0.42 <sup>bcd</sup> ± 1.30
3.0 <sup>1</sup>	5	0.43 <sup>bcd</sup> ± 1.82
	10	0.42 <sup>bcd</sup> ± 0.35
	15	0.47 <sup>f</sup> ± 0.87
5.0 <sup>1</sup>	5	0.47 <sup>f</sup> ± 0.43
	10	0.44 <sup>def</sup> ± 0.51
	15	0.42 <sup>bcd</sup> ± 0.72

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.2.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอดในสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

##### 4.2.2.1 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบแสดงเป็นปริมาณของน้ำแป้งชุบที่เกาะติดกับตัวอาหาร (%) จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบมีความสัมพันธ์กับค่า  $\sigma_0$  K และค่า  $\eta_{20s^{-1}, 25^\circ C}$  นั่นคือ เมื่อค่า  $\sigma_0$  K และ  $\eta_{20s^{-1}, 25^\circ C}$  มีค่าลดลง ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบ และปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งจะมีค่าลดลงด้วย น้ำแป้งชูบสูตรมาตรฐานมีค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบสูงสุด คือ 29.1% เมื่อพิจารณาน้ำแป้งชูบที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรและสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น (รูปที่ 4.10) จะให้ค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากแป้งสาลีมีส่วนของโปรตีนกลูเตนที่ช่วยในการอุ้มน้ำและให้โครงสร้างทำให้แป้งสาลีมีความหนืดที่สูง ดังนั้นน้ำแป้งชูบที่มีการแทนที่แป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้นจึงให้ค่าความหนืดปรากฏที่มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้การเกาะติดของน้ำแป้งชูบต่อชิ้นไก่มีค่าลดลง เมื่อพิจารณาน้ำแป้งชูบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่างๆ แทนที่แป้งสาลีในระดับเดียวกัน พบว่าน้ำแป้งชูบในแต่ละสูตรที่มีการแทนที่แป้งสาลี 5% 10% และ 15% มีค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบให้ค่าอยู่ในช่วง 24.2 – 25.2 %, 19.1 – 21.4 % และ 17.1 - 17.8 % ตามลำดับ

ปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดต่อผลิตภัณฑ์ไก่แสดงเป็นปริมาณของเปลือกแป้งหลังทอดที่ติดอยู่ที่อาหาร หากค่าโดยการหาผลต่างระหว่างน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดกับน้ำหนักของไก่ทอดที่เกาะเปลือกแป้งออกเทียบคือน้ำหนักของชิ้นไก่หลังทอดพบว่าแป้งชูบทอดสูตรมาตรฐานให้ค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดสูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่า 35.9% ซึ่งให้ผลสัมพันธ์กับค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบ กล่าวคือ น้ำแป้งชูบที่มีความสามารถในการเกาะติดสูง ดังนั้นเวลาทอดย่อมให้ปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดที่สูงเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดในแต่ละสูตรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น (รูปที่ 4.11) พบว่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดต่อผลิตภัณฑ์ไก่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สอดคล้องกับค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบ (ตาราง 4.13) ยกเว้นสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0 และ 5.0% CI ที่มีค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดลดลงที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีจาก 5% เป็น 10% และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่เป็นการเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% เนื่องจากสมบัติการเกาะติดที่ดีของสตาร์ชออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นผลของหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสตาร์ชและน้ำทำให้สตาร์ชมีสมบัติการเกาะติดที่ดีกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร (Kaukpetoon and Wang, 2001) และอาจเกิดจากหมู่แอลดีไฮด์ของสตาร์ชออกซิไดซ์ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนอิสระของโปรตีนในชิ้นเนื้อไก่และหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชในแป้งชูบทอด (Muakprasirt et al., 2000) ทำให้ค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15%

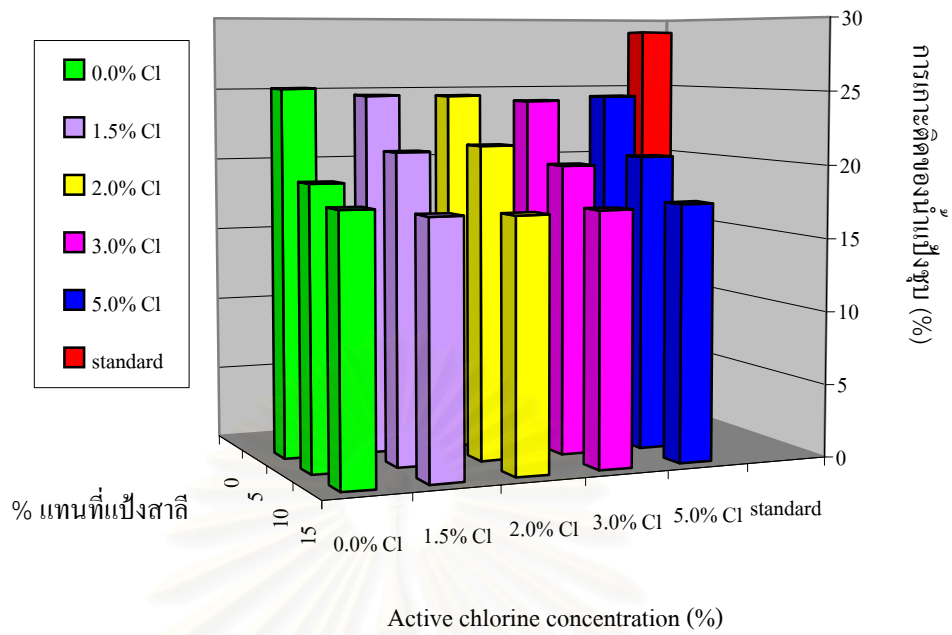
ตารางที่ 4.13 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบและเปลือกแป้งทอดที่ผสม  
สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชูบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	การเกาะติด ของน้ำแป้งชูบ (%)	การเกาะติด ของเปลือกแป้งทอด (%)
สูตรมาตรฐาน	0	29.1 <sup>a</sup> ±0.0	35.9 <sup>a</sup> ±0.1
0.0 <sup>1</sup>	5	25.2 <sup>b</sup> ±0.2	34.0 <sup>b</sup> ±0.5
	10	19.1 <sup>c</sup> ±0.1	29.0 <sup>d</sup> ±0.3
	15	17.8 <sup>f</sup> ±0.1	27.5 <sup>def</sup> ±0.5
1.5 <sup>1</sup>	5	24.7 <sup>b</sup> ±0.0	33.9 <sup>b</sup> ±0.1
	10	21.1 <sup>c</sup> ±1.3	29.2 <sup>d</sup> ±0.0
	15	17.2 <sup>f</sup> ±0.4	26.1 <sup>f</sup> ±0.1
2.0 <sup>1</sup>	5	24.6 <sup>b</sup> ±0.6	33.1 <sup>bc</sup> ±0.9
	10	21.4 <sup>c</sup> ±0.5	26.3 <sup>f</sup> ±0.5
	15	17.1 <sup>f</sup> ±0.4	27.3 <sup>ef</sup> ±0.2
3.0 <sup>1</sup>	5	24.2 <sup>b</sup> ±0.1	32.2 <sup>c</sup> ±0.7
	10	19.9 <sup>de</sup> ±0.0	27.3 <sup>ef</sup> ±0.3
	15	17.3 <sup>f</sup> ±0.4	28.7 <sup>de</sup> ±0.4
5.0 <sup>1</sup>	5	24.4 <sup>b</sup> ±0.6	32.2 <sup>c</sup> ±0.2
	10	20.4 <sup>cd</sup> ±0.1	28.9 <sup>de</sup> ±1.9
	15	17.5 <sup>f</sup> ±0.5	29.2 <sup>d</sup> ±0.1

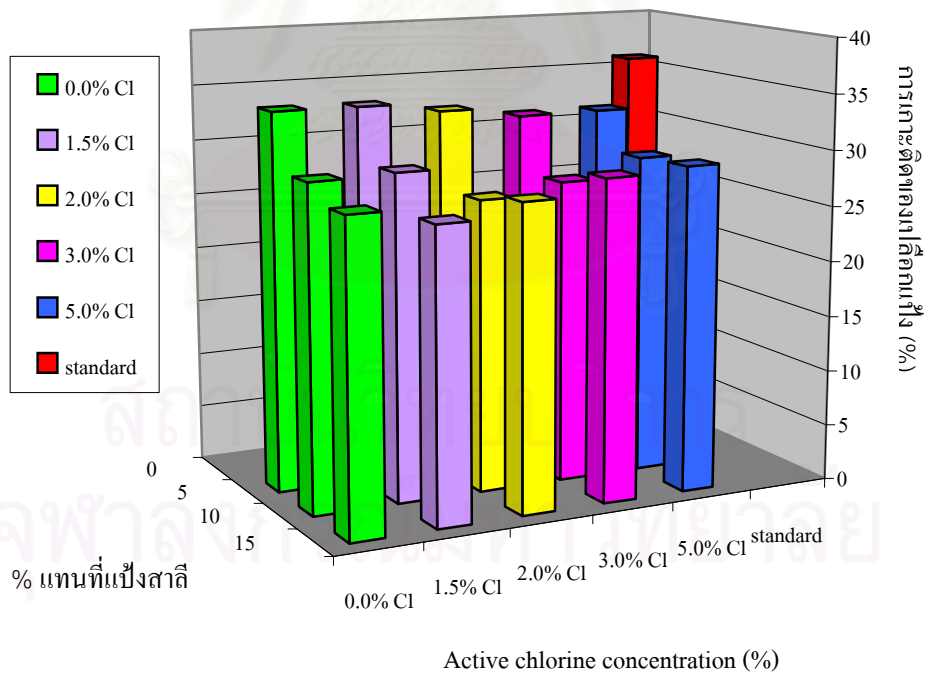
a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำเบิ้งซุบที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ซุบเบิ้งทอด



รูปที่ 4.11 ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกเบิ้งที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ซุบเบิ้งทอด

จากการสังเกตขณะทำการทดลองหาค่าความสามารถในการเกาะติดของ เปลือกแป้งทอด พบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น และที่ ระดับการแทนที่แป้งสาธิตมากขึ้น จะทำการเกาะเปลือกแป้งออกจากผลิตภัณฑ์ไก่ได้ยาก เนื่องจากการเกาะติดที่แน่นระหว่างเปลือกแป้งทอดและเนื้อไก่ ทั้งนี้เป็นผลจากหมู่แอลดีไฮด์ของสตาร์ช ออกซิไดซ์ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนอิสระของโปรตีนในเนื้อไก่ทำให้มีการเกาะติดที่แน่นระหว่าง เปลือกแป้งและไก่ ถึงแม้ว่าค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแป้งชุบทอด สูตรมาตรฐานและสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่ำ ซึ่งเป็นผลจากความหนืดที่ ไม่เท่ากันของน้ำแป้งชุบแต่ละสูตร

#### 4.2.2.2 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและเปลือกแป้งใน

##### ผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่าค่าความสามารถในการ เกาะติดของน้ำแป้งชุบในแครอทให้ผลในการทำงานเดียวกันกับการเกาะติดของน้ำแป้งชุบในไก่ น้ำ แป้งชุบสูตรมาตรฐานจะให้ค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชุบสูงสุด คือ 38.1% เมื่อพิจารณาน้ำแป้งชุบ ในแต่ละระดับออกซิเดชันที่ระดับการแทนที่แป้งสาธิตสูงขึ้น พบว่าการเกาะติดของน้ำแป้งชุบมี แนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.12) อธิบายผลได้ในทำนองเดียวกับการเกาะติดของน้ำแป้งชุบต่อชิ้นไก่

แป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานมีค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดสูงกว่า สูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าเท่ากับ 43.7% ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการ เกาะติดของน้ำแป้งชุบ อธิบายได้ในทำนองเดียวกับค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดต่อไก่ เมื่อ พิจารณาภาพรวม (รูปที่ 4.13) พบว่าค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดในแต่ละสูตรที่ระดับการ แทนที่แป้งสาธิตสูงขึ้น มีค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดที่มีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับค่าการ เกาะติดของน้ำแป้งชุบ อธิบายได้ในทำนองเดียวกับค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดต่อไก่ จาก การสังเกตขณะทำการทดลองและเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด พบว่าสามารถ ทำการเกาะเปลือกแป้งได้ง่ายกว่าในผลิตภัณฑ์ไก่ ซึ่งอาจเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของชิ้น อาหารที่แตกต่างกัน เช่น ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด หมู่อะมิโนของโปรตีนในเนื้อสัตว์อาจทำ ปฏิกิริยากับหมู่แอลดีไฮด์ของสตาร์ชทำให้การเกาะติดของเปลือกแป้งเพิ่มขึ้นหรืออาจเกิดจาก ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่มีอยู่สูงในแครอท คือ 90.85% ทำให้มีปัญหาระหว่างการทอดเนื่องจาก ใอน้ำที่ระเหยออกมาจะดันโครงสร้างของแป้งชุบทอดให้ออกจากชิ้นอาหาร (Suderman, 1990) ซึ่งจะทำการเกาะติดของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์แครอทลดลง

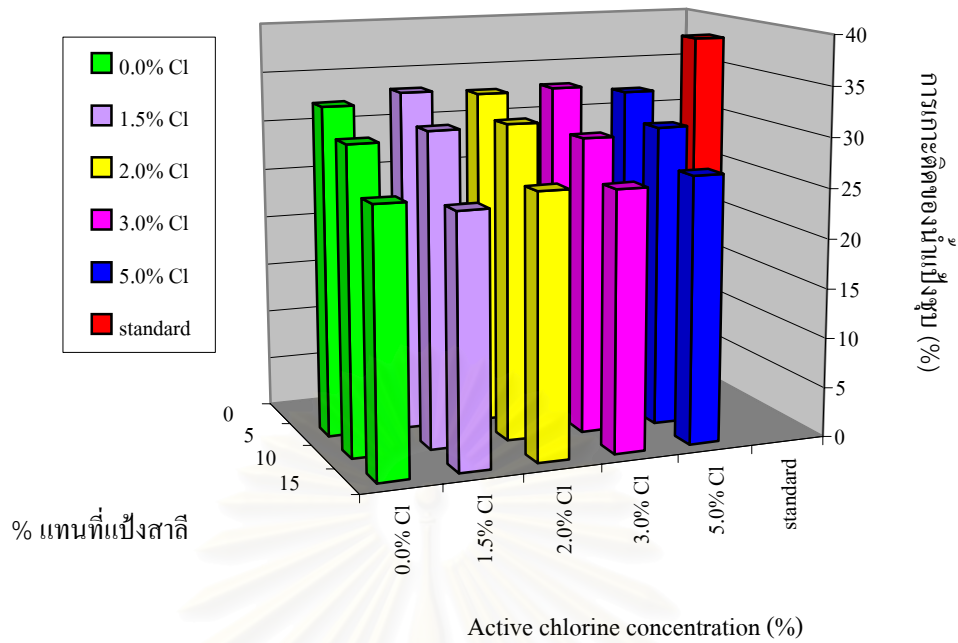
ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบและเปลือกแป้งทอดที่ผสม  
สตาร์ชออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชูบแป้งทอด

สูตร แป้งชูบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	การเกาะติด ของน้ำแป้งชูบ (%)	การเกาะติด ของเปลือกแป้ง (%)
สูตรมาตรฐาน	0	38.1 <sup>a</sup> ±1.1	43.7 <sup>a</sup> ±0.3
0.0 <sup>1</sup>	5	33.0 <sup>bc</sup> ±0.4	40.8 <sup>b</sup> ±1.0
	10	30.5 <sup>d</sup> ±0.1	35.5 <sup>def</sup> ±0.3
	15	26.2 <sup>e</sup> ±1.0	34.5 <sup>f</sup> ±0.3
1.5 <sup>1</sup>	5	34.0 <sup>b</sup> ±0.4	41.1 <sup>b</sup> ±0.7
	10	31.3 <sup>cd</sup> ±0.1	35.5 <sup>def</sup> ±1.4
	15	25.0 <sup>e</sup> ±0.1	35.6 <sup>def</sup> ±0.5
2.0 <sup>1</sup>	5	33.5 <sup>b</sup> ±1.5	41.0 <sup>b</sup> ±1.6
	10	31.5 <sup>cd</sup> ±0.8	36.8 <sup>cde</sup> ±0.7
	15	26.3 <sup>e</sup> ±0.4	36.5 <sup>de</sup> ±0.4
3.0 <sup>1</sup>	5	33.7 <sup>b</sup> ±0.9	38.4 <sup>c</sup> ±0.3
	10	29.7 <sup>d</sup> ±1.0	37.2 <sup>cd</sup> ±0.5
	15	26.0 <sup>e</sup> ±0.3	36.4 <sup>de</sup> ±0.6
5.0 <sup>1</sup>	5	32.9 <sup>bc</sup> ±1.0	36.6 <sup>de</sup> ±0.4
	10	30.3 <sup>d</sup> ±1.4	40.2 <sup>b</sup> ±1.0
	15	26.7 <sup>e</sup> ±0.4	35.2 <sup>ef</sup> ±0.1

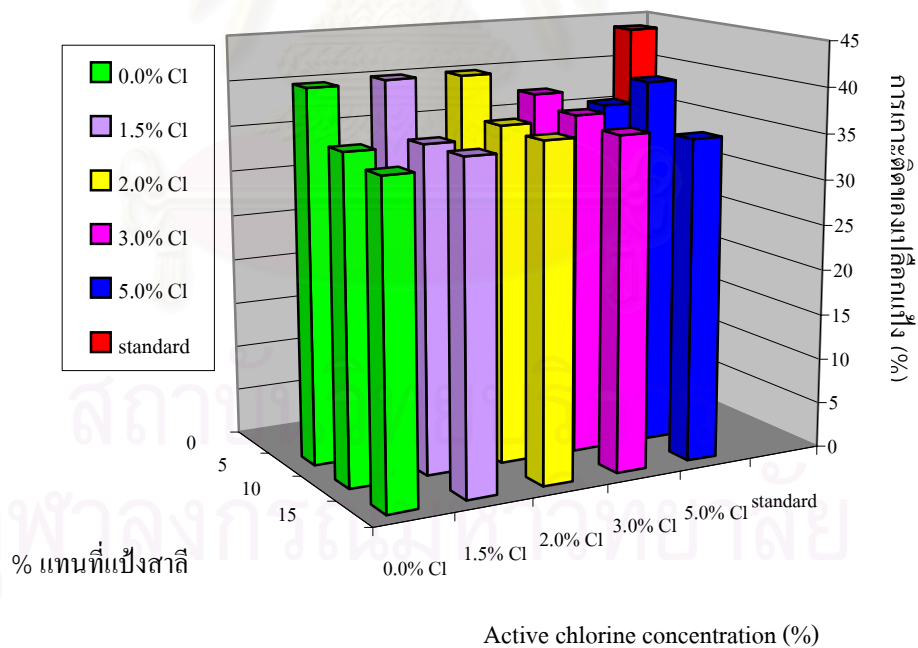
a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ความสามารถในการกำจัดของน้ำเบี่ยงที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทนูบเบี่ยงทอด



รูปที่ 4.13 ความสามารถในการกำจัดของเปลือกเบี่ยงที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทนูบเบี่ยงทอด



### 4.2.2.3 ค่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ใน ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองวัดค่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด พบว่าค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ของเปลือกแป้งชูบทอดในแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 56.3 – 59.7 เมื่อพิจารณาสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ในแต่ละระดับออกซิเดชัน พบว่ามีค่า  $L^*$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 56.3 – 58.3 สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 2.0 3.0 และ 5.0% CI มีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 58.1 – 59.5, 57.6 – 59.5, 57.0 – 59.0 และ 56.8 – 59.7 ตามลำดับ จากภาพรวมสามารถสรุปได้ว่าเปลือกแป้งชูบทอดในสูตรที่มีการแทนที่สตาร์ชไม่ดัดแปรที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิเพิ่มขึ้น มีค่า  $L^*$  ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สูตรแป้งชูบทอดที่มีการแทนที่สตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 – 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิเพิ่มขึ้นมีค่า  $L^*$  ที่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปมีความไวต่อความร้อนจากการมีหมู่แอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในโมเลกุล ดังนั้นการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปในแป้งชูบทอดจะทำให้เปลือกแป้งมีสีคล้ำมากขึ้น

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.15 พบว่าค่า  $a^*$  และ ค่า  $b^*$  ของเปลือกแป้งชูบทอดทุกสูตรมีค่าเป็นบวกซึ่งค่า  $+a^*$  จะให้ค่าสีแดง และค่า  $+b^*$  จะให้ค่าสีเหลือง จากการพิจารณาสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ในแต่ละระดับออกซิเดชัน พบว่าแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 7.0 – 11.3 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 30.4 – 31.4 แป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 7.9 – 10.6 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 30.3 – 32.6 แป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 9.1 – 9.4 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 26.6 – 30.9 สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 8.5 – 8.9 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 28.9 – 30.78 สูตรแป้งชูบทอดผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 6.8 – 9.3 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 28.7 – 29.5 จากภาพรวมพบว่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดทุกสูตรจะให้ค่ามีแนวโน้มสีเหลืองปนอยู่มากและมีสีแดงปนอยู่บ้างซึ่งเป็นลักษณะสีเหลืองทองของแป้งทอดโดยทั่วไป เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่ส่งผลต่อค่า  $\Delta E^*$  โดยทำการเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน พบว่าสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI แทนที่แป้งสาทิ 5% มีค่าสีของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน

ตารางที่ 4.15 ค่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตรแป้งชูบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	L*	a*	b*	$\Delta E^*$
สูตรมาตรฐาน	0	59.4 <sup>bc</sup> ±0.9	9.7 <sup>f</sup> ±0.0	30.0 <sup>abcd</sup> ±0.1	0.0
0.0 <sup>1</sup>	5	56.3 <sup>a</sup> ±0.3	11.3 <sup>g</sup> ±0.6	30.4 <sup>bcde</sup> ±0.0	3.5
	10	57.1 <sup>abc</sup> ±0.7	10.6 <sup>g</sup> ±0.6	31.4 <sup>ef</sup> ±0.0	2.8
	15	58.3 <sup>abc</sup> ±0.4	7.0 <sup>a</sup> ±0.7	31.2 <sup>def</sup> ±0.8	3.2
1.5 <sup>1</sup>	5	58.1 <sup>abc</sup> ±0.9	10.6 <sup>g</sup> ±0.4	30.3 <sup>bcde</sup> ±0.7	1.6
	10	59.5 <sup>c</sup> ±0.1	9.5 <sup>ef</sup> ±0.2	31.7 <sup>fg</sup> ±0.6	1.7
	15	58.1 <sup>abc</sup> ±0.4	7.9 <sup>b</sup> ±0.1	32.6 <sup>g</sup> ±0.2	3.4
2.0 <sup>1</sup>	5	59.5 <sup>c</sup> ±0.5	9.1 <sup>cdef</sup> ±0.0	30.5 <sup>bcdef</sup> ±0.6	0.8
	10	58.3 <sup>abc</sup> ±1.6	9.4 <sup>ef</sup> ±0.0	30.9 <sup>cdef</sup> ±1.3	1.5
	15	57.6 <sup>abc</sup> ±0.0	8.6 <sup>bcd</sup> ±0.1	29.6 <sup>abc</sup> ±0.3	2.1
3.0 <sup>1</sup>	5	59.0 <sup>bc</sup> ±1.3	8.9 <sup>cde</sup> ±0.3	30.8 <sup>bcdef</sup> ±0.6	1.2
	10	57.8 <sup>abc</sup> ±0.3	8.5 <sup>bc</sup> ±0.0	28.9 <sup>a</sup> ±0.5	2.3
	15	57.0 <sup>abc</sup> ±0.5	9.0 <sup>cdef</sup> ±0.2	30.0 <sup>abcd</sup> ±0.5	2.5
5.0 <sup>1</sup>	5	59.7 <sup>c</sup> ±1.1	8.1 <sup>b</sup> ±0.2	31.2 <sup>def</sup> ±0.5	2.0
	10	58.5 <sup>abc</sup> ±2.6	9.3 <sup>def</sup> ±0.3	28.7 <sup>a</sup> ±0.6	1.6
	15	56.8 <sup>ab</sup> ±2.1	6.8 <sup>a</sup> ±0.2	29.5 <sup>ab</sup> ±0.0	3.9

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.2.2.4 ค่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองวัดค่าสีของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด พบว่าค่า L\* ของเปลือกชูบทอดในแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่า L\* อยู่ในช่วง 45.4 – 51.4 ซึ่งพบว่ามีย่านที่น้อยกว่าค่า L\* ของเปลือกแป้งชูบทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.15) เมื่อพิจารณาสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ในแต่ละระดับออกซิเดชัน พบว่ามีค่า L\* แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ตัดแปรมีค่า  $L^*$  ในช่วง 48.2 – 50.8 สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI มีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 48.1 – 52.3 สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI มีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 48.1 – 51.4 สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0% CI มีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 46.0 – 48.3 สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI มีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 45.4 – 48.7 จากภาพรวมพบว่าให้ผลที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า  $L^*$  ของเปลือกแป้งชุบทอดในผลิตภัณฑ์ไก่

ตารางที่ 4.16 ค่าสีของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์  
ในผลิตภัณฑ์เกรอท

สูตร แป้งชุบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
สูตรมาตรฐาน	0	49.9 <sup>fg</sup> ±0.3	10.8 <sup>a</sup> ±0.4	23.3 <sup>bc</sup> ±0.7	0.0
0.0 <sup>1</sup>	5	48.2 <sup>cde</sup> ±0.7	13.4 <sup>d</sup> ±0.3	23.3 <sup>bc</sup> ±0.3	3.1
	10	49.1 <sup>def</sup> ±1.4	13.1 <sup>d</sup> ±0.3	23.0 <sup>de</sup> ±0.0	2.5
	15	50.8 <sup>gh</sup> ±1.4	14.5 <sup>e</sup> ±0.1	26.5 <sup>de</sup> ±0.2	5.0
	5	50.1 <sup>fgh</sup> ±0.4	12.8 <sup>bcd</sup> ±0.1	25.6 <sup>d</sup> ±0.5	3.1
1.5 <sup>1</sup>	10	52.3 <sup>i</sup> ±0.3	15.9 <sup>f</sup> ±0.1	29.9 <sup>f</sup> ±0.7	8.7
	15	48.1 <sup>cd</sup> ±0.0	12.7 <sup>bcd</sup> ±1.0	24.1 <sup>c</sup> ±0.8	2.7
	5	51.4 <sup>hi</sup> ±0.0	10.0 <sup>a</sup> ±0.2	22.9 <sup>bc</sup> ±0.5	1.7
2.0 <sup>1</sup>	10	49.7 <sup>efg</sup> ±0.8	12.9 <sup>bcd</sup> ±0.2	25.5 <sup>d</sup> ±1.1	3.0
	15	48.1 <sup>cd</sup> ±0.7	12.9 <sup>cd</sup> ±0.3	27.1 <sup>e</sup> ±0.3	4.7
	5	48.3 <sup>de</sup> ±0.3	12.0 <sup>bc</sup> ±0.7	23.6 <sup>c</sup> ±0.3	2.0
3.0 <sup>1</sup>	10	46.8 <sup>bc</sup> ±0.5	13.3 <sup>d</sup> ±0.9	22.0 <sup>ab</sup> ±0.0	4.2
	15	46.0 <sup>ab</sup> ±0.1	11.9 <sup>b</sup> ±0.2	26.7 <sup>de</sup> ±0.6	5.3
	5	48.7 <sup>def</sup> ±0.3	12.5 <sup>bcd</sup> ±0.0	25.8 <sup>de</sup> ±1.0	3.3
5.0 <sup>1</sup>	10	47.8 <sup>cd</sup> ±0.2	12.1 <sup>bc</sup> ±0.2	23.0 <sup>bc</sup> ±0.4	2.5
	15	45.4 <sup>a</sup> ±0.3	12.1 <sup>bc</sup> ±0.1	21.2 <sup>a</sup> ±0.4	5.1

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.16 พบว่าค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  ของเปลือกแป้งชูบทอดในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยให้ค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  เป็นบวก จากการพิจารณาสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ในแต่ละระดับออกซิเดชัน พบว่าแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 13.1–14.5 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 23.0–26.5 แป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 1.5% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 12.7–15.9 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 24.1–29.9 สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 2.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 10.0–12.9 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 22.9–27.1 สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 3.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 11.9–13.3 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 22.0–26.7 สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 5.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 12.1–12.5 มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 21.2–25.8 จากภาพรวมจะพบว่าสีของเปลือกแป้งชูบทอดในผลิตภัณฑ์แครอทชูบแป้งทอดทุกสูตรให้ค่ามีแนวโน้มสีเหลืองและมีสีแดงปนอยู่มากกว่าของเปลือกแป้งชูบทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ (ตารางที่ 4.15) ดังนั้นสีของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์แครอทชูบแป้งทอดจะออกสีเหลืองแดง เนื่องจากอาจเกิดการติดสีของสารให้สีในแครอท เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แครอทชูบแป้งทอดที่ส่งผลต่อค่า  $\Delta E^*$  โดยทำการเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน พบว่าให้ผลที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ไก่ชูบแป้งทอด กล่าวคือ สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 2.0% CI แทนที่แป้งสาลี 5% มีค่าสีของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานที่สุด

#### 4.2.2.5 ความชื้นของไก่หลังทอดและความชื้นของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชูบแป้งทอด

จากการหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของไก่ดิบ พบว่ามีปริมาณความชื้น 74.66% และเมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ไก่ชูบแป้งทอด ความชื้นของไก่จะมีค่าลดลง เนื่องจากการระเหยของน้ำในระหว่างการทอด เมื่อพิจารณาความชื้นของไก่หลังทอดในสูตรแป้งชูบทอดทุกสูตร พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีความชื้นของไก่หลังทอดอยู่ในช่วง 68.56–69.69% แป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 1.5% CI, 2.0% CI, 3.0% CI และ 5.0% CI มีความชื้นของไก่หลังทอดอยู่ในช่วง 66.48–67.40%, 66.40–67.03%, 69.68–70.65% และ 69.54–70.58% ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 4.17

จากผลการทดลองหาความชื้นของเปลือกแป้งชูบทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ชูบแป้งทอด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชูบทอดสูตรมาตรฐานมีค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดมากกว่าสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 36.76% และสูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 3.0 และ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่

แป้งสาลี 15% มีค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 31.00% และ 30.58% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปรและสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีมากขึ้น พบว่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ความชื้นของเนื้อไก่หลังทอดมีความสัมพันธ์กับปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดและความชื้นของเปลือกแป้งทอด กล่าวคือ การแทนที่สตาร์ชออกซิไดซ์ในแป้งสาลีจะทำให้ปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งมีความบางซึ่งมีผลให้ความชื้นของชิ้นไก่มีค่าลดลง

ตารางที่ 4.17 ความชื้นของไก่หลังทอดและความชื้นของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตรแป้งชุบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	ความชื้นไก่ (%)	ความชื้นเปลือกแป้ง (%)
สูตรมาตรฐาน	0	69.28 <sup>cd</sup> ±0.11	36.76 <sup>i</sup> ±1.08
0.0 <sup>1</sup>	5	69.69 <sup>cd</sup> ±2.03	33.94 <sup>efgh</sup> ±1.07
	10	68.56 <sup>bc</sup> ±0.39	32.58 <sup>bcd</sup> ±0.42
	15	69.44 <sup>cd</sup> ±0.84	33.20 <sup>bcdef</sup> ±0.61
	5	66.48 <sup>a</sup> ±0.06	34.20 <sup>fgh</sup> ±0.31
1.5 <sup>1</sup>	10	67.40 <sup>ab</sup> ±0.98	32.88 <sup>bcde</sup> ±0.36
	15	66.59 <sup>a</sup> ±0.72	32.09 <sup>b</sup> ±0.53
	5	66.40 <sup>a</sup> ±0.75	34.68 <sup>h</sup> ±0.55
2.0 <sup>1</sup>	10	67.03 <sup>a</sup> ±0.30	33.58 <sup>defg</sup> ±0.14
	15	66.61 <sup>a</sup> ±0.09	32.25 <sup>bc</sup> ±0.21
	5	70.65 <sup>d</sup> ±0.12	34.42 <sup>gh</sup> ±0.31
3.0 <sup>1</sup>	10	69.93 <sup>cd</sup> ±0.33	32.16 <sup>b</sup> ±0.15
	15	69.68 <sup>cd</sup> ±0.19	31.00 <sup>a</sup> ±0.17
	5	70.58 <sup>d</sup> ±1.08	33.28 <sup>cdef</sup> ±0.56
5.0 <sup>1</sup>	10	69.64 <sup>cd</sup> ±0.16	32.95 <sup>bcde</sup> ±0.15
	15	69.54 <sup>cd</sup> ±0.03	30.58 <sup>a</sup> ±1.13

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.2.2.6 ความชื้นของแครอทหลังทอดและความชื้นของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสม สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

จากการหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแครอท พบว่าแครอทที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 90.85% และเมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด ความชื้นของแครอทจะมีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.18 จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของแครอทหลังทอดในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปร (0.0% CI) และสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้น มีค่าความชื้นของแครอทหลังทอดที่มีแนวโน้มลดลง โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปรมีความชื้นของแครอทหลังทอดลดลงจาก 87.19% เป็น 84.38% แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 2.0 3.0 และ 5.0% CI มีความชื้นของแครอทลดลงจาก 87.6% เป็น 86.92% มีความชื้นของแครอทลดลงจาก 85.65% เป็น 82.47% มีความชื้นของแครอทลดลงจาก 87.60% เป็น 85.92% มีความชื้นของแครอทลดลงจาก 87.78% เป็น 86.24% ตามลำดับ

จากผลการทดลองหาความชื้นของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์แครอท พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกับค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ กล่าวคือ สูตรมาตรฐานจะให้ค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดมากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 28.29% และสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0 และ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% จะให้ค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 21.46% และ 21.72% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปร (0.0% CI) และสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีมากขึ้น พบว่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดมีแนวโน้มลดลง อธิบายผลการทดลองได้ในทำนองเดียวกับผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นของชิ้นแครอทและเปลือกแป้งทอดเป็นแบบเดียวกับในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

**ตารางที่ 4.18** ความชื้นของแครอทหลังทอดและความชื้นของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชูบแป้งทอด

สูตรแป้งชูบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	ความชื้นแครอท (%)	ความชื้นเปลือกแป้งทอด (%)
สูตรมาตรฐาน	0	87.34 <sup>ef</sup> ±0.72	28.29 <sup>i</sup> ±0.51
0.0 <sup>1</sup>	5	87.19 <sup>ef</sup> ±0.75	27.19 <sup>gh</sup> ±0.2
	10	86.41 <sup>cde</sup> ±0.08	26.82 <sup>gh</sup> ±0.43
	15	84.38 <sup>b</sup> ±0.12	25.97 <sup>efg</sup> ±1.27
1.5 <sup>1</sup>	5	87.60 <sup>f</sup> ±0.31	26.27 <sup>fgh</sup> ±0.76
	10	87.02 <sup>def</sup> ±0.25	26.59 <sup>fgh</sup> ±1.02
	15	86.92 <sup>def</sup> ±0.07	24.00 <sup>c</sup> ±0.31
2.0 <sup>1</sup>	5	85.65 <sup>c</sup> ±0.99	27.48 <sup>hi</sup> ±0.34
	10	83.86 <sup>b</sup> ±0.28	26.66 <sup>gh</sup> ±0.91
	15	82.47 <sup>a</sup> ±1.15	25.34 <sup>def</sup> ±0.36
3.0 <sup>1</sup>	5	87.60 <sup>f</sup> ±0.22	24.63 <sup>cd</sup> ±0.43
	10	86.83 <sup>def</sup> ±0.33	22.80 <sup>b</sup> ±0.36
	15	85.92 <sup>c</sup> ±0.34	21.46 <sup>a</sup> ±1.03
5.0 <sup>1</sup>	5	87.78 <sup>f</sup> ±0.25	24.82 <sup>cde</sup> ±1.11
	10	87.51 <sup>f</sup> ±0.13	21.83 <sup>ab</sup> ±0.26
	15	86.24 <sup>cd</sup> ±0.08	21.72 <sup>ab</sup> ±0.71

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.2.2.7 การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ชูบแป้งทอด

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารในระหว่างการทอดมีหลายปัจจัย เช่น คุณภาพของน้ำมันที่ใช้ (Abdel-Aal and Karara, 1986; Blumenthal, 1991) องค์ประกอบของอาหาร (Makinson et al., 1987) ปริมาณความชื้นเริ่มต้น รูปร่างของผลิตภัณฑ์ เวลาและอุณหภูมิในการทอด (Pravisan and Calvelo, 1986; Gamble et al., 1987a,b; Pinthus and Saguy, 1994) จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไม่มีค่าแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานจะให้ค่าการดูดซับน้ำมันต่ำกว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปร (0.0% CI) และสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 25.29% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mohamed, Hamid and Hamid (1988) ที่พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มปริมาณอะมิโลเพกติน เนื่องจากความสามารถของกิ่งอะมิโลเพกตินในการจับและทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ส่วนแป้งชุบทอดที่มีปริมาณอะมิโลสอยู่สูงจะมีส่วนช่วยในการเกิด film-forming และ polysaccharide-polysaccharide interaction ให้แข็งแรงซึ่งมีส่วนช่วยลดการดูดซับน้ำมันในแป้งชุบทอดได้

เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำมันของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ในแต่ละระดับออกซิเดชัน พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีแนวโน้มการดูดซับน้ำมันสูงกว่ากลุ่มอื่น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่ามีอัตราส่วนระหว่างอะมิโลเพกตินต่ออะมิโลสอยู่สูงจึงทำให้มีลักษณะ film ที่อ่อนแอ และจากการที่มีปริมาณอะมิโลเพกตินสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวมากจึงมีการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดมาก (Feldberg, 1969) แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 – 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มจาก 5% เป็น 10% พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และมีแนวโน้มลดลงที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% ในส่วนแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น (3.0 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้น พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำมันที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการมีสมบัติ film-forming ที่ดีของสตาร์ชออกซิไดซ์ เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 – 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นจะให้ค่าการดูดซับน้ำมันสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่ามีความสัมพันธ์แปรตามค่าครรชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชออกซิไดซ์ (ตารางที่ 4.9) แป้งชุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีแนวโน้มการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่ำ (1.5 - 2.0% CI) คือ เพิ่มจาก 31.85% เป็น 33.61% และการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงในแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น (3.0 – 5.0% CI) ซึ่งอาจเกิดจากผลของการเป็น film-forming ที่เด่นขึ้นมาเมื่อผสมสตาร์ชออกซิไดซ์มากขึ้น สำหรับสูตรแป้งชุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น



**ตารางที่ 4.19** การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์  
ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชูบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	ค่าการดูดซับน้ำมัน (%)
สูตรมาตรฐาน	0	25.29 <sup>a</sup> ±0.16
0.0 <sup>1</sup>	5	34.76 <sup>j</sup> ±0.28
	10	32.17 <sup>h</sup> ±0.02
	15	31.93 <sup>gh</sup> ±0.57
	5	27.01 <sup>b</sup> ±1.05
1.5 <sup>1</sup>	10	31.85 <sup>gh</sup> ±0.20
	15	30.36 <sup>ef</sup> ±0.28
	5	28.74 <sup>c</sup> ±0.98
2.0 <sup>1</sup>	10	33.61 <sup>i</sup> ±0.14
	15	29.01 <sup>cd</sup> ±0.30
	5	30.02 <sup>def</sup> ±0.14
3.0 <sup>1</sup>	10	29.77 <sup>cdef</sup> ±0.18
	15	27.49 <sup>b</sup> ±0.28
	5	31.98 <sup>gh</sup> ±0.83
5.0 <sup>1</sup>	10	30.84 <sup>fg</sup> ±0.85
	15	29.34 <sup>cde</sup> ±0.48

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสารไขมัน (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.2.2.8 การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.20 พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์แครอทมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์แครอทมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ กล่าวคือ แป้งชูบทอดสูตรมาตรฐานมีค่าการดูดซับ

น้ำมันต่ำกว่าสูตรแป้งชุบทอดสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 35.6% ทั้งนี้เนื่องจากสูตรไขมันสำปะหลังไม่คัดแปรและสูตรไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) มีอัตราส่วนระหว่างอะมิโลเพกตินต่ออะมิโลสสูง แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 – 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีจาก 5% เป็น 10% มีค่าการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ เพิ่มจาก 36.6% เป็น 38.58% ในแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI และเพิ่มจาก 38.57% เป็น 39.6% ในแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI และที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงแต่เป็นการลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่มีการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีจาก 5% เป็น 10% จะมีค่าการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 40.26 – 40.49% และเมื่อแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นเป็น 15% ค่าการดูดซับน้ำมันลดลงเป็น 39.52% แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับน้ำมันมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ ลดลงจาก 40.95% เป็น 37.4% เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5 – 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีระดับเดียวกันพบว่ามีแนวโน้มการให้ค่าการดูดซับน้ำมันเช่นเดียวกับในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด กล่าวคือ สูตรแป้งชุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% มีค่าการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น สูตรแป้งชุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่ำ 1.5 - 2.0% CI และค่าการดูดซับน้ำมันจะมีแนวโน้มลดลงในสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น (3.0 – 5.0% CI) สูตรแป้งชุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น

จากการสังเกตพบว่าค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์แครอทจะมีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วง 35.6 – 40.95% ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 25.29 – 34.76% เนื่องจากแครอทมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงกว่าไก่โดยมีความชื้นอยู่ที่ 90.85% และไก่มีความชื้นอยู่ที่ 74.66% ดังนั้นการนำอาหารชุบแป้งทอดในน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ เกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันเข้าสู่ชิ้นอาหาร โดยผ่านเปลือกแป้งที่หุ้มอยู่ทำให้น้ำที่อยู่ในเปลือกแป้งและชิ้นอาหารกลายเป็นไอซึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านผิวของผลิตภัณฑ์ออกจากชิ้นอาหารทำให้เกิดรูพรุนจึงมีผลให้น้ำมันแทรกเข้าสู่เปลือกแป้งได้มากขึ้น (Suderman, 1990) ดังนั้นอาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงจะทำให้เกิดการแทนที่น้ำมันได้สูง ปริมาณไขมันในอาหารก็พบว่ามีผลต่อการดูดซับน้ำมัน โดยพบว่าอาหารที่มีปริมาณไขมันเริ่มต้นสูงจะทำให้มีการดูดซับน้ำมันในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากไขมันในอาหารจะ

เป็นตัวขัดขวางการระเหยของน้ำทำให้น้ำมันแทรกผ่านเข้ามาได้น้อย (Makinson et al., 1987) สาเหตุอีกประการหนึ่ง คือ ความแตกต่างทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและโครงสร้างเซลล์ระหว่างไก่ที่เป็นตัวแทนของเนื้อสัตว์และแครอทที่เป็นตัวแทนของพืช โดยพบว่าช่องว่างระหว่างเซลล์ในเนื้อสัตว์จะถูกเติมเต็มไปด้วยของเหลว ในขณะที่เนื้อเยื่อพืชช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกเติมเต็มไปด้วยอากาศ (Ray, 1963) จึงทำให้เนื้อเยื่อพืชมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้มากกว่า (Makinson et al., 1987)

**ตารางที่ 4.20** การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ ในผลิตภัณฑ์แครอทชูบแป้งทอด

สูตรแป้งชูบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	ค่าการดูดซับน้ำมัน (%)
สูตรมาตรฐาน	0	35.60 <sup>a</sup> ±0.33
0.0 <sup>1</sup>	5	40.32 <sup>hi</sup> ±0.40
	10	38.21 <sup>cde</sup> ±0.14
	15	38.37 <sup>de</sup> ±0.03
	5	36.60 <sup>b</sup> ±0.21
1.5 <sup>1</sup>	10	38.58 <sup>def</sup> ±0.04
	15	37.89 <sup>cd</sup> ±0.20
	5	38.57 <sup>def</sup> ±0.30
2.0 <sup>1</sup>	10	39.60 <sup>gh</sup> ±0.51
	15	38.85 <sup>efg</sup> ±0.55
	5	40.26 <sup>hi</sup> ±0.21
3.0 <sup>1</sup>	10	40.49 <sup>i</sup> ±0.59
	15	39.52 <sup>gh</sup> ±0.53
	5	40.95 <sup>i</sup> ±0.69
5.0 <sup>1</sup>	10	39.36 <sup>fg</sup> ±0.18
	15	37.40 <sup>c</sup> ±0.17

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.2.2.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง

##### ออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จะทำการหาค่าความชัน (slope) ซึ่งแสดงถึงความกรอบ ค่าแรงกระทำสูงสุด (peak force) แสดงถึงการแตกหักซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็ง ค่าความชันและค่าแรงกระทำสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความกรอบของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ ตัวอย่างที่มีค่าการแตกหักน้อยกว่าย่อมมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปร่ากว่า ค่าการแตกหักนี้สามารถบอกได้ว่าตัวอย่างนั้นมีลักษณะกรอบเปราะหรือกรอบแข็ง ซึ่งต้องพิจารณา ค่าความชันประกอบด้วย เช่น ตัวอย่างที่มีค่าความชันสูง ค่าการแตกหักต่ำ ตัวอย่างจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแบบกรอบเปราะ แต่ถ้าตัวอย่างมีค่าความชันกับค่าการแตกหักสูงจะมีเนื้อสัมผัสแบบกรอบแข็งหรือถ้าตัวอย่างมีค่าการแตกหักเท่ากัน ตัวอย่างที่มีค่าความชันสูงกว่าจะมีเนื้อสัมผัสที่กรอบกว่า (สมจินตนา สุमितสุวรรณค์, 2542) นอกจากนี้จะพิจารณาค่าระยะทางที่หัววัดสัมผัสกับตัวอย่างจนถึงจุดที่เกิดแรงกระทำสูงสุด (distance) ถ้าระยะทางมีค่าน้อย ตัวอย่างจะมีความกรอบเปราะ ในส่วนพื้นที่ได้กราฟจะสามารถบอกถึงงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นอาหารแตกออก จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) พบว่าค่าความชัน ค่าแรงกระทำสูงสุด ค่าระยะทาง ตั้งแต่หัววัดสัมผัสกับตัวอย่างจนถึงจุดที่เกิดการแตกหัก ค่าพื้นที่ได้กราฟ มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงผลดังตารางที่ 4.21

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดแต่ละสูตร จะทำการเปรียบเทียบผลกับแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานว่ามีลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างไร จากตารางที่ 4.21 พบว่าค่าความชัน ค่าแรงกระทำสูงสุด ค่าระยะทางและพื้นที่ได้กราฟที่หัววัดสัมผัสกับตัวอย่างจนถึงจุดที่เกิดแรงกระทำสูงสุดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ตัดแปรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% พบว่ามีค่าความชันใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน (69.5 g/mm) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 67.4 – 73.0 g/mm แต่เมื่อพิจารณาค่าแรงกระทำสูงสุดพบว่ามีค่าน้อยกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงว่ามีความกรอบที่น้อยกว่า และค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐานแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียวกว่าสูตรมาตรฐานเล็กน้อย ยกเว้นที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% ซึ่งพบว่าค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่าน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน ในภาพรวมสามารถกล่าวได้ว่าสตาร์ชมันสำปะหลังทำให้แป้งชุบทอดมีความเหนียวเพิ่มขึ้นและมีความกรอบลดลง

ตารางที่ 4.21 ค่าเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์  
ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชุบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	slope (g/mm)	peak force (g)	distance (mm)	area (g-mm)
สูตรมาตรฐาน	0	69.5 <sup>ab</sup> ±4.2	1155.5 <sup>b</sup> ±66.9	8.8 <sup>abcd</sup> ±0.8	3704.5 <sup>d</sup> ±425.3
0.0 <sup>1</sup>	5	67.4 <sup>abc</sup> ±6.1	905.2 <sup>c</sup> ±18.9	9.9 <sup>ef</sup> ±0	3220.9 <sup>bc</sup> ±135.1
	10	70.2 <sup>ab</sup> ±1.2	997.2 <sup>d</sup> ±43.7	9.4 <sup>de</sup> ±0.6	3677.8 <sup>d</sup> ±105.8
	15	73.0 <sup>a</sup> ±4.0	894.6 <sup>e</sup> ±44.2	8.5 <sup>ab</sup> ±0.1	3220.7 <sup>bc</sup> ±258.3
1.5 <sup>1</sup>	5	57.8 <sup>ef</sup> ±3.4	894.4 <sup>e</sup> ±61.3	9.3 <sup>cde</sup> ±0.5	4045.8 <sup>e</sup> ±225.6
	10	72.3 <sup>a</sup> ±6.6	968.7 <sup>d</sup> ±37.5	11.7 <sup>h</sup> ±0.5	4441.9 <sup>f</sup> ±541.0
	15	69.7 <sup>ab</sup> ±5.3	1204.0 <sup>a</sup> ±39.8	10.6 <sup>fg</sup> ±0.5	4891.3 <sup>g</sup> ±223.2
2.0 <sup>1</sup>	5	71.6 <sup>a</sup> ±2.5	1046.8 <sup>c</sup> ±45.4	9.5 <sup>de</sup> ±1.0	3378.1 <sup>bcd</sup> ±209.9
	10	72.0 <sup>a</sup> ±4.8	1109.1 <sup>b</sup> ±22.9	8.5 <sup>ab</sup> ±0.5	3438 <sup>cd</sup> ±160.5
	15	63.5 <sup>cde</sup> ±4.2	1220.0 <sup>a</sup> ±37.5	10.7 <sup>g</sup> ±0.6	4697.1 <sup>fg</sup> ±210.8
3.0 <sup>1</sup>	5	61.1 <sup>def</sup> ±5.1	753.5 <sup>h</sup> ±29.5	9.3 <sup>bcde</sup> ±1.0	3055.4 <sup>bcd</sup> ±316.9
	10	65.5 <sup>bcd</sup> ±3.3	867.8 <sup>ef</sup> ±6.7	9.5 <sup>de</sup> ±0.4	3340.1 <sup>bcd</sup> ±326.7
	15	61.3 <sup>def</sup> ±1.8	873.0 <sup>ef</sup> ±25.2	10.3 <sup>fg</sup> ±0.3	3532.5 <sup>cd</sup> ±142.3
5.0 <sup>1</sup>	5	58.3 <sup>ef</sup> ±2.8	806.7 <sup>g</sup> ±25.9	8.9 <sup>bcd</sup> ±0.2	2411.9 <sup>a</sup> ±122.7
	10	56.7 <sup>f</sup> ±0.8	827.3 <sup>fg</sup> ±26.7	8.0 <sup>a</sup> ±0.3	2302.8 <sup>a</sup> ±120.4
	15	62.4 <sup>cdef</sup> ±2.3	685.1 <sup>i</sup> ±21.0	8.6 <sup>abc</sup> ±0.4	3053.8 <sup>b</sup> ±119.5

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% มีค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุดน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน แสดงว่ามีความกรอบที่น้อยกว่า และที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% และ 15% พบว่ามีค่าความชื้นใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานและมีค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมากกว่าแสดงว่ามีความกรอบแต่ก็มีลักษณะเหนียวปรากฏอยู่ สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และ 10% มีค่าความชื้นที่สูงกว่าสูตรมาตรฐานแต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ที่ระดับแทนที่แป้งสาลี 10% จะให้ค่าความกรอบใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานที่สุด

เนื่องจากมีค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 3.0% CI และ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% มีความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุดน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน แสดงว่ามีความกรอบน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน ถึงแม้ว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI จะมีค่าระยะที่ทำให้เกิดการแตกหักที่ต่ำกว่าแต่เป็นผลอันเกิดจากการเกาะติดของเปลือกแป้งที่น้อยกว่านั่นเอง จากภาพรวมแสดงคั่งรูปในภาคผนวก ค.1 พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชไม่ดัดแปร (0.0% CI) และสตาร์ชออกซิไดซ์ (1.5 – 5.0% CI) มีความกรอบที่ต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน เนื่องจากสตาร์ชมันสำปะหลังประกอบด้วยสตาร์ชเกือบทั้งหมด เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่แข็งกระด้างบริเวณเปลือกนอก และมีเนื้อแป้งที่เหนียวในชั้นที่ติดกับชั้นอาหาร (Balogopalan, 1988) ยกเว้นสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% ที่พบว่ามีความกรอบใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน โดยพิจารณาจากผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความชื้นซึ่งแสดงถึงความกรอบร่วมกับผลของค่าแรงกระทำสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหัก

#### 4.2.2.10 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

การวิเคราะห์ผลเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดในแต่ละสูตรดังแสดงในตารางที่ 4.22 พบว่าค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุด ค่าระยะทางและพื้นที่ใต้กราฟที่หวััดสัมผัสกับตัวอย่างจนถึงจุดที่เกิดแรงกระทำสูงสุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่ดัดแปรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% มีค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุดต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน และค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักสูงกว่ากับสูตรมาตรฐาน แสดงว่ามีความกรอบที่น้อยกว่าสูตรมาตรฐานและให้ลักษณะที่กรอบเหนียว และเมื่อพิจารณาที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% พบว่ามีค่าแรงกระทำสูงสุดใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน แต่มีค่าความชื้นน้อยกว่าและค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่ามากกว่าแสดงว่ามีความกรอบที่น้อยกว่าและมีความเหนียวมากกว่า ส่วนที่ระดับการแทนที่ 10% พบว่ามีค่าแรงกระทำสูงสุด และค่าความชื้นน้อยกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่ามากกว่าแสดงว่ามีความกรอบที่น้อยกว่าสูตรมาตรฐาน ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% พบว่ามีค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุดมากกว่าสูตรที่แทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักน้อยกว่า ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีความกรอบประะมากกว่าสูตรที่แทนที่แป้งสาลี 10%

ตารางที่ 4.22 ค่าเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์  
ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชุบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	slope (g/mm)	peak force (g)	distance (mm)	area (g-mm)
สูตรมาตรฐาน	0	114.8 <sup>bc</sup> ±2.6	2949.1 <sup>b</sup> ±114.3	4.0 <sup>bc</sup> ±0.3	3453.5 <sup>cd</sup> ±217.7
0.0 <sup>1</sup>	5	93.5 <sup>efg</sup> ±8.5	2889.5 <sup>bc</sup> ±80.8	4.6 <sup>cf</sup> ±0.1	3800.0 <sup>de</sup> ±153.3
	10	79.6 <sup>h</sup> ±6.3	1596.1 <sup>i</sup> ±55.2	4.7 <sup>fg</sup> ±0.0	2432.0 <sup>a</sup> ±59.3
	15	100.1 <sup>de</sup> ±2.6	1710.8 <sup>j</sup> ±103.8	4.2 <sup>cd</sup> ±0.2	2297.5 <sup>a</sup> ±82.6
1.5 <sup>1</sup>	5	78.8 <sup>h</sup> ±8.6	2358.5 <sup>gh</sup> ±180.1	5.9 <sup>j</sup> ±0.3	4543.0 <sup>fg</sup> ±335.0
	10	108.1 <sup>cd</sup> ±4.5	2529.7 <sup>efg</sup> ±235.1	3.8 <sup>abc</sup> ±0.2	3691.8 <sup>fg</sup> ±397.1
	15	80.5 <sup>h</sup> ±2.9	2650.5 <sup>def</sup> ±104.6	5.3 <sup>i</sup> ±0.3	3897.1 <sup>c</sup> ±213.4
2.0 <sup>1</sup>	5	85.7 <sup>gh</sup> ±5.2	3145.2 <sup>a</sup> ±177.4	5.0 <sup>ghi</sup> ±0.2	5745.8 <sup>h</sup> ±198.2
	10	121.8 <sup>ab</sup> ±14.5	2835.4 <sup>bcd</sup> ±268.0	5.1 <sup>hi</sup> ±0.2	4715.9 <sup>g</sup> ±531.6
	15	95.1 <sup>efg</sup> ±9.7	2178.7 <sup>hi</sup> ±106.4	4.7 <sup>fg</sup> ±0.4	3775.0 <sup>de</sup> ±258.2
3.0 <sup>1</sup>	5	109.2 <sup>cd</sup> ±11.5	2469.1 <sup>fg</sup> ±139.2	4.2 <sup>cd</sup> ±0.3	3241.9 <sup>c</sup> ±150.6
	10	127.1 <sup>ab</sup> ±12.5	2145.6 <sup>i</sup> ±88.8	3.7 <sup>ab</sup> ±0.2	3236.8 <sup>c</sup> ±311.2
	15	112.7 <sup>bc</sup> ±8.8	1720.0 <sup>j</sup> ±56.5	3.6 <sup>a</sup> ±0.1	2786.2 <sup>b</sup> ±257.9
5.0 <sup>1</sup>	5	99.1 <sup>def</sup> ±9.6	2703.4 <sup>cde</sup> ±150.6	4.9 <sup>gh</sup> ±0.3	4250.0 <sup>f</sup> ±313.0
	10	88.0 <sup>fgh</sup> ±6.0	2584.5 <sup>ef</sup> ±148.1	4.4 <sup>de</sup> ±0.3	3822.0 <sup>de</sup> ±298.1
	15	95.1 <sup>efg</sup> ±6.8	2006.2 <sup>i</sup> ±120.8	4.0 <sup>bc</sup> ±0.4	2093.6 <sup>a</sup> ±165.6

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และ 15% พบว่ามีค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุด น้อยกว่าสูตรมาตรฐาน และมีค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมากกว่าแสดงว่ามีความเหนียวมากกว่า และที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% พบว่ามีค่าความชื้นไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญและมีค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักน้อยกว่าแสดงว่ามีความกรอบใกล้เคียงสูตรมาตรฐานแต่มากกว่าสูตรที่แทนที่ด้วยแป้งสาลี 5% และ 15% สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และ 15% มีค่าความชื้นที่มีค่าน้อยกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ ) แต่ที่ระดับแทนที่แป่งสาถึ 10% มีค่าความกรอบใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานที่สุด เนื่องจากมีค่าความชันและค่าแรงกระทำสูงสุดใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน สูตรแป่งซุบทอดที่ผสมสตา์ชอออกซีไคซ์ 3.0% CI พบว่ามีค่าความชันและค่าระยะทางสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน แต่มีค่าแรงกระทำสูงสุดน้อยกว่า ดังนั้นแนวโน้มาอาจจะให้ค่าความกรอบที่ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานได้ สูตรแป่งซุบทอดที่ผสมสตา์ชอออกซีไคซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป่งสาถึ 5 10 และ 15% มีค่าความชัน ค่าแรงกระทำสูงสุดน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน แสดงว่ามีความกรอบน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน ดังนั้นจากภาพรวมแสดงในภาคผนวก ค.2 พบว่าแป่งซุบทอดที่ผสมสตา์ชอออกซีไคซ์ 1.5 – 5.0% CI จะให้ความกรอบที่ต่ำกว่าสูตรมาตรฐานเช่นเดียวกันกับในผลิตภัณฑ์ไก่ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสูตรที่น่าจะมีความกรอบใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน คือ สูตรที่ผสมสตา์ชอออกซีไคซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป่งสาถึ 10% โดยการพิจารณาจากค่าความชันและค่าแรงกระทำสูงสุดร่วมกัน

#### 4.3 การผลิตสตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์

##### 4.3.1 ปริมาณความชันและค่าสีของสตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์

จากผลการทดลองหาความชันของสตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์ พบว่ามีค่าน้อยมาก คือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.00 – 0.44% (ตารางที่ 4.23) เนื่องจากการผ่านขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนจากไอน้ำภายในลูกกลิ้งส่งผ่านความร้อนมายังสารละลายสตา์ชอ หลังจากนั้นนำไปผ่านขั้นตอนการอบแห้งสตา์ชอที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทและป้องกันการเกิดโรโทรเกรเดชันในขั้นตอนการเก็บ ดังนั้นจึงทำให้สตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์มีความชันน้อยมาก ลักษณะของผลิตภัณฑ์สตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์ พบว่าเมื่ออบคเป็นผงแล้วมีความเลื่อมมัน มีสีขาวจนถึงสีเหลืองอ่อน จากการวัดค่าสีพบว่าสตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์มีค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 94.0 – 95.2 ซึ่งพบว่ามีค่า  $L^*$  ที่น้อยกว่าสตา์ชอออกซีไคซ์ 1.5 – 5.0% CI และ สตา์ชอออกซีไคซ์ 1.5 – 5.0% CI แสดงผลดังตารางที่ 4.3 ค่า  $a^*$  ซึ่งแสดงถึงสีแดง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 0.8 ค่า  $b^*$  ซึ่งแสดงถึงสีเหลือง พบว่ามีค่าในช่วง 4.9 – 6.5 โดยมีค่าสูงกว่าสตา์ชอออกซีไคซ์ 1.5 – 5.0% CI และ สตา์ชอออกซีไคซ์ 1.5 – 5.0% CI เมื่อพิจารณาสตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซีเดชันสูงขึ้นไปพบว่ามีแนวโน้มาการให้ค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสตา์ชอออกซีไคซ์เป็นสตา์ชอที่มีความไวต่อความร้อน ดังนั้นเมื่อนำมาผลิตเป็นสตา์ชอออกซีไคซ์-ฟรีเจลาติไนซ์จะทำให้สตา์ชอมีสีคล้ำมากขึ้นและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น



ตารางที่ 4.23 ปริมาณความชื้นและค่าสีของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)	ความชื้น (%)	L*	a*	b*
0.0	0.42 <sup>c</sup> ±0.04	94.6 <sup>c</sup> ±0.0	0.4 <sup>b</sup> ±0.0	4.9 <sup>a</sup> ±0.1
1.5	0.44 <sup>c</sup> ±0.05	95.2 <sup>c</sup> ±0.0	0.3 <sup>a</sup> ±0.0	5.2 <sup>b</sup> ±0.0
2.0	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	94.0 <sup>a</sup> ±0.0	0.7 <sup>d</sup> ±0.0	6.1 <sup>d</sup> ±0.1
3.0	0.18 <sup>b</sup> ±0.02	94.8 <sup>d</sup> ±0.0	0.6 <sup>c</sup> ±0.0	5.8 <sup>c</sup> ±0.0
5.0	0.16 <sup>b</sup> ±0.01	94.1 <sup>b</sup> ±0.0	0.8 <sup>e</sup> ±0.0	6.5 <sup>e</sup> ±0.1

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.3.2 ธรรมชาติการดูดซับน้ำและธรรมชาติการละลายน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลัง

##### ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิห้อง

จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.24 พบว่าค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำและธรรมชาติการละลายน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปร มีค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำสูงสุด คือ 12.93 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง และมีค่าธรรมชาติการละลายน้ำต่ำสุด คือ 0.72% และสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI มีค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำต่ำสุด คือ 0.28 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง และมีค่าธรรมชาติการละลายน้ำสูงสุด คือ 95.53% เมื่อพิจารณาสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น พบว่ามีค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำลดลง และค่าธรรมชาติการละลายน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากสมบัติของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์โดยทั่วไปพบว่ามีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร ซึ่งค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำสามารถบ่งบอกถึงความหนืดขณะเย็น (cold paste viscosity) ได้ (Paton and Spratt, 1981; Colonna, Tayeb, and Mercier, 1989) สตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนซ์ซึ่งมีสายโพลีเมอร์ที่ไม่ได้รับความเสียหาย (undamaged) หรือมีหมู่ hydrophilic ในโมเลกุล จะมีส่วนช่วยเพิ่มค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำให้แก่เม็ดสตาร์ช ซึ่งจากผลการทดลองหาค่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิ 55 – 85 °C (ตารางที่ 4.5) พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปมีการพองตัวลดลงและสตาร์ชออกซิไดซ์ 5.0% CI ที่อุณหภูมิ 75 และ 85 °C ไม่สามารถวัดตะกอนของเจลสตาร์ชที่เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาค่าการละลาย พบว่ามีค่าสูงถึง 100% ดังนั้นเมื่อนำสตาร์ชออกซิไดซ์มาผลิตเป็นสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ จึงทำได้

สตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่มีกำลังการพองตัวต่ำและมีค่าครรชนีการดูดซับน้ำลดลงอย่างมาก ส่วนค่าครรชนีการละลายน้ำเป็นค่าที่สามารถบอกถึง degree of molecular damage ได้ ถ้าสตาร์ชมี degree of molecular damage สูงสตาร์ชจะมีแนวโน้มในการละลายสูง จากผลการทดลองพบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงๆมีค่าการละลายที่สูงมาก ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการละลายของสตาร์ชออกซิไดซ์ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น

**ตารางที่ 4.24** ค่าครรชนีการดูดซับน้ำและครรชนีการละลายน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิห้อง

active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)	ครรชนีการดูดซับน้ำ (กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง)	ครรชนีการละลายน้ำ (%)
0.0	12.93 <sup>a</sup> ±0.04	0.72 <sup>a</sup> ±0.01
1.5	5.34 <sup>b</sup> ±0.01	41.01 <sup>b</sup> ±0.31
2.0	3.95 <sup>c</sup> ±0.00	53.10 <sup>c</sup> ±0.86
3.0	1.35 <sup>d</sup> ±0.03	75.65 <sup>d</sup> ±0.18
5.0	0.28 <sup>c</sup> ±0.01	95.53 <sup>c</sup> ±0.47

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.3.3 ค่าความหนาแน่นและค่าครรชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าความหนาแน่นของสตาร์ชมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปร มีค่าความหนาแน่นของสตาร์ชต่ำสุด คือ 0.54 g/mL ทำให้มีผลต่อการบรรจุผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่าความหนาแน่นของสตาร์ชที่มีค่าต่ำจะทำให้เปลืองเนื้อที่ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ สตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ 1.5 – 5.0% Cl มีค่าความหนาแน่นของสตาร์ชอยู่ในช่วง 0.60 – 0.67 g/mL

จากตารางที่ 4.25 พบว่าค่าครรชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 1.28 – 1.82 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง โดยแป้งสาลีมีค่าครรชนีการดูดซับน้ำมันน้อยสุด คือ 0.96 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง และเมื่อพิจารณาในกลุ่มของสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ จะพบว่ามีค่าครรชนีการดูดซับน้ำมันมากกว่าในกลุ่มของสตาร์ชออกซิไดซ์ (ตารางที่ 4.9) อาจเกิดจากลักษณะของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์โดย

ทั่วไปที่พบว่ามีความหนืดที่ผิวหยาบและมีความเป็นรูพรุนอยู่จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร และเมื่อพิจารณาสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น พบว่าค่าครรชนีการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ผกผันกับค่าความหนาแน่นของสตาร์ช โดยสตาร์ชที่มีค่าความหนาแน่นของสตาร์ชน้อยจะมีแนวโน้มในการดูดซับน้ำมันมาก ซึ่งอาจเกิดจากการมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสและดูดซับน้ำมันมากขึ้น

**ตารางที่ 4.25** ค่าความหนาแน่นและค่าครรชนีการดูดซับน้ำมันของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)	ค่าความหนาแน่นของสตาร์ช (g/mL)	ค่าครรชนีการดูดซับน้ำมัน (กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง)
0.0	0.54 <sup>a</sup> ±0.01	1.82 <sup>c</sup> ±0.01
1.5	0.60 <sup>b</sup> ±0.00	1.49 <sup>b</sup> ±0.14
2.0	0.66 <sup>bc</sup> ±0.02	1.41 <sup>ab</sup> ±0.01
3.0	0.67 <sup>c</sup> ±0.04	1.31 <sup>ab</sup> ±0.06
5.0	0.66 <sup>bc</sup> ±0.02	1.28 <sup>a</sup> ±0.01
Wheat Flour	0.70 <sup>c</sup> ±0.04	0.96 <sup>a</sup> ±0.03

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

#### 4.3.4 ค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ที่ shear rate 20 s<sup>-1</sup> อุณหภูมิ 25 °C

ในการทดลองได้วัดค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์โดยใช้เครื่อง Bohlin Rheometer โดยการหาความหนืดปรากฏของน้ำแป้งชูบที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ การเตรียมน้ำแป้งโดยการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์กับน้ำในอัตราส่วนที่เท่ากับการผสมเป็นน้ำแป้งชูบที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% เพียงแต่จะไม่มีการผสมแป้งสาลีและส่วนผสมอื่นๆ เพื่อจะได้ นำผลมาเปรียบเทียบกับค่าความหนืดปรากฏของแป้งชูบทอดที่ทำการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีระดับต่างๆ ค่าความหนืดที่ได้จะเป็นค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity,  $\eta$ ) ที่อัตราเลื่อน 20 s<sup>-1</sup> อุณหภูมิ 25 °C

ตารางที่ 4.26 ค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ที่อัตราเลื่อน  $20 \text{ s}^{-1}$  อุณหภูมิ  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

active chlorine concentration <sup>1</sup> (%)	ระดับแทนที่	ความหนืดปรากฏ (Pa.s)
0.0	5	$0.267^{\text{b}} \pm 0.013$
	10	$1.797^{\text{c}} \pm 0.099$
	15	$2.207^{\text{a}} \pm 0.146$
1.5	5	$0.011^{\text{a}} \pm 0.001$
	10	$0.056^{\text{a}} \pm 0.001$
	15	$0.241^{\text{b}} \pm 0.009$
2.0	5	$0.008^{\text{a}} \pm 0.000$
	10	$0.021^{\text{a}} \pm 0.001$
	15	$0.053^{\text{a}} \pm 0.001$
3.0	5	$0.005^{\text{a}} \pm 0.001$
	10	$0.007^{\text{a}} \pm 0.000$
	15	$0.013^{\text{a}} \pm 0.001$
5.0	5	$0.003^{\text{a}} \pm 0.001$
	10	$0.006^{\text{a}} \pm 0.000$
	15	$0.007^{\text{a}} \pm 0.000$

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.26 พบว่าสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรที่ระดับการแทนที่ 15% มีค่าความหนืดปรากฏสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) รองลงมา คือ สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชไม่ดัดแปรที่ระดับการแทนที่ 10% ส่วนค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันอื่นๆ พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือ มีค่าในช่วง  $0.003 - 0.056 \text{ Pa.s}$  เมื่อพิจารณาสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น พบว่าจะให้ค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับ

ออกซิเดชันสูงขึ้นจะให้ค่าความหนืดปรากฏลดลง ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าการดูดซับน้ำของสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิห้อง โดยการดูดซับน้ำจะมีค่าลดลงในสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น เนื่องจากผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดการตัดสายโมเลกุลของสตาร์ชทำให้มีความหนืดลดลงและผลจากการทำปฏิกิริยาจะทำให้การพองตัวมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน

#### 4.4 การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอด

##### 4.4.1 สมบัติของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์

###### 4.4.1.1 ธรรมชาติการดูดซับน้ำและธรรมชาติการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์

จากผลการทดลองพบว่าค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำและธรรมชาติการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.27) โดยพบว่าให้ผลที่มีแนวโน้มตามสมบัติการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์แสดงผลดังตารางที่ 4.24 โดยค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ตัดแปรมีค่าสูงสุด คือ 12.93 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง ดังนั้นเมื่อนำสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ตัดแปรมาเป็นส่วนผสมในแป้งชูบทอดจึงให้ค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำที่สูงกว่าแป้งชูบทอดสูตรอื่น โดยเฉพาะที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีที่ 15% จะให้ค่าการดูดซับน้ำสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 3.06 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง

เมื่อพิจารณาแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้น พบว่าแป้งชูบทอดมีค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ยกเว้นสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0 และ 5.0% CI ที่เมื่อมีการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้น ค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาที่ระดับเดียวกันของการแทนที่แป้งสาลีพบว่าแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นจะให้ค่าธรรมชาติการดูดซับน้ำลดลง (รูปที่ 4.14) ค่าธรรมชาติการละลายน้ำของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่าสูงสุด คือ 23.90% สอดคล้องกับค่าธรรมชาติการละลายน้ำของสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI (ตารางที่ 4.24) ซึ่งพบว่ามีค่าการละลายสูงถึง 95.53% จากการพิจารณาน้ำแป้งชูบที่มีส่วนผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.15)

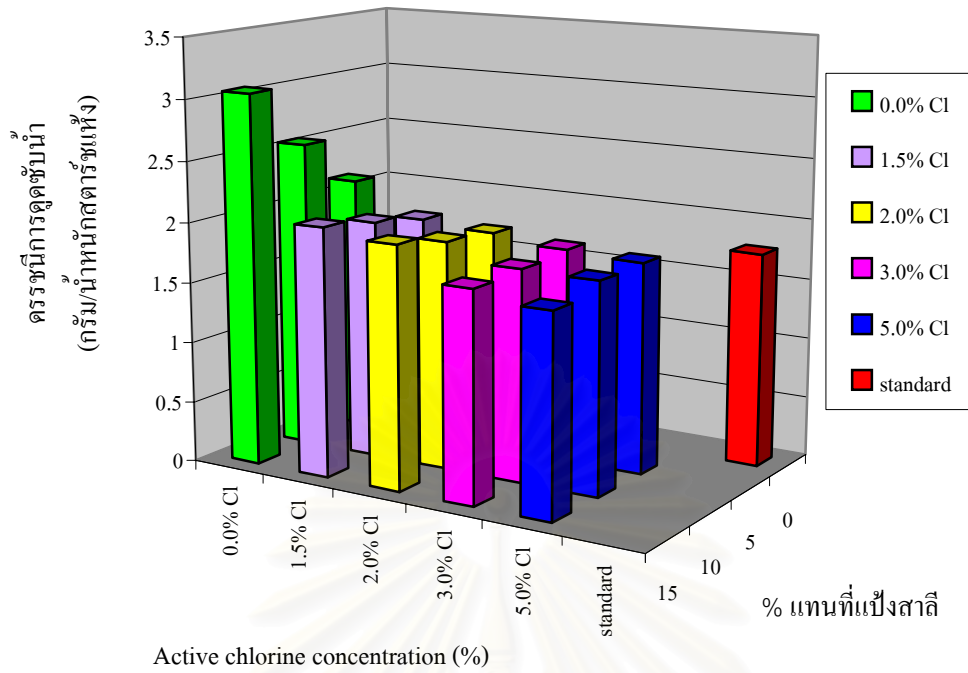
พบว่าค่าการชนึการละลายน้ำมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นจะมีค่าการละลายน้ำที่มีแนวโน้มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.27 การชนึการดูดซับน้ำและการชนึการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไคซ์-พรีเจลาติไนซ์

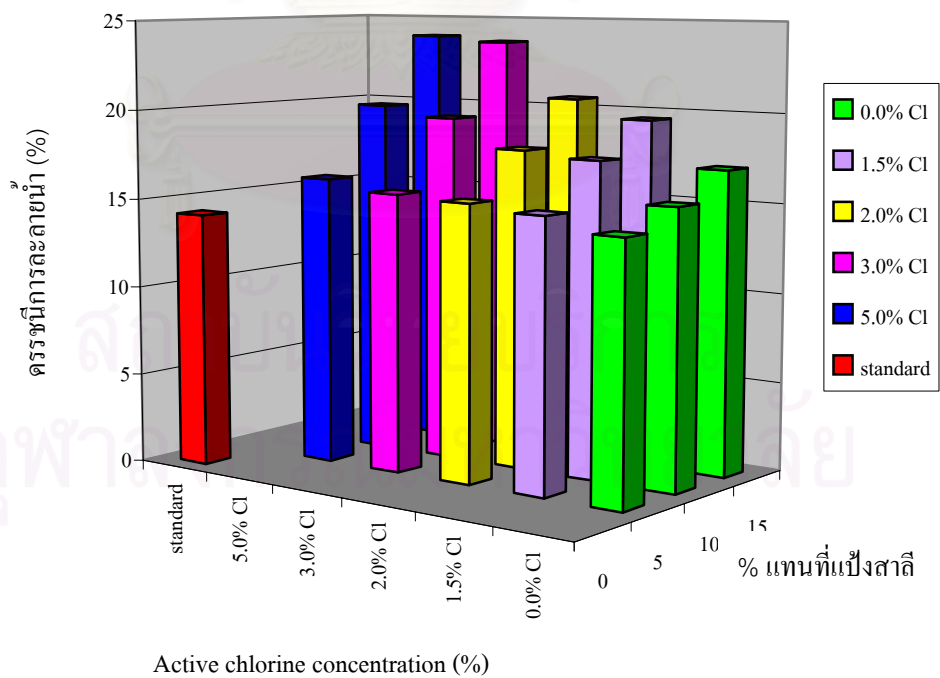
สูตรแป้งชุบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	การชนึการดูดซับน้ำ (กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง)	การชนึการละลายน้ำ (%)
สูตรมาตรฐาน	0	1.77 <sup>c</sup> ±0.01	14.17 <sup>a</sup> ±0.04
0.0 <sup>1</sup>	5	2.14 <sup>g</sup> ±0.04	14.30 <sup>a</sup> ±0.10
	10	2.55 <sup>h</sup> ±0.04	15.43 <sup>b</sup> ±0.12
	15	3.06 <sup>i</sup> ±0.03	17.02 <sup>d</sup> ±0.02
	5	1.88 <sup>d</sup> ±0.00	15.07 <sup>d</sup> ±0.10
1.5 <sup>1</sup>	10	1.97 <sup>e</sup> ±0.00	17.59 <sup>c</sup> ±0.50
	15	2.05 <sup>f</sup> ±0.00	19.51 <sup>f</sup> ±0.00
	5	1.84 <sup>d</sup> ±0.01	15.38 <sup>b</sup> ±0.13
2.0 <sup>1</sup>	10	1.89 <sup>d</sup> ±0.01	17.92 <sup>c</sup> ±0.34
	15	1.99 <sup>e</sup> ±0.04	20.52 <sup>g</sup> ±0.65
	5	1.78 <sup>c</sup> ±0.01	15.57 <sup>b</sup> ±0.09
3.0 <sup>1</sup>	10	1.75 <sup>bc</sup> ±0.01	19.47 <sup>f</sup> ±0.23
	15	1.73 <sup>b</sup> ±0.01	23.64 <sup>h</sup> ±0.07
	5	1.75 <sup>bc</sup> ±0.01	16.10 <sup>c</sup> ±0.11
5.0 <sup>1</sup>	10	1.74 <sup>bc</sup> ±0.01	20.00 <sup>fg</sup> ±0.06
	15	1.65 <sup>a</sup> ±0.02	23.90 <sup>h</sup> ±0.21

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 4.14 ครรชนิการคลอรีนน้ำของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์



รูปที่ 4.15 ครรชนิการละลายน้ำของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

จากการสังเกตพบว่าค่าการละลายน้ำของสตาร์ชพรีเจลาติโนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรจะมีค่าละลาย คือ 0.72% ซึ่งพบว่ามีความต่ำกว่าค่าการละลายของแป้งสาลี คือ 6.71% (ตาราง 4.24) แต่เมื่อนำสตาร์ชพรีเจลาติโนซ์จากสตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมาผสมกับแป้งสาลีเพื่อผสมเป็นแป้งชุปทอด พบว่าค่าการละลายกลับมีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐานซึ่งมีส่วนผสมเป็นแป้งสาลีเพียงชนิดเดียว อธิบายได้ว่าการนำสตาร์ชพรีเจลาติโนซ์เพียงชนิดเดียวมาละลายน้ำจะทำให้สตาร์ชมีแนวโน้มในการจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นการมีแป้งสาลีเป็นตัวช่วยกระจายส่วนผสมจะทำให้แป้งชุปทอดที่มีส่วนผสมเป็นสตาร์ชพรีเจลาติโนซ์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีขึ้น

#### 4.4.1.2 สมบัติทางการไหลของแป้งชุปทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง

##### ออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์

จากการทดลองผสมน้ำแป้งชุปในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 1:1.5 พบว่าแป้งชุปทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติโนซ์ที่ระดับแทนที่แป้งสาลี 15% ไม่สามารถผสมเป็นน้ำแป้งชุปได้เนื่องจากมีความหนืดที่สูงมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาวัดสมบัติต่างๆที่นำมาใช้เป็นแป้งชุปทอดได้ จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.28 พบว่าน้ำแป้งชุปทุกสูตรมีพฤติกรรมทางการไหลแบบ shear-thinning หรือ pseudoplastic ( $n < 1$ ) ค่า yield stress ของน้ำแป้งชุปทุกสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรน้ำแป้งชุปที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์ทุกสูตรมีค่า yield stress สูงกว่าสูตรมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 4.16 ยกเว้นน้ำแป้งชุปที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์ 3.0 และ 5.0% CI ที่พบว่ามีความ yield stress ที่น้อยกว่าน้ำแป้งชุปสูตรมาตรฐาน โดยสูตรน้ำแป้งชุปที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติโนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% จะมีความ yield stress สูงสุด คือ 11.26 Pa

เมื่อพิจารณาน้ำแป้งชุปที่มีการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์ 0.0–2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 15% พบว่าค่า yield stress มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติโนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.09 Pa เป็น 11.26 Pa สูตรแป้งชุปทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์ 1.5 และ 2.0% CI ค่า yield stress เพิ่มขึ้นจาก 1.99 เป็น 7.98 Pa และเพิ่มขึ้นจาก 1.48 เป็น 2.78 Pa ตามลำดับ ส่วนแป้งชุปทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์ 3.0 และ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีจาก 5% เป็น 15% พบว่ามีความ yield stress ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่า yield stress ลดลงจาก 1.07 เป็น 0.36 Pa และลดลงจาก 0.95 เป็น 0.43 Pa ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับค่าการขึ้นการดูดซับน้ำของสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์ที่อุณหภูมิห้อง นั่นคือการดูดซับน้ำของสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์ 3.0 และ 5.0% CI มีค่าน้อยมากโดยมีค่าต่ำกว่าค่าการดูดซับน้ำของแป้งสาลี ดังนั้นแป้งชุปทอดที่



ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0 และ 5.0% CI จึงมีค่า yield stress ที่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากส่วนผสมมีค่าครรชนีการดูดซับน้ำน้อย จึงทำให้มีน้ำอิสระที่เหลือมากพอในการหล่อลื่น อนุภาคของเม็ดสตาร์ชและทำให้สตาร์ชเกิดการไหลมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ระดับการแทนที่ แป้งสาลีที่ระดับเดียวกันพบว่าแป้งชุปทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่มีระดับ ออกซิเดชันสูงขึ้นจะให้ค่า yield stress ลดลง

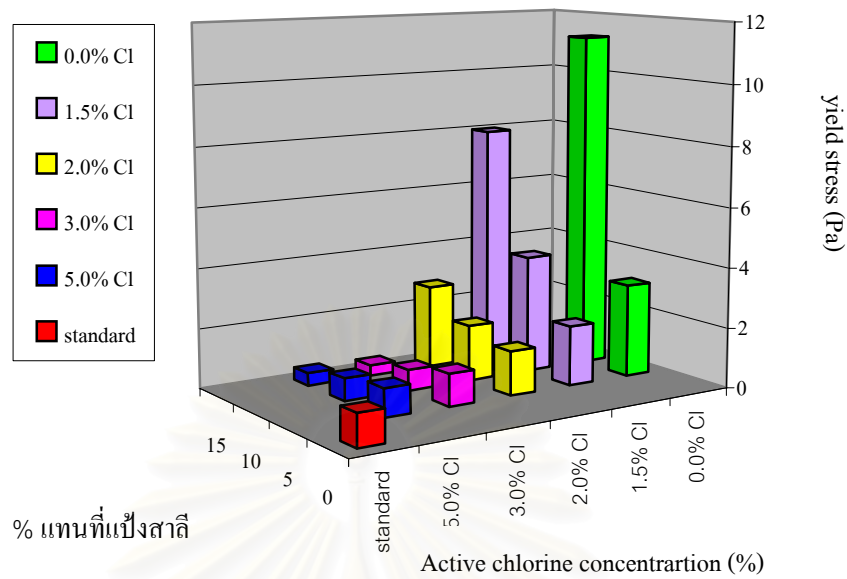
ตารางที่ 4.28 สมบัติทางการไหลของน้ำแป้งชุปที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ที่ shear rate 1-100 ( $s^{-1}$ ) อุณหภูมิ 25 °C

สูตร แป้งชุปทอด	แทนที่ แป้งสาลี (%)	$\sigma_0$ (Pa)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n	$\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ (Pa.s)	hysteresis loop (Pa.s <sup>-1</sup> )
สูตรมาตรฐาน	0	1.08 <sup>bc</sup> ±0.04	2.87 <sup>ab</sup> ±0.04	0.71 <sup>i</sup> ±0.00	1.27 <sup>de</sup> ±0.03	5.89 <sup>bcd</sup> ±0.28
	5	3.09 <sup>f</sup> ±0.23	7.01 <sup>e</sup> ±0.15	0.59 <sup>bc</sup> ±0.00	2.22 <sup>i</sup> ±0.02	46.73 <sup>i</sup> ±1.34
	10	11.26 <sup>i</sup> ±0.50	18.55 <sup>h</sup> ±0.38	0.55 <sup>a</sup> ±0.00	5.40 <sup>m</sup> ±0.03	155.79 <sup>j</sup> ±1.32
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
0.0 <sup>1</sup>	5	1.99 <sup>c</sup> ±0.17	4.10 <sup>c</sup> ±0.39	0.67 <sup>g</sup> ±0.01	1.63 <sup>g</sup> ±0.09	9.59 <sup>ef</sup> ±0.04
	10	3.93 <sup>g</sup> ±0.28	8.73 <sup>f</sup> ±0.35	0.61 <sup>de</sup> ±0.01	2.87 <sup>k</sup> ±0.01	24.39 <sup>h</sup> ±2.24
	15	7.98 <sup>h</sup> ±0.52	15.08 <sup>g</sup> ±0.35	0.58 <sup>b</sup> ±0.00	4.71 <sup>l</sup> ±0.12	47.20 <sup>i</sup> ±2.83
1.5 <sup>1</sup>	5	1.48 <sup>cd</sup> ±0.11	3.33 <sup>b</sup> ±0.27	0.69 <sup>h</sup> ±0.01	1.39 <sup>f</sup> ±0.05	7.94 <sup>def</sup> ±0.66
	10	1.87 <sup>de</sup> ±0.00	4.73 <sup>d</sup> ±0.14	0.65 <sup>f</sup> ±0.00	1.73 <sup>h</sup> ±0.03	10.25 <sup>f</sup> ±0.49
	15	2.78 <sup>f</sup> ±0.15	7.37 <sup>e</sup> ±0.02	0.60 <sup>cd</sup> ±0.00	2.36 <sup>j</sup> ±0.02	14.75 <sup>g</sup> ±1.03
2.0 <sup>1</sup>	5	1.07 <sup>bc</sup> ±0.07	2.71 <sup>a</sup> ±0.02	0.70 <sup>h</sup> ±0.00	1.17 <sup>bc</sup> ±0.03	7.44 <sup>de</sup> ±0.11
	10	0.71 <sup>ab</sup> ±0.01	3.32 <sup>b</sup> ±0.12	0.66 <sup>fg</sup> ±0.01	1.22 <sup>cd</sup> ±0.01	6.98 <sup>d</sup> ±0.35
	15	0.36 <sup>a</sup> ±0.01	4.16 <sup>c</sup> ±0.02	0.63 <sup>e</sup> ±0.00	1.37 <sup>ef</sup> ±0.01	4.37 <sup>abc</sup> ±0.34
3.0 <sup>2/</sup>	5	0.95 <sup>b</sup> ±0.10	2.38 <sup>a</sup> ±0.04	0.72 <sup>i</sup> ±0.00	1.09 <sup>ab</sup> ±0.01	6.75 <sup>cd</sup> ±0.08
	10	0.76 <sup>ab</sup> ±0.00	2.69 <sup>a</sup> ±0.16	0.70 <sup>h</sup> ±0.01	1.11 <sup>ab</sup> ±0.04	3.60 <sup>ab</sup> ±0.05
	15	0.43 <sup>a</sup> ±0.00	2.54 <sup>a</sup> ±0.01	0.69 <sup>h</sup> ±0.000	1.03 <sup>a</sup> ±0.01	2.03 <sup>a</sup> ±0.04

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

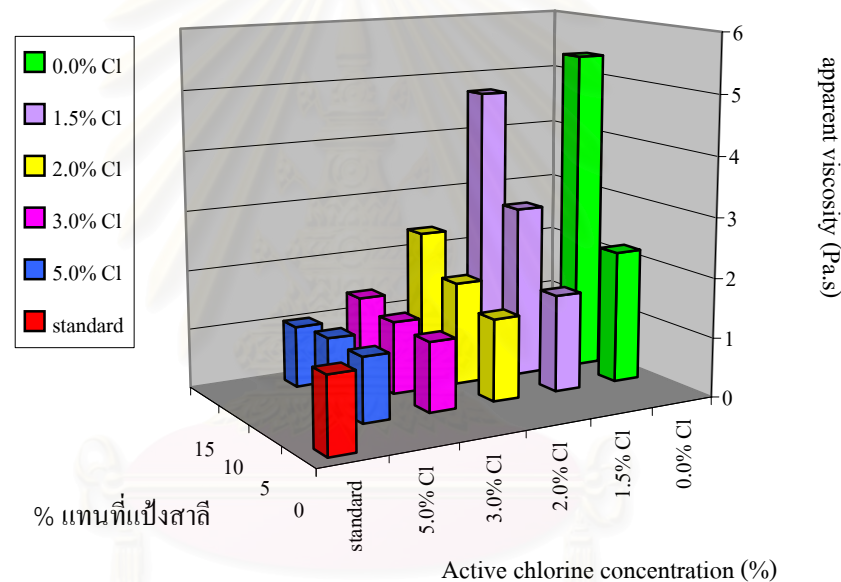
<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งชุปมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็น น้ำแป้งชุปได้



รูปที่ 4.16 ค่า yield stress ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

ค่า consistency index (K) มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน  $20 \text{ s}^{-1}$  อุณหภูมิ  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  จากการทดลองพบว่าแป้งชุบทอดทุกสูตรมีค่า consistency index และค่าความหนืดปรากฏแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยน้ำแป้งชุบที่มีการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์แทนที่แป้งสาลี 10% มีค่า consistency index กับค่าความหนืดปรากฏสูงกว่าสูตรแป้งชุบทอดสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ  $18.55 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  และ  $5.396 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น (รูปที่ 4.17) จะมีค่า consistency index และค่าความหนืดปรากฏมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์มีค่า consistency index เพิ่มขึ้นจาก 7.01 เป็น  $18.55 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  และค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นจาก 2.218 เป็น  $5.398 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI มีค่า consistency index เพิ่มขึ้นจาก 4.10 เป็น  $15.08 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  และค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นจาก 1.626 เป็น  $4.705 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI มีค่า consistency index เพิ่มขึ้นจาก 3.33 เป็น  $7.37 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  และค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นจาก 1.385 เป็น  $2.362 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  และสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI มีค่า consistency index เพิ่มขึ้นจาก 2.71 เป็น  $4.16 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  และค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นจาก 1.169 เป็น  $1.368 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ในทำนองเดียวกันกับค่า yield stress ยกเว้นสูตรที่มีการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ 5.0% CI

ซึ่งพบว่ามีความ consistency index กับค่าความหนืดปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือ มีค่า consistency index อยู่ในช่วง 2.38 – 2.69 Pa.s<sup>n</sup> และมีค่าความหนืดปรากฏอยู่ในช่วง 1.026 – 1.108 Pa.s เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชพรีเจลาตินไนซ์เพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.26) พบว่าสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 5.0% CI มีค่าความหนืดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% ใกล้เคียงกันมาก คือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.003 – 0.007 Pa.s ซึ่งมีค่าความหนืดปรากฏน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์กลุ่มอื่นๆ ดังนั้นเมื่อนำสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 5.0% CI มาผสมแทนที่แป้งสาลีที่ระดับต่างๆ ในแป้งชุบทอด จึงมีผลให้ค่า consistency index กับค่าความหนืดปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

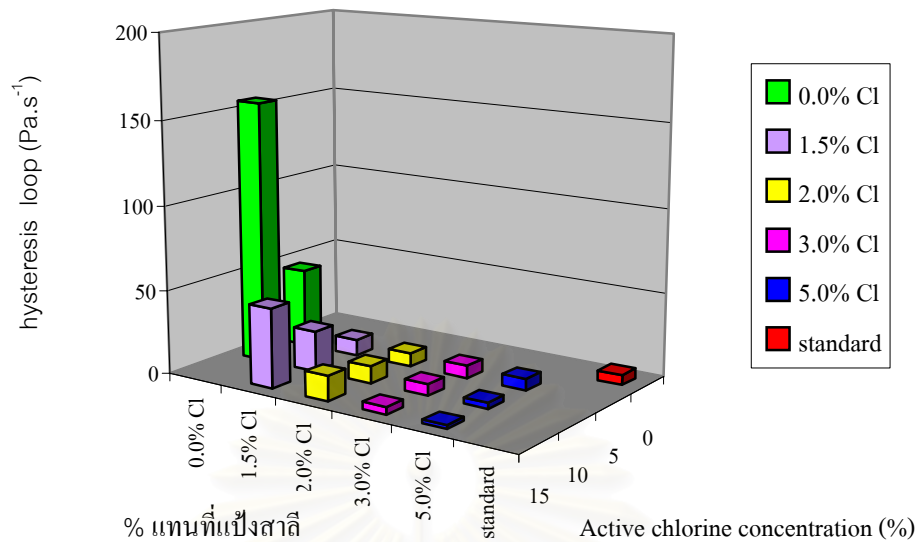


รูปที่ 4.17 ค่าความหนืดปรากฏของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์

จากตารางที่ 4.28 พบว่าน้ำแป้งชุบทุกสูตรมีค่า flow behavior index ( $n$ ) น้อยกว่า 1 จึงแสดงลักษณะพฤติกรรมเป็นแบบ shear-thinning หรือ pseudoplastic จากการสังเกตพบว่าค่า flow behavior index ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.55 – 0.71 ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่าค่า flow behavior index ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ ดังแสดงภาพรวมในภาคผนวก ค.3 ซึ่งมีค่า  $n$  อยู่ในช่วง 0.72 – 0.77 จึงสามารถกล่าวได้ว่าน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์จะมี degree of pseudoplasticity สูงกว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์

จากผลการทดลอง พบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ปริเจลาตินซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่า flow behavior index น้อยที่สุด คือ 0.59 และ สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่ แป้งสาลี 5% และแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานมีค่า flow behavior index มากที่สุด คือ 0.72 และ 0.71 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อให้อัตราเลื่อนเพิ่มขึ้น สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ปริเจลาตินซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% จะมีความหนืดลดลงมากกว่าแป้งชุบทอดสูตรอื่นๆ ส่วนแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่ แป้งสาลี 5% และแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานจะให้ความหนืดลดลงน้อยสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น เมื่อ พิจารณาแป้งชุบทอดในแต่ละสูตรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น พบว่าค่า flow behavior index มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาที่ระดับเดียวกันของการแทนที่แป้งสาลี พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสม สตาร์ชออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นก็จะให้ค่า flow behavior index ที่ลดลง เช่นกัน เนื่องจากค่า flow behavior index มีความผกผันกับความหนืด

เมื่อพิจารณาจะพบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์ มีค่า hysteresis loop แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงพฤติกรรมทางการ ไหลแบบ thixotropic เช่นเดียวกับแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ โดยแป้งชุบทอดที่ผสม สตาร์ชมันสำปะหลังปริเจลาตินซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่า hysteresis loop สูงสุด คือ  $155.79 \text{ Pa.s}^{-1}$  และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์จะมีค่า hysteresis loop มากกว่าค่า hysteresis loop ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ (รูปที่ 4.18) จึงสามารถกล่าว ได้ว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์จะมีความเป็น thixotropic สูงกว่าสูตร แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ นั่นคือ ในระหว่างการผสมจะมีความหนืดลดลงตามเวลา มากกว่า เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น พบว่า hysteresis loop มีค่า เพิ่มขึ้น ยกเว้นแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์ 3.0 และ 5.0% CI ที่พบว่ามี ค่า hysteresis loop ที่ลดลง และเมื่อพิจารณาการแทนที่แป้งสาลีที่ระดับเดียวกัน พบว่าแป้งชุบ ทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-ปริเจลาตินซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นมีค่า hysteresis loop ลดลง เนื่องจากความเป็น thixotropic ของแป้งชุบทอดมักจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความหนืดของแป้งชุบทอด และความเป็น pseudoplasticity ก็มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วน โดยตรงกับความหนืดเช่นกัน



รูปที่ 4.18 ค่า hysteresis loop ของแปรงชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

#### 4.4.1.3 ความหนาแน่นของก้อนแปรงทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.29 พบว่าค่าความหนาแน่นของก้อนแปรงทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแปรงชุบทอดที่มีการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% Cl) มีค่าความหนาแน่นของก้อนแปรงทอดน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน กล่าวคือ จะให้การพองตัวของก้อนแปรงทอดที่สูงกว่า สอดคล้องกับผลการทดลองของจำเริญ อัจฉราภิรักษ์ (2537) ซึ่งได้ทดลองใช้สตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ผลิตขนมปัง โดยพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากสมบัติของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ คือ มีสมบัติการดูดซับน้ำและมีความสามารถในการเก็บฟองอากาศได้ดี ดังนั้นเมื่อนำสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มาผสมเป็นแปรงชุบทอด น้ำที่สตาร์ชดูดไว้จะเกิดการระเหย ไอน้ำที่ได้จากการระเหยจะดันตัวแปรงให้เกิดการพองตัวได้ดี

จากการสังเกตแปรงชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่เท่ากันและมีระดับออกซิเดชัน 3.0 และ 5.0% Cl พบว่ามีการดูดซับน้ำน้อยกว่าของแปรงสาลีและของสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่ำ 0.0 - 2.0% Cl แต่พบว่ากลับมีการพองตัวที่สูงกว่าแปรงชุบทอดสูตรมาตรฐานที่ประกอบด้วยแปรงสาลีเพียงชนิดเดียว อาจเป็นผลจากสมบัติการเป็น film-forming ที่ดีของสตาร์ชออกซิไดซ์ซึ่งยังคงให้สมบัตินั้นอยู่เมื่อนำมาผลิตเป็นสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ และอาจเกิดจากการละลายที่สูงของสตาร์ช

ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ 3.0 – 5.0% CI ซึ่งอาจมีส่วนช่วยกระจายส่วนผสมทำให้แป้งไม่จับเป็นก้อน เมื่อเวลาทอดจึงเกิดการดันโครงสร้างของตัวแป้งให้มีการพองตัวที่มากกว่าสูตรมาตรฐาน

**ตารางที่ 4.29** ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่ผสมสตรัซมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

สูตรแป้งชุบทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	ค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด (g/mL)
สูตรมาตรฐาน	0	0.45 <sup>g</sup> ±1.86
0.0 <sup>1</sup>	5	0.41 <sup>f</sup> ±1.42
	10	0.37 <sup>de</sup> ±1.13
	15	- <sup>2</sup>
	5	0.39 <sup>ef</sup> ±2.69
1.5 <sup>1</sup>	10	0.35 <sup>cd</sup> ±1.84
	15	0.33 <sup>bc</sup> ±0.85
	5	0.32 <sup>ab</sup> ±0.71
2.0 <sup>1</sup>	10	0.33 <sup>bc</sup> ±0.37
	15	0.42 <sup>f</sup> ±0.24
	5	0.29 <sup>a</sup> ±1.06
3.0 <sup>1</sup>	10	0.33 <sup>bc</sup> ±0.37
	15	0.41 <sup>f</sup> ±1.33
	5	0.35 <sup>bcd</sup> ±1.68
5.0 <sup>1</sup>	10	0.39 <sup>ef</sup> ±0.97
	15	0.39 <sup>ef</sup> ±0.32

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตรัซ (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งชุบมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งชุบได้

จากภาพรวมแสดงในภาคผนวกที่ ค.4 พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตรัซ ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 10% มีค่าความ

หนาแน่นของก้อนแป้งทอดลดลงในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นหรือมีการพองตัวสูงขึ้น ยกเว้นสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ซึ่งพบว่ามีการพองตัวลดลง ถึงแม้ว่าสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่ำจะมีค่าการดูดซับน้ำที่มาก ซึ่งน่าจะให้การพองตัวของก้อนแป้งทอดที่มากกว่าสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูง แต่เนื่องจากสตาร์ชมีความหนืดที่สูงมาก จึงอาจเป็นข้อจำกัดของการพองตัว เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% พบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI มีค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดเท่ากับ 0.33 g/mL และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น (2.0 – 5.0% CI) คือ มีค่าในช่วง 0.39 – 0.42 g/mL แสดงถึงการพองตัวที่ลดลงของก้อนแป้งทอด อันเนื่องมาจากค่าการดูดซับน้ำของสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มีค่าลดลงทำให้ก้อนแป้งทอดมีการพองตัวลดลง

#### 4.4.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอดในสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

##### 4.4.2.1 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

จากตารางที่ 4.30 พบว่าค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) ในผลิตภัณฑ์ไก่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชุบสูงสุด คือ 88.57% รองลงมา คือ สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชุบเท่ากับ 80.40% เมื่อพิจารณาน้ำแป้งชุบในแต่ละสูตรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีที่สูงขึ้นจาก 5% เป็น 15% พบว่าการเกาะติดของน้ำแป้งชุบจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์จะให้การเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 55.43% เป็น 88.57% ในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5 % CI จะให้การเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 42.76% เป็น 80.40% ในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI จะให้การเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 35.42% เป็น 55.33% ยกเว้นสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่พบว่าให้การเกาะติดไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่ก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 28.94% เป็น 30.29% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ที่พบว่าให้การเกาะติดลดลงจาก 25.08% เป็น 22.09%

ตารางที่ 4.30 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ช  
มันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชูบแป้งทอด

สูตร แป้งชูบทอด	แทนที่ แป้งสาลี(%)	การเกาะติด ของน้ำแป้งชูบ (%)	การเกาะติด ของเปลือกแป้งทอด(%)
สูตรมาตรฐาน	0	29.06 <sup>g</sup> ±0.01	35.91 <sup>jk</sup> ±0.06
0.0 <sup>1</sup>	5	55.43 <sup>c</sup> ±0.45	46.76 <sup>c</sup> ±0.24
	10	88.57 <sup>a</sup> ±2.11	76.04 <sup>b</sup> ±0.66
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
	5	42.76 <sup>d</sup> ±0.28	44.20 <sup>efg</sup> ±0.85
1.5 <sup>1</sup>	10	56.59 <sup>c</sup> ±1.15	55.93 <sup>d</sup> ±0.20
	15	80.40 <sup>b</sup> ±0.28	81.66 <sup>a</sup> ±2.35
	5	35.42 <sup>f</sup> ±0.23	41.94 <sup>fgh</sup> ±0.90
2.0 <sup>1</sup>	10	37.74 <sup>e</sup> ±0.12	45.94 <sup>ef</sup> ±1.30
	15	55.33 <sup>c</sup> ±0.28	65.57 <sup>c</sup> ±5.72
	5	28.94 <sup>g</sup> ±0.14	39.51 <sup>hij</sup> ±0.40
3.0 <sup>1</sup>	10	29.12 <sup>g</sup> ±0.62	40.30 <sup>ghi</sup> ±0.38
	15	30.29 <sup>g</sup> ±0.08	40.83 <sup>ghi</sup> ±1.17
	5	25.08 <sup>h</sup> ±0.64	36.70 <sup>ijk</sup> ±1.49
5.0 <sup>1</sup>	10	24.45 <sup>h</sup> ±0.06	35.05 <sup>k</sup> ±0.44
	15	22.09 <sup>j</sup> ±0.01	29.63 <sup>l</sup> ±0.66

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

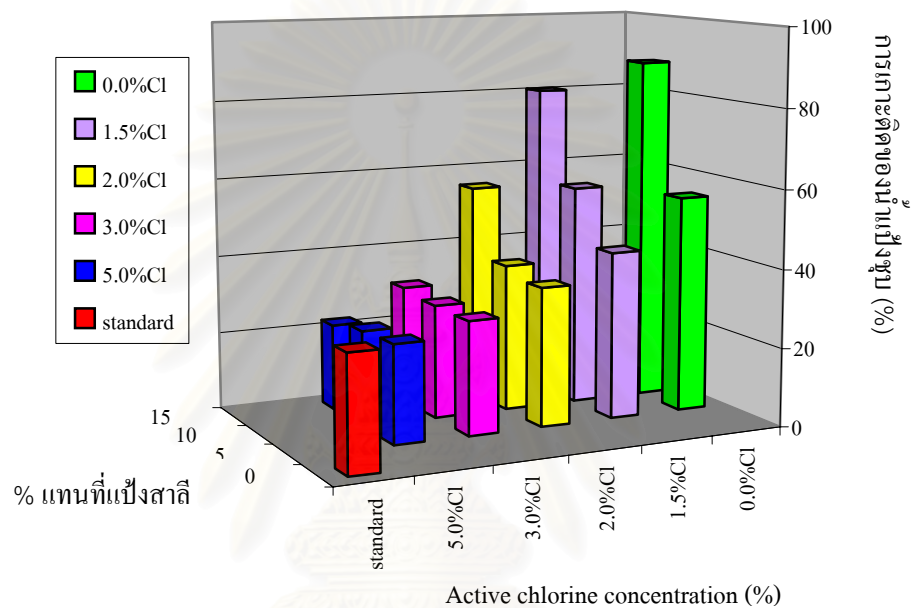
<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งชูบมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็น  
น้ำแป้งชูบได้

เมื่อพิจารณาแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับ  
ออกซิเดชันสูงขึ้น (รูปที่ 4.19) พบว่ามีค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งพบว่าค่า  
การเกาะติดของน้ำแป้งชูบจะมีความสอดคล้องกับค่า yield stress และค่าความหนืดปรากฏของ  
น้ำแป้งชูบ กล่าวคือ ถ้าสูตรน้ำแป้งชูบมีค่า yield stress และค่าความหนืดปรากฏสูงก็จะมีค่าการ  
เกาะติดสูงเช่นเดียวกัน อธิบายได้ในทำนองเดียวกันในหัวข้อสมบัติทางการไหลของน้ำแป้งชูบที่



ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์กับการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่ผสมสารช็อกซีไคซ์ พบว่าค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์จะมีค่ามากกว่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่ผสมสารช็อกซีไคซ์ เนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวของสารพรีเจลาติไนซ์ที่สามารถดูดซับน้ำและให้ความหนืดที่สูงกว่า

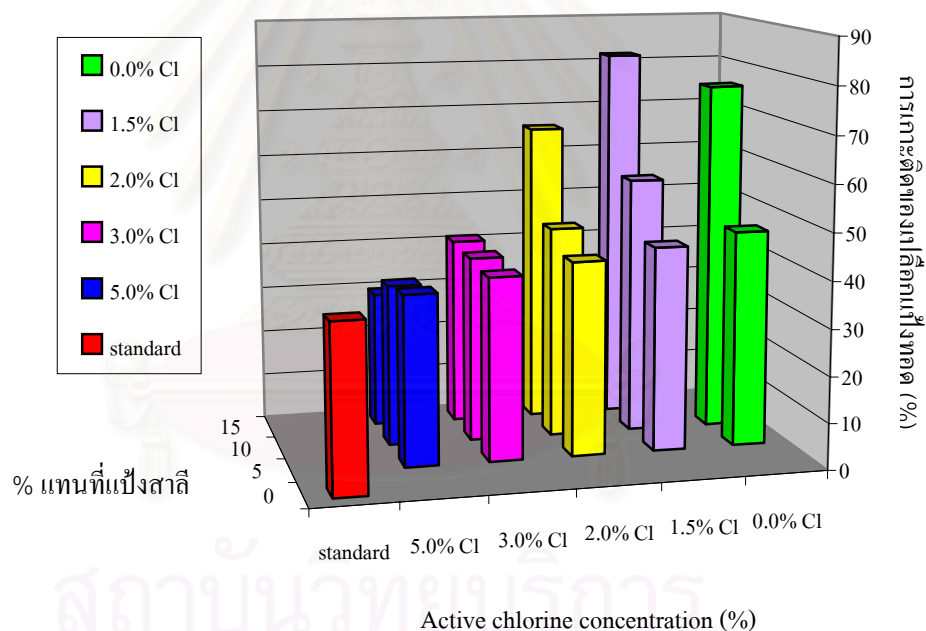


**รูปที่ 4.19** ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

ปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ แสดงในตารางที่ 4.30 พบว่ามีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกับค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบ กล่าวคือ เมื่อน้ำแป้งชูบมีความสามารถในการเกาะติดสูง ย่อมให้การเกาะติดของเปลือกแป้งทอดสูงเช่นเดียวกัน โดยพบว่าสูตรที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5 % Cl ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% จะให้ค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าเท่ากับ 81.66% รองลงมา คือ สูตรที่ผสมสารไขมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 76.04%

เมื่อพิจารณาค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดในแต่ละสูตรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น (รูปที่ 4.20) พบว่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่มีค่าเพิ่ม

ขึ้นสอดคล้องกับค่าการเกาะติดของน้ำเป้ซูป คือ สูตรที่ผสมสารขมิ้นสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ จะมีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 46.76% เป็น 76.04% สูตรเป้ซูปทอดที่ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI มีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 44.20% เป็น 81.66% เป้ซูปทอดที่ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI มีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 41.94% เป็น 65.57% ยกเว้นสูตรที่ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่พบว่าให้การเกาะติดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 39.51% เป็น 40.83% และสูตรเป้ซูปทอดที่ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ให้ค่าการเกาะติดลดลงจาก 36.70% เป็น 29.63% ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระดับออกซิเดชันสูงถึง 5.0% CI การดูดซับน้ำและความหนืดปรากฏมีค่าลดลง ดังนั้นการเกาะติดของน้ำเป้ซูปจึงลดลง ส่งผลให้ปริมาณการเกาะติดของเปลือกเป้ซูปลดลง



รูปที่ 4.20 ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกเป้ซูปที่ผสมสารขมิ้นสำปะหลังออกซิไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ซูปเป้ซูปทอด

4.4.2.2 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำเป้ซูปและเปลือกเป้ซูปที่ผสมสารขมิ้นสำปะหลังออกซิไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทซูปเป้ซูปทอด จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.31 พบว่าค่าการเกาะติดของน้ำเป้ซูปที่ผสมสารช็อกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรท มีความแตกต่างกันอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และให้ผลที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับในผลิตภัณฑ์ไก่ โดยน้ำเป้งซุบสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบสูงสุด คือ 143.24% รองลงมา คือ สูตรเป้งซุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบเท่ากับ 139.32% เมื่อพิจารณาน้ำเป้งซุบในแต่ละสูตรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้นไปจาก 5% เป็น 10% (รูปที่ 4.21) พบว่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์จะให้ค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 103.93% เป็น 143.24% สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI จะให้ค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 72.43% เป็น 139.32% สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI จะให้ค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 55.25% เป็น 97.53% สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI จะให้ค่าการเกาะติดเพิ่มสูงขึ้นจาก 42.24% เป็น 46.54% ยกเว้นสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ที่ให้ค่าการเกาะติดลดลงจาก 37.64% เป็น 33.92%

เมื่อพิจารณาน้ำเป้งซุบที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปเทียบกับที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเดียวกัน พบว่าค่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากผลการทดลองพบว่า ถ้าสูตรน้ำเป้งซุบมีค่า yield stress และค่าความหนืดปรากฏสูงก็จะให้ค่าการเกาะติดสูงเช่นเดียวกัน อธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับหัวข้อการเกาะติดของน้ำเป้งซุบที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ซุบเป้งทอด เมื่อเปรียบเทียบการเกาะติดของน้ำเป้งซุบระหว่างผลิตภัณฑ์ไก่กับผลิตภัณฑ์แคโรท จะพบว่าค่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบในผลิตภัณฑ์แคโรทจะให้ค่าที่สูงกว่า และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบระหว่างเป้งซุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์กับเป้งซุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ พบว่าเป้งซุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์จะให้ค่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบที่สูงกว่าเป้งซุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์

ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกเป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่แสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่ามีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกับค่าการเกาะติดของน้ำเป้งซุบ โดยสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5 % CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% จะให้ค่าการเกาะติดของเปลือกเป้งทอดสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าเท่ากับ 133.66% รองลงมาคือ สูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 116.66%

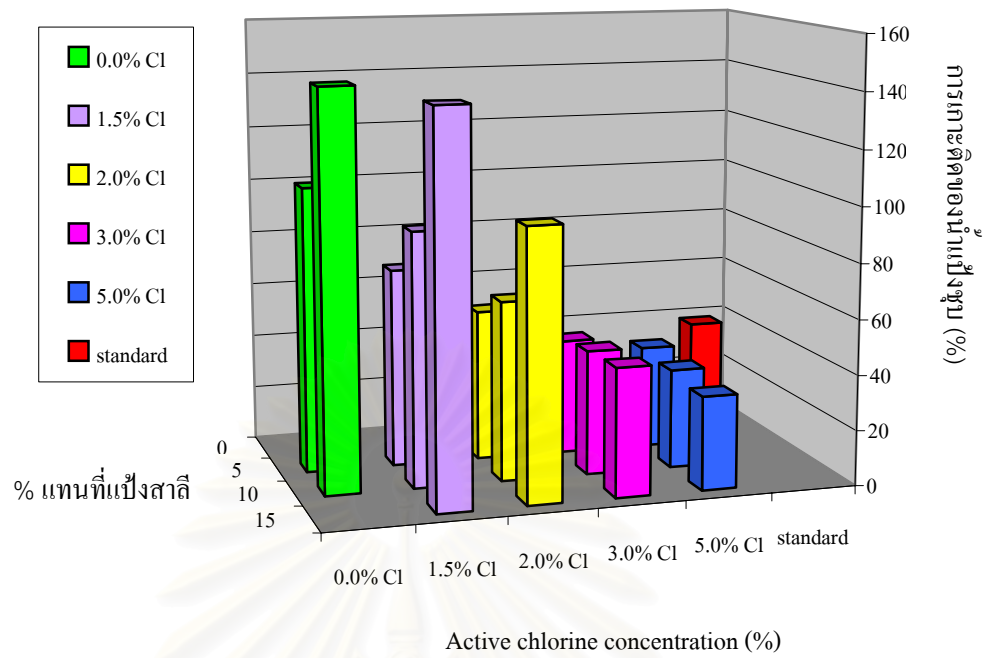
ตารางที่ 4.31 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชูบและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ช  
มันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชูบแป้งทอด

สูตร แป้งชูบทอด	แทนที่ แป้งสาลี(%)	การเกาะติด ของน้ำแป้งชูบ (%)	การเกาะติด ของเปลือกแป้งทอด(%)
สูตรมาตรฐาน	0	38.14 <sup>k</sup> ±1.12	43.77 <sup>i</sup> ±0.31
0.0 <sup>1</sup>	5	103.93 <sup>c</sup> ±0.54	65.83 <sup>dc</sup> ±2.74
	10	143.24 <sup>a</sup> ±3.91	116.66 <sup>b</sup> ±10.21
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
	5	72.43 <sup>f</sup> ±1.30	61.57 <sup>ef</sup> ±1.57
1.5 <sup>1</sup>	10	92.06 <sup>c</sup> ±1.02	72.51 <sup>d</sup> ±0.64
	15	139.32 <sup>b</sup> ±0.68	133.66 <sup>a</sup> ±9.11
	5	55.25 <sup>h</sup> ±1.01	52.34 <sup>gh</sup> ±0.37
2.0 <sup>1</sup>	10	65.32 <sup>g</sup> ±0.01	57.56 <sup>fg</sup> ±1.15
	15	97.53 <sup>d</sup> ±2.52	91.69 <sup>c</sup> ±0.74
	5	42.24 <sup>j</sup> ±0.46	42.78 <sup>i</sup> ±0.27
3.0 <sup>1</sup>	10	45.34 <sup>i</sup> ±0.45	44.94 <sup>hi</sup> ±0.04
	15	46.54 <sup>i</sup> ±1.46	46.48 <sup>hi</sup> ±0.51
	5	37.64 <sup>k</sup> ±0.57	42.03 <sup>i</sup> ±0.30
5.0 <sup>1</sup>	10	36.24 <sup>kl</sup> ±0.21	41.54 <sup>i</sup> ±0.47
	15	33.92 <sup>l</sup> ±0.04	39.87 <sup>i</sup> ±1.15

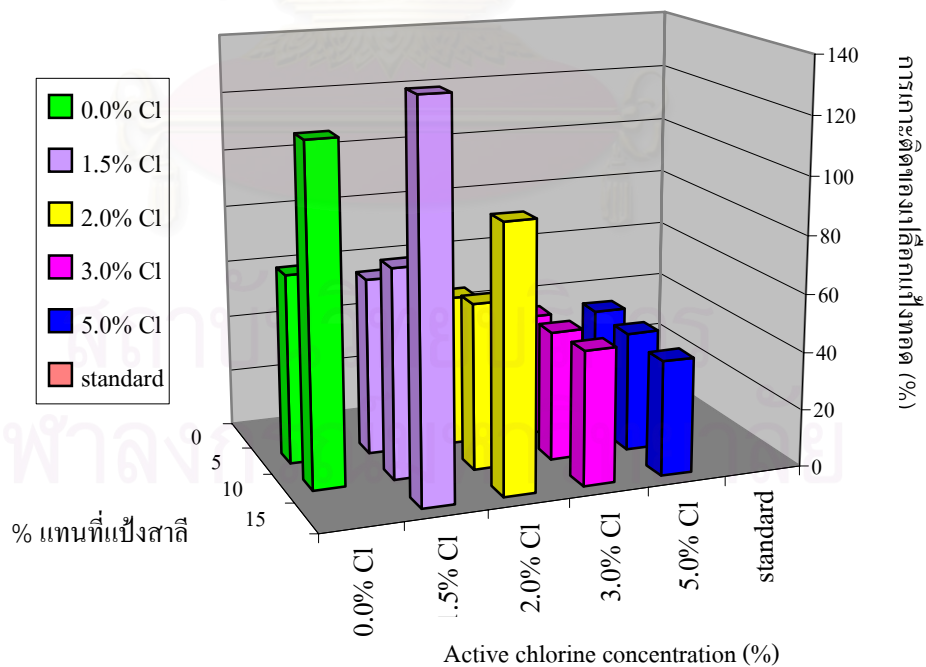
a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งชูบมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็น  
น้ำแป้งชูบได้



รูปที่ 4.21 ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแข็งหุบที่ผสมสารไขมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทนูบแป้งทอด



รูปที่ 4.22 ความสามารถในการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทนูบแป้งทอด

เมื่อพิจารณาค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดในแต่ละสูตรที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้น (รูปที่ 4.22) พบว่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์แครอทมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าการเกาะติดของน้ำแป้งชูบ กล่าวคือ สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์มีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 65.83% เป็น 116.66% แป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI มีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 61.57% เป็น 133.66% แป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI มีค่าการเกาะติดเพิ่มขึ้นจาก 52.34% เป็น 91.69% ยกเว้นแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่พบว่าให้การเกาะติดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ก็พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 42.78% เป็น 46.48% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI มีค่าการเกาะติดลดลงจาก 42.03% เป็น 39.87%

#### 4.4.2.3 ค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

จากผลการวัดค่าสีของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด พบว่าค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าค่า  $L^*$  ของเปลือกแป้งทอดในสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 56.94 แสดงว่ามีความสว่างของเปลือกแป้งมากที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสีของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ 1.5 – 5.0% CI จะมีค่า  $L^*$  น้อยกว่าแป้งทอดสูตรมาตรฐาน และแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์

จากตารางที่ 4.32 พบว่าค่า  $a^*$  และ ค่า  $b^*$  ของเปลือกแป้งทอดทุกสูตรมีค่าเป็นบวก โดยแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 10.6 – 11.6 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 29.2 – 30.0 แป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 9.6 – 10.4 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 23.0 – 28.5 แป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 9.6 – 14.5 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 22.1 – 30.9 แป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 12.0 – 14.6 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 21.1 – 24.8 แป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 12.1 – 14.1 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 22.3 – 27.2

ตารางที่ 4.32 ค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์  
ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชุบทอด	ระดับแทนที่ แป้งสาลี (%)	L*	a*	b*	$\Delta E^*$
สูตรมาตรฐาน	0	59.4 <sup>i</sup> ±0.9	9.7 <sup>abc</sup> ±0.0	30.0 <sup>gh</sup> ±0.1	0.0
0.0 <sup>1</sup>	5	54.1 <sup>h</sup> ±1.0	11.6 <sup>c</sup> ±0.2	29.2 <sup>fgh</sup> ±0.2	5.7
	10	53.1 <sup>h</sup> ±0.4	10.6 <sup>d</sup> ±0.0	30.0 <sup>gh</sup> ±1.2	6.4
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
1.5 <sup>1</sup>	5	48.7 <sup>ef</sup> ±1.6	10.2 <sup>bcd</sup> ±0.3	25.8 <sup>de</sup> ±1.4	11.5
	10	51.3 <sup>g</sup> ±0.7	9.3 <sup>a</sup> ±0.2	28.5 <sup>fg</sup> ±1.3	8.2
	15	44.7 <sup>bc</sup> ±0.2	10.4 <sup>cd</sup> ±0.1	23.0 <sup>abc</sup> ±1.7	16.3
2.0 <sup>1</sup>	5	44.3 <sup>ab</sup> ±1.4	14.5 <sup>g</sup> ±0.1	23.7 <sup>bcd</sup> ±1.0	17.1
	10	42.5 <sup>a</sup> ±1.4	14.7 <sup>fg</sup> ±0.1	22.1 <sup>ab</sup> ±1.0	19.3
	15	49.6 <sup>efg</sup> ±0.2	9.6 <sup>ab</sup> ±0.1	30.9 <sup>h</sup> ±0.0	9.8
3.0 <sup>1</sup>	5	50.2 <sup>fg</sup> ±0.3	12.0 <sup>c</sup> ±0.1	24.8 <sup>cd</sup> ±0.9	10.8
	10	44.1 <sup>ab</sup> ±0.0	14.6 <sup>g</sup> ±0.5	22.2 <sup>ab</sup> ±0.9	17.9
	15	46.3 <sup>cd</sup> ±0.3	13.8 <sup>fg</sup> ±0.4	21.1 <sup>a</sup> ±1.2	16.4
5.0 <sup>1</sup>	5	48.4 <sup>ef</sup> ±0.1	12.1 <sup>c</sup> ±1.1	27.2 <sup>ef</sup> ±0.4	11.6
	10	47.9 <sup>de</sup> ±1.3	13.5 <sup>f</sup> ±0.1	27.2 <sup>ef</sup> ±0.6	12.4
	15	43.6 <sup>ab</sup> ±0.1	14.1 <sup>fg</sup> ±0.1	22.3 <sup>ab</sup> ±0.2	18.1

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็น  
น้ำแป้งชุบได้

เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง  
ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์กับค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ พบว่าค่า  
L\* และค่า b\* ของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์จะมีค่าน้อยกว่า และมีค่า a\*  
ที่สูงกว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ แสดงว่าเปลือกแป้งที่ผสมด้วยสตาร์ช  
ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์จะมีสีคล้ำมากขึ้นและความเป็นสีแดง-ส้มเข้มขึ้น จากการสังเกตด้วย

ตาเปล่า พบว่าสีของเปลือกแป้งมีสีเข้มมากเหมือนกับใช้เวลาในการทอดนานเกินไปหรือทอดที่อุณหภูมิสูงเกินไป แต่ในการทดลองจะทำการทอดผลิตภัณฑ์โดยควบคุมระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดให้เท่ากัน จึงสามารถอธิบายผลได้ว่าเกิดจากสมบัติของสตาร์ชออกซิไดซ์ที่มีความไวต่อความร้อนจากการที่มีหมู่แอลดีไฮด์ในโมเลกุล ดังนั้นการผลิตเป็นสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ต้องผ่านความร้อนสูงในกระบวนการผลิต และเมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดที่ต้องทอดที่อุณหภูมิสูงถึง  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$  จึงทำให้เปลือกแป้งมีสีคล้ำมากขึ้น เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่ส่งผลต่อค่า  $\Delta E^*$  โดยทำการเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มีความแตกต่างของสีแสดงเป็นค่า  $\Delta E^*$  แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมาก และเมื่อพิจารณาค่า  $\Delta E^*$  ของสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ พบว่ามีค่า  $\Delta E^*$  ที่มากกว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์

#### 4.4.2.4 ค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.33 พบว่าค่าสีของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดมีค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าค่า  $L^*$  ของเปลือกแป้งชุบทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่า  $L^*$  มากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 54.3 เมื่อพิจารณาจะพบว่าเปลือกแป้งชุบทอดในสูตรที่มีการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่ำ (0.0 – 1.5% CI) จะมีค่า  $L^*$  สูงกว่าสูตรแป้งชุบทอดที่มีการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูง (2.0 – 5.0% CI) จากตารางที่ 4.33 พบว่าค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  ของเปลือกแป้งชุบทอดทุกสูตรมีค่าเป็นบวกโดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 7.3 – 8.1 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 24.1 – 28.0 แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 7.3 – 8.9 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 23.2 – 28.2 แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 11.3 – 13.7 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 21.5 – 25.3 แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 11.14 – 13.1 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 16.0 – 19.0 แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 9.1 – 12.0 ค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 15.1 – 21.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์กับค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ พบว่าค่า  $L^*$  ของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์จะมีค่าน้อยกว่าค่า  $L^*$  ของเปลือกแป้งที่ผสมด้วยสตาร์ชออกซิไดซ์ ส่วนค่า  $a^*$  พบว่าในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ 0.0 และ 1.5%



CI จะมีค่า  $a^*$  ที่น้อยกว่าและมากขึ้นในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ 2.0 – 5.0% CI ส่วนค่า  $b^*$  พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่จากภาพรวมพบว่าเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมด้วยสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์จะมีสีของเปลือกแป้งที่คล้ำมากขึ้นและคล้ำกว่าสูตรที่ผสมด้วยสตาร์ชออกซิไดซ์

**ตารางที่ 4.33** ค่าสีของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชุบทอด	ระดับแทนที่ แป้งสาลี (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
สูตรมาตรฐาน	0	49.9 <sup>c</sup> ±0.3	10.8 <sup>c</sup> ±0.4	23.3 <sup>ef</sup> ±0.7	0.0
0.0 <sup>1</sup>	5	51.7 <sup>f</sup> ±0.8	8.1 <sup>ab</sup> ±0.0	24.1 <sup>fg</sup> ±0.1	3.3
	10	54.3 <sup>e</sup> ±0.1	7.3 <sup>a</sup> ±0.5	28.0 <sup>i</sup> ±1.0	7.3
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
1.5 <sup>1</sup>	5	49.2 <sup>c</sup> ±1.1	8.5 <sup>ab</sup> ±0.3	23.2 <sup>ef</sup> ±0.2	2.4
	10	49.2 <sup>c</sup> ±1.5	8.9 <sup>b</sup> ±0.1	28.2 <sup>i</sup> ±0.5	5.3
	15	49.7 <sup>c</sup> ±0.6	7.3 <sup>a</sup> ±0.4	26.7 <sup>hi</sup> ±0.7	4.9
2.0 <sup>1</sup>	5	44.2 <sup>c</sup> ±0.6	11.3 <sup>cd</sup> ±0.7	21.5 <sup>d</sup> ±0.4	6.0
	10	44.6 <sup>c</sup> ±0.1	13.7 <sup>f</sup> ±0.4	21.7 <sup>de</sup> ±0.4	6.2
	15	47.22 <sup>d</sup> ±1.0	12.9 <sup>ef</sup> ±1.2	25.3 <sup>gh</sup> ±0.3	3.9
3.0 <sup>1</sup>	5	44.9 <sup>c</sup> ±1.5	13.1 <sup>ef</sup> ±1.0	19.7 <sup>bc</sup> ±0.8	6.6
	10	42.1 <sup>b</sup> ±0.2	11.1 <sup>c</sup> ±0.1	19.0 <sup>b</sup> ±1.1	8.9
	15	37.5 <sup>a</sup> ±0.1	12.5 <sup>de</sup> ±0.3	16.0 <sup>a</sup> ±0.9	14.5
5.0 <sup>1</sup>	5	44.2 <sup>c</sup> ±0.8	9.1 <sup>b</sup> ±0.5	21.2 <sup>cd</sup> ±1.5	6.3
	10	44.1 <sup>c</sup> ±0.0	11.9 <sup>cde</sup> ±0.7	19.3 <sup>b</sup> ±0.0	7.1
	15	39.1 <sup>a</sup> ±1.0	12.0 <sup>cde</sup> ±0.2	15.1 <sup>a</sup> ±0.5	13.6

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งชุบมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งชุบได้

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แคโรทนูบแป้งทอดที่ส่งผลต่อค่า  $\Delta E^*$  โดยทำการเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกันกับผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มแป้งทอด กล่าวคือ สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์มีความแตกต่างของสีแสดงเป็นค่า  $\Delta E^*$  แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมาก และเมื่อพิจารณาค่า  $\Delta E^*$  ของสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์พบว่ามีค่า  $\Delta E^*$  ที่มากกว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์

#### 4.4.2.5 ความชื้นของไก่อหลังทอดและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ในผลิตภัณฑ์กลุ่มแป้งทอด

จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.34 พบว่าค่าความชื้นของไก่อหลังทอดในสูตรแป้งชุบทอดแต่ละสูตรพบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% จะให้ค่าความชื้นของไก่อหลังทอดสูงสุด คือ 72.07% และสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% จะให้ค่าความชื้นของไก่อหลังทอดต่ำสุด คือ 67.61%

เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้น พบว่าความชื้นของไก่อหลังทอดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ 1.5% CI มีความชื้นของไก่อหลังทอดเพิ่มขึ้นจาก 71.19% เป็น 72.07% สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ที่ 2.0% CI มีความชื้นของไก่อหลังทอดเพิ่มขึ้นจาก 69.03% เป็น 70.82% ยกเว้นแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาตินซ์จากสตาร์ชปกติ ซึ่งพบว่ามีค่าความชื้นของไก่อหลังทอดเท่าเดิม (70.72% - 70.93%) และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ 3.0% CI จะมีความชื้นของไก่อหลังทอดลดลงจาก 70.66% เป็น 69.23% แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ 5.0% CI มีความชื้นของไก่อหลังทอดลดลงจาก 69.42% เป็น 67.61% ซึ่งพบว่าค่าความชื้นของไก่อหลังทอดมีความสัมพันธ์กับปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินซ์ กล่าวคือ ถ้าแป้งชุบทอดมีปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งสูงจะมีแนวโน้มที่ค่าความชื้นของไก่อหลังทอดสูง เนื่องจากเปลือกแป้งที่มีการเคลือบที่หนาจะทำให้การปลดปล่อยความชื้นของไก่อเป็นไปได้น้อย

ตารางที่ 4.34 ความชื้นของไก่อแห้งทอดและเปลือกแป้งที่ผสมสตราซ์มันสำปะหลัง  
ออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ออบแป้งทอด

สูตรแป้งชุบทอด ระดับแทนที่	ความชื้นไก่อ (%)	ความชื้นเปลือกแป้ง (%)	
สูตรมาตรฐาน	0	69.30 <sup>c</sup> ±0.10	36.76 <sup>i</sup> ±1.08
	5	70.72 <sup>c</sup> ±0.50	33.72 <sup>g</sup> ±0.26
0.0 <sup>1</sup>	10	70.93 <sup>c</sup> ±0.50	34.48 <sup>h</sup> ±0.34
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
	5	71.19 <sup>ef</sup> ±0.05	32.17 <sup>f</sup> ±0.77
1.5 <sup>1</sup>	10	71.41 <sup>ef</sup> ±0.89	34.79 <sup>h</sup> ±0.54
	15	72.07 <sup>f</sup> ±0.12	35.46 <sup>h</sup> ±0.62
	5	69.03 <sup>bc</sup> ±0.48	31.66 <sup>ef</sup> ±0.36
2.0 <sup>1</sup>	10	70.40 <sup>de</sup> ±0.07	31.12 <sup>def</sup> ±0.74
	15	70.82 <sup>c</sup> ±0.63	30.74 <sup>de</sup> ±0.43
	5	70.66 <sup>c</sup> ±1.68	30.22 <sup>d</sup> ±0.60
3.0 <sup>1</sup>	10	70.38 <sup>de</sup> ±0.40	28.66 <sup>c</sup> ±0.94
	15	69.23 <sup>c</sup> ±0.40	26.28 <sup>a</sup> ±0.45
	5	69.42 <sup>cd</sup> ±0.56	27.98 <sup>bc</sup> ±0.57
5.0 <sup>1</sup>	10	68.09 <sup>ab</sup> ±0.08	27.56 <sup>bc</sup> ±0.36
	15	67.61 <sup>a</sup> ±0.19	26.86 <sup>ab</sup> ±1.18

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตราซ์ (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งชุบได้

จากผลการทดลองหาความชื้นของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่ออบแป้งว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรมาตรฐานจะให้ค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 36.76% จากภาพรวมถึงแม้ว่าค่าการเกาะติดของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตราซ์ออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์จะมีค่ามากกว่า นั่นคือ มีการเกาะติดที่สูงกว่าหรือมีความหนาของชั้นแป้งที่มากกว่า แต่ความชื้นของเปลือกแป้งในสูตรมาตรฐานกลับมีค่ามากกว่า อาจเกิดจากสมบัติที่แตกต่างกันของแป้งชุบทอดที่มีส่วนผสมต่างกัน

กล่าวคือ ในระหว่างการทอดจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันไปสู่ผิวด้านนอกสุดของเปลือกแป้งชุบทอดทำให้เกิดการระเหยของน้ำและจากสมบัติของสตาร์ชพรีเจลาตินไนซ์ คือ เมื่อนำมาทำเป็นแป้งชุบทอดจะให้ลักษณะเปลือกแป้งที่ porous (Mohamed et al., 1998) จึงทำให้มีการระเหยของน้ำในเปลือกแป้งได้ดีกว่าสูตรมาตรฐาน เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปจะพบว่าค่าความชื้นของเปลือกแป้งชุบทอดจะมีแนวโน้มลดลง แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาธิตมากขึ้นมีค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 0.0 – 1.5% CI เพิ่มขึ้น และค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดจะมีแนวโน้มลดลงในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ที่ 2.0 - 5.0% CI ซึ่งความชื้นของเปลือกแป้งทอดนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณการเกาะติด กล่าวคือ เมื่อปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งสูงความชื้นของไก่หลังทอดก็มีแนวโน้มสูงเช่นกัน

#### 4.4.2.6 ความชื้นของแครอทหลังทอดและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.35 พบว่าค่าความชื้นของแครอทหลังทอดในสูตรแป้งชุบทอดแต่ละสูตร พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาธิต 15% จะให้ค่าความชื้นแครอทหลังทอดสูงสุด คือ 89.31% และสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาธิต 15% จะให้ค่าความชื้นของแครอทหลังทอดต่ำสุด คือ 83.14% เมื่อพิจารณาในแต่ละกลุ่มของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาธิตมากขึ้น พบว่าความชื้นของแครอทหลังทอดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาตินไนซ์จะมีความชื้นของแครอทหลังทอดเพิ่มขึ้น โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 1.5% CI มีความชื้นของแครอทหลังทอดเพิ่มขึ้นจาก 89.28% เป็น 89.31% สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 2.0% CI มีความชื้นของแครอทหลังทอดเพิ่มขึ้นจาก 87.0% เป็น 88.47% ยกเว้นแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 3.0% CI จะมีความชื้นของแครอทหลังทอดลดลงจาก 86.40% เป็น 84.97% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 5.0% CI มีความชื้นของแครอทหลังทอดลดลงจาก 85.03% เป็น 83.14% อธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับผลของความชื้นของไก่หลังทอด แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาธิตมากขึ้น มีค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาตินไนซ์ไม่เปลี่ยนแปลง (25.18% - 25.22%) สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 1.5% CI มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 26.25% เป็น 27.87% สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ช

ออกซิโดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 2.0% CI มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 21.97% เป็น 28.50% ค่าความชื้นของเปลือกแป้งทอดจะมีแนวโน้มลดลงในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 3.0% CI คือ มีค่าลดลงจาก 19.90% เป็น 19.04% สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 5.0% CI ก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกันที่ระดับแทนที่แป้งสาลี 15% เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้น พบว่าค่าความชื้นของเปลือกแป้งชุบทอดจะมีแนวโน้มลดลง อธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับผลของความชื้นของเปลือกแป้งในไก่

**ตารางที่ 4.35** ความชื้นของแครอทหลังทอดและเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิโดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

สูตรแป้งชุบทอด ระดับแทนที่	ความชื้นแครอท (%)	ความชื้นเปลือกแป้งแครอท(%)	
สูตรมาตรฐาน	0	87.34 <sup>c</sup> ±0.72	28.29 <sup>i</sup> ±0.51
0.0 <sup>1</sup>	5	88.68 <sup>fg</sup> ±0.04	25.18 <sup>f</sup> ±0.08
	10	88.72 <sup>fg</sup> ±0.06	25.22 <sup>f</sup> ±0.31
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
	5	89.28 <sup>fg</sup> ±0.25	26.25 <sup>g</sup> ±0.54
1.5 <sup>1</sup>	10	89.23 <sup>fg</sup> ±0.66	26.94 <sup>h</sup> ±0.15
	15	89.31 <sup>g</sup> ±0.55	27.87 <sup>i</sup> ±0.56
	5	87.00 <sup>de</sup> ±0.28	21.97 <sup>d</sup> ±0.35
2.0 <sup>1</sup>	10	87.51 <sup>c</sup> ±0.37	23.57 <sup>e</sup> ±0.38
	15	88.47 <sup>f</sup> ±0.14	28.50 <sup>i</sup> ±0.42
	5	86.40 <sup>d</sup> ±0.16	19.90 <sup>e</sup> ±0.71
3.0 <sup>1</sup>	10	85.66 <sup>c</sup> ±0.98	19.13 <sup>b</sup> ±0.31
	15	84.97 <sup>bc</sup> ±0.53	19.04 <sup>b</sup> ±0.17
	5	85.03 <sup>bc</sup> ±0.24	19.41 <sup>bc</sup> ±0.17
5.0 <sup>1</sup>	10	84.33 <sup>b</sup> ±0.20	19.65 <sup>bc</sup> ±0.21
	15	83.14 <sup>a</sup> ±0.08	18.07 <sup>a</sup> ±0.21

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งชุบมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งชุบได้

#### 4.4.2.7 ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง

##### ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.36 พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์ไก่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าการดูดซับน้ำมันต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 21.46% และสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่าการดูดซับน้ำมันมากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 41.59% จากการพิจารณาพบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 0.0 – 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีจาก 5% เป็น 15% จะให้ค่าการดูดซับน้ำมันที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลจากความหนืดที่สูงขึ้นจากการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 2.0% CI) โดยทั่วไปการเพิ่มความหนืดของน้ำแป้งจะส่งผลให้การเกาะติดของน้ำแป้งชุบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีส่วนที่ช่วยทำให้เกิดโครงสร้างที่หนาในระหว่างการทอด โครงสร้างที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวป้องกันการสูญเสียน้ำออกส่งผลให้การดูดซับน้ำมันลดลง (Shih and Daigle, 1999) แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI มีค่าการดูดซับน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 39.65% เป็น 41.59% และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI มีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วง 30.67 – 34.81%

จากผลการทดลองในภาพรวมแสดงในภาคผนวกที่ ค.5 พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในระดับออกซิเดชันที่สูงขึ้นในช่วง 0.0 – 3.0% CI มีแนวโน้มที่มีค่าการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากความหนืดของน้ำแป้งชุบที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันที่สูงขึ้นมีค่าความหนืดที่น้อยกว่าทำให้การเกาะติดของน้ำแป้งชุบน้อยลง เปลือกแป้งที่หุ้มตัวผลิตภัณฑ์มีความบางขึ้นทำให้น้ำสามารถระเหยในระหว่างการทอดมากขึ้นเป็นผลให้มีการดูดซับน้ำมันมากขึ้น ยกเว้นสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ที่พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงอาจเกิดจากสมบัติการเป็น film-forming ที่เด่นชัดของสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูง

**ตารางที่ 4.36** ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง  
ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชุบทอด	ระดับแทนที่ แป้งสาลี (%)	ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอด (%)
สูตรมาตรฐาน	0	25.29 <sup>b</sup> ±0.16
0.0 <sup>1</sup>	5	29.84 <sup>c</sup> ±0.18
	10	21.46 <sup>a</sup> ±0.13
	15	- <sup>2</sup>
	5	35.42 <sup>ef</sup> ±0.16
1.5 <sup>1</sup>	10	32.62 <sup>d</sup> ±0.40
	15	33.23 <sup>d</sup> ±0.86
	5	38.45 <sup>h</sup> ±0.16
2.0 <sup>1</sup>	10	35.93 <sup>fg</sup> ±0.14
	15	36.53 <sup>g</sup> ±0.16
	5	39.65 <sup>i</sup> ±0.31
3.0 <sup>1</sup>	10	39.60 <sup>i</sup> ±0.71
	15	41.59 <sup>j</sup> ±0.46
	5	34.81 <sup>c</sup> ±0.19
5.0 <sup>1</sup>	10	30.67 <sup>c</sup> ±0.61
	15	34.59 <sup>c</sup> ±0.40

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งชุบได้

#### 4.4.2.8 ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.37 พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดในผลิตภัณฑ์แคโรทมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้ง

ซุบทอดที่ผสมสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าการดูดซับน้ำมันต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 23.96% และสูตรแป้งซุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าการดูดซับน้ำมันมากที่สุด คือ 40.22% เมื่อพิจารณาภาพรวม (แสดงในภาคผนวก ก.6) พบว่าให้ผลในการทำงานเดียวกันกับค่าการดูดซับน้ำมันในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ไก่

**ตารางที่ 4.37** ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แครอทซุบแป้งทอด

สูตร แป้งซุบทอด	ระดับแทนที่ แป้งสาลี (%)	ค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอด (%)
สูตรมาตรฐาน	0	35.60 <sup>c</sup> ±0.33
0.0 <sup>1</sup>	5	30.64 <sup>c</sup> ±0.08
	10	23.96 <sup>a</sup> ±0.13
	15	- <sup>2</sup>
	5	33.31 <sup>d</sup> ±0.82
1.5 <sup>1</sup>	10	28.64 <sup>b</sup> ±0.08
	15	30.33 <sup>c</sup> ±0.14
	5	37.53 <sup>f</sup> ±0.76
2.0 <sup>1</sup>	10	31.44 <sup>c</sup> ±0.01
	15	31.71 <sup>c</sup> ±0.25
	5	39.67 <sup>gh</sup> ±1.05
3.0 <sup>1</sup>	10	40.22 <sup>h</sup> ±0.50
	15	39.94 <sup>gh</sup> ±1.37
	5	38.50 <sup>fg</sup> ±0.40
5.0 <sup>1</sup>	10	39.02 <sup>fgh</sup> ±1.58
	15	39.25 <sup>gh</sup> ±0.65

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งซุบมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งซุบได้



จากผลการทดลอง พบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ (0.0 – 2.0% CI) ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีจาก 5% เป็น 15% จะให้ค่าการดูดซับน้ำมันลดลง ซึ่งเป็นผลจากความหนืดที่สูงขึ้นจากการผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ (0.0 – 2.0% CI) ส่วนแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 3.0% CI พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วง 39.64 – 40.22% และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 5.0% CI มีค่าการดูดซับน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 38.50% เป็น 39.25% แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาภาพรวม พบว่าให้ผลสอดคล้องในการทำงานเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ไก่ กล่าวคือ แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ในระดับออกซีเดชันที่สูงขึ้น (0.0 – 3.0% CI) จะมีแนวโน้มที่มีค่าการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น ยกเว้นแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 5.0% CI ที่พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มลดลง อธิบายผลได้ในการทำงานเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ไก่

#### 4.4.2.9 ผลลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์

ผลลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) แสดงดังตารางที่ 4.38 พบว่าค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุด ค่าระยะทางและพื้นที่ใต้กราฟที่ห่าวัดสัมผัสกับตัวอย่างจนถึงจุดที่เกิดแรงกระทำสูงสุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาในแต่ละกลุ่มของแป้งชุบทอด (ภาคผนวก ค.7) พบว่าสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาตินไนซ์จากสตาร์ชปกติที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และ 10% มีค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุดน้อยกว่าสูตรมาตรฐานและค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงว่ามีความกรอบน้อยมาก เนื่องจากการเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่สูงทำให้มีความหนาของชั้นแป้งที่มาก ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะนุ่มเหนียว เมื่อพิจารณาแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 1.5 – 3.0% CI พบว่ามีค่าความชื้นใกล้เคียงหรือสูงกว่าสูตรมาตรฐาน และทุกสูตรจะมีค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักต่ำกว่าสูตรมาตรฐานมาก เนื่องจากในระหว่างการทอดพบว่าผลิตภัณฑ์มีการพองตัวที่สูงดันโครงสร้างของแป้งส่วนบนออก ซึ่งเมื่อนำมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการเจาะของห่าวัด จึงทำให้เกิดการเจาะทะลุผ่านส่วนแป้งได้ง่ายเนื่องจากแป้งมีลักษณะพองและกรอบเปราะ ทำให้เครื่องวัดสามารถวัดค่าแรงสูงสุดและค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักได้น้อย สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาตินไนซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และ 10% มีค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุด น้อยกว่าสูตรมาตรฐาน และค่าความชื้นจะมีค่า

เพิ่มขึ้นที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% โดยพบว่ามีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐานแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบกว่าสูตรมาตรฐาน สูตรแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และ 15% จะให้ค่าความชื้นที่มีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ที่ระดับแทนที่แป้งสาลี 10% จะให้ค่าความชื้นที่น้อยกว่าสูตรมาตรฐาน

ตารางที่ 4.38 ผลลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

สูตร แป้งชูบทอด	แทนที่ แป้งสาลี (%)	slope (g/mm)	peak force (g)	distance (mm)	area (g-mm)
สูตรมาตรฐาน	0	69.5 <sup>cd</sup> ±4.2	1155.5 <sup>a</sup> ±66.9	8.8 <sup>f</sup> ±0.8	3704.5 <sup>e</sup> ±425.3
	5	37.8 <sup>f</sup> ±4.2	741.3 <sup>b</sup> ±34.7	14.3 <sup>h</sup> ±0.7	3129.2 <sup>d</sup> ±360.0
0.0 <sup>1</sup>	10	40.2 <sup>f</sup> ±4.8	457.3 <sup>c</sup> ±38.6	17.6 <sup>i</sup> ±1.6	2232.2 <sup>b</sup> ±214.5
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
	5	66.0 <sup>bc</sup> ±7.8	122.5 <sup>h</sup> ±12.2	3.3 <sup>d</sup> ±0.4	215.8 <sup>a</sup> ±14.7
1.5 <sup>1</sup>	10	56.3 <sup>de</sup> ±6.5	141.9 <sup>gh</sup> ±13.2	3.5 <sup>de</sup> ±0.3	143.2 <sup>a</sup> ±10.4
	15	93.7 <sup>a</sup> ±8.1	153.1 <sup>gh</sup> ±12.1	1.4 <sup>a</sup> ±0.2	210.0 <sup>a</sup> ±9.5
	5	92.8 <sup>a</sup> ±9.2	127.6 <sup>h</sup> ±12.1	2.2 <sup>bc</sup> ±0.2	171.0 <sup>a</sup> ±17.8
2.0 <sup>1</sup>	10	64.6 <sup>bcd</sup> ±4.7	233.7 <sup>f</sup> ±19.3	2.5 <sup>c</sup> ±0.2	322.9 <sup>a</sup> ±27.1
	15	96.6 <sup>a</sup> ±9.6	249.3 <sup>f</sup> ±19.8	1.5 <sup>ab</sup> ±0.1	132.0 <sup>a</sup> ±15.3
	5	70.1 <sup>b</sup> ±6.5	154.6 <sup>gh</sup> ±16.8	2.3 <sup>c</sup> ±0.3	274.9 <sup>a</sup> ±34.1
3.0 <sup>1</sup>	10	68.1 <sup>bc</sup> ±7.6	168.3 <sup>g</sup> ±12.9	4.2 <sup>c</sup> ±0.3	370.8 <sup>a</sup> ±18.8
	15	67.1 <sup>bc</sup> ±7.6	147.9 <sup>gh</sup> ±17.3	1.7 <sup>abc</sup> ±0.2	222.5 <sup>a</sup> ±27.9
	5	42.4 <sup>f</sup> ±2.3	566.8 <sup>d</sup> ±9.9	1.7 <sup>abc</sup> ±0.2	2552.2 <sup>c</sup> ±158.1
5.0 <sup>1</sup>	10	50.7 <sup>e</sup> ±2.3	553.6 <sup>d</sup> ±25.2	11.1 <sup>g</sup> ±0.3	3778.6 <sup>c</sup> ±289.8
	15	60.9 <sup>cd</sup> ±0.9	607.1 <sup>c</sup> ±25.0	11.7 <sup>g</sup> ±0.6	3910.7 <sup>c</sup> ±404.7

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งชูบมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งชูบได้

สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% มีค่าค่าความชื้นสูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และสูตรที่แทนที่แป้งสาลี 10% และ 15% จะให้ค่าความชื้นน้อยกว่าสูตรมาตรฐานแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI มีค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าสูตรมาตรฐานทุกระดับของการแทนที่แป้งสาลี และมีค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักที่สูงกว่าสูตรมาตรฐาน ยกเว้นที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีแนวโน้มที่มีความกรอบลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการพองตัวที่ลดลงของตัวแป้ง เนื่องจากเมื่อพิจารณาการพองตัวของก้อนแป้งทอด พบว่ามีแนวโน้มลดลงในแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงๆ ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง

#### 4.4.2.10 ผลลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

การวิเคราะห์ผลเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคโรทชุบแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0 – 5.0% CI) แสดงดังตารางที่ 4.39 พบว่าค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุด ค่าระยะทางและพื้นที่ใต้กราฟที่ห้วงวัดสัมผัสกับตัวอย่างจนถึงจุดที่เกิดแรงกระทำสูงสุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาในแต่ละกลุ่มของแป้งชุบทอด (ภาคผนวก ก.8) พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชปกติที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และ 10 % มีค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุดน้อยกว่าสูตรมาตรฐานและมีค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักสูงกว่าสูตรมาตรฐาน โดยพบว่าที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% ค่าความชื้น ค่าแรงกระทำสูงสุดมีแนวโน้มลดลง และค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีความกรอบน้อยมาก เนื่องจากการเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่สูงทำให้มีความหนาของชั้นแป้งที่มาก ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะกรอบน้อยลง จากการพิจารณาพบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ 1.5 – 2.0% CI มีค่าความชื้นต่ำกว่าแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐาน และทุกสูตรจะมีค่าแรงกระทำสูงสุดต่ำกว่าและมีค่าระยะทางที่ทำให้เกิดการแตกหักสูงกว่าสูตรมาตรฐาน แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่มีความกรอบลดลงซึ่งแตกต่างจากผลของผลิตภัณฑ์ไก่ ซึ่งอาจเกิดจากขนาดของชิ้นอาหาร องค์ประกอบภายในอาหารที่แตกต่างกัน ส่วนสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ที่ 3.0 % CI มีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรมาตรฐาน โดยสูตรที่มีการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรมาตรฐานแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ค่าแรงกระทำสูงสุด ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน จึงมีแนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์จะมีความกรอบใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ที่ 5.0 % CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% พบว่ามีค่าความชื้นและค่าแรงกระทำสูงกว่าสูตรมาตรฐาน และที่การแทนที่แป้งสาลี 15% พบว่ามีค่าความชื้นและค่าแรงกระทำใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน

ตารางที่ 4.39 ผลลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคโรทซูปแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

สูตรแป้งซูปทอด	แทนที่แป้งสาลี (%)	slope (g/mm)	peak force (g)	distance (mm)	area (g-mm)
สูตรมาตรฐาน	0	114.8 <sup>cd</sup> ±2.6	2949.1 <sup>bc</sup> ±114.3	4.0 <sup>a</sup> ±0.3	3453.5 <sup>bc</sup> ±217.7
0.0 <sup>1</sup>	5	41.6 <sup>g</sup> ±2.8	2468.9 <sup>d</sup> ±200.2	5.4 <sup>c</sup> ±0.3	2588.3 <sup>a</sup> ±302.4
	10	36.3 <sup>g</sup> ±2.8	1622.1±124.9	8.7 <sup>f</sup> ±0.4	2661.8 <sup>a</sup> ±406.6
	15	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>
1.5 <sup>1</sup>	5	46.8 <sup>g</sup> ±4.0	1735.8 <sup>gh</sup> ±154.7	8.1 <sup>e</sup> ±0.5	2988.1 <sup>ab</sup> ±324.1
	10	46.1 <sup>g</sup> ±5.3	2164.9 <sup>e</sup> ±164.4	8.2 <sup>ef</sup> ±0.5	5000.5 <sup>e</sup> ±438.3
	15	61.4 <sup>f</sup> ±3.6	1082.3 <sup>i</sup> ±112.7	10.5 <sup>h</sup> ±0.4	2752.0 <sup>a</sup> ±191.4
2.0 <sup>1</sup>	5	80.5 <sup>c</sup> ±5.3	1695.8 <sup>gh</sup> ±75.0	6.9 <sup>d</sup> ±0.6	2870.6 <sup>a</sup> ±357.5
	10	64.6 <sup>f</sup> ±5.6	2041.7 <sup>ef</sup> ±81.5	4.7 <sup>b</sup> ±0.3	2784.6 <sup>a</sup> ±247.3
	15	44.1 <sup>g</sup> ±5.1	1547.6 <sup>h</sup> ±147.3	9.2 <sup>g</sup> ±0.5	3769.0 <sup>c</sup> ±346.6
3.0 <sup>1</sup>	5	155.3 <sup>a</sup> ±16.4	2793.5 <sup>bc</sup> ±332.4	5.7 <sup>c</sup> ±0.3	3652.1 <sup>c</sup> ±354.2
	10	147.7 <sup>a</sup> ±7.6	3058.3 <sup>ab</sup> ±331.0	5.7 <sup>c</sup> ±0.4	5653.9 <sup>f</sup> ±528.8
	15	123.5 <sup>bc</sup> ±12.9	2773.0 <sup>c</sup> ±181.4	5.6 <sup>c</sup> ±0.2	4732.4 <sup>de</sup> ±182.0
5.0 <sup>1</sup>	5	131.2±13.8	3247.9 <sup>a</sup> ±263.6	5.4 <sup>c</sup> ±0.3	6053.1 <sup>f</sup> ±604.3
	10	75.5±5.4	1887.7 <sup>fg</sup> ±168.8	5.9 <sup>c</sup> ±0.1	4366.6 <sup>d</sup> ±256.0
	15	111.4±7.3	2685.8 <sup>cd</sup> ±312.7	6.6 <sup>d</sup> ±0.5	5050.4 <sup>e</sup> ±551.8

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> ร้อยละของคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (โดยน้ำหนักแห้ง)

<sup>2</sup> ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำแป้งซูปมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถนำมาผสมเป็นน้ำแป้งซูปได้

#### 4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งซูปทอด

การพิจารณาเลือกสูตรแป้งซูปทอดมาทดสอบทางประสาทสัมผัสจะทำการคัดเลือกมาทั้งหมด 5 สูตร แบ่งเป็นแป้งซูปทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2 สูตร แป้งซูปทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2 สูตร และสูตรมาตรฐาน การคัดเลือกจะพิจารณาจากผลทางลักษณะเนื้อสัมผัสโดยดูจากค่า slope และค่า peak force ซึ่งแสดงถึงความกรอบเป็นปัจจัยหลัก

โดยทำการเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐานแล้วดูผลทางสถิติว่าสูตรแป้งชุบทอดสูตรใดมีค่า slope และค่า peak force ไม่แตกต่างกับสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แล้วจึงเอาผลการวิเคราะห์ของทั้งผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอดมาทำการคัดเลือกสูตรว่าสูตรใดมีความเหมาะสมที่จะใช้ได้ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดและแครอทชุบแป้งทอด

จากการพิจารณาผลทางสถิติด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ (ตารางที่ 4.21) พบว่าค่า slope และค่า peak force ของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่า slope และค่า peak force ไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในส่วนผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.22) พบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่า slope และค่า peak force ไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังนั้นจะทำการคัดเลือกสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มาทดสอบผลทางประสาทสัมผัส

จากการพิจารณาผลทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (ตารางที่ 4.38) พบว่าไม่สามารถพิจารณาจากค่า peak force ของแป้งชุบทอดได้เนื่องจากมีค่าน้อยมาก ซึ่งเป็นผลจากการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในสูตรแป้งชุบทอดทำให้เกิดการพองตัวของแป้งมาก ค่าแรงกระทำสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักจึงมีค่าน้อยเนื่องจากแป้งมีความพองและกรอบเปราะ ดังนั้นจึงพิจารณาจากค่า slope เป็นหลัก ซึ่งพบว่าแป้งชุบทอดที่มีค่า slope ไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐานมีทั้งหมด 9 สูตร คือ สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 15% สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% ซึ่งพบว่าค่า distance ในสูตรนี้มีค่าสูง ดังนั้นแป้งจึงไม่น่ามีความกรอบเปราะจึงตัดสูตรนี้ทิ้ง ในส่วนผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดพบว่าสูตรที่มีค่า slope และค่า peak force ให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรมาตรฐานมีทั้งหมด 5 สูตร คือ สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 10 และ 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 5.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 15% ซึ่งเมื่อพิจารณาสูตรที่มีความเหมาะสมในด้านความกรอบที่ใช้ได้กับทั้งผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอด คือ สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 10% จึงได้คัดเลือก 2 สูตรนี้เพื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

#### 4.5.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

การเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดจะใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างและพิจารณาด้านสี ปริมาณการเกาะติดของแป้ง การดูดซับน้ำมัน ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม ถ้าตัวอย่างที่มีคะแนนสูงแสดงว่ามีลักษณะที่ดีเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

ตารางที่ 4.40 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชุบทอด <sup>1</sup>	คะแนนทางประสาทสัมผัส				
	สีของ เปลือกแป้ง	ปริมาณ แป้งที่เกาะติด	การดูดซับ น้ำมัน	ความกรอบ	การยอมรับ โดยรวม
สูตร 1	8.3 <sup>a</sup> ± 0.7	5.6 <sup>b</sup> ± 1.8	6.4 <sup>a</sup> ± 1.9	5.5 <sup>d</sup> ± 1.8	6.0 <sup>a</sup> ± 2.1
สูตร 2	6.6 <sup>b</sup> ± 1.3	4.7 <sup>b</sup> ± 1.9	5.7 <sup>a</sup> ± 1.7	5.6 <sup>cd</sup> ± 1.6	6.1 <sup>a</sup> ± 1.4
สูตร 3	6.2 <sup>b</sup> ± 1.2	4.7 <sup>b</sup> ± 1.8	5.3 <sup>a</sup> ± 1.9	6.5 <sup>bc</sup> ± 1.6	6.3 <sup>a</sup> ± 1.7
สูตร 4	2.8 <sup>c</sup> ± 1.0	7.3 <sup>a</sup> ± 1.5	3.6 <sup>b</sup> ± 1.8	7.1 <sup>ab</sup> ± 1.0	5.3 <sup>a</sup> ± 1.8
สูตร 5	1.6 <sup>d</sup> ± 1.0	7.7 <sup>a</sup> ± 0.8	3.4 <sup>b</sup> ± 2.3	7.6 <sup>a</sup> ± 1.2	3.2 <sup>b</sup> ± 1.8

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> สูตร 1 = สูตรมาตรฐาน

สูตร 2 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI แทนที่แป้งสาลี 15%

สูตร 3 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI แทนที่แป้งสาลี 10%

สูตร 4 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI แทนที่แป้งสาลี 5%

สูตร 5 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI แทนที่แป้งสาลี 10%

จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี ปริมาณการเกาะติดของแป้ง การดูดซับน้ำมัน ความกรอบ และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยผู้ทดสอบชิมจะให้คะแนนด้านสีของแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานสูงสุดซึ่งแสดงลักษณะสีน้ำตาลทอง และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนด้านสีต่ำสุด จากการสังเกตพบว่าผลิตภัณฑ์มีสีของเปลือกแป้งเป็นสีน้ำตาลไหม้ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าสีที่วัดจากเครื่องวัดสี โดยพบว่าสูตรมาตรฐานมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ (ตารางที่ 4.15) และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้ง

สาทิ 10% มีค่าความสว่างต่ำสุด และมีค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) สูงสุด (ตารางที่ 4.32) ซึ่งเป็นผลจากการผลิตสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ผ่านความร้อนสูงและเป็นผลจากหมู่แอลดีไฮด์ซึ่งมีความไวต่อความร้อน ส่วนคะแนนค่าสีของแป้งชุบทอดสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 15% และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 10% มีคะแนนด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณการเกาะติดของแป้งพบว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 5 และ 10% มีคะแนนสูงสุด นั่นคือ มีปริมาณแป้งที่เกาะติดสูงเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ซึ่งพบว่าให้ผลสอดคล้องกับผลของการเกาะติดของเปลือกแป้งหลังทอด (ตารางที่ 4.30) ส่วนคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณการเกาะติดของแป้งในสูตรมาตรฐาน สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 10% พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าสูตรมาตรฐานมีแนวโน้มที่มีคะแนนสูงกว่า

คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดพบว่าสูตรมาตรฐาน สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 10% มีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าสูตรมาตรฐานมีแนวโน้มที่มีคะแนนสูงกว่า แสดงว่าสูตรมาตรฐานมีการดูดซับน้ำมันที่ต่ำกว่าและให้ผลสอดคล้องกับค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์ไก่ (ตารางที่ 4.19) ซึ่งพบว่าสูตรมาตรฐานจะให้ค่าการดูดซับน้ำมันต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรแป้งชุบทอดสูตรอื่น ส่วนแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 5 และ 10% พบว่ามีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันต่ำสุดแสดงว่ามีการดูดซับน้ำมันที่สูงและให้ผลสอดคล้องกับการหาค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์ไก่ (ตารางที่ 4.36)

คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความกรอบของแป้งชุบทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์สูงกว่าแป้งชุบทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์และแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐาน เมื่อพิจารณาผลทางลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งชุบทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (ตารางที่ 4.38) จะพบว่ามีค่า peak force ต่ำมากและให้ค่า slope ที่สูงซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดมีลักษณะความกรอบเพราะ

เมื่อพิจารณาคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมพบว่าแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐาน สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 10% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมที่สูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.0 – 6.3 และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาทิ 5% มีคะแนนการยอมรับโดยรวม 5.3 ส่วนสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ช

ออกซิโดซ์-พรีเจลาติน 3.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำสุด คือ 3.2 ถึงแม้ว่าจะมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณการเกาะติดของแป้ง และความกรอบที่สูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากสีของผลิตภัณฑ์ที่พบว่ามีส่วนน้ำตาลใหม่และการดูดซับน้ำมันที่สูงจึงทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับต่ำที่สุด.

#### 4.5.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

การเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดจะใช้วิธีการเปรียบเทียบเช่นเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด โดยผู้ทดสอบชิมตัวอย่างและพิจารณาด้านสี ปริมาณการเกาะติดของแป้ง การดูดซับน้ำมัน ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม ถ้าตัวอย่างที่มีคะแนนสูงแสดงว่ามีลักษณะที่ดีเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี ปริมาณการเกาะติดของแป้ง การดูดซับน้ำมัน ความกรอบ และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยผลคะแนนทางประสาทสัมผัสในทุกๆด้าน พบว่าให้ผลที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด คือ คะแนนด้านสีของแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานจะมีคะแนนสูงสุดและแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์-พรีเจลาติน 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนด้านสีต่ำสุด

แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์-พรีเจลาติน 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 10% มีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณการเกาะติดของแป้งสูงสุด ส่วนคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณการเกาะติดของแป้งในสูตรมาตรฐาน สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูตรมาตรฐานมีแนวโน้มที่มีคะแนนสูงกว่า

สำหรับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด พบว่า สูตรมาตรฐานมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันสูงสุด แสดงว่าสูตรมาตรฐานมีการดูดซับน้ำมันที่ต่ำกว่าและให้ผลสอดคล้องกับค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.20) สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนด้านการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน ส่วนแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิโดซ์-พรีเจลาติน 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 10% พบว่ามีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันต่ำสุดแสดงว่ามีการดูดซับน้ำมันที่สูงและให้ผลสอดคล้องกับค่าการดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.37)



ตารางที่ 4.41 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

สูตร แป้งชุบทอด <sup>1</sup>	คะแนนทางประสาทสัมผัส				
	สีของ เปลือกแป้ง	ปริมาณ แป้งที่เกาะติด	การดูดซับ น้ำมัน	ความกรอบ	การยอมรับ โดยรวม
สูตร 1	8.2 <sup>a</sup> ± 0.9	5.7 <sup>b</sup> ± 1.9	5.7 <sup>a</sup> ± 2.0	6.2 <sup>b</sup> ± 2.1	6.2 <sup>a</sup> ± 1.6
สูตร 2	6.8 <sup>b</sup> ± 1.3	4.8 <sup>b</sup> ± 1.8	4.3 <sup>b</sup> ± 1.9	6.3 <sup>b</sup> ± 1.8	5.9 <sup>a</sup> ± 0.9
สูตร 3	6.0 <sup>c</sup> ± 1.4	4.8 <sup>b</sup> ± 1.9	4.4 <sup>b</sup> ± 1.7	7.1 <sup>ab</sup> ± 1.4	6.2 <sup>a</sup> ± 1.5
สูตร 4	2.8 <sup>d</sup> ± 1.1	7.0 <sup>a</sup> ± 1.1	3.5 <sup>bc</sup> ± 1.3	7.2 <sup>ab</sup> ± 1.4	5.1 <sup>a</sup> ± 2.1
สูตร 5	1.4 <sup>c</sup> ± 0.8	7.1 <sup>a</sup> ± 1.3	2.7 <sup>bc</sup> ± 1.3	7.6 <sup>a</sup> ± 1.3	3.6 <sup>b</sup> ± 2.1

a, b,.. ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> สูตร 1 = สูตรมาตรฐาน

สูตร 2 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI แทนที่แป้งสาลี 15%

สูตร 3 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI แทนที่แป้งสาลี 10%

สูตร 4 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI แทนที่แป้งสาลี 5%

สูตร 5 = สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI แทนที่แป้งสาลี 10%

จากผลคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความกรอบของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% สูงที่สุด คือ 7.6 รองลงมา คือ สูตรผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% ซึ่งมีคะแนนในช่วง 7.1 – 7.2 ส่วนสูตรมาตรฐานและสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีคะแนนความกรอบที่ต่ำสุดในช่วง 6.2 – 6.3

เมื่อพิจารณาคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมพบว่าแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐาน สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมที่สูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.9 – 6.2 และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5% มีคะแนนการยอมรับโดยรวม 5.1 ส่วนสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำสุด คือ 3.6 ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ดังนี้ คือ ถึงแม้ว่าแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0% ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% จะมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณ

การเกะติคของแป้งและความกรอบสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาจากสีของผลิตภัณฑ์ที่พบว่ามีส่วนน้ำตาล  
ใหม่และการดูดซับน้ำมันที่สูงจึงทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับต่ำที่สุด.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (0.0-5.0%CI)

สตาร์ชมันสำปะหลังไม่ดัดแปรมีความชื้นร้อยละ 9.46 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.14 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณไขมันร้อยละ 0.61 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณเส้นใยน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ปริมาณคาร์บอกซิลและปริมาณคาร์บอนิลของสตาร์ชออกซิไดซ์มีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับ สตาร์ชที่เพิ่มขึ้น ค่าสีของสตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันสูงขึ้นไปมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ลดลง และมีค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) สูงขึ้น สตาร์ชออกซิไดซ์ที่ระดับออกซิเดชันต่างๆมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่ากำลังการพองตัวลดลงและมีค่าการละลายน้ำสูงขึ้นตามระดับออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชออกซิไดซ์ด้วยเครื่อง RVA พบว่ามีความหนืดน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นความหนืดสูงสุดได้ จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชออกซิไดซ์ พบว่ามีอุณหภูมิการเกิดเจลาคติในเซชันสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปรแต่มีแนวโน้มลดลงในสตาร์ชออกซิไดซ์ที่มีระดับออกซิเดชันสูงขึ้น

#### 5.2 การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ในผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอด

##### 5.2.1 สมบัติของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์

แป้งชูบทอดสูตรมาตรฐานมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำต่ำสุดและมีค่าดัชนีการละลายน้ำสูงสุด ส่วนแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์แทนที่แป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้นจะให้ค่าดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นและให้ค่าดัชนีการละลายน้ำลดลง น้ำแป้งชูบทุกสูตรมีพฤติกรรมทางการไหลแบบ pseudoplastic ( $n < 1$ ) และ thixotropic (มี hysteresis loop) โดยแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์แทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นมีค่า yield stress ( $\sigma_0$ ) consistency index (K) และค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{20s^{-1}, 25^\circ C}$ ) ลดลง ค่า bulk density ของสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน ยกเว้นสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5%CI แทนที่แป้งสาลี 5% ที่มีค่า bulk density น้อยกว่า

### 5.2.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทหุบแป่งทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์

ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป่งหุบและปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป่งในผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทหุบแป่งทอดมีความสัมพันธ์กับค่า  $\sigma_0$ , K และ  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  กล่าวคือเมื่อค่า  $\sigma_0$ , K และ  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  มีค่าลดลง ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป่งหุบ และปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป่งจะมีค่าลดลงด้วย ค่าสีของผลิตภัณฑ์ในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์ที่ระดับออกซีเดชันและการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้นไปจะมีสีคล้ำมากขึ้น การดูดซับน้ำมันของแป่งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์มีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐาน โดยมีแนวโน้มการดูดซับน้ำมันลดลงในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์ที่ระดับออกซีเดชันสูงขึ้นไป ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป่งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์มีความกรอบน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน

### 5.3 การผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ (0.0-5.0%CI)

ความชื้นของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์มีค่าอยู่ในช่วง 0.00 – 0.44% ลักษณะของสตาร์ชเมื่ออบคเป็นผงแล้วมีความเลื่อมมัน มีสีขาวจนถึงสีเหลืองอ่อน ค่าสีของสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) น้อยกว่าและค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) มากกว่าสตาร์ชออกซีไคซ์ สตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซีเดชันสูงขึ้นไปมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำลดลง ค่าดัชนีการละลายน้ำสูงขึ้นไป และค่าความหนืดปรากฏ ( $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$ ) ลดลง

### 5.4 การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์แป่งหุบทอด

#### 5.4.1 สมบัติของแป่งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์

แป่งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ยกเว้นแป่งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0 และ 5.0%CI ที่พบว่ามีการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง และมีค่าดัชนีการละลายน้ำสูงขึ้นไป น้ำแป่งหุบทุกสูตรมีพฤติกรรมทางการไหลแบบ pseudoplastic และ thixotropic โดยแป่งหุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์แทนที่แป้งสาลีเพิ่มขึ้นมีค่า  $\sigma_0$ , K และ  $\eta_{20s^{-1}, 25^{\circ}C}$  เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มลดลงที่ระดับออกซีเดชันสูงขึ้นไป แป่งหุบทอดสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไคซ์-พรีเจลาติไนซ์มีค่า bulk density ของก้อนแป่งทอดต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน

#### 5.4.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์

ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งในผลิตภัณฑ์ไก่และแครอทชุบแป้งทอดมีความสัมพันธ์กับค่า  $\sigma_0$ , K และ  $\eta_{(20s^{-1}, 25^{\circ}C)}$  กล่าวคือ เมื่อค่า  $\sigma_0$ , K และ  $\eta_{(20s^{-1}, 25^{\circ}C)}$  มีค่าเพิ่มขึ้น ความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบและปริมาณการเกาะติดของเปลือกแป้งจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ค่าสีของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ที่ระดับออกซิเดชันและการแทนที่แป้งสาลีสูงขึ้นไปมีสีคล้ำมากขึ้น การดูดซับน้ำมันของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์มีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐาน ยกเว้นแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชไม่ดัดแปรที่พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ (1.5 – 3.0%CI) มีลักษณะความกรอบแบบกรอบเปราะ เนื่องจากมีค่าความชื้นที่สูงและค่าความแข็งที่น้อยมาก

#### 5.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด

จากผลการทดสอบทางกายภาพทำให้สามารถคัดเลือกสูตรแป้งชุบทอดสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยในการคัดเลือกจะพิจารณาจากผลลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ค่าความกรอบ (slope, g/mm) และค่าความแข็ง (hardness, g) ที่ใกล้เคียงกับแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐาน ซึ่งสามารถคัดเลือกมาทั้งหมด 4 สูตร คือ แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 1.5%CI แทนที่แป้งสาลี 15% แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 2.0%CI แทนที่แป้งสาลี 10% แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI แทนที่แป้งสาลี 5% และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI แทนที่แป้งสาลี 10% จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสีของแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานสูงสุดซึ่งแสดงลักษณะสีน้ำตาลทอง และแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนด้านสีต่ำสุด เนื่องจากมีสีน้ำตาลไหม้ ในด้านคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณการเกาะติดของแป้ง พบว่า แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 10% มีคะแนนสูงสุด ส่วนสูตรมาตรฐาน สูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 1.5%CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์ 2.0%CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์นั้น พบว่าสูตรมาตรฐานมีคะแนนความชอบด้านการดูดซับน้ำมันสูงสุด แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีการดูดซับน้ำมันน้อย ส่วนแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซีไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 5 และ 10% พบว่ามีคะแนนความชอบด้านการดูดซับน้ำมันต่ำสุดแสดงว่ามีการดูดซับน้ำมันที่สูง จากคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ ผู้ทดสอบให้

คะแนนด้านความกรอบของแป้งชุบทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์สูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรมาตรฐานและแป้งชุบทอดในกลุ่มที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ เนื่องจากแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์จะให้ลักษณะความกรอบแบบกรอบเปราะ เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับโดยรวม พบว่า แป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5%CI แทนที่แป้งสาลี 15% สตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0%CI แทนที่แป้งสาลี 10% และสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI แทนที่แป้งสาลี 5% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมที่สูงและไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ถึงแม้ว่าแป้งชุบทอดในสูตรที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ 3.0%CI แทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านปริมาณการเกาะติดของแป้ง และความกรอบที่สูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากสีของผลิตภัณฑ์ที่พบว่ามีสีน้ำตาลไหม้และการดูดซับน้ำมันที่สูงจึงทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับโดยรวมที่ต่ำ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สูตรแป้งชุบทอดที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในทางการค้า คือ สูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% โดยการพิจารณาจากผลทางประสาทสัมผัสซึ่งพบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% และสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐาน และเมื่อพิจารณาจากค่าการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดและผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด พบว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% มีค่าการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าสูตรแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 2.0% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 10% ดังนั้นแป้งชุบทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ 1.5% CI ที่ระดับการแทนที่แป้งสาลี 15% จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ทางการค้า

## 5.6 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาถึงผลของการผสมสตาร์ชออกซิไดซ์ร่วมกับสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ในแป้งชุบทอด เนื่องจากสตาร์ชทั้งสองชนิดมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันไปเมื่อนำมาผสมเป็นแป้งชุบทอด กล่าวคือ สตาร์ชออกซิไดซ์มีความสามารถในการเกาะติดของน้ำแป้งชุบที่น้อยและให้ความกรอบที่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน แต่มีความสามารถในการเกาะติดระหว่างเปลือกแป้งกับชิ้นอาหารที่ดีและมีลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน กล่าวคือ มีสีเหลืองทอง ในขณะที่สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์เมื่อนำมาผสมเป็นแป้งชุบทอดจะให้ค่าการดูดซับน้ำมันสูงและให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่เนื่องจากการนำสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มาผสมเป็นแป้งชุบทอดจะให้ลักษณะที่พองกรอบ และให้การเกาะติดของน้ำแป้งชุบสูง ดังนั้นการนำสตาร์ชออกซิไดซ์และสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์มาผสมรวมกันเพื่อทำเป็นแป้งชุบทอดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของแป้งชุบทอด

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จารุวรรณ อธิษัณท์กิจ และ ชนินยา วัฒนภิรมย์. 2535. การใช้ pregelatinized starch ในการพัฒนาแป้งชุบทอด. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จำเริญ อัจฉราภักดิ์. 2537 การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการแปรสภาพทางกายภาพและทางเคมีแบบเชื่อมข้าม (Cross-linking) ร่วมกับวิธีอะซิทิเลชัน (Acetylation) และพรีเจลาติไนเซชัน (Pregelatinization). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2548. สถิติการผลิตหัวมันสด. [On line]. Available from: <http://www.tapiocathai.org> [2005, February 23]
- ลัลลา ยังประสิทธิ์พร. 2532. การใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ในขนมจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2528. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบชนิดต่างๆ. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2528. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2534. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ วารสารเกษตรศาสตร์(วิทย์) 25: 318-325.
- สมเกียรติ เกียรติศักดิ์กุล. 2534. การตัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยการสร้างพันธะเชื่อมขวางและการออกซิไดซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมจินตนา สุमितสุวรรณค์. 2542. เอกสารประกอบการสอนวิชา Instrumental methods of food analysis. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศศิเกษม ทองขงค์ และ พรรณี เดชคำแหง. 2530. เคมีอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล, จิตชนา แจ่มเมฆ, ธารินี หลีละเมียร และ ศรีนทร์ อีสรินทร์. 2526. การศึกษาคุณลักษณะของความกรอบหรือกรอบของแป้งชนิดต่างๆเพื่อใช้ประกอบอาหารทอด. วิทยาศาสตร์การอาหาร 15(1): 41-62.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2534. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งผสมสำหรับประกอบอาหารทอด. เอกสาร มอก.ที่ 1028-2534. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งตัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร.  
เอกสาร มอก.ที่ 1073-2535. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์  
อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

### ภาษาอังกฤษ

- Abdel-Aal, M.H., and Karara, H.A. 1986. Changes in corn oil during deep-fat frying of foods. Lebensm. Wiss. Technol. 19: 323-327.
- Adebowale, K.O., Afolabi, T.A., and Lawal, O.S. 2002. Isolation , chemical modification and physicochemical characterization of bambara groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. Food Chemistry 78: 305-311.
- Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeife, F.F., and Griffin, E.L., Jr. 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. Cereal Science Today 14: 4-7, 11-12.
- A.O.A.C. 1995. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16<sup>th</sup> ed. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- Balogopalan, C. 1988. Cassava in food, feed and industry. Florida: CRC Press.
- Barrett, L., Judeth, J.E., Mangano, S.F., Frank, S., and Whitehouse, A.S. 2000. Chewing candy product. Japanese Patent 200-217515.
- Barrett, L., Geddes, G.E., Mangano, S.F., Schmick, F., and Whitehouse, A.S. 2002. Chewy confectionery product. US Patent Application 20020001665.
- Barrett, L., Geddes, G.E., Mangano, S.F., Schmick, F., and Whitehouse, A.S. 2003. Chewy confectionery product. US Patent 6,531,174
- Blumenthal, M.M. 1991. A new look at the chemistry and the physics of deep fat frying. Food Technology 45: 68-71.
- Chang, S-G., Charlton, L.L., Gottneid, J.D., and Abbas, I.R. 1993. Thick-thin retort starch. US Patent 5,192,576
- Chattopadhyaya, S., Singhal, R.S., and Kulkarni, P.R. 1998. Oxidised starch as gum arabic substitute for encapsulation of flavours. Carbohydrate Polymers 37: 143-144.
- Cheuk, W.L., and Dierking, M. 2003. Pet food composition and method. US Patent Application 20030039736
- Cochran, W.C., and Cox, G.M. 1992. Experimental design. 2 nd ed. New York: John Wiley & Sons.



- Colonna, P., Doublier, J.L., Melcion, J.P., Monredon, F. de, and Mercier, C. 1984. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. Cereal Chemistry 61(6): 538-543.
- Colonna, P., Tayeb, J., and Mercier, C. 1989. Extrusion cooking of starch and starchy products. In C. Mercier, P. Linko, and J.M. Harper (eds.), Extrusion cooking, pp. 247-319. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Davies, T., Miller, D.C., and Procter, A.A. 1980. Inclusion complexes of free fatty acids with amylose. Starch/Stärke 32(5): 149-158.
- Eastman, J.E. 1997. Retort process starch derivatives. US Patent 4,038,482
- Eskew, R.K., Cording, J., and Sullivan, J.F. 1963. Explosive puffing. Food Engineering 35(4): 91.
- Faur, L. 1975. Palm oil in deep frying: comparative performance. Revue Francaide des Corps Gras. 22(2): 77-83.
- Feldberg, C. 1969. Extruded starch based snacks. Cereal Science Today 14(6): 211-214.
- Fellow, P.J. 1990. Food processing technology principle and practice. New York: Ellis Horwood.
- Fischer, L.G., Sherain, M.B., Cornacchio, N.A., Entner, B.J., and Pettinato, F.F. 1973. Method of forming a continuous adherent batter on a foodpiece. US Patent 3,723,137.
- Forsell, P., Hamunen, A., Autio, K., Suortti, T., and Poutanen, K. 1995. Hypochlorite oxidation of barley and potato starch. Starch/Stärke 47: 371-377.
- Fox, B.A., and Cameron, A.G. 1977. Food science: A chemical approach. 3<sup>rd</sup> ed. London: Hodder and Stoughton.
- Gamble, M.H., Rice, P., and Selman, D. 1987(a). Distribution and morphology of oil deposits in some deep fried products. Journal of Food Science 52: 1742-1745.
- Gamble, M.H., Rice, P., and Selman, D. 1987(b). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from C.V. record U.K. tubers. Int. J. Food Sci. Technol. 22: 233-241.
- Gramham, H.D. 1977. Food colloids. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company.
- Halmos, A.L. 1981. Liquid foodstuffs exhibiting yield stress and shear-degradability. J.Texture Stud. 12: 39-46.
- Hanson, H.L., and Fletcher, L.R. 1963. Adhesion of coating on frozen fried chicken. Food Technology 17: 793.

- Hizukuri, S. 1988. Recent advances in molecular structure of starch. J. Jpn. Soc. Starch Sci. 31: 185.
- Hoseney, R.C. 1996. Interaction of starch and water. In AACC short course on starch: Structure, properties and food uses. August 27-29, 1996. Bangkok
- Hsia, H.Y., Smith, D.M., and Steffe, J.F. 1992. Rheological properties and adhesion characteristic of flour-based batter for chicken nuggets as affected by three hydrocolloids. Journal of Food Science 57(1): 16-24.
- Jackson, J.C., Bourne, M.C., and Barnard, J. 1996. Optimization of blanching for crispness of banana chips using response surface methodology. Journal of Food Science 61: 165-166.
- Kerr, R.W. 1950. Chemistry and industry of starch. 2nd New York: Academic Press.
- Kuakpetoon, D., and Wang, Y.-J. 2001. Characterization of different starch oxidized by hypochlorite. Starch/Stärke 53: 211-218.
- Knight, J.W. 1969. The starch industry. Oxford: Pergamon Press.
- Kulp, K., and Loewe, R. 1990. Batters and breadings in food processing. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Leach, H.W., McCawen, L.D., and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chemistry 36: 534-544.
- Lewis, M.J. 1987. Physical properties of foods and food processing systems. London: Ellis Horwood.
- Lin, M.J.Y., and Humbert, E.S. 1974. Certain functional properties of sunflower meal products. Journal of Food Science 39: 368-370.
- Loewe, R. 1996. Ingredient selection for batter systems. In K. Kulp and R. Loewe (eds.), Batter and breading in food processing, pp. 11-28. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Luallen, T.E. 1996. Properties and food uses of unmodified starch discussion and demonstration. In AACC short course on starch: Structure, properties and food uses. August 27-29, 1996. Bangkok
- Makinson, J.H., Greenfield, H., Wong, M.L., and Wills, R.B.H. 1987. Fat uptake during deep fat frying of coated and uncoated foods. Journal of Food Composition and Analysis 1(1): 93-101.

- Mattisson, M.P., and Legendre, K.A. 1952. Determination of carboxyl content of oxidized starch. Analytical Chemistry 24: 1942-1944.
- Meyer, R., and Lee, S.H. 1982. Pourable crunchy batter for food products. US Patent 4,330,566
- Meyers, M.A. 1990. Functionality of hydrocolloids in batter coating systems. In K. Kulp and R. Loewe (eds.), Batters and breadings, pp. 117-141. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Miura, T., Murata, S., and Kimura, Y. 1994. Instant noodle and its preparation. Japanese Patent 06-237719
- Miyamura, H., Miyazaki, Y., and Abe, H. 1996. Coating composition for fried food. Japanese Publication Number 08-131109
- Mohamed, S., Hamid, N.A., and Hamid, M.A. 1988. Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter. J. Sci. Food Agric. 78: 39-45.
- Moreira, R.G., Palau, J., Sweat, V.E., and Sun, X. 1995. Thermal and physical properties of tortilla chips as a function of frying time. Journal of Food Processing and Preservation 19: 175-189.
- Mukprasirt, A., Herald, T.J., Boyle, D.L., and Rausch, K.D. 2000. Adhesion of rice flour-based batter to chicken drumsticks evaluated by scanning confocal microscopy and texture analysis. Poultry Science 79: 1356-1363.
- Mukprasirt, A., Herald, T.J., and Flores, R.A. 2000. Rheological characterization of rice flour-based batters. Journal of Food Science 65(7): 1994-1999.
- Mukprasirt, A., Herald, T.J., Boyle, D.L., and Boyle, E.A.E. 2001. Physicochemical and microbiological properties of selected rice flour-based batters for fried chicken drumsticks. Poultry Science 80: 988-996.
- Mukprasirt, A., Herald, T.J., and Seib, P.A. 2002. Pasting characteristics of rice flour-based batter compared to wheat flour-based batter. Journal of Food Quality 25: 139-154.
- Noguchi, A., Kugimiya, W., Haque, Z., and Saio, K. 1981. Physical and chemical characteristics of extruded rice flour and rice flour fortified with soybean protein isolate. Journal of Food Science 47: 240-245.
- Oates, G.C. 1996. Physical modification of starch. In advanced post-academic course on tapioca starch technology. January 22-26, 1996. Bangkok.
- Olexnik, M., and Kulp, K. 1990. Factor influencing wheat flour performance in batter systems. Cereal Food World 38(9): 679-684.

- Paton, D., and Spratt, W.A. 1981. Simulated approach to the estimation of degree of cooking of an extruded cereal product. Cereal Chemistry 58: 216-220.
- Pinthus, E.J., Weinberg, P., and Saguy, I.S. 1992. Gel-strength in restructured potato products affects oil uptake during deep fat frying. Journal of Food Science 57: 1359-1360.
- Pinthus, E.J., and Saguy, I.S. 1994. Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fried foods. Journal of Food Science 59: 804-807, 823.
- Powell, E.L. 1967. Production and use of pregelatinized starches. In R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology, pp. 523-535. New York: Academic Press.
- Pravisani, C.I., and Calvelo, A. 1986. Minimum cooking time for potatoes strip frying. Journal of Food Science 51: 614-617.
- Priestley, R.J. 1979. Effects of heating on foodstuff. London: Applied Science Publishers.
- Radley, J.A. 1976. Starch production technology. London: Applied Science Publishers.
- Rao, M.A. 1977. Rheology of liquid foods- a review. J.Texture Stud. 8: 135-168.
- Ray, P.M. 1963. The living plant. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Robbin, P.M. 1976. Convenient food: Recent technology. New Jersey: Noyes Data Corporation.
- Rutenberg, M.W., and Solarek, D. 1984. Starch derivatives : production and uses. In R.L. Whistler, J.N. Bemiller, and E.F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology, pp. 315-323. Florida: Academic Press.
- Scallet, B.R., and Sowell, E.A. 1967. Production and use of hypochlorite-oxidized starches. In R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology, pp. 237-251. New York: Academic Press.
- Shinn, B. 1976. Evaluation of drum drying. In J.A. Radley (ed.), Starch production technology, pp. 229-237. London: Applied Science.
- Shih, F., and Daigle, K. 1999. Oil uptake properties of fried batters from rice flour. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47: 1611-1615.
- Singh, R.P. 1998. Phase transition and transport phenomena in frying of food. In M.A. Rao and R.W. Hartel (eds.), Phase/State transition in foods: Chemical, structural, and rheological changes, pp.369-390. New York: Marcel Dekker.

- Smith, R.J. 1967. Production and used of hypochlorite oxidized starches. In R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology, pp. 620-625. New York: Academic Press.
- Steffe, J.F. 1996. Rheological methods in food process engineering. MI: Freeman Press.
- Suderman, D.R. 1983. Use of batters and breadings on food products: a review. In D.R. Suderman and F.E. Cunningham (eds.), Batter and breeding technology, pp. 1-13. Westport, Connecticut: AVI Publishing.
- Suderman, D.R. 1990. Effective use of flavoring and seasonings in batter and breeding systems. In K. Kulp and R. Loewe (eds.), Batter and breadings in food processing, pp.73-91. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Suderman, D.R., and Cunningham, F.E. 1983. Batter and breeding. Westport, Connecticut: The AVI Publishing.
- Swinkels, J.J.M. 1985. Sources of starch, its chemistry and physics. In G.M.A. Van Beynum and J.A. Roels (eds.), Starch conversion technology, pp. 15-45. New York: Marcel Dekker.
- Tenkai, H., Yagi, T., Nagakura, S., and Yokoyama T. 1994. Lipid substitute and food. Japanese Patent 06-189699
- Thorner, M.E. 1973. Deep frying in convenience and fast food handbook. Westport, Connecticut: The AVI Publishing.
- Ueki, Y., and Motoi, H. 1998. Coating composition for fried food. Japanese Patent 10-057000
- Van Beynum, G.M.A., and Roels, J.A. 1985. Starch conversion technology. New York: Marcel Dekker.
- Varvil, R.D. 1983. Frying medium. In D.R. Suderman and F.E. Cunningham (eds.), Batter and breeding, pp.95-105. Westport, Connecticut: The AVI Publishing.
- Wang, Y.-J., and Wang, L. 2003. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different level of sodium hypochlorite. Carbohydrate Polymers 52: 207-212.
- Wargocki, M.F., Wu, Y., and Kunerth, W.H. 2003. Hydrocolloid film for meat and poultry products. US Patent Application 20030044486
- Whistler, R.L. and Paschal, E.F. 1967. Starch: Chemistry and technology. vol. 2. New York: Academic Press.

- Wollermann, L.A., and Makstell, E.W. 1958 Properties of pregelatinized starches. Cereal Science Today 3(9): 244-246.
- Wootton, M., and Bamunuarachchi, 1978. Water binding capacity of commercial produced native and modified starches. Starch/Stärke 30(9): 306-309.
- Wurzberg, O.B. 1986. Modified starches: Properties and uses. Florida: CRC Press.
- Yang, C.S., and Chen, T.C. 1979. Yields of deep-fat fried chicken parts as affected by preparation, frying conditions and shortening. Journal of Food Science 44: 1074-1079.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

### ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

#### อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น modell 600, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. desiccator

#### วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ โดยเปิดฝาถ้วยอะลูมิเนียมไว้
3. นำถ้วยอะลูมิเนียมออกจากตู้อบ ปิดฝาถ้วยและทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมตัวอย่าง

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

### ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

#### อุปกรณ์

1. Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)
2. Buchi distillation unit (รุ่น B-324, Switzerland)

#### สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N ที่ standardized ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมพาทาเลท 0.1 N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50%
4. สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 4%
5. selenium reagent mixture
6. อินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยละลายเมทิลเรดจำนวน 0.125 กรัม และเมธิลทีนบลูจำนวน 0.0825 กรัมในเอทานอล 90% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

### วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติม selenium reagent mixture ซึ่งใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยใน Kjeldahtherm โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	40 ml
Boric acid	50 ml
H <sub>2</sub> O	50 ml
Time	6 min

6. รองรับสารที่กลั่นตามระยะเวลาที่กำหนด
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในพลาสติกที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในพลาสติกทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติซึ่งจะกลายเป็นสีม่วงแดง
9. ทำ blank เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4 \times 6.25}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เมื่อ

$V_a$  คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

$V_b$  คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

$N$  คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

### ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

#### อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
2. ถ้วย crucible



3. hot plate
4. desiccator

#### วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วย crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

#### ก4. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

##### อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
2. ถ้วย crucible
3. ตู้อบลมร้อน (Mettler รุ่น modell 600, Germany)
4. desiccator

##### สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 1.25
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

#### วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำกลั่น
3. กรองตัวอย่างที่ถูกล่อยด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 แล้วล้างกากด้วยน้ำร้อน จนหมดฤทธิ์กรด ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส
4. นำกากมาชั่งด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำกลั่น
5. กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

6. ล้างภาชนะที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
7. นำภาชนะที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่
8. ทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
9. นำตัวอย่างใส่ในถ้วย crucible ที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
10. เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 °C จนได้เถ้าสีขาว
11. ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใย (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

#### ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

##### อุปกรณ์

1. Soxtec Automatic 2050 (Foss, Sweden)
2. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น modell 600, Germany)
3. desiccator

##### สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างที่อบแห้งไล่ความชื้นออกแล้วประมาณ 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 ใส่ลงใน thimble
2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างของผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่ในถ้วยสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
3. เติมน้ำมันปิโตรเลียมอีเทอร์ 80 มิลลิลิตร ลงในถ้วยสกัด
4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิของ silicon coil ซึ่งเป็นตัวถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์ที่ใช้สกัดที่ 150 °C
5. ระบายส่วนของปิโตรเลียมอีเทอร์ ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบถ้วยสกัดที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทิ้งให้เย็นใน desiccator

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

### ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - \%(\text{โปรตีน} + \text{เถ้า} + \text{เส้นใย} + \text{ไขมัน} + \text{ความชื้น})$$

### ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอกซิลตามวิธีของ Smith (1967)

#### สารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1N
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N
3. phenolphthalein

#### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของสตาร์ชออกซิไดซ์ประมาณ 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เดิม สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N จำนวน 25 มิลลิลิตร คนให้ทั่วแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที พร้อมทั้งคนเป็นครั้งคราว
2. นำสารละลายสตาร์ชไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 แล้วล้างสตาร์ชที่กรองได้ด้วยน้ำกลั่น
4. นำสตาร์ชที่กรองได้ใส่บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เดิม น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร แล้วต้มประมาณ 5 – 7 นาที จนกระทั่งสตาร์ชเกิดเจลาตินเซชัน แล้วไตเตรตด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์
5. ทำ blank เช่นเดียวกัน โดยใช้สตาร์ชที่ไม่ตัดแปรร

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณคาร์บอกซิล (\%)} = \frac{(C - D) \times M \times 100 \times 0.045}{\text{น้ำหนักตัวอย่างสตาร์ชออกซิไดซ์}}$$

เมื่อ

C = ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรตสตาร์ชออกซิไดซ์

D = ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรตสตาร์ชไม่ตัดแปรร

M = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

## ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนิลตามวิธีของ Mattisson และ Legendre (1952)

### อุปกรณ์

1. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

### สารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N
2. สารละลาย hydroxylamine (เตรียมโดยละลาย hydroxy hydrochloride 25 g ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 N ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทใส่ขวดปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น)

### วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างสารที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 4 กรัม ใส่ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจำนวน 100 มิลลิลิตร
2. นำสารละลายสารมาต้มในอ่างน้ำร้อนจนเกิดเจลาคีโนซีเซชัน เป็นเวลา 20 นาที
3. ทิ้งสารละลายให้เย็น 40 °C แล้วปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 3.2 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N
4. เติมสารละลาย hydroxylamine จำนวน 15 มิลลิลิตร
5. ปิดฝาพลาสติกแล้ววางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พร้อมกวนสารละลายอย่างช้า
6. ใตเตรตสารละลาย hydroxylamine ส่วนเกินโดยปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 3.2 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N
7. blank ทำเช่นเดียวกันกับข้างต้นแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง

### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณคาร์บอนิล (\%)} = \frac{(C - D) \times M \times 100 \times 0.028}{\text{น้ำหนักตัวอย่างสารซอกซิไดซ์}}$$

เมื่อ

C = ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ปรับ pH สารละลายให้เป็น 3.2

D = ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ปรับ pH สารละลายให้เป็น 3.2

M = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

## ก.9 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

### อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific Pty. Ltd., Australia)
2. ภาชนะบรรจุตัวอย่างและหัววัด

### วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ให้นาน 30 นาทีเพื่ออุ่นเครื่อง และปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้

#### Profile : STD 1

อุณหภูมิเริ่มต้น	50 °C			
อุณหภูมิ	50 °C	ระยะเวลา	1	นาที
อุณหภูมิ	50 - 95 °C	ระยะเวลา	3.75	นาที
อุณหภูมิ	95 °C	ระยะเวลา	2.5	นาที
อุณหภูมิ	95 - 50 °C	ระยะเวลา	3.75	นาที
อุณหภูมิ	50 °C	ระยะเวลา	2	นาที
รวมระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด			13	นาที

ความเร็วรอบของการกวน 160 รอบต่อนาที

อัตราการให้ความร้อน 12 °C ต่อนาที

2. ในกรณีที่ตัวอย่างมีความชื้น 14% ให้เติมน้ำกลั่นปริมาตร  $25.0 \pm 0.05$  มิลลิลิตร ใส่ลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างของเครื่อง RVA ปริมาณของตัวอย่างและน้ำที่ใช้ควรคำนึงถึงค่าความชื้นของตัวอย่างด้วย โดยสามารถคำนวณได้จากสูตรสำหรับความชื้นที่ 14% ดังนี้

$$M_2 = \frac{(100 - 14) \times M_1}{(100 - M_1)}$$

$$W_2 = 25.0 + M_1 - M_2$$

เมื่อ

$$M_1 = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับแป้งแต่ละชนิด}$$

(ในการทดลองนี้ใช้ 3.00 กรัม)

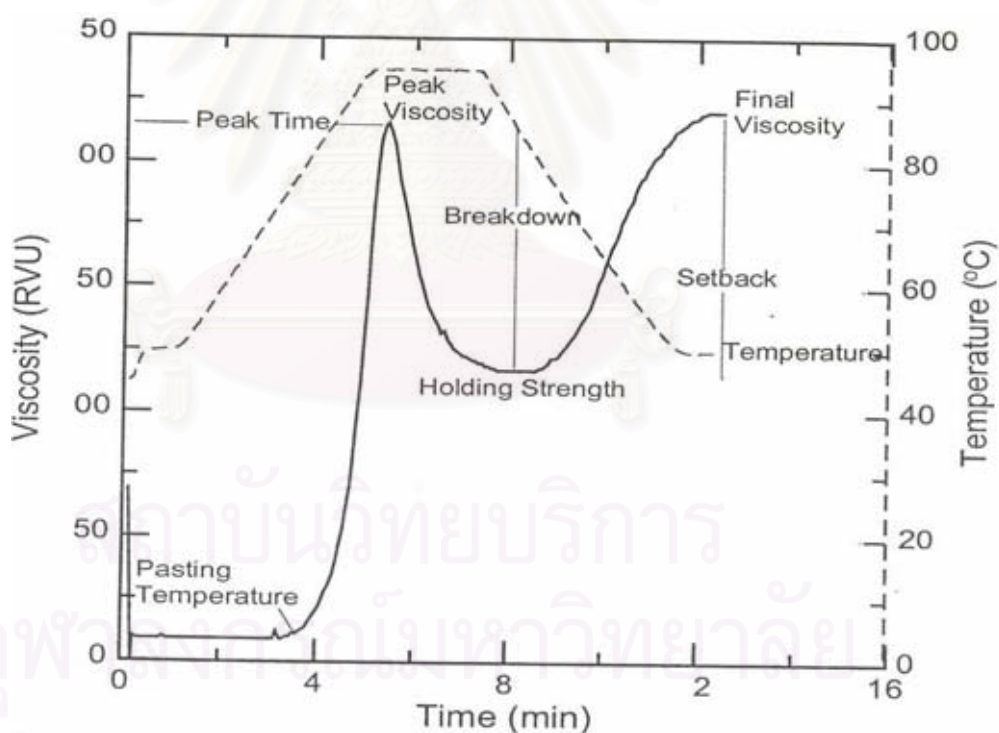
$$M_2 = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ต้องชั่ง (กรัม)}$$

$$W_2 = \text{ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ (มิลลิลิตร)}$$

3. ชั่งตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่มีน้ำกลั่นอยู่ ใส่หัววัดลงในภาชนะบรรจุตัวอย่าง หมุนหัววัดไปมาแรงๆและดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดอยู่ที่หัววัด

4. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างและหัววัดใส่เข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน จะได้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting curve) ดังแสดงในรูปที่ ก.1 โดยเครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ ดังนี้

1. เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
2. อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
3. อุณหภูมิที่เกิด peak มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
4. ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU
5. ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
6. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (setback from peak) มีหน่วยเป็น RVU
7. ผลต่างของความหนืดสุดท้าย กับความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVU



รูปที่ ก.1 pasting curve ของสตาร์ชที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA

## ก.10 การวิเคราะห์สมบัติทางการไหลของน้ำแป้งขุบ

### อุปกรณ์

1. เครื่อง Bohlin Rheometer (C-VOR, Bohlin Instrument Ltd., UK)
2. หัววัด cone and plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm มุม  $4^\circ$  (CP 4/40)

### วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง Bohlin Rheometer ป้อน cooling และ thermostat ให้พร้อมต่อการทำงาน ใส่หัววัด CP 4/40 แล้วทำการล๊อคเกลียว ตั้ง auto zero โดยตั้ง gap ไว้ที่ 150  $\mu\text{m}$
2. เปิดโปรแกรมของเครื่องแล้วเข้าไปที่ mode viscometry ตั้งสภาวะในการทำงานของเครื่องดังนี้

- Pre conditioning : controlled rate

shear rate	10	1/s
apply time	60.0	s
equilibrium time	10.0	s

- Shear profile :

start shear	1	1/s
end shear	100	1/s

thixotropic analysis

- Isothermal :  $25^\circ\text{C}$

3. นำตัวอย่างใส่ลงบนแท่นแล้วกดหัววัดลงมายังตำแหน่ง gap ที่ตั้งไว้ แล้วเกลี่ยให้ขอบริมของตัวอย่างอยู่ในลักษณะโค้งนูน ก่อนทำการทดลองให้ปลดล๊อคหัววัด แล้วจึงกด start เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่อง
4. คำนวณผลโดยใช้สมการ Herschel bulkey model





## ใบรายงานผลการทดสอบเชิงปริมาณ

ผลิตภัณฑ์ แครอทชุบแป้งทอด

ชื่อผู้ทดสอบ .....

วันที่ทดสอบ .....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอจากซ้ายไปขวา แล้วขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นของแต่ละปัจจัย ตรงบริเวณ  
ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด พร้อมระบุรหัสตัวอย่างเหนือเส้น

รหัสตัวอย่าง ..... ..

1. สี 

น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลอ่อน
------------	------------
2. ปริมาณการเกาะติดของแป้ง 

น้อย	มาก
------	-----
3. การดูดซับน้ำมัน 

มาก	น้อย
-----	------
4. ความกรอบ 

นุ่ม	กรอบ
------	------
5. การยอมรับโดยรวม 

ไม่ชอบ	ชอบมาก
--------	--------

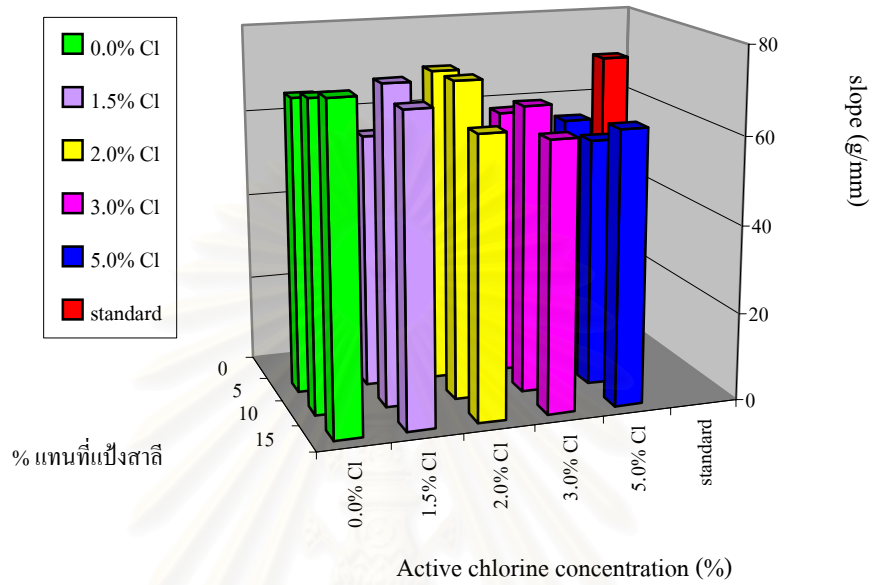
ข้อเสนอแนะ

.....  
.....

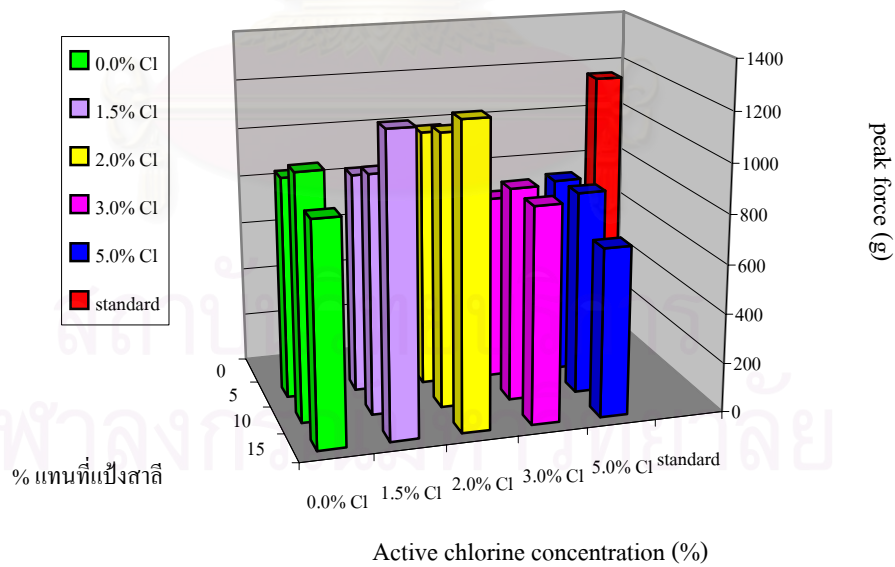
\* ขอขอบคุณค่ะ \*

ภาคผนวก ค.

กราฟผลการทดลอง



a

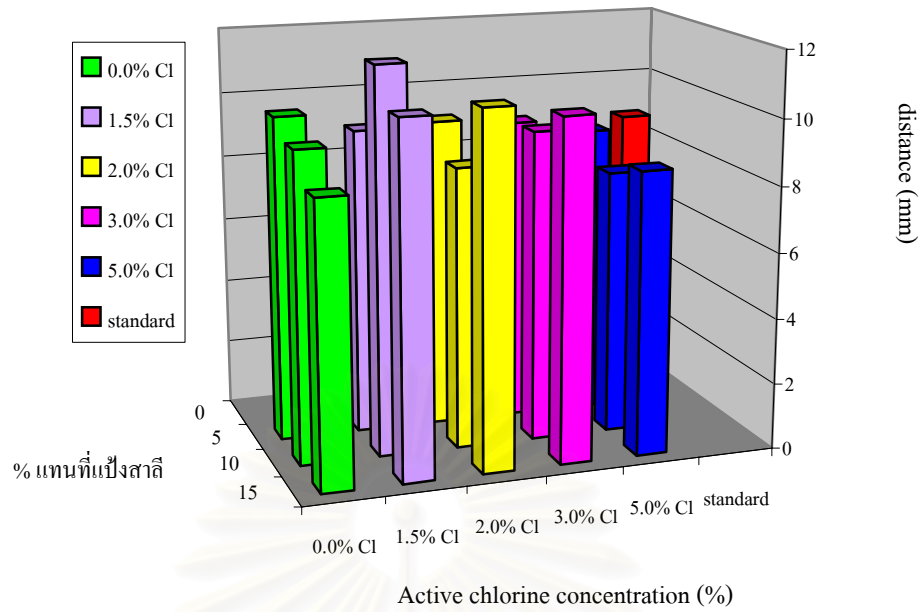


b

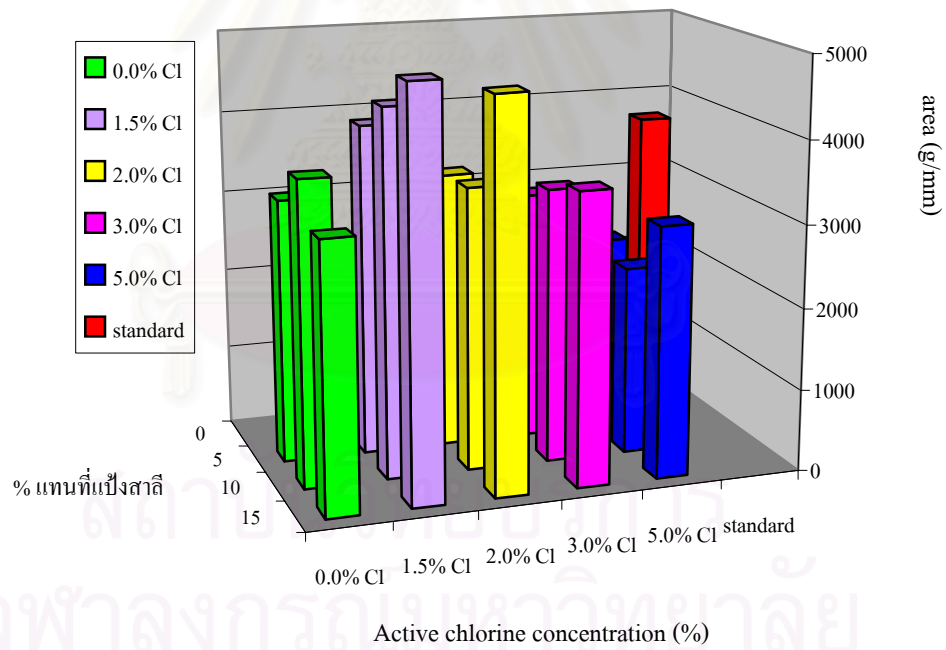
รูปที่ ค.1 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันสำปะหลังออกซิไดซ์  
ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

a. slope

b. peak force



c

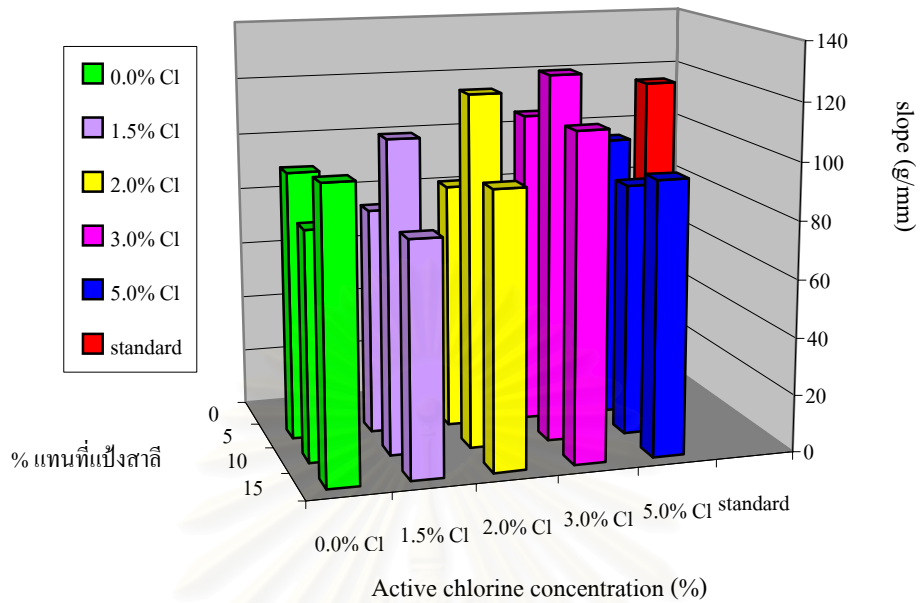


d

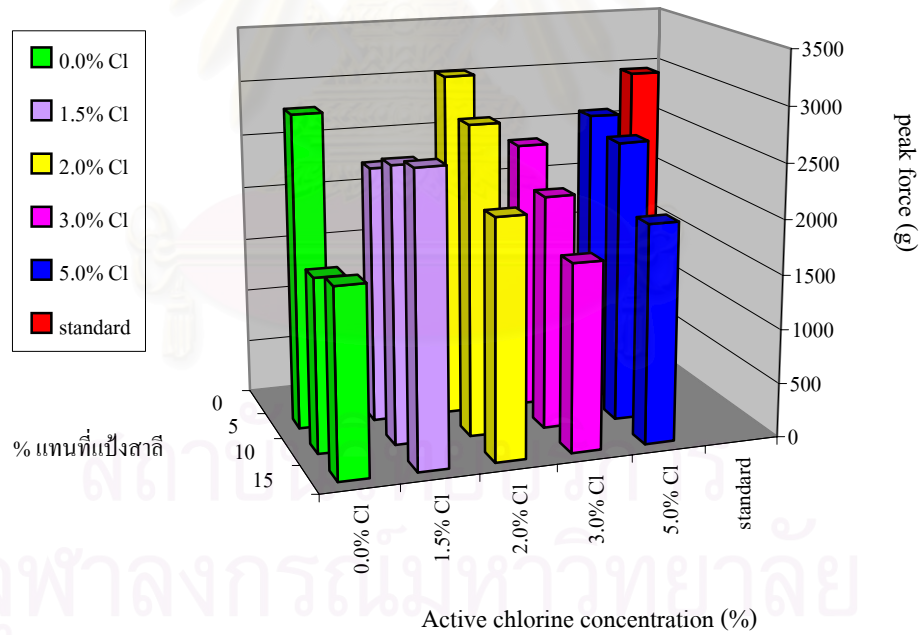
รูปที่ ค.1 (ต่อ) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันต่ำปะหลังออกซิไดซ์  
ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

c. distance

d. area



a

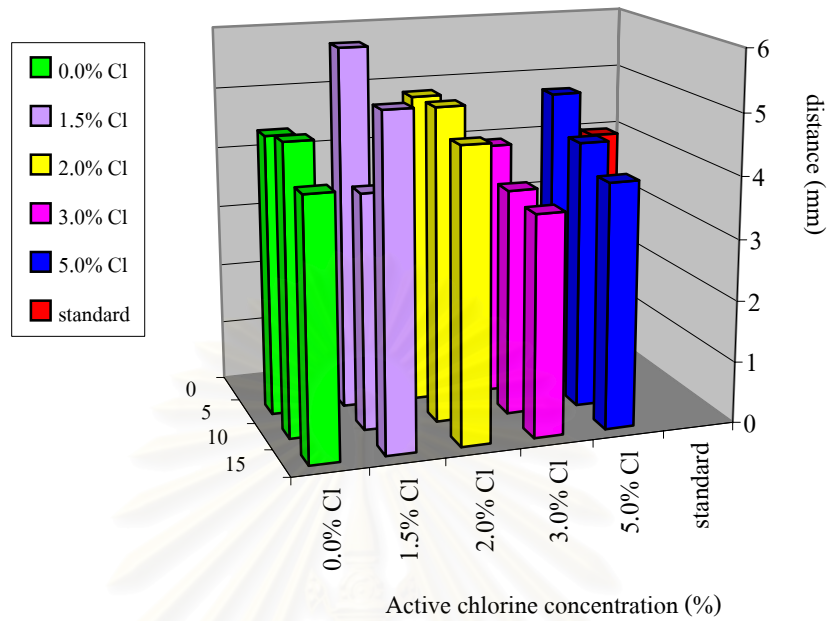


b

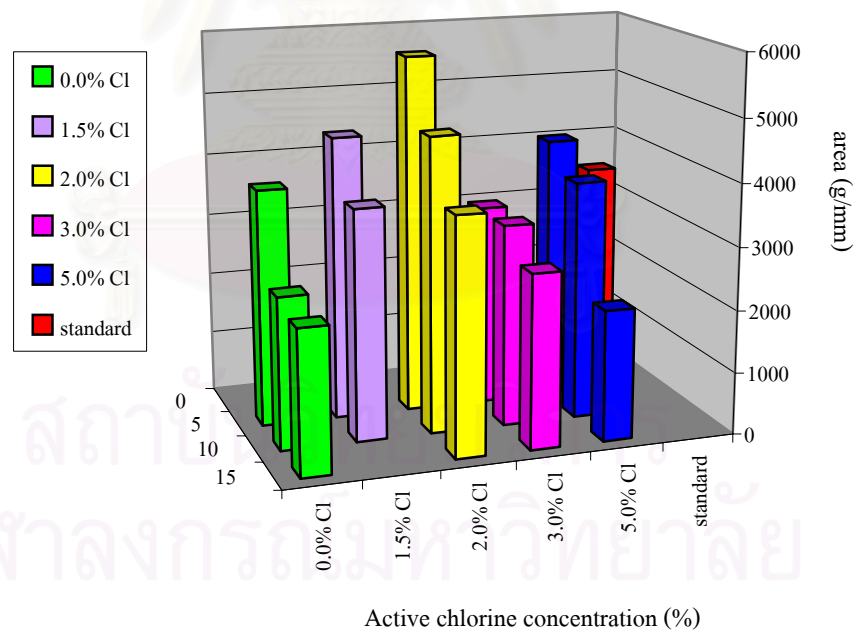
รูปที่ ค.2 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันสำหรับหั่นออกซิไดซ์ ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

a. slope

b. peak force



c

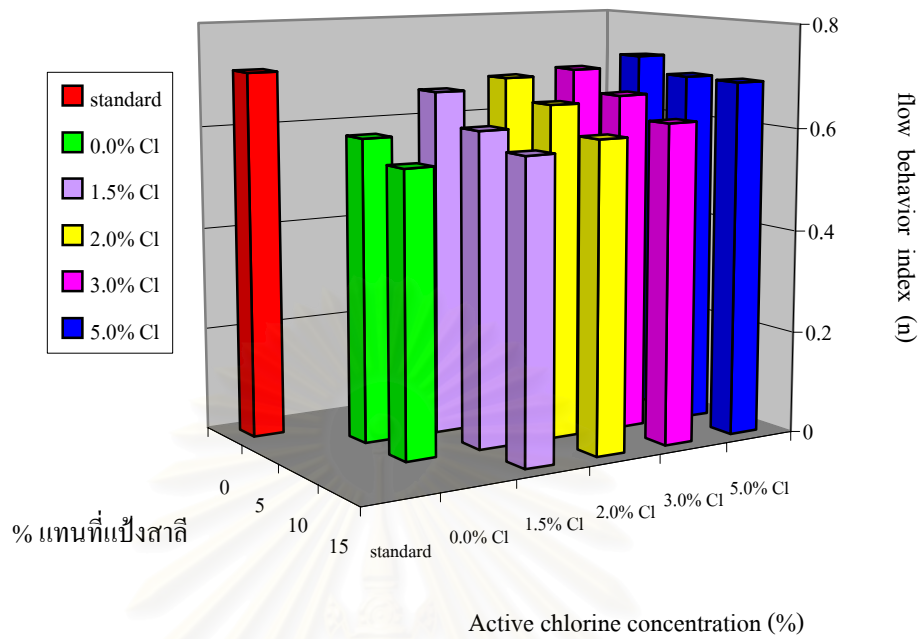


d

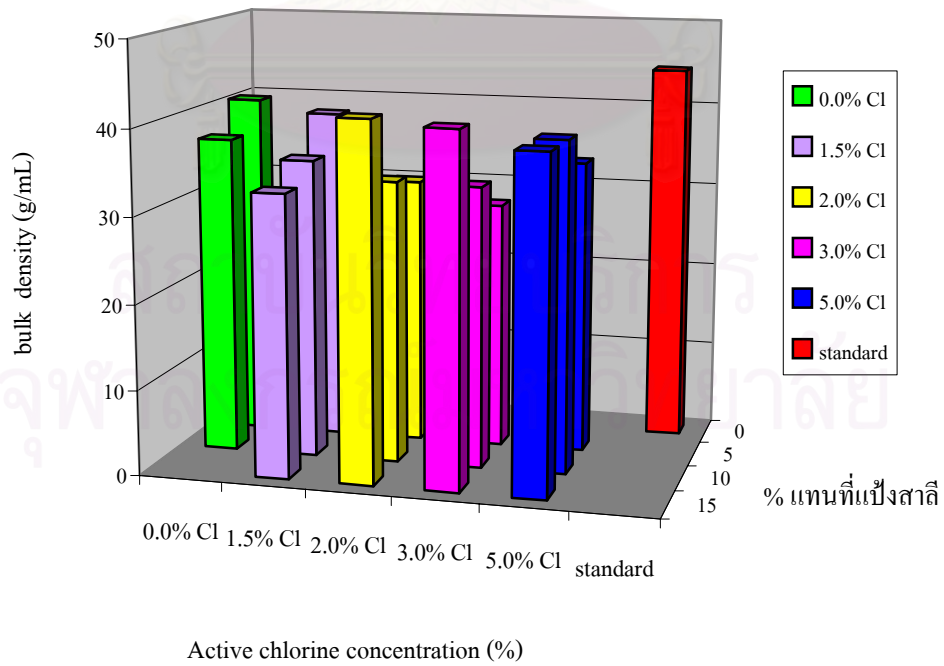
รูปที่ ค.2 (ต่อ) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันต่ำปะหลังออกซิไดซ์  
ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

c. distance

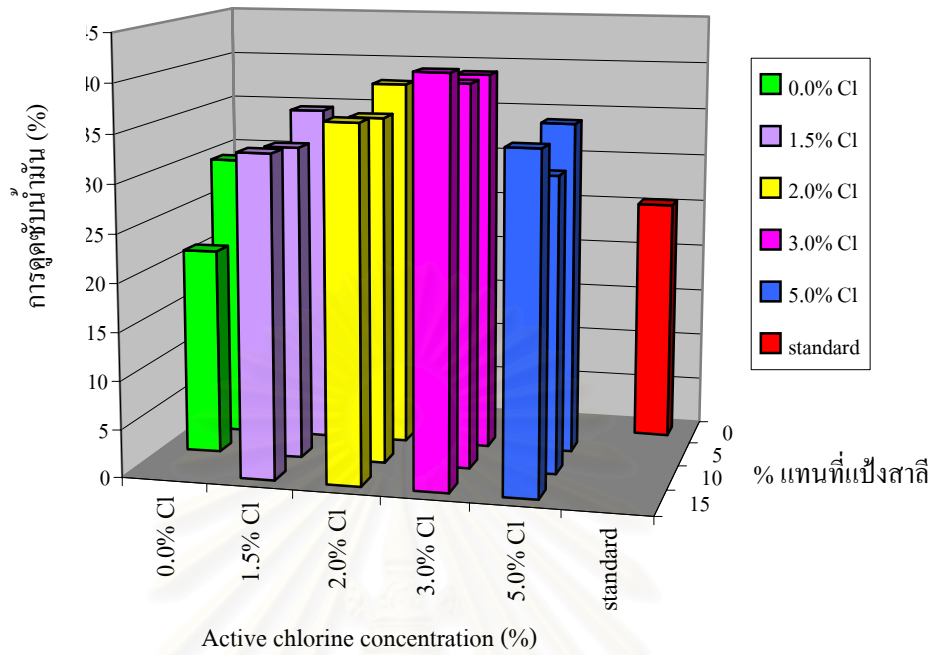
d. area



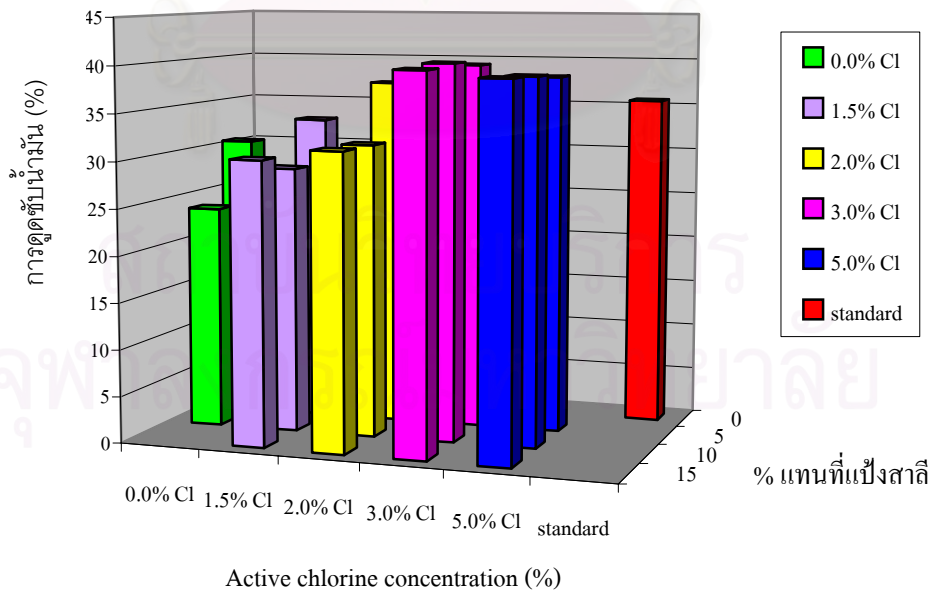
รูปที่ ค.3 ค่า flow behavior index ของแป้งชูบทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง ออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์



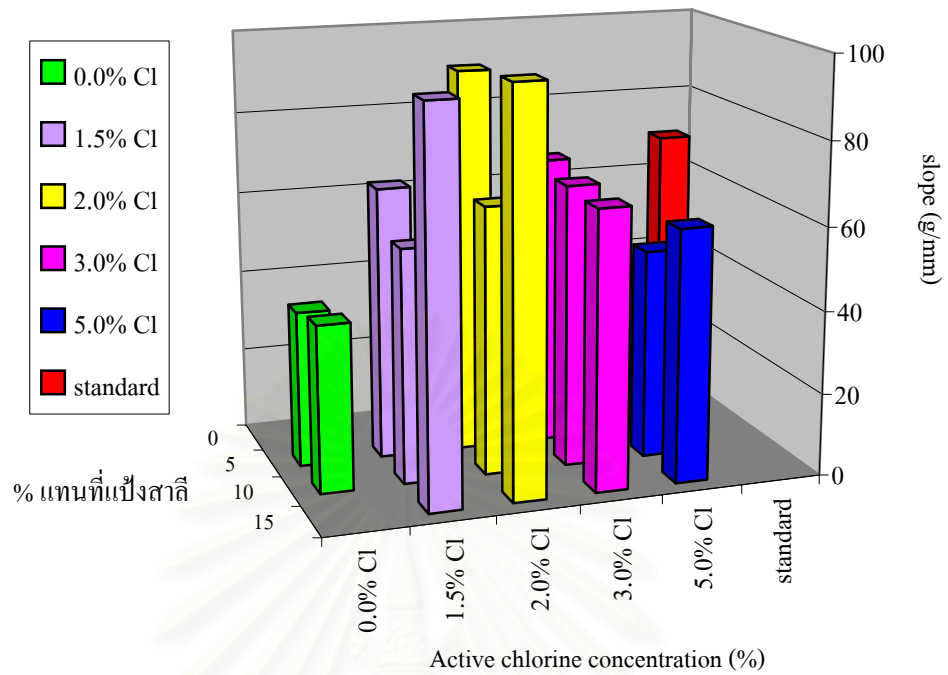
รูปที่ ค.4 ความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์



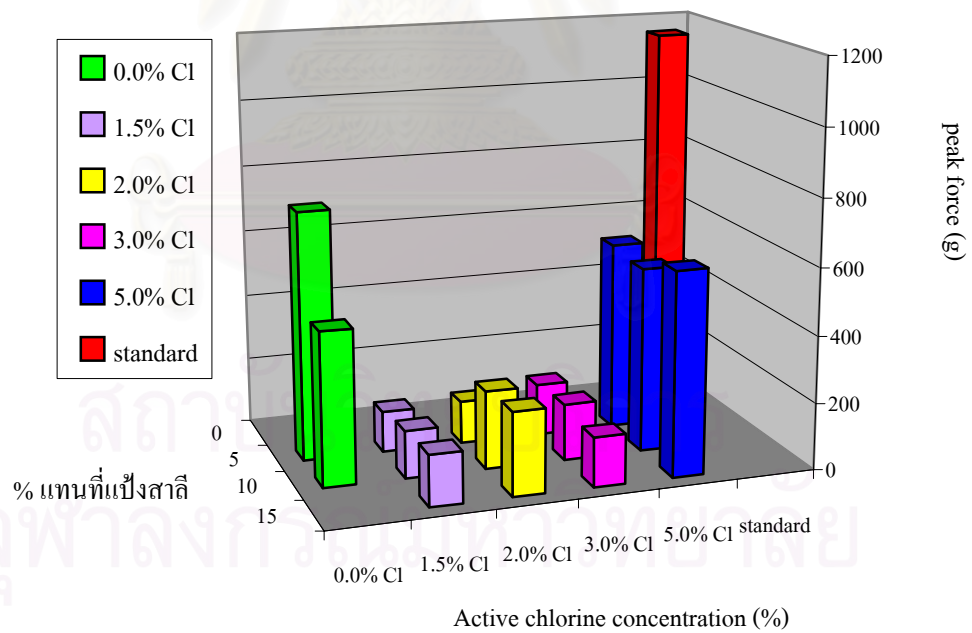
รูปที่ ค.5 การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันสำหรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม-พรีเจลลาตินในชั้นในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมแป้งทอด



รูปที่ ค.6 การดูดซับน้ำมันของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารไขมันสำหรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม-พรีเจลลาตินในชั้นในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมครีมแป้งทอด



a



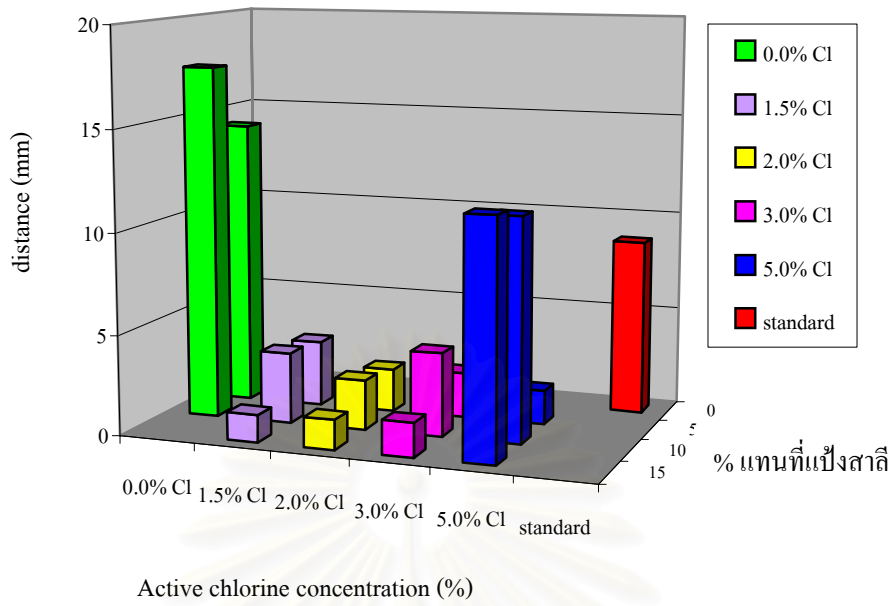
b

รูปที่ ค.7 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารร่ชออกซิไดซ์-พรีเจลาตินไนซ์ ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

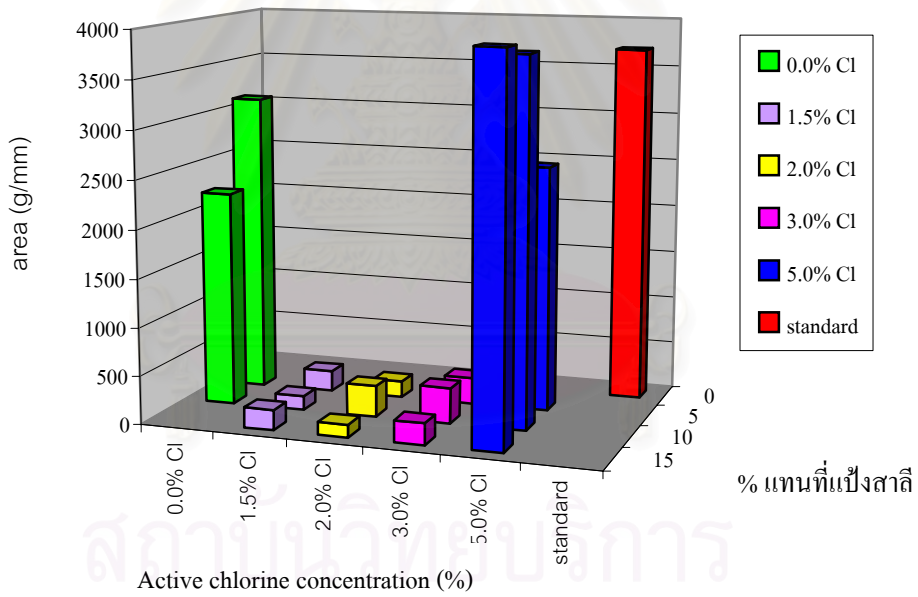
a. slope

b. peak force





C

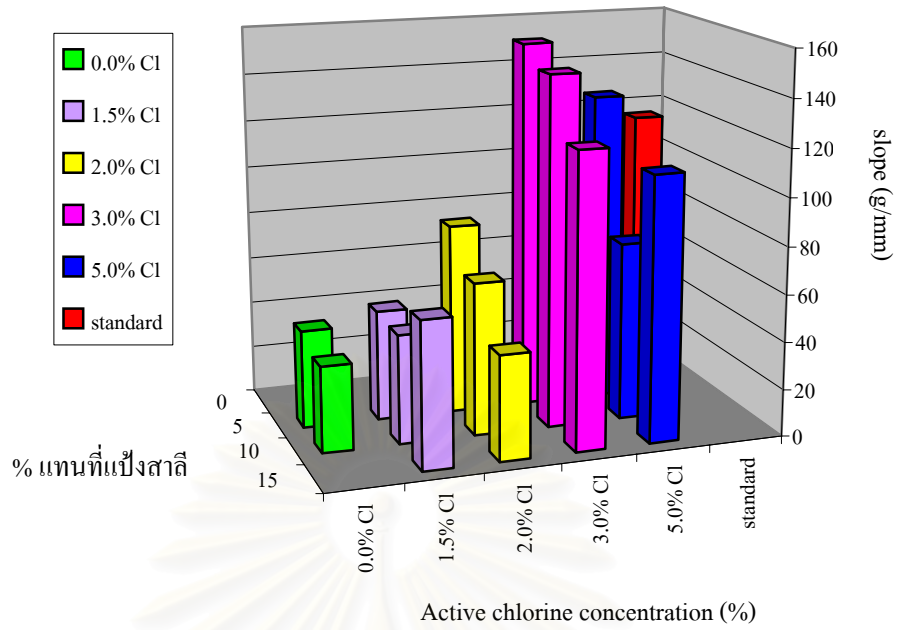


d

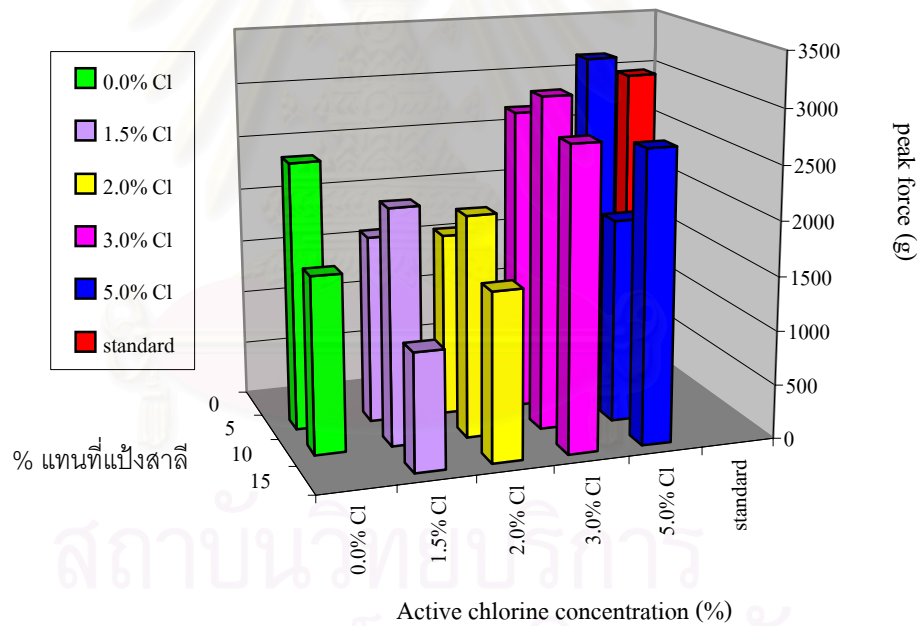
รูปที่ ๑.7 (ต่อ) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสารช็อคโกแลต-พรีเจลาตินไนซ์ ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

c. distance

d. area



a



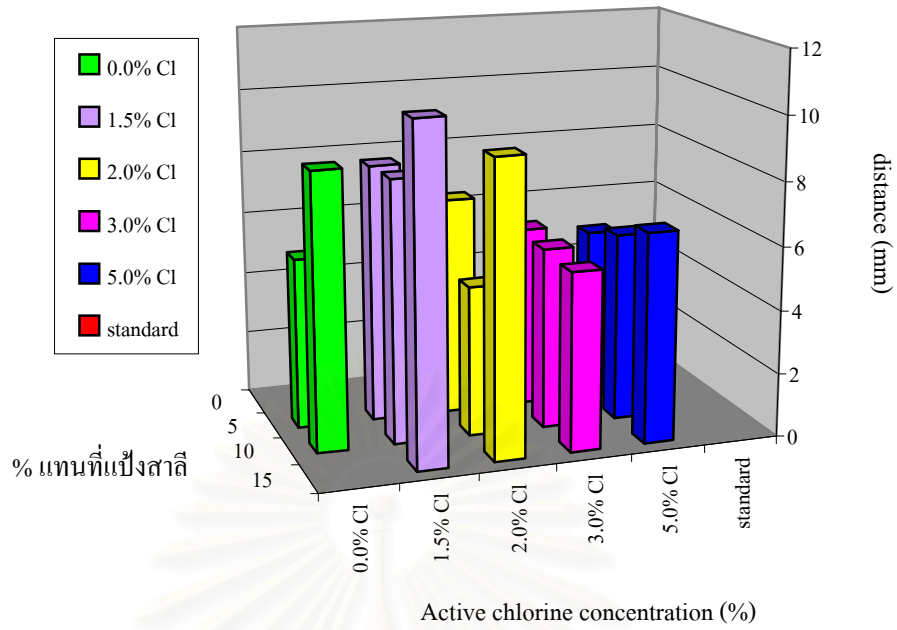
b

รูปที่ ๘.๘

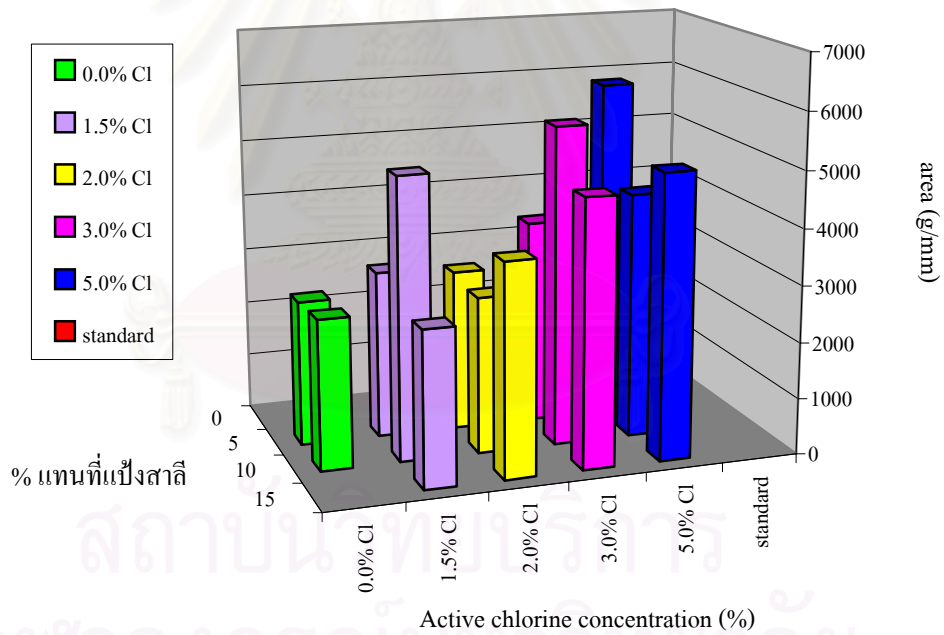
ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติโนซ์  
ในผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

a. slope

b. peak force



C



d

รูปที่ ค.8 (ต่อ) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกแป้งทอดที่ผสมสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ ในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

c. distance

d. area

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววนิดา เผอิญโชค เกิดวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี  
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย