บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

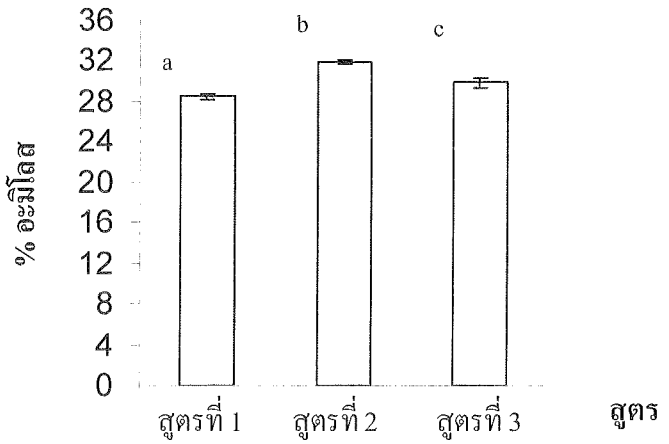
งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาหาชนิดของแป้งดัดแปรที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันและขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาหาผลของเมทิลเซลลูโลสและสูตรแป้งชุบทอดที่เหมาะสม ซึ่งได้ผลการทดลองทั้งหมดดังนี้

4.1 การศึกษาหาชนิดของแป้งดัดแปรที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมัน

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของชนิดแป้งดัดแปรต่อการลดการดูดซับน้ำมันโดยนำแป้งดัดแปร 2 ชนิด คือ Crispfilm (high amylose corn stabilizer) และ Crispcoat 868 (high amylose corn and tapioca dextrin) มาเตรียมแป้งชุบทอดเปรียบเทียบกับแป้งสาลี (สูตรควบคุม) ผลการทดลองในขั้นตอนนี้ประกอบด้วยผลการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส คุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอด ปริมาณการยึดเกาะของแป้งชุบทอดบนผลิตภัณฑ์ การสูญเสียน้ำจากชิ้นตัวอย่าง การดูดซับน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส สีและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

4.1.1. ปริมาณอะมิโลส

เมื่อนำแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรมาวิเคราะห์หาปริมาณพบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณอะมิโลสในแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตร

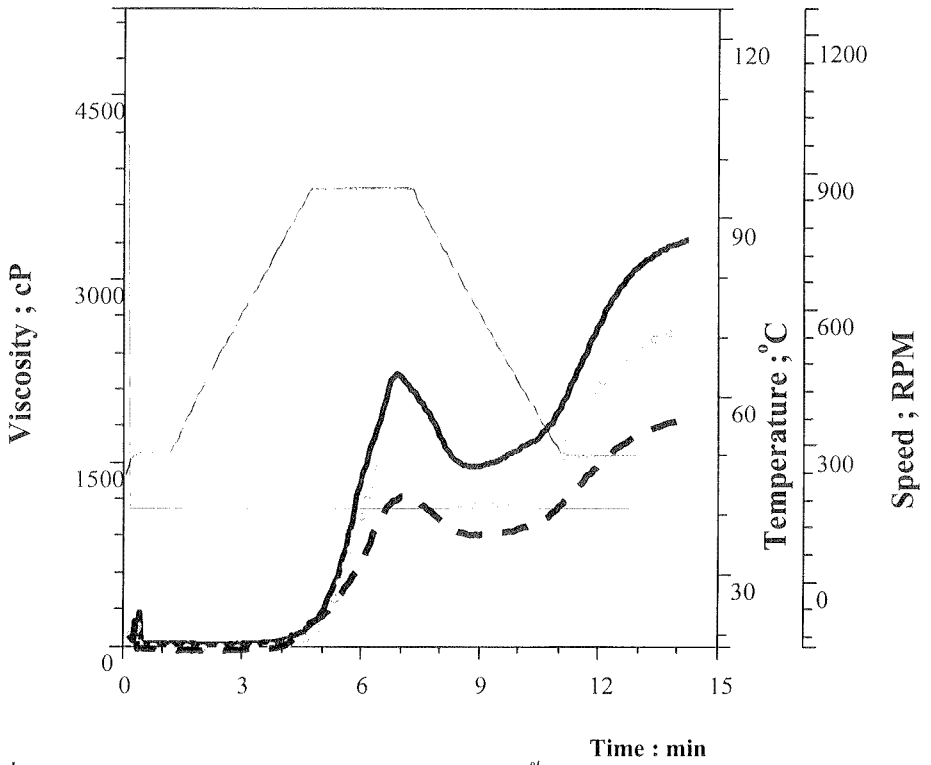
*แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือไม่ใช้แป้งดัดแปร, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn stabilizer), แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn and tapioca dextrin)

**ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.1 พบว่าแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 มีปริมาณอะมิโลสมากที่สุดคือ 31.87 $\pm$ 0.25% รองลงมาคือ แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 และสูตรที่ 1 ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสเท่ากับ 29.87 $\pm$ 0.45% และ 28.47 $\pm$ 0.25% ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 และ 3 มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งดัดแปร ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งสาลีโดยแป้งดัดแปรที่ใช้ในแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ แป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (high amylose corn starch) ส่วนแป้งดัดแปรที่ใช้ในแป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ แป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงผสมกับเดกซ์ตรินที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แป้งสูตรที่ 2 และ 3 มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าสูตรที่ 1

4.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอดโดยเครื่อง RVA

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญของแป้ง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและแตกออกทำให้ส่วนผสมของน้ำแป้งเกิดความข้นหนืด โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการดัดแปรแป้งด้วยวิธีการต่างๆ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) สำหรับงานวิจัยในส่วนนี้ได้วิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอด 3 สูตร ได้แก่สูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว สูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn stabilizer) และสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn starch and dextrin) นอกจากนี้ยังวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดที่ใช้เป็นองค์ประกอบของแป้งชุบทอดในแต่ละสูตร ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 คุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรที่วิเคราะห์โดยเครื่อง RVA

แป้งชุบทอดสูตรที่ 1, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2, แป้งชุบทอดสูตรที่ 3

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอดในแต่ละสูตร

ค่าวิเคราะห์*	แป้งชุบทอดสูตรที่ 1**	แป้งชุบทอดสูตรที่ 2**	แป้งชุบทอดสูตรที่ 3**
Peak viscosity (cP)	$1921.67^{a} \pm 8.33$	$1657.67^{b} \pm 3.52$	$1331.0^{c} \pm 8.72$
trough viscosity (cP)	$1278.5^{a} \pm 3.50$	$1160.67^{b} \pm 4.51$	$1035.0^{c} \pm 26.87$
Final viscosity (cP)	$2859.67^{a} \pm 34.65$	$2567.34^{b} \pm 19.60$	$2011.0^{c} \pm 12.0$
breakdown (cP)	$646.5^{a} \pm 13.44$	$497.0^{a} \pm 6.93$	$336.0^{a} \pm 21.21$
setback (cP)	$1515.0^{a} \pm 32.53$	$1406.67^{b} \pm 17.62$	$1028.0^{c} \pm 20.52$
pasting temperature(^{o}C)	$86.02^{a} \pm 3.66$	$88.22^{a} \pm 1.34$	$82.88^{b} \pm 0.47$
Peak time (นาที)	$6.31^{a} \pm 0.14$	$6.29^{a} \pm 0.08$	$6.42^{a} \pm 0.10$

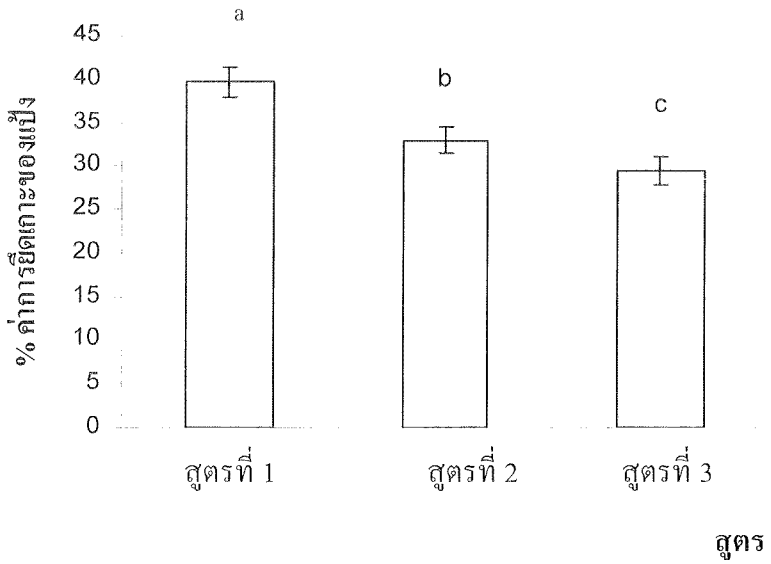
*แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือไม่มีการแปรชนิดแป้งดัดแปร, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn starch), แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn starch and dextrin)

**ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.2 พบว่าแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 50-90 °C จะทำให้เม็ดแป้งมีการดูดน้ำและพองตัว ซึ่งส่งผลให้มีค่าความหนืดสูง หลังจากนั้นเม็ดแป้งจะแตกออกทำให้ค่าความหนืดของระบบลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งค่าความหนืดในแต่ละจุดแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตร พบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 ซึ่งมีแป้งสาลีอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียวจะมีค่า peak viscosity, trough viscosity, final viscosity, breakdown และ setback สูงกว่าแป้งสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ซึ่งมีการทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งดัดแปรบางส่วน (ตารางที่ 4.1) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งสูตรที่ 2 และ 3 มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 (รูปที่ 4.1) โดยแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวน้อยลงส่งผลให้มีความหนืดต่ำ (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกูล ปิยจอมขวัญ, 2546) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Blazek และ Copeland (2008) ที่พบว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสมากจะมีค่า peak viscosity และ breakdown ต่ำ นอกจากนี้กลุ่มนักวิจัยข้างต้นยังพบว่าปริมาณอะมิโลสมีผลต่อการจัดเรียงตัวของแป้งภายหลังการเกิดเจลาติไนเซชันด้วย โดยเจลที่เกิดจากแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีโครงสร้างร่างแหสามมิติที่อยู่ชิดกันและแน่นกว่าเจลที่เกิดจากแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่าซึ่งจะส่งผลให้ค่า final viscosity ของเจลที่เกิดจากแป้งที่มีปริมาณ อะมิโลสสูงมีค่าต่ำด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางรีโอโลจีของเฉพาะแป้งสูตรที่ 2 และ 3 นั้นพบว่าให้ผลขัดแย้งกับการอธิบายข้างต้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 3 ใช้แป้งดัดแปรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพดอะมิโลสสูง (high amylose corn starch) และเดกซ์ตริน จากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งการมีเดกซ์ตรินเป็นส่วนประกอบนั้นจะทำให้แป้งชุบทอดมีค่าความหนืดต่ำลง (เมื่อใช้ในอัตราส่วนที่เท่ากัน) ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญของเดกซ์ตริน คือ สามารถละลายในน้ำเย็นได้เพิ่มขึ้น มีความหนืดในขณะร้อนลดลง (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) สำหรับในส่วนของ pasting temperature ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิ ณ จุดที่ระบบเริ่มมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้นนั้นพบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 มีค่าเท่ากับ 86.02 ± 3.66 °C ซึ่งแตกต่างกับแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 88.22 ± 1.34 °C อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แป้งชุบทอดทั้ง 2 สูตรนี้มีค่า pasting temperature สูงกว่า pasting temperature ของแป้งสูตรที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 82.88 ± 0.47 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับการที่แป้งสูตรที่ 3 มีค่า pasting temperature ต่ำกว่าแป้งสูตรอื่นนั้นเนื่องจากแป้งสูตรที่ 3 มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้ง Crispcoat ที่มีส่วนผสมระหว่างแป้งข้าวโพดอะมิโลสสูงและเดกซ์ตรินจากแป้งมันสำปะหลัง จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้ง Crispcoat บริสุทธิ์พบว่ามีค่า pasting temperature เท่ากับ 80.06 ± 0.31 °C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์และแป้ง Crispfilm (ภาคผนวกที่ ก. 7) เมื่อเปรียบเทียบค่า pasting temperature ของการทอดชิ้นนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่ามีค่าสูงกว่ามากโดย Narunartwongsakul และ คณะ (2004) พบว่าแป้งชุบทอดที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์เป็นองค์ประกอบหลักมีค่า pasting temperature 60.7 °C ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากระบบที่ใช้ศึกษามีปริมาณน้ำอยู่จำกัด ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิการเกิด เจลาทิไนเซชันของแป้งสูงขึ้น (Verlinden, Nicolcu และ Baerdemker, 1995)

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการยึดเกาะของแป้งชุบทอดบนผลิตภัณฑ์ (batter pick up)

ค่าการยึดเกาะของแป้งชุบทอด (batter pick up) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณการเกาะติดระหว่างแป้งชุบทอดและไก่ (adhesion) โดยถ้าแป้งมีการยึดเกาะของแป้งบนผลิตภัณฑ์ได้ดีก็จะทำให้มีโพรงระหว่างตัวแป้งและผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นน้อยลง ซึ่งการเกิดโพรงในผลิตภัณฑ์เป็นสาเหตุหนึ่งของการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด อีกทั้งยังเป็นคุณลักษณะที่ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคอีกด้วย สำหรับผลการวัดค่าการยึดเกาะของแป้งบนตัวอย่างไก่ซึ่งใช้แป้งชุบทอดที่ต่างกัน 3 สูตรได้ผลดังรูปที่ 4.3



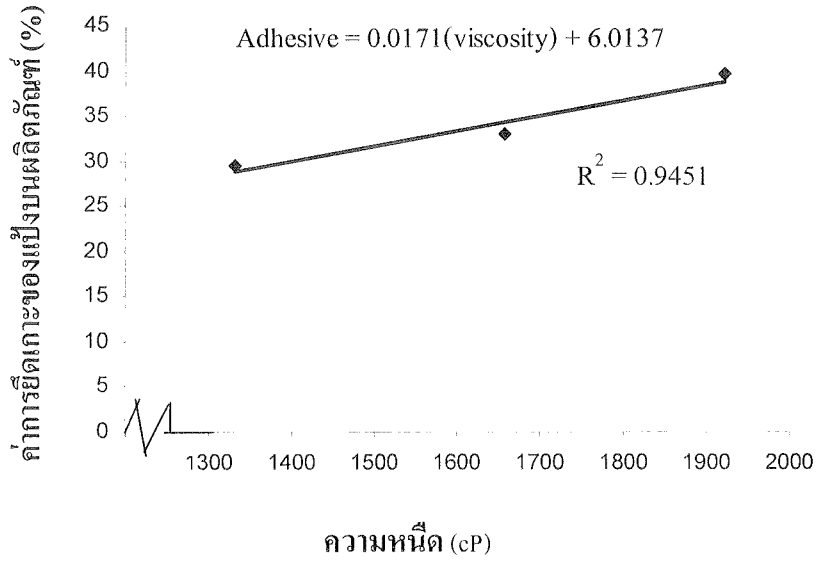
รูปที่ 4.3 ค่าการยึดเกาะของแป้งชุบทอดบนผลิตภัณฑ์

*แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือไม่ใช้แป้งดัดแปร, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn stabilizer), แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn and tapioca dextrin)

**ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองพบว่าแป้งชุบทอดแต่ละสูตรมีค่าการเกาะติดบนผลิตภัณฑ์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งสูตรที่ 1 สามารถยึดเกาะกับตัวอย่างไก่ได้มากที่สุดโดยที่ค่าการยึดเกาะของแป้งบนเนื้อไก่เท่ากับ $39.62 \pm 1.72\%$ รองลงมาคือแป้งสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $32.93 \pm 1.53\%$ และ $29.38 \pm 1.60\%$ ตามลำดับ (ภาคผนวกที่ ก.1) (Salvador และคณะ, 2004) ศึกษาผลของส่วนผสมชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แป้งสาลี แป้งข้าวโพดดัดแปร เดกซ์ตริน ไข่ผงและกลูเตนต่อค่าความหนืดของแป้งชุบทอดและค่าการยึดเกาะของแป้งบนเนื้อปลาหมึก ผลพบว่าแป้งชุบทอดที่มีค่าความหนืดสูงมักมีค่าการยึดเกาะของแป้งบนเนื้อปลาหมึกสูงด้วย ผลงานวิจัยข้างต้นสอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ กล่าวคือ แป้งสูตรที่ 1 ซึ่งมีค่าการยึดเกาะของแป้งสูงที่สุดนั้นก็มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูงกว่าในแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 และ 3 ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 ซึ่งมีค่ายึดเกาะของแป้งเป็นลำดับต่อมาก็มีค่าความหนืดรองลงมาตามด้วยแป้งชุบทอดสูตร 3 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเมื่อนำค่าการยึดเกาะของแป้งและค่าความหนืดมาหาความสัมพันธ์สมการ

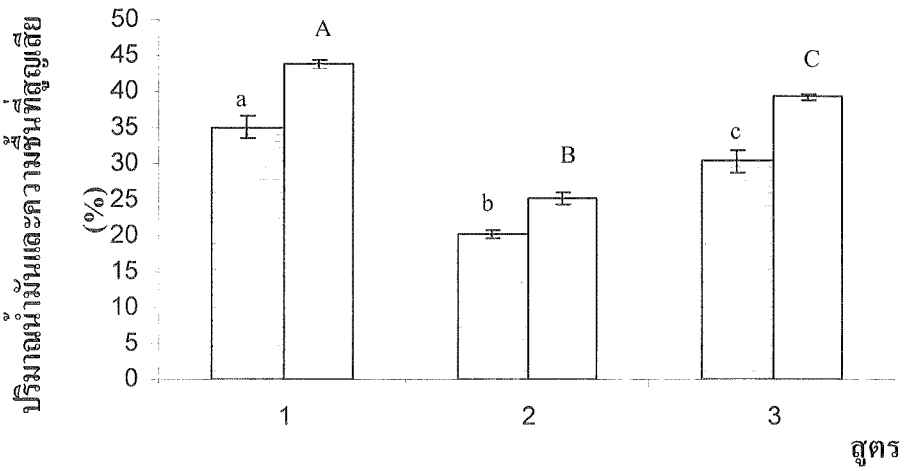
ถดถอยพบว่าค่าการยึดเกาะของแป้งบนเนื้อไก่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับค่าความหนืดโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9451 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและปริมาณการยึดเกาะของแป้งชุบทอดบนผลิตภัณฑ์

4.1.4 ผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำและการดูดซับน้ำมันของแป้งชุบทอด

กระบวนการทอดเป็นกระบวนการที่มีการส่งผ่านความร้อนจากน้ำมันไปสู่ชิ้นอาหาร ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของน้ำภายในชิ้นอาหารสู่ภายนอกและในขณะเดียวกันจะเกิดการแทนที่ของน้ำมันสู่ภายใน โดยไก่ชุบแป้งทอดทั้ง 3 สูตรมีการสูญเสียน้ำและการดูดซับน้ำมันดังในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณน้ำมันในแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตร
(▤ ปริมาณน้ำมัน,□ ปริมาณความชื้นที่สูญเสีย)

*แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือไม่ใช้แป้งดัดแปร, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn stabilizer), แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn and tapioca dextrin)

**ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

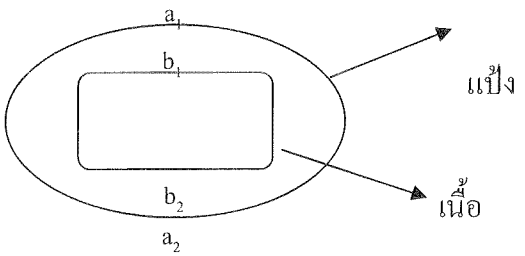
จากรูปที่ 4.5 พบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 มีการสูญเสียน้ำมากที่สุด รองลงมาคือแป้งชุบทอดสูตรที่ 3 และ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.94 ± 0.49%, 39.39 ± 0.37% และ 25.25 ± 0.87% ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อนำส่วนของแป้งภายหลังการทอดมาวิเคราะห์กลับพบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดด้วย รองลงมาคือ แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 และ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35.09 ± 1.53%, 30.50 ± 1.58% และ 20.29 ± 0.62% ตามลำดับ Krokida, Oreopoulou และ Maroulis (2000) ได้อธิบายกลไกการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดว่าการดูดซับน้ำมันในอาหารเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายหลังการทอด ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการทอดน้ำที่อยู่ในอาหารจะได้รับความร้อนและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งจะมีการเคลื่อนตัวออกมาตามท่อแคปิลารีที่มีอยู่ในอาหารหรือผ่านออกมาตามรอยแตกหรือช่องต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวของอาหาร ส่งผลให้อาหารมีการสูญเสียน้ำออกไปตลอดเวลาทำให้มีปริมาณความชื้นลดลง ในขณะเดียวกันความดันไอของน้ำที่เกิดขึ้นจะต้านไม่ให้น้ำมันที่อยู่ด้านนอกเข้ามาในอาหารแต่เมื่อนำอาหารออกจากน้ำมัน ผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิลดลงส่งผลให้ไอน้ำที่ยังตกค้างอยู่ตามช่องว่างเปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลวทำให้ความดันในตัวชิ้นอาหารมีค่าลดลง ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวของอาหารถูกดูดเข้าไปสะสมอยู่ในช่องว่างที่มีอยู่ในอาหาร ด้วยเหตุนี้แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 ซึ่งมีการสูญเสียน้ำมากที่สุดจึงมีช่องว่างมากที่สุดส่งผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำมันมากที่สุดด้วย ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 ซึ่งมีการสูญเสียความชื้นน้อยจึงมีปริมาณการดูดซับน้ำมันน้อย

จากผลการทดลองยังพบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำและปริมาณน้ำมันในแป้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสในแป้งชุบทอดอีกด้วย กล่าวคือแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 31.87 $\pm$ 0.25% มีการสูญเสียน้ำและมีปริมาณน้ำมันในแป้งน้อยที่สุด ในขณะที่แป้งสูตรที่ 1 ซึ่งมีอะมิโลสต่ำที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 28.47 $\pm$ 0.25% จะมีปริมาณการสูญเสียน้ำและมีปริมาณน้ำมันในแป้งมากที่สุดด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งชุบทอดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนจากการทอดจะทำให้บริเวณผิวมีการสูญเสียน้ำออกไปอย่างรวดเร็วและกลายเป็นเปลือกนอก (crust) ทำให้การถ่ายเทมวลสารของน้ำด้านในออกสู่ภายนอกของชิ้นอาหารเกิดช้าลง (ถิรนันท์ คุณานพรัตน์, 2543) ส่งผลให้แป้งสูตรนี้มีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ ซึ่งการสูญเสียน้ำในปริมาณน้อยนี้ยังส่งผลให้มีช่องว่างเกิดขึ้นในชิ้นอาหารน้อยด้วย ดังนั้นแป้งชุบทอดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจึงมีปริมาณน้ำมันต่ำไปด้วย

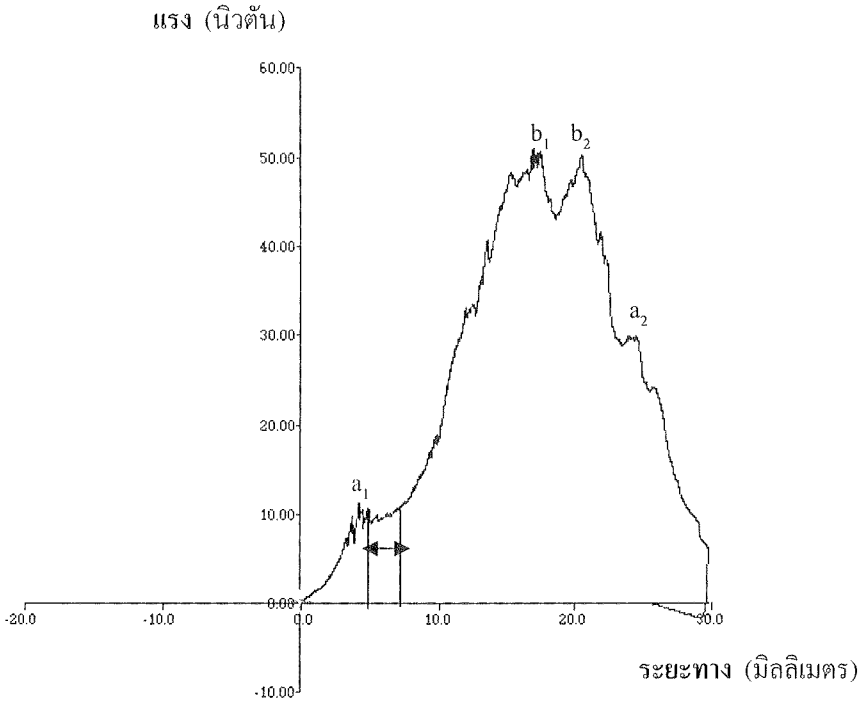
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดเกาะของแป้งชุบทอดกับปริมาณการสูญเสียน้ำและปริมาณน้ำมันในแป้งนั้นพบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 ซึ่งมีค่าการยึดเกาะของแป้งสูงที่สุดกลับมีปริมาณการสูญเสียน้ำและมีปริมาณน้ำมันในแป้งสูงซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Altunakar และคณะ (2004) ที่สรุปว่าแป้งชุบทอดที่มีค่าการยึดเกาะของแป้งสูงจะมีค่าปริมาณน้ำมันในแป้งต่ำที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากในงานวิจัยของ Altunakar และคณะ (2004) ใช้แป้ง pregelatinized starch ซึ่งมีคุณสมบัติในการจับน้ำได้ดี ดังนั้นตัวอย่างที่มีค่าการยึดเกาะของแป้งสูงก็มีปริมาณแป้งที่อุ้มน้ำอยู่ปริมาณมาก เมื่อนำไปทอดก็จะมีการสูญเสียความชื้นออกไปได้ช้าส่งผลให้มีการดูดซับน้ำมันได้น้อยไปด้วย

4.1.5 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของไก่ชุบทอดทำโดยใช้หัวทดสอบแบบใบมีดกดลงบนตัวอย่างเพื่อตัดชิ้นตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน



รูปที่ 4.6 แบบจำลองไก่ชุบแป้งทอด



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงและระยะทางระหว่างการกดหัวทดสอบบนตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าเมื่อหัวทดสอบ (a_1) สัมผัสกับผิวตัวอย่าง (a_1) จะทำให้เกิดการแตกหักของเนื้อแป้ง ซึ่งทำให้เกิดยอดพีคเล็ก ๆ ขึ้นจำนวนหนึ่ง และเมื่อกดหัวทดสอบต่อไปเรื่อย ๆ จะทำให้ใบมีดเกิดแรงต้านมากขึ้นเนื่องจากกดถึงชั้นของเนื้อไก่ซึ่งจะทำให้เกิดพีคขึ้น 2 ยอด (b_1-b_2) เนื่องจากเป็นบริเวณผิวนอกของเนื้อไก่ซึ่งมีความแข็งมากกว่าเนื้อที่อยู่ภายในหลังจากนั้นใบมีดจะเคลื่อนตัวลงไปสัมผัสกับชั้นของแป้งที่อยู่ด้านล่าง (a_2) ซึ่งมีความแข็งน้อยกว่าเนื้อไก่จึงส่งผลให้ค่าแรงลดลงอีกครั้ง ปรากฏการณ์ข้างต้นทำให้สามารถวิเคราะห์ค่าความแข็งของแป้ง (hardness) จากค่าแรงสูงสุดที่ได้จากยอดพีคในกลุ่ม a_1 ค่าความกรอบ (crispness) จากจำนวนยอดพีคในกลุ่ม a_1 และค่าการเกาะติดของแป้ง (adhesion) จากระยะทางที่อยู่ระหว่างยอดพีคสุดท้ายในกลุ่ม a_1 และจุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างยอดพีคสุดท้ายในกลุ่ม a_1 กับระยะที่เริ่มมีแรงต้านการกดของหัวทดสอบอีกครั้ง สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใช้แป้งชุบทอดสูตรต่าง ๆ ต่อค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่ง ๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอด

ตัวอย่าง*	ความแข็ง** (นิวตัน)	ความกรอบ** (จำนวนพีค)	ค่าการเกาะติดของแป้ง*** (มม.)
แป้งชุบทอดสูตรที่ 1	$7.55^{a} \pm 1.52$	$2.0^{a} \pm 0.71$	0.5 ± 0.3
แป้งชุบทอดสูตรที่ 2	$12.99^{b} \pm 2.01$	$4.8^{b} \pm 1.31$	0.6 ± 0.1
แป้งชุบทอดสูตรที่ 3	$10.27^{c} \pm 0.85$	$3.8^{b} \pm 1.10$	0.6 ± 0.2

*แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือไม่ใช้แป้งดัดแปร, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn stabilizer), แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn and tapioca dextrin)

** ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*** ns หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าแป้งชุบทอดแต่ละสูตรมีค่าความแข็งและความกรอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือแป้งชุบทอดที่ใช้แป้งดัดแปรสูตรที่ 2 และ สูตรที่ 3 มีค่าความแข็งและความกรอบมากกว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 ซึ่งใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 ซึ่งการใช้แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะให้แป้งชุบทอดมีลักษณะแข็งและกรอบ (Altunakar และคณะ 2004) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากในระหว่างที่แป้งได้รับความร้อนเม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นและมีการปลดปล่อยอะมิโลสออกมา ซึ่งอะมิโลสเหล่านี้จะไปเคลือบอยู่ด้านนอกของชิ้นอาหารทำให้ชะลอการสูญเสียน้ำออกจากอาหาร ในขณะเดียวกันก็จะป้องกันการดูดซับน้ำมันเข้าไปในชั้นอาหารด้วย ดังนั้นเมื่ออาหารมีการดูดซับน้ำมันน้อยก็จะทำให้เนื้อสัมผัสที่มีความแข็งและกรอบมากขึ้นด้วย

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบทอด

สีเป็นลักษณะที่สำคัญต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ชุบทอดโดยสีในอุดมคติของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดนี้คือสีน้ำตาลทอง (light golden brown) เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการทอด Ngadi และคณะ (2007) พบว่าการทอดที่อุณหภูมิ 190° C เป็นเวลา 5 นาทีจะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้สภาวะดังกล่าวในการทอด ผลิตภัณฑ์ชุบทอดที่ใช้แป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสีของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบทอดสูตรต่าง ๆ

ตัวอย่าง	L^{ns}	a^{ns}	b^{ns}
แป้งชุบทอดสูตรที่ 1	47.64 ± 1.19	10.11 ± 1.85	18.09 ± 0.76
แป้งชุบทอดสูตรที่ 2	47.64± 1.79	10.00 ± 1.15	17.78 ± 1.02
แป้งชุบทอดสูตรที่ 3	47.18 ±2.63	9.98 ± 0.55	17.54± 1.34

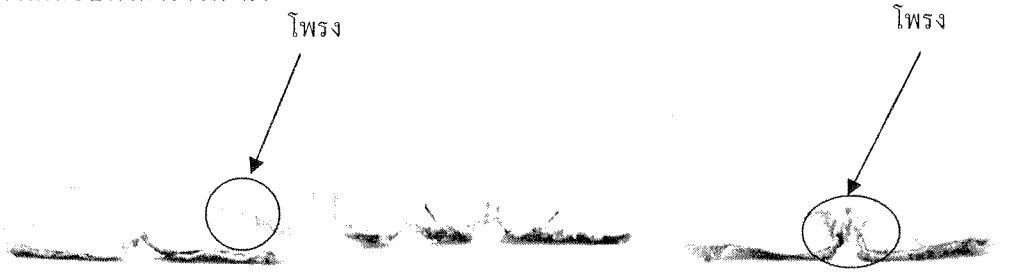
*แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือไม่มีการแปรชนิดแป้งดัดแปร, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn stabilizer), แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn and tapioca dextrin)

**ns ค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวตั้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าแป้งทอดที่ใช้ส่วนผสมของแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตร มีค่าความสว่าง (lightness; *L*), ค่าสีแดง (redness; *a*) และ ค่าสีเหลือง (yellowness ; *b*) แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่า *L* อยู่ในช่วง 47.18-47.64 ค่า a อยู่ในช่วง 9.98-10.11 และค่า b อยู่ในช่วง 17.54-18.09 ผลการทดลองบ่งชี้ว่าชนิดของแป้งที่ใช้ในสูตรแป้งชุบทอดมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Altunakar และคณะ (2004) ที่พบว่าค่าสีของแป้งชุบทอดที่เตรียมจากแป้งข้าวโพด, waxy corn, amylomaize และ pregelatinized tapioca แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.1.7 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

เมื่อนำไก่ชุบทอดที่ใช้แป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตร (รูปที่ 4.8) มาทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9-scale hedonic และทดสอบการยอมรับรวมโดยใช้วิธีจัดลำดับ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.8 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากแป้งชุบทอดสูตรต่าง ๆ
(ก – แป้งชุบทอดสูตรที่ 1, ข – แป้งชุบทอดสูตรที่ 2, ค – แป้งชุบทอดสูตรที่ 3)

จากรูปที่ 4.8 พบว่าผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรมีลักษณะใกล้เคียงกันคือ มีสีเหลืองทอง และมีกลิ่นหอมของอาหารชุบทอด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเนื้อสัมผัสของตัวอย่างทั้งหมดพบว่าถึงแม้จะมีลักษณะพองกรอบที่คล้ายคลึงกันแต่ตัวอย่างที่ใช้แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 และ 3 มีโพรงหรือช่องว่างระหว่างแป้งชุบทอดกับเนื้อไก่ซึ่งถือเป็นข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่าใน 2 ตัวอย่างมีการอมน้ำมันมากกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งชุบทอดสูตร 2

ตารางที่ 4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอดที่แปรแป้งดัดแปรในแต่ละสูตร

ตัวอย่าง	คุณลักษณะ			
	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบโดยรวม
แป้งชุบทอดสูตรที่ 1	7.67 ± 0.65	6.58± 1.31	6.58± 1.17	3
แป้งชุบทอดสูตรที่ 2	7.0± 1.48	6.58± 0.90	7.17± 1.03	1
แป้งชุบทอดสูตรที่ 3	7.17 ± 1.27	6.42 ± 1.56	7.0 ± 1.48	2

*แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ สูตรควบคุมหรือไม่มีการแปรชนิดแป้งดัดแปร

แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispfilm (high amylose corn stabilizer)

แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ สูตรที่เติมแป้งดัดแปรชนิด Crispcoat (high amylose corn and tapioca dextrin)

ns ค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวตั้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในส่วนของผลการประเมินคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างไก่ชุบแป้งทอดทั้ง 3 สูตร พบว่าผู้บริโภคมีความชอบในสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอดทั้ง 3 สูตรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยจากตารางที่ 4.4 พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรอยู่ในระดับชอบปานกลาง-ชอบมาก ชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลางและชอบเล็กน้อยตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อให้ผู้ทดสอบจัดลำดับความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 เป็นอันดับแรกรองลงมาคือ สูตรที่ 3 และ 1 ตามลำดับ

จากการประเมินคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมีและทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าแป้งชุบทอดที่มีการเติมแป้งดัดแปรสูตรที่2 มีคุณสมบัติที่เหมาะสม คือ สามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุดและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคเป็นอันดับแรก ดังนั้นในการทดสอบขั้นต่อไปจะนำแป้งดัดแปร Crispfilm ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในสูตรที่ 2 ไปพัฒนาสูตรหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการลดการดูดซับน้ำมันในขั้นตอนต่อไป

4.1.8 การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของแป้งชุบทอดกับปริมาณน้ำมันในแป้ง

เมื่อนำคุณสมบัติของแป้งอันได้แก่ ปริมาณอะมิโลส ค่าการเกาะติดของแป้งบนผลิตภัณฑ์ ค่าความหนืด ปริมาณการสูญเสียน้ำ มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันในแป้งพบว่าได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของแป้งชุบทอดกับปริมาณน้ำมันในแป้ง

ความสัมพันธ์	R^2
Oil adsorption = 0.006 (peak viscosity) + 18.397	0.060
Oil adsorption = 0.016 (trough viscosity) + 10.270	0.098
Oil adsorption = 0.009 (breakdown) + 24.396	0.030
Oil adsorption = 0.003 (final viscosity) + 22.083	0.021
Oil adsorption = 0.001 (setback) + 26.844	0.002
Oil adsorption = 38.041 (peak time) -212.552	0.124
Oil adsorption = -1.682 (pasting temperature) + 172.747	0.355
Oil adsorption = -4.101 (amylose content) + 150.959	1.000
Oil adsorption = 0.775 (% moisture lost) + 0.567	0.995

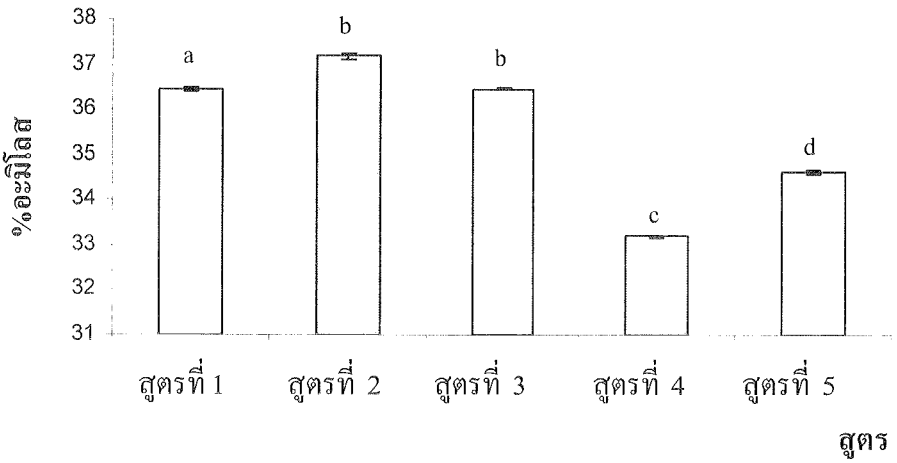
จากตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณอะมิโลสและปริมาณความชื้นที่สูญเสียเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดซับน้ำมันในแป้งโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่เท่ากับ 1.00 และ 0.995 ตามลำดับ ซึ่งความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในแป้งชุบทอดได้

4.2 การศึกษาหาสูตรแป้งที่เหมาะสม

จากการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของแป้งดัดแปรที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันและลักษณะต่าง ๆ ของไก่ชุบแป้งทอดจากข้อ 4.1 พบว่าการทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งดัดแปรชนิดแป้งข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูง (Crispfilm) สามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุดและได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด ดังนั้นจึงนำแป้งดัดแปรชนิดนี้มาพัฒนาต่อโดยเตรียมแป้งชุบทอด 10 สูตรเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมซึ่ง 5 สูตรแรกเป็นแป้งชุบทอดที่ไม่ได้เติมเมทิลเซลลูโลส ส่วน 5 สูตรหลัง มีการเติม เมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักลงไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากมีหลักฐานงานวิจัยพบว่า เมทิลเซลลูโลสมีส่วนช่วยลดการอมน้ำมันในอาหาร (Salvador และคณะ, 2007)

4.2.1 ปริมาณอะมิโลส

เมื่อนำแป้งชุบทอดมาวิเคราะห์หาปริมาณอะมิโลสพบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.9

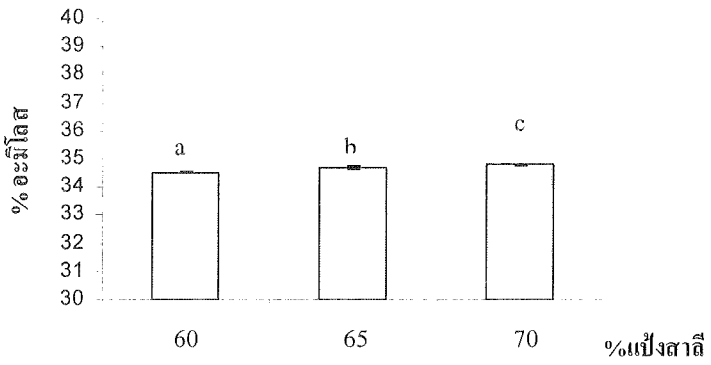


รูปที่ 4.9 ปริมาณอะมิโลสในแป้งชุบทอดทั้ง 5 สูตร

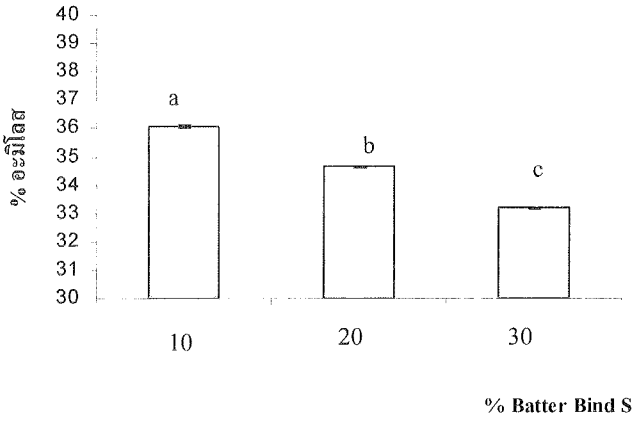
* แป้งชุบทอดสูตรที่ 1 คือ แป้งชุบทอดที่มี แป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm เท่ากับ 70:20:10, แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 คือ แป้งชุบทอดที่มี แป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm เท่ากับ 70:10:20, แป้งชุบทอดสูตรที่ 3 คือ แป้งชุบทอดที่มี แป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm เท่ากับ 60:20:20, แป้งชุบทอดสูตรที่ 4 คือ แป้งชุบทอดที่มี แป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm เท่ากับ 60:30:10, แป้งชุบทอดสูตรที่ 5 คือ แป้งชุบทอดที่มี แป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm เท่ากับ 65:20:15

** ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

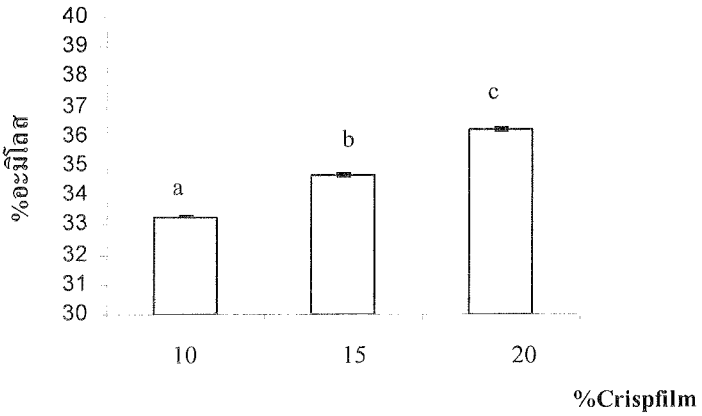
สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในงานวิจัยนี้จะทำเฉพาะสูตรที่ 1-5 ทั้งนี้เนื่องจากสูตรที่ 6-10 มีองค์ประกอบทั้งหมดเหมือนกับแป้งชุบทอดสูตรที่ 1-5 แต่มีการเติมเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 1% ลงไป จากรูปที่ 4.9 พบว่าแป้งชุบทอดทั้ง 10 สูตรมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 และ 3 มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวคือมีค่าอยู่ในช่วง 36.10–36.67% รองลงมาคือ แป้งชุบทอดสูตรที่ 1, 5 และ 4 ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วง 32.93-34.65% ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 และ 3 มีการใช้แป้งดัดแปร Crispfilm ซึ่งเป็นแป้งข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูงในปริมาณสูงที่สุดคือ 20% ในขณะที่สูตรที่ 1, 4 และ 5 มีการใช้แป้งชนิดนี้เท่ากับ 10, 10 และ 15% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดแป้งที่ใช้ต่อปริมาณอะมิโลสพบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.10



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.10 อิทธิพลของแป้งต่อปริมาณอะมิโลสในแป้งชุบทอด
(ก – อิทธิพลของแป้งสาลีที่มีต่อปริมาณอะมิโลส, ข – อิทธิพลของ Batter Bind Sที่มีต่อปริมาณอะมิโลส, ค – อิทธิพลของ Crispfilm ที่มีต่อปริมาณอะมิโลส)

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.10 พบว่าชนิดของแป้งมีผลต่อปริมาณอะมิโลสในแป้งชุบทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งสาลีลงในสูตรจะทำให้แป้งชุบทอดที่ได้มีปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 4.10 ก) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณ Batter Bind S กลับทำให้ปริมาณแป้งชุบทอดมีปริมาณอะมิโลสที่ลดลงจาก 36.10 $\pm$ 0.04% เป็น 33.32 $\pm$ 0.06% (รูปที่ 4.10 ข) ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของ Batter Bind S บริสุทธิ์พบว่ามีค่าเท่ากับ 31.67 $\pm$ 0.21% ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณอะมิโลสในแป้งสาลีซึ่งมีค่าเพียง 28.94 $\pm$ 0.12% ดังนั้นเมื่อนำมาทดแทนแป้งสาลีซึ่งน่าที่จะทำให้แป้งชุบทอดมีค่าปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณการทดแทนสูงขึ้น แต่เนื่องจากสภาวะที่มีการใช้ Batter Bind S ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 10% นั้นมีการใช้แป้งดัดแปร Crispfilm (ซึ่งในสภาวะที่บริสุทธิ์จะมีปริมาณอะมิโลสสูง 63.40 $\pm$ 0.50%) ทดแทนสูงถึง 20% ดังนั้นปริมาณอะมิโลสที่สูงจึงเป็นผลมาจากการใช้แป้ง Crispfilm โดยจะสังเกตได้ชัดเจนในรูป 4.10 ค ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณ Crispfilm จาก 10% เป็น 20% จะทำให้แป้งชุบทอดมีปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นจาก 33.29 $\pm$ 0.11% เป็น 36.24 $\pm$ 0.05%

4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลจี

ชนิดและปริมาณแป้งที่ใช้มีผลต่อคุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอด นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการเติมเมทิลเซลลูโลสลงไปในระบบจะมีผลต่อความหนืดของแป้งชุบทอดอีกด้วยสำหรับในตารางที่ 4.6 แสดงถึงคุณสมบัติของแป้งชุบทอดทั้ง 10 สูตร โดย 5 สูตรแรกจะไม่เติมเมทิลเซลลูโลสส่วน 5 สูตรหลังจะมีองค์ประกอบเช่นเดียวกับ 5 สูตรแรกแต่มีการเติมเมทิลเซลลูโลสลงไปด้วย จากผลการทดลองพบว่าในกลุ่มของแป้งชุบทอด 5 สูตรแรกนั้นแป้งชุบทอดสูตรที่ 4 มีค่า peak viscosity, trough, final viscosity, breakdown และ setback สูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือแป้งชุบทอดสูตรที่ 5, 3, 1 ซึ่งมีค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรที่ 2 มีค่าความหนืดในทุกพารามิเตอร์ต่ำกว่าแป้งชุบทอด ทั้งนี้เนื่องจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 4 มีแป้ง Batter Bind S ซึ่งเป็นแป้งข้าวโพดที่ผ่านการดัดแปรให้มีคุณสมบัติด้านการเกาะติดอยู่ในปริมาณสูงที่สุด คือ 30% ซึ่งจากการศึกษา amylograph ของแป้ง Batter Bind S บริสุทธิ์พบว่าแป้งชนิดนี้ค่าความหนืดสูงกว่าแป้งสาลีและแป้ง Crispfilm บริสุทธิ์ โดยพบว่ามีค่า peak viscosity เท่ากับ 3405 cP, มีค่า trough เท่ากับ 2362 cP และค่า final viscosity เท่ากับ 4462 cP (ภาคผนวกที่ ก.7) ดังนั้นการมี Batter Bind S เป็นองค์ประกอบในปริมาณมากจึงส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งชุบทอดด้วย เหตุผลข้างต้นยังสามารถอธิบายถึงสาเหตุที่แป้งชุบทอดสูตรที่ 1, 3 และ 5 มีค่า peak viscosity, trough และ final viscosity แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ว่ามีสาเหตุมาจากแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรมีการใช้แป้ง Batter Bind S ในปริมาณเท่ากัน คือ 20%

นอกจากจะอธิบายคุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอดที่ได้ในเทอมของแป้ง Batter Bind S แล้วยังอธิบายโดยใช้ค่าอะมิโลสได้อีกด้วย Zaidul และคณะ (2007) รายงานว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสมาก จะพองตัวได้ยากซึ่งจะส่งผลให้มีความหนืดน้อยลง รายงานดังกล่าวสอดคล้องกับผลงานวิจัยนี้ กล่าวคือแป้งชุบทอดที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (สูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีการใช้ Crispfilm 20%) จะมีค่าความหนืดต่ำกว่าแป้งชุบทอดสูตรที่

มีอะมิโลสต่ำกว่า (สูตรที่ 1, 4 และ 5 ซึ่งมีการใช้ Crispfilm 10-15%) ซึ่งผลที่ได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Blazek และ Copeland (2008) ดังที่ได้วิจารณ์ไว้แล้วในหัวข้อ 4.1 อนึ่งจากผลการทดลองในส่วนนี้ทำให้สรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณ Crispfilm ลงในสูตรแป้งชุบทอดจะทำให้แป้งชุบทอดมีปริมาณอะมิโลสมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้แป้งมีความหนืดลดลง ในขณะที่การเติม Batter Bind S ลงไปทำให้แป้งชุบทอดมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งเห็นได้ชัดเจนในสูตรที่ 2 (ใช้แป้ง Batter Bind S 10% และ Crispfilm 20%) และสูตรที่ 4 (ใช้แป้ง Batter Bind S 30% และ Crispfilm 10%) ที่มีค่าความหนืดต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ

สำหรับคุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอดสูตรที่ 6-10 ก็มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือแป้งชุบทอดสูตรที่ 9 ซึ่งใช้แป้ง Batter Bind S ในปริมาณมากที่สุดจะมีค่า peak viscosity, trough, final viscosity, breakdown และ setback สูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ แป้งชุบทอดสูตรที่ 10, 8, 6 และ 7 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบแป้งชุบทอดสูตรที่ 1-5 กับแป้งชุบทอดสูตรที่ 6-10 พบว่าแป้งชุบทอดกลุ่มหลังมีค่าความหนืดสูงขึ้นเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 6-10 ได้เติมเมทิลเซลลูโลส 1% ซึ่งเมื่อเมทิลเซลลูโลสได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสภาพจากสารละลายเป็นเจลจึงส่งผลให้ระบบมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบแป้งชุบทอดสูตรที่มีองค์ประกอบและสัดส่วนของแป้งเท่ากัน (เช่น สูตรที่ 1 กับสูตรที่ 6) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากตารางที่ 4.7 ยังพบว่าแป้งชุบทอดที่เติมเมทิลเซลลูโลสมีค่า peak time และ peak temperature สูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะระหว่างสูตรที่มีองค์ประกอบของแป้งเหมือนกันแล้วพบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ในส่วนของการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของแป้งต่อคุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอดนั้นได้แสดงผลดังตารางที่ 4.7 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการใช้ Batter Bind S ในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้แป้งชุบทอดมีค่า peak viscosity, trough, final viscosity, breakdown และ setback สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การลดปริมาณแป้งสาลีทำให้แป้งชุบทอดมีความหนืดลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความหนืดที่แสดงถึงอิทธิพลของแป้งสาลีในตารางที่ 4.6 นั้นแท้จริงแล้วจะมีผลของแป้ง Batter Bind S ที่มีอยู่ในสูตรแฝงอยู่ด้วย กล่าวคือสูตรที่ใช้แป้งสาลี 60% จะมีการใช้แป้ง Batter Bind S อยู่ถึง 20-30% ดังนั้นจึงส่งผลให้แป้งชุบทอดสูตรที่มีแป้งสาลีต่ำมีค่าความหนืดสูงกว่าแป้งชุบทอดที่มีแป้งสาลีสูงกว่า ส่วนผลของการเพิ่มปริมาณ Crispfilm ลงในสูตรแป้งชุบทอดนั้นพบว่าให้ผลไม่ชัดเจนนัก ซึ่งนอกจากจะอธิบายว่าเป็นผลมาจากแป้ง Batter Bind S ที่มีอยู่ในสูตรแล้วตัว Crispfilm เองก็มีความหนืดต่ำมาก (ภาคผนวกที่ ก.7) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแป้งชนิดนี้ลงในสูตรแป้งชุบทอด จึงมีผลต่อค่าความหนืดน้อยมาก (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอดแต่ละสูตร

หมายเหตุ - แป้งแต่ละสูตรมีอัตราส่วนระหว่างแป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm ดังนี้ สูตรที่ 1 เท่ากับ 70: 20: 10, สูตรที่ 2 เท่ากับ 70: 10: 20, สูตรที่ 3 เท่ากับ 60: 20: 20, สูตรที่ 4 เท่ากับ 60: 30: 10, สูตรที่ 5 เท่ากับ 65: 20: 15, สูตรที่ 6-10 มีอัตราส่วนเช่นเดียวกับสูตรที่ 1-5 ตามลำดับ แต่มีการเติม MC 1%

ตัวอย่าง	peak viscosity (cP)	trough (cP)	final viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback (cP)	peak time (นาที)	pasting temperature (°C)
แป้งชุบทอดสูตรที่ 1	$1367.0^{ac} \pm 73.37$	$1035.0^{ad} \pm 52.03$	$2006.0^{ac} \pm 10.06$	$332.0^{ac} \pm 55.75$	$971.0^{a} \pm 46.36$	$6.36^{ab} \pm 0.10$	$87.53^{a} \pm 1.46$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 2	$1078.33^{b} \pm 10.06$	$858.67^{b} \pm 7.09$	$1646.0^{b} \pm 59.81$	$219.67^{b} \pm 3.79$	$787.33^{b} \pm 52.77$	$6.37^{abc} \pm 0.14$	$90.90^{b} \pm 0.52$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 3	$1213.50^{ad} \pm 48.79$	$975.0^{ad} \pm 9.89$	$2000.0^{ac} \pm 151.0$	$238.50^{ab} \pm 38.89$	$959.67^{a} \pm 70.73$	$6.43^{abc} \pm 0.14$	$87.77^{a} \pm 2.60$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 4	$1541.33^{cf} \pm 62.18$	$1125.67^{d} \pm 48.56$	$2320.67^{d} \pm 93.33$	$415.67^{dc} \pm 31.88$	$1195.0^{c} \pm 79.04$	$6.23^{a} \pm 0.08$	$83.93^{c} \pm 2.13$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 5	$1369.33^{ac} \pm 41.10$	$992.33^{ac} \pm 9.39$	$2063.67^{c} \pm 39.95$	$408.0^{cd} \pm 5.68$	$1071.33^{d} \pm 38.42$	$6.45^{bcd} \pm 0.04$	$87.73^{a} \pm 1.29$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 6	$1469.0^{c} \pm 41.48$	$1121.67^{d} \pm 52.77$	$2012.0^{ac} \pm 43.14$	$360.33^{cd} \pm 25.77$	$890.33^{a} \pm 39.80$	$6.61^{d} \pm 0.09$	$87.95^{a} \pm 0.70$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 7	$1136.67^{bc} \pm 42.85$	$866.0^{b} \pm 31.13$	$1645.50^{b} \pm 34.65$	$248.75^{b} \pm 4.35$	$785.67^{b} \pm 10.97$	$6.37^{a\,b} \pm 0.14$	$89.79^{b} \pm 3.08$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 8	$1246.33^{de} \pm 9.71$	$953.34^{bc} \pm 67.58$	$1743.33^{b} \pm 52.34$	$327.0^{ac} \pm 38.18$	$790.0^{b} \pm 42.44$	$6.53^{cd} \pm 0.2$	$90.12^{ab} \pm 0.37$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 9	$1622.67^{f} \pm 24.58$	$1232.25^{c} \pm 17.57$	$2192.0^{d} \pm 15.43$	$394.25^{cd} \pm 80.63$	$953.0^{a} \pm 2.65$	$6.54^{cd} \pm 0.08$	$83.95^{c} \pm 1.46$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 10	$1461.50^{c} \pm 14.85$	$1050.67^{ad} \pm 40.28$	$1911.67^{a} \pm 31.34$	$434.0^{c} \pm 19.80$	$901.0^{a} \pm 11.31$	$6.55^{cd} \pm 0.06$	$88.45^{ab} \pm 0.83$

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

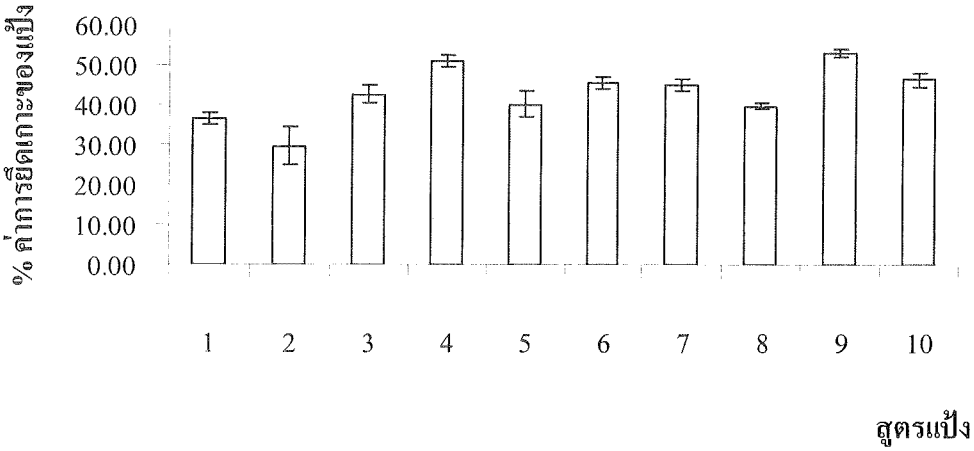
ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของชนิดแป้งต่อคุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอด

ชนิดของแป้ง	ความเข้มข้น (%)	peak viscosity (cP)	trough (cP)	final viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback (cP)	peak time (นาที)	pasting temperature (°C)
แป้งสาลี	70	$12566.69^{a} \pm 158.45$	$970.08^{a} \pm 116.03$	$1820.0^{a} \pm 188.52$	$289.31^{a} \pm 62.08$	$857.08^{a} \pm 84.53$	$6.42^{a} \pm 0.16$	$89.54^{a} \pm 1.85$
	65	$1409.40^{b} \pm 62.12$	$1019.60^{ab} \pm 46.12$	$1997.20^{b} \pm 96.29$	$353.84^{b} \pm 66.29$	$980.25^{b} \pm 154.24$	$6.45^{a} \pm 0.18$	$88.20^{ab} \pm 2.89$
	60	$1447.92^{b} \pm 171.46$	$1082^{b} \pm 127.05$	$2063.83^{b} \pm 247.81$	$407.60^{c} \pm 49.06$	$999.20^{b} \pm 102.45$	$6.51^{a} \pm 0.09$	$86.45^{b} \pm 1.12$
Batter Bind S	10	$1124.34^{a} \pm 70.22$	$875.50^{a} \pm 41.44$	$1656.0^{a} \pm 51.33$	$242.34^{a} \pm 31.47$	$796.0^{a} \pm 40.02$	$6.34^{a} \pm .011$	$90.78^{a} \pm 0.85$
	20	$1373.39^{b} \pm 132.59$	$1032.17^{b} \pm 103.23$	$1956.06^{b} \pm 172.53$	$344.39^{b} \pm 55.05$	$929.12^{b} \pm 106.16$	$6.50^{b} \pm 0.14$	$88.16^{b} \pm 2.17$
	30	$1548.67^{c} \pm 70.14$	$1144.34^{c} \pm 81.42$	$2211.17^{c} \pm 160.54$	$398.67^{c} \pm 38.13$	$1066.84^{c} \pm 149.92$	$6.37^{ab} \pm 0.18$	$85.15^{c} \pm 2.33$
Crispfilm	10	$1452.54^{a} \pm 109.08$	$948.0^{a} \pm 79.94$	$1786.25^{a} \pm 147.64$	$361.46^{a} \pm 44.94$	$844.83^{a} \pm 127.64$	$6.43^{a} \pm 0.18$	$86.95^{a} \pm 2.31$
	15	$1409.40^{a} \pm 58.09$	$1019.60^{ab} \pm 41.51$	$1997.20^{b} \pm 89.23$	$407.60^{a} \pm 44.18$	$982.08^{b} \pm 98.76$	$6.51^{a} \pm 0.08$	$88.20^{ab} \pm 1.03$
	20	$1235.75^{b} \pm 122.58$	$1094.16^{b} \pm 91.60$	$2076.23^{b} \pm 171.78$	$275.67^{b} \pm 51.07$	$999.20^{b} \pm 88.42$	$6.43^{a} \pm 0.15$	$89.26^{b} \pm 1.91$

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการยึดเกาะของแป้งชุบทอดกับผลิตภัณฑ์

เมื่อนำแป้งชุบทอดทั้ง 10 สูตรมาวิเคราะห์หาค่าการยึดเกาะของแป้งชุบทอดบนผลิตภัณฑ์พบว่าได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าการยึดเกาะของแป้งชุบทอดกับผลิตภัณฑ์

* แป้งแต่ละสูตรมีอัตราส่วนระหว่างแป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm ดังนี้ สูตรที่ 1 เท่ากับ 70: 20: 10, สูตรที่ 2 เท่ากับ 70: 10: 20, สูตรที่ 3 เท่ากับ 60: 20: 20, สูตรที่ 4 เท่ากับ 60: 30: 10, สูตรที่ 5 เท่ากับ 65: 20: 15, สูตรที่ 6-10 มีอัตราส่วนเช่นเดียวกับสูตรที่ 1-5 ตามลำดับ แต่มีการเติม MC 1%

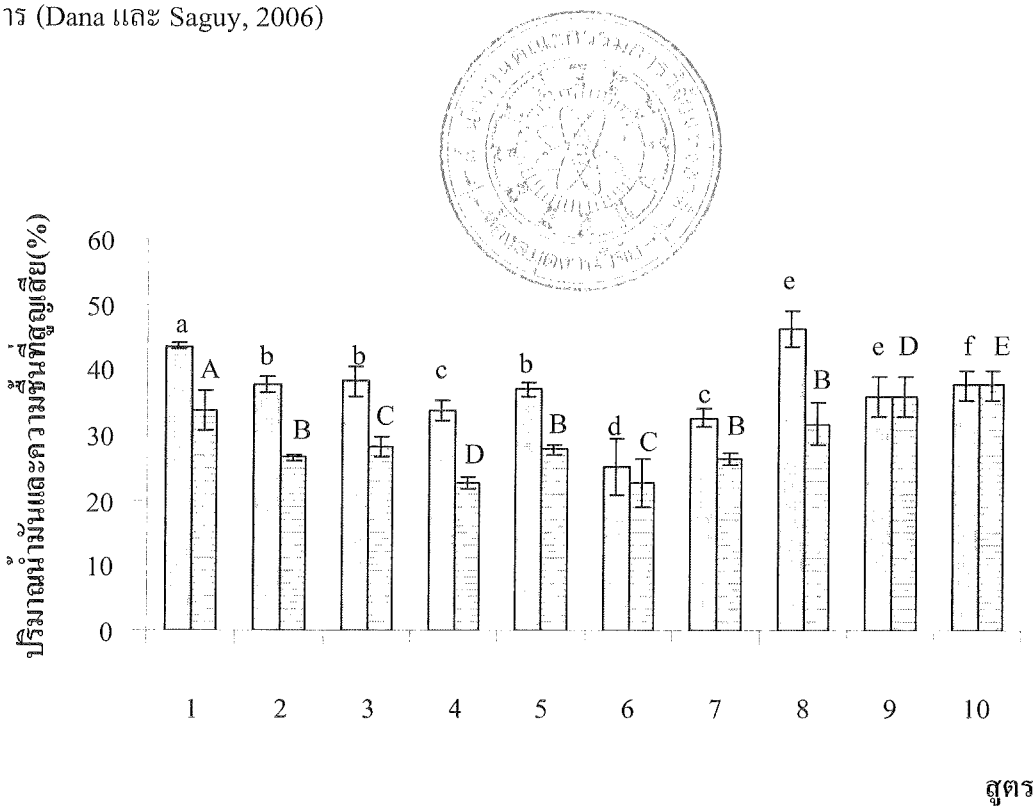
** ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Salvador, Sanz และ Fiszman (2004) พบว่าปริมาณแป้งที่เกาะบนผิวผลิตภัณฑ์มีค่าแปรผันตรงกับค่าความหนืดของแป้งชุบทอด ซึ่งรายงานดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ โดยจากรูปที่ 4.11 พบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 4 ซึ่งมีความหนืดสูงที่สุด (ตารางที่ 4.7) มีปริมาณแป้งที่ยึดเกาะบนตัวผลิตภัณฑ์สูงที่สุด คือมีค่าเท่ากับ $51.18 \pm 1.52\%$ รองลงมาคือ แป้งชุบทอดสูตรที่ 5, 1, 3 และ 2 ซึ่งมีปริมาณแป้งที่ยึดเกาะบนตัวผลิตภัณฑ์เท่ากับ $40.19 \pm 3.06\%$, $36.47 \pm 1.43\%$, $29.63 \pm 4.87\%$ และ $24.67 \pm 2.67\%$ ตามลำดับ

ในส่วนของแป้งชุบทอดสูตรที่ 6-10 พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับแป้งชุบทอดสูตรที่ 1-5 แต่มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย (เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่มีการใช้แป้งแต่ละชนิดในสัดส่วนที่เท่ากัน) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติมเมทิลเซลลูโลสจะทำให้แป้งชุบทอดมีความหนืดมากขึ้นส่งผลให้มีความสามารถเกาะบนผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้นด้วย

4.2.4 การสูญเสียน้ำและการดูดซับน้ำมัน

ในกระบวนการทอดเกิดการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) และ ถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี คือ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสที่กรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างการทอดจะเกิดการระเหยของน้ำภายในตัวผลิตภัณฑ์และน้ำมันซึมผ่านจากบริเวณรอบนอกผลิตภัณฑ์สู่ภายในชิ้นอาหาร (Dana และ Saguy, 2006)



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณไขมันในแป้งชุบทอดทั้ง10 สูตร
(▤ ปริมาณไขมัน□ ปริมาณความชื้นที่สูญเสีย)

* แป้งแต่ละสูตรมีอัตราส่วนระหว่างแป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm ดังนี้ สูตรที่ 1 เท่ากับ 70: 20: 10, สูตรที่ 2 เท่ากับ 70: 10: 20, สูตรที่ 3 เท่ากับ 60: 20: 20, สูตรที่ 4 เท่ากับ 60: 30: 10, สูตรที่ 5 เท่ากับ 65: 20: 15, สูตรที่ 6-10 มีอัตราส่วนเช่นเดียวกับสูตรที่ 1-5 ตามลำดับ แต่มีการเติม MC 1%

** ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับคุณสมบัติด้านปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปและปริมาณน้ำมันของแป้งทอดนั้นจะอธิบายโดยใช้คุณสมบัติด้านความหนืดและปริมาณอะมิโลส จากรูปที่ 4.12 พบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 4 มีปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปและปริมาณน้ำมันน้อยกว่าแป้งทอดจากแป้งชุบทอดสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือมีค่า $33.59 \pm 1.59\%$ และ $22.65 \pm 0.86\%$ ตามลำดับ ในขณะที่แป้งทอดจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 5, 3 และ 2 มีปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณน้ำมันทั้งหมดลดลงตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจอธิบายได้โดยใช้คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้ง กล่าวคือแป้งชุบทอดสูตรที่ 4 มีความหนืดสูงสุด ดังนั้นโมเลกุล

ของน้ำส่วนใหญ่จึงผูกพันกับองค์ประกอบ ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกไปได้น้อยและทำให้มีช่องว่างให้น้ำมันเข้ามาแทนที่ได้น้อยเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณน้ำมันทั้งหมดอาจอธิบายโดยใช้ปริมาณอะมิโลสกล่าวคือ จากรูปที่ 4.12 พบว่าแป้งทอดจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 2, 3 และ 5 มีปริมาณความชื้นที่สูญเสีย (36.95-38.11%) และปริมาณน้ำมัน (24.56-28.14%) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการที่แป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรมีปริมาณอะมิโลสใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 34.65-36.37% เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณน้ำมันทั้งหมดของแป้งทอดจากแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรข้างต้นกับสูตรที่ 1 (ซึ่งมีค่า $43.50 \pm 0.52\%$ และ $33.68 \pm 3.16\%$ ตามลำดับ) พบว่าแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรข้างต้นมีค่าปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณน้ำมันทั้งหมดต่ำกว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 พบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 มีปริมาณอะมิโลสต่ำสุดคือ $32.93 \pm 0.04\%$ ซึ่งเมื่อนำค่าอะมิโลสมาเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าแป้งชุบทอดสูตรที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีปริมาณการสูญเสียน้ำและการดูดซับน้ำมันน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Light (1990) สำหรับผลการเติมเมทิลเซลลูโลสต่อปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณน้ำมันทั้งหมดในแป้งพบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งชุบทอดสูตรที่ใช้ชนิดและปริมาณเท่ากัน (เช่น แป้งสูตรที่ 1 และสูตรที่ 6) พบว่าการเติมเมทิลเซลลูโลสลงไปในแป้งชุบทอดสูตรที่ 1 และ 2 ทำให้แป้งทอดมีปริมาณความชื้นที่สูญเสียลดลงจาก $43.50 \pm 0.52\%$ เป็น $25.09 \pm 4.39\%$ และ $37.52 \pm 1.23\%$ เป็น $32.57 \pm 1.40\%$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดซึ่งมีค่าลดลงจาก $33.68 \pm 3.16\%$ เป็น $22.74 \pm 3.68\%$ และ $26.86 \pm 0.42\%$ เป็น $22.64 \pm 0.14\%$ ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในขณะที่ได้รับความร้อนในระหว่างการทอดเมทิลเซลลูโลสจะมีความหนืดสูงขึ้นและเกิดเป็นเจลอยู่รอบชิ้นแป้ง ซึ่งจะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นแป้ง ส่งผลให้น้ำมันไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sanz, Salvador และ Fiszman (2002) รายงานว่าความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นที่สูญเสียลดลงส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ อย่างไรก็ตามแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดสูตรที่ 8-10 ให้ผลที่ขัดแย้งจากแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดสูตรที่ 6-7 กล่าวคือการเติมเมทิลเซลลูโลสลงไปกลับทำให้แป้งทอดมีการสูญเสียความชื้นและปริมาณน้ำมันทั้งหมดเพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ยังไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายได้

4.2.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัส

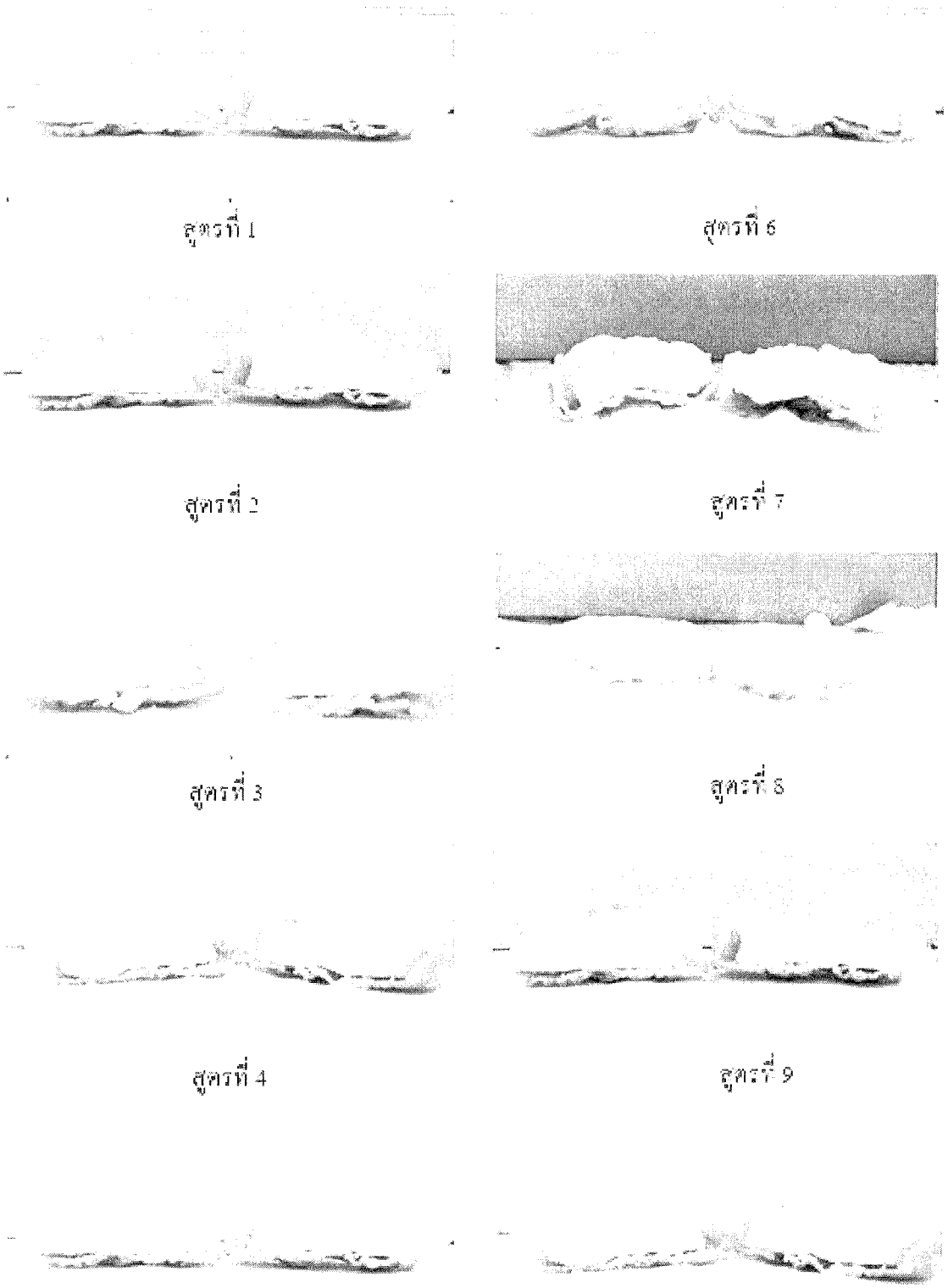
ความกรอบเป็นอีกปัจจัยที่แสดงออกถึงคุณภาพและคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด เนื่องมาจากผู้บริโภคส่วนมากนิยมรับประทานผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่มีความกรอบ โดยในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาผลกระทบจากปริมาณของแป้งดัดแปรที่แปรค่าในแต่ละสูตรและ MC ที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอด

ตัวอย่าง*	ความแข็ง** (N)	ความกรอบ** (จำนวน peak)	ระยะทางระหว่างยอด** (มม.)
แป้งชุบทอดสูตรที่ 1	$10.60^{acd} \pm 1.23$	$3.6^{acd} \pm 1.14$	$0.4^{a} \pm 0.1$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 2	$13.83^{e} \pm 1.67$	$4.6^{d} \pm 0.55$	$0.5^{a} \pm 0.1$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 3	$11.98^{cde} \pm 1.85$	$3.8^{cd} \pm 0.84$	$0.4^{a} \pm 0.2$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 4	$8.16^{b} \pm 1.15$	$3.6^{acd} \pm 1.14$	$0.3^{a} \pm 0.3$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 5	$10.97^{acde} \pm 1.67$	$3.0^{abc} \pm 0.71$	$0.6^{a} \pm 0.3$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 6	$8.28^{b} \pm 1.78$	$2.4^{ab} \pm 0.89$	$0.5^{a} \pm 0.2$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 7	$12.31^{de} \pm 1.38$	$4.6^{d} \pm 0.89$	$0.4^{a} \pm 0.1$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 8	$10.02^{abc} \pm 1.59$	$3.4^{ac} \pm 0.55$	$0.5^{a} \pm 0.1$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 9	$9.44^{ab} \pm 1.65$	$2.2^{b} \pm 0.84$	$0.4^{a} \pm 0.2$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 10	$9.88^{abc} \pm 1.22$	$2.0^{b} \pm 0.71$	$0.5^{a} \pm 0.1$

* แป้งแต่ละสูตรมีอัตราส่วนระหว่างแป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm ดังนี้ สูตรที่ 1 เท่ากับ 70: 20: 10, สูตรที่ 2 เท่ากับ 70: 10: 20, สูตรที่ 3 เท่ากับ 60: 20: 20, สูตรที่ 4 เท่ากับ 60: 30: 10, สูตรที่ 5 เท่ากับ 65: 20: 15, สูตรที่ 6-10 มีอัตราส่วนเช่นเดียวกับสูตรที่ 1-5 ตามลำดับ แต่มีการเติม MC 1%

** ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.13 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากแป้งขนมอสูตรต่างๆ

ตารางที่ 4.9 อิทธิพลของชนิดแป้งต่อคุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้งชุบทอด

ชนิดของแป้ง	ความเข้มข้น	ความแข็ง** (N)	ความกรอบ** (จำนวน peak)
แป้งสาลี	70	$11.26^{a} \pm 2.54$	$3.80^{a} \pm 0.44$
	65	$10.43^{ab} \pm 1.49$	$3.25^{b} \pm 0.65$
	60	$9.89^{b} \pm 2.11$	$3.25^{a} \pm 0.89$
Batter Bind S	10	$13.07^{a} \pm 1.66$	$4.60^{a} \pm 0.68$
	20	$10.29^{b} \pm 1.86$	$3.03^{b} \pm 1.14$
	30	$8.80^{c} \pm 1.66$	$2.90^{b} \pm 1.23$
Crispfilm	10	$9.12^{a} \pm 1.69$	$2.95^{a} \pm 1.50$
	15	$10.43^{b} \pm 1.49$	$2.95^{ab} \pm 0.57$
	20	$12.04^{c} \pm 2.05$	$4.10^{b} \pm 0.67$

จากตารางที่ 4.8 พบว่าแป้งทอดจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 มีค่าความแข็งสูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)จากแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดสูตรอื่น ๆ คือมีค่าเท่ากับ 13.83 ± 1.67 นิวตัน รองลงมาคือ แป้งชุบทอดจากสูตรที่ 3, 5, 1 และ 4 ตามลำดับซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.98 ± 1.85, 10.77 ± 1.67, 10.60 ± 1.23 และ 8.16 ± 1.15 นิวตัน ตามลำดับ โดยแป้งทอดจากสูตรที่ 3 มีค่าความแข็งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($p > 0.05$) จากแป้งทอดจากสูตรที่ 2 และแป้งทอดจากสูตรที่ 5 มีค่าความแข็งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากแป้งทอดจากสูตรที่ 1 และ 3 ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าแป้งชุบทอดสูตรที่ 3 มีปริมาณอะมิโลสสูงที่สุด ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรที่ 4 มีปริมาณ อะมิโลสน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดแป้งต่อปริมาณอะมิโลสและค่าความแข็งของแป้งทอด กล่าวคือการเพิ่มปริมาณ Crispfilm ทำให้แป้งชุบทอดมีอะมิโลสสูงซึ่งส่งผลให้แป้งทอดมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 4.9) สำหรับอิทธิพลของแป้งสาลีและแป้ง Batter Bind S ต่อค่าความแข็งของแป้งทอดพบว่าการเพิ่มปริมาณกลับส่งผลให้แป้งทอดมีความแข็งลดลงปรากฏการณ์นี้อธิบายได้ในลักษณะเดียวกับอิทธิพลของชนิดแป้งต่อปริมาณอะมิโลส เมื่อพิจารณาความแข็งของแป้งทอดที่ได้จากแป้งทอดสูตรที่ 6-10 พบว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความแข็งเช่นเดียวกับแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดสูตรที่ 1-5 ทั้งนี้เนื่องจากแป้งชุบทอดทั้ง 2 ชุดมีองค์ประกอบของแป้งแต่ละชนิดเท่ากัน อย่างไรก็ตามแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดกลุ่มหลังคือสูตรที่ 6-10 มีเมทิลเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้แป้งทอดที่ได้มีค่าความแข็งต่ำกว่าแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดสูตรที่ 1-5 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.28-12.31 นิวตัน

สำหรับค่าความกรอบของแป้งทอดนั้นพบว่าปริมาณอะมิโลสมีผลต่อค่านี้ไม่ชัดเจนนัก อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.9 ก็ยังพบว่าแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 และ 3 (ในกลุ่มที่ไม่เติมเมทิลเซลลูโลส) และแป้งทอดที่ได้จากแป้งชุบทอดสูตรที่ 7 และ 8 (ในกลุ่มที่เติมเมทิลเซลลูโลส) มีค่าความกรอบสูงกว่าแป้งชุบทอดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ แป้งทอดจากแป้งชุบทอดสูตรที่ 2 และ 3มีค่าความกรอบอยู่ในช่วง 3.8-4.6 ส่วนแป้งชุบทอดสูตรที่ 7 และ 8 มีค่าอยู่ในช่วง 3.4-4.6 จากตารางที่ 4.8 ยังพบว่าแป้งชุบทอดทุกสูตรที่ระยะทางระหว่างยอด < 1 มม. ซึ่งแสดงว่าส่วนของแป้งชุบทอดอยู่ชิดกับส่วนของเนื้อไก่มาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในการทดลองนี้มีแป้ง Batter Bind S ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยให้แป้งเกาะติดบนเนื้อได้ดี

4.2.5 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอด จะทำโดยสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสโดยใช้ Scoring test จำนวนผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนเบื้องต้นจำนวน 12 คน มาทำการทดสอบคุณลักษณะดังกล่าว

ตารางที่ 4.10 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอดที่แปรแป้งดัดแปรในแต่ละสูตร

ตัวอย่าง*	คุณลักษณะ**			
	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
แป้งชุบทอดสูตรที่ 1	$4.07^{a} \pm 0.96$	$4.07^{a} \pm 1.07$	$4.29^{a} \pm 0.83$	$3.71^{a} \pm 0.73$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 2	$4.27^{a} \pm 0.96$	$4.14^{a} \pm 1.29$	$4.21^{a} \pm 0.58$	$3.50^{a} \pm 0.52$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 3	$4.07^{a} \pm 1.16$	$4.29^{a} \pm 0.83$	$4.14^{a} \pm 1.17$	$4.0^{a} \pm 1.04$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 4	$4.07^{a} \pm 0.80$	$4.21^{a} \pm 0.58$	$4.50^{a} \pm 0.65$	$4.21^{a} \pm 1.05$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 5	$3.87^{a} \pm 1.00$	$4.29^{a} \pm 0.73$	$4.0^{a} \pm 1.18$	$3.93^{a} \pm 1.38$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 6	$4.15^{a} \pm 0.86$	$3.93^{a} \pm 0.83$	$4.36^{a} \pm 0.84$	$3.71^{ad} \pm 0.61$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 7	$3.79^{a} \pm 1.05$	$4.36^{a} \pm 0.84$	$4.21^{a} \pm 0.70$	$3.43^{a} \pm 0.65$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 8	$4.21^{a} \pm 0.70$	$4.36^{a} \pm 0.84$	$4.64^{a} \pm 0.63$	$4.50^{c} \pm 0.52$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 9	$4.29^{a} \pm 0.61$	$4.0^{a} \pm 0.78$	$4.43^{a} \pm 0.65$	$4.50^{c} \pm 0.76$
แป้งชุบทอดสูตรที่ 10	$4.21^{a} \pm 0.70$	$3.71^{a} \pm 0.99$	$4.07^{a} \pm 0.73$	$4.21^{cd} \pm 0.89$

* แป้งแต่ละสูตรมีอัตราส่วนระหว่างแป้งสาลี: Batter Bind S: Crispfilm ดังนี้ สูตรที่ 1 เท่ากับ 70: 20: 10, สูตรที่ 2 เท่ากับ 70: 10: 20, สูตรที่ 3 เท่ากับ 60: 20: 20, สูตรที่ 4 เท่ากับ 60: 30: 10, สูตรที่ 5 เท่ากับ 65: 20: 15, สูตรที่ 6-10 มีอัตราส่วนเช่นเดียวกับสูตรที่ 1-5 ตามลำดับ แต่มีการเติม MC 1%

** ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอดทั้ง 5 สูตรแรก (ตารางที่ 4.10) พบว่าผู้ทดสอบลงความเห็นว่าไก่ทอดทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งในด้านสี กลิ่นรส

รสชาติ และเนื้อสัมผัส โดยผู้บริโภคให้ความเห็นว่าสีของไก่ชุบแป้งทอดเป็นสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นไก่ชุบแป้งทอดเล็กน้อยและไม่มีกลิ่นแปลกปลอมอื่น ๆ เช่น กลิ่นหืน เหม็นเปรี้ยว สามารถรับรู้ได้ถึงรสชาติของไก่ชุบแป้งทอด อมน้ำมันเล็กน้อย และไม่มีรสชาติอื่นที่ไม่ต้องการ เช่น รสเปรี้ยว รสขม กรอบปานกลาง ไม่เหนียวและไม่แข็งกระด้าง

ในส่วนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไก่ชุบแป้งทอดทั้ง 5 สูตรหลัง (ตารางที่ 4.10) พบว่าผู้ทดสอบลงความเห็นว่าไก่ทอดทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านสี กลิ่นรส รสชาติ แต่มีความแตกต่างด้านเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้บริโภคลงความเห็นว่าไก่ชุบแป้งทอดทั้ง 5 สูตรมีสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นไก่ชุบแป้งทอดเล็กน้อยและไม่มีกลิ่นแปลกปลอมอื่น ๆ เช่น กลิ่นหืน เหม็นเปรี้ยว รับรู้ได้ถึงรสชาติของไก่ชุบแป้งทอด อมน้ำมันเล็กน้อย และไม่มีรสชาติอื่นที่ไม่ต้องการ เช่น รสเปรี้ยว รสขม แต่ในด้านเนื้อสัมผัสผู้ทดสอบลงความเห็นว่าไก่ชุบแป้งทอดสูตรที่ 6 และ 7 มีรสชาติของไก่ชุบแป้งทอด อมน้ำมันปานกลาง และไม่มีรสชาติอื่นที่ไม่ต้องการ เช่น รสเปรี้ยว รสขม ส่วนไก่ชุบแป้งทอดสูตรที่ 8 และ 9 รับรู้ได้ถึงรสชาติของไก่ชุบแป้งทอด อมน้ำมันเล็กน้อย และไม่มีรสชาติอื่นที่ไม่ต้องการ เช่น รสเปรี้ยว รสขม