

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบหลักในการผลิต

การศึกษาในขั้นตอนนี้ ได้หาองค์ประกอบทางเคมีของเกล็ดมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป จากผลการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการโดยประมาณมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นโปรตีน โดยเกล็ดมันฝรั่งมีโปรตีนสูงสุดคือ 9.16% ซึ่งโปรตีนจะมีผลต่อการเกิดโครงสร้างของแป้ง ซึ่งโครงสร้างของแป้งเกิดจากการดูดกลืนน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน กล่าวคือ เมื่อเราเติมน้ำลงไป ในอาหารน้ำบางส่วนจะถูกโปรตีนดูดติดไว้กับโมเลกุล ทำให้เกิดก้อนแป้งที่มีลักษณะเรียบเนียน นอกจากนี้ แป้งซึ่งประกอบด้วย อะมิโลสและอะมิโลเพคติน มีผลต่อความกรอบ การพองตัว โดยแป้งที่มีอะมิโลสสูงจะมีความกรอบสูง เนื่องจากอะมิโลสมีคุณสมบัติในการเกิดเจลสูง ทำให้เกิดเจลได้ช้า เมื่อนำมาทอดจะปล่อยน้ำออกไปได้มากกว่าก่อนเกิดเจล ส่งผลให้ความกรอบเพิ่มขึ้น (Suderman and Cunningham, 1983 ; Whistler and Daniel, 1990) และปริมาณอะมิโลสที่มากในโครงสร้างจะมีผลทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้น้อย เมื่อผ่านการทอดความชื้นสุดท้ายต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความกรอบมาก นอกจากนี้ การที่แป้งมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ การเกิดกลไกในการแทนที่น้ำซึ่งระเหยออกไปขณะทอดด้วยน้ำมันมีน้อย ผลิตภัณฑ์จึงอมน้ำมันต่ำ (Saguy and Pinthus, 1995)

5.2 การปรับปรุงและสร้างอุปกรณ์ที่จำเป็นในการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป

พบว่าการทำงานแผ่นโดยการใช้เครื่องรีดแผ่นแป้ง ให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอสูง ผิวเรียบ เนื่องจากแรงกดจากลูกกลิ้งที่มีต่อแผ่นแป้งมีความสม่ำเสมอเท่ากันตลอดการรีดมากกว่าการทำงานแผ่นโดยใช้ลูกกลิ้งไม้ ส่วนการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ 2 แผ่นประกบกันแล้วใช้คัลปีหนีบแม่พิมพ์เอาไว้ ให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการ คือมีรูปร่างของผลิตภัณฑ์เหมือนกันทุกชิ้น และแม่พิมพ์ที่ใช้มีลักษณะเบา ดังนั้นเมื่อนำไปทอดในน้ำมัน ทำให้เกิดการลอยขึ้นของผลิตภัณฑ์ขณะทอด แต่จะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการอมน้ำมันเล็กน้อย อาจจะเนื่องจากระยะห่างระหว่างช่องน้อยเกินไป อัตราการแลกเปลี่ยนของน้ำกับน้ำมันในขณะทอดไม่พอดีกัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หลังทอดมีการอมน้ำมันในบางจุด ขณะที่การใช้รางสแตนเลสที่หนัก ผลิตภัณฑ์จะไม่ลอยขึ้นขณะทอด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวได้ไม่เต็มที่ผลิตภัณฑ์หลังทอดจึงมีลักษณะกรอบกระด้าง

5.3 คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า การเติมน้ำ 50.4 % ของส่วนผสมทั้งหมด ทำให้ได้ก้อนแป้งที่มีความชื้นประมาณ 50 – 55 % ก้อนแป้งมีลักษณะผิวเรียบเนียนสม่ำเสมอ เป็นผลจากการนวดซึ่งทำให้เม็ดแป้งแตกตัวอูม่น้ำเอาไว้ เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างเหนียวแน่นสามารถทำเป็นก้อนแป้งและรีดเป็นแผ่นบางได้ดี ถ้าเติมน้ำน้อยกว่านี้ได้ก้อนแป้งที่แข็งจับตัวเป็นก้อนได้ยากถ้าเติมน้ำมากกว่า 50 % ทำให้ก้อนแป้งเหนียวเหนอะหนะ เมื่อนำไปรีดเป็นแผ่นจะมีรอยแตกเป็นริ้ว รีดเป็นแผ่นได้ยาก และพบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น มีกลิ่นรสมันฝรั่ง ความกรอบน้อยเกินไป ดังนั้นจึงแปรปริมาณเกล็ดมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวโพดในสูตรต้นแบบ โดยใช้ mixture design ซึ่งเป็นการวางแผนการทดลอง โดยแปรปริมาณส่วนผสมที่สนใจ 2 หรือ 3 ชนิด ให้มีปริมาณรวมกันเป็น 100 % (Hare , 1974) ในการทดลองนี้ได้แปรปริมาณเกล็ดมันฝรั่งเป็น 60 – 85 % แป้งมันฝรั่ง 5 – 40 % แป้งข้าวโพด 5 – 20 % จากพื้นที่ที่เป็นไปตามข้อกำหนด เลือกสูตรสำหรับการทดลองผลิต 6 สูตร ดังตารางที่ 4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์ความชื้นก่อนทอด ความชื้นหลังทอด ค่าความแข็ง ค่าสี ดังแสดงในตารางที่ 6-9 คุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 10-11

ผลการวิเคราะห์ความชื้นก่อนทอดทุกสูตร (ตารางที่ 6) อยู่ในช่วง 29 – 40 % เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้ง ๆ ที่ความหนาของแผ่นแป้งไม่แตกต่างกัน อุณหภูมิและเวลาในการอบเท่ากัน แสดงว่าสัดส่วนของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในส่วนผสมแต่ละสูตร มีผลต่ออัตราการระเหยของความชื้นโดยกลุ่มที่มีความชื้นสูงกว่าสูตรอื่นๆ ได้แก่ สูตรที่มีเกล็ดมันฝรั่งเป็นส่วนผสมอยู่สูง มีความชื้นประมาณ 39.71 และ 40.37 % ส่วนสูตรที่มีความชื้น 29.96 – 35.98 % เป็นสูตรที่มีเกล็ดมันฝรั่งเป็นส่วนผสมอยู่น้อย เนื่องจากเกล็ดมันฝรั่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด จึงทำให้โปรตีนและสารซึบจับโมเลกุลของน้ำไว้ได้มากขึ้น ซึ่งโปรตีนในเกล็ดมันฝรั่งมี functional group ที่จับกับน้ำได้มากทำให้น้ำระเหยออกมาจากก้อนแป้งได้น้อยกว่าสูตรที่มีเกล็ดมันฝรั่งเป็นส่วนผสมอยู่น้อย

ผลการวิเคราะห์ความชื้นหลังทอด มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูปทุกสูตร มีความชื้นอยู่ในช่วง 2.51 – 9.42 % (ตารางที่ 6) เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีความชื้นสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณเกล็ดมันฝรั่งเป็นส่วนประกอบสูง คือ 9.42 % สำหรับสูตร 85 : 5 : 10 เนื่องจากเกล็ดมันฝรั่งมีโปรตีนอยู่สูง จึงจับโมเลกุลของน้ำไว้ได้มาก เมื่อให้ความร้อนโดยการทอดที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน จึงมีผลให้น้ำในแผ่นแป้งก่อนทอดระเหยออกไปน้อยกว่า ทำให้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่ได้มีความชื้นหลังทอดสูงกว่าสูตรที่มีเกล็ดมันฝรั่งอยู่น้อยคือ 60:20:20 ซึ่งมีความชื้นเพียง

2.51% และจะเห็นได้ว่าสูตรดังกล่าวมีแป้งข้าวโพดสูง ทำให้มีปริมาณอะมิโลสในโครงสร้างอยู่สูง มีอุณหภูมิการเกิดเจลสูง จึงเกิดเจลได้ช้า เมื่อนำมาทอดจะปล่อยน้ำออกไปได้มากกว่าก่อนที่จะเกิดเจล ทำให้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีความชื้นสุดท้ายต่ำเช่นเดียวกัน (Whistler and Daniel, 1990)

ผลการวิเคราะห์ ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป ทุกสูตร (ตารางที่ 6) อยู่ในช่วง 468.26 – 578.49 g/cm³ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรที่ประกอบด้วยเกล็ดมันฝรั่ง 85 และ 80 % มีค่าความแข็งสูง อาจเนื่องจากมีโปรตีนสูง เมื่อผสมแป้งกับน้ำเข้าด้วยกัน น้ำจะจับกับโมเลกุลของโปรตีน บางส่วนของโมเลกุลจะคลายตัวออก แล้วหันมาจับตัวกันในสามทิศทางเกิดเป็นร่างแห โดยใช้แรงที่ประกอบด้วยโปรตีนพันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ และพันธะไฮโดรโฟบิก (Pomeranz, 1991) เมื่อได้รับความร้อนจากการทอดโปรตีนจะเกิดการแปลงสภาพ (denature) ทำให้องค์ประกอบของโครงสร้างของเซลล์เสียรูปร่าง เป็นผลให้เกิดการหดตัวมากขึ้นและจับเป็นก้อนได้ (coagulation) ซึ่งจะทำให้โปรตีนเสียความสามารถในการละลายน้ำและแข็งตัวมากขึ้น ส่วนสูตรที่มีความชื้นก่อนทอดต่ำ ได้แก่ สูตรที่ประกอบด้วยเกล็ดมันฝรั่ง 60 % การเกิดเกราะแข็ง (case hardening) รอบ ๆ แผ่นแป้งจะง่ายขึ้น เมื่อสัมผัสกับน้ำที่ร้อนไอน้ำจึงหนีไปได้น้อย ทำให้เกิดแรงดันมาก การพองตัวจึงมีมาก ความแข็งจึงลดลง เหลือ 480.13 g/cm³ ทำให้มันฝรั่งแผ่นทอดมีความกรอบมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าสีที่วัดด้วยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 8) พบว่าอัตราส่วนของเกล็ดมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวโพด มีผลต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่ามันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่ใช้เกล็ดมันฝรั่งต่ำ จะมีค่าความสว่างสูง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองต่ำ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองอ่อน และเมื่อใช้เกล็ดมันฝรั่งปริมาณที่สูงขึ้น (85%) จะมีค่าความสว่างต่ำ ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองสูงเป็น 63.82, 5.44 และ 27.92 ตามลำดับ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเข้มขึ้นอาจเนื่องมาจาก เกล็ดมันฝรั่งประกอบด้วยโปรตีนในปริมาณที่สูง และมีน้ำตาลรีดิวซ์เป็นส่วนประกอบเมื่อแผ่นมันฝรั่งได้รับความร้อนจากการทอดจึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่าง amino group ของโปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิล จนสุดท้ายได้เมลานอยดิน (melanoidins) ซึ่งเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล (Fennema, 1996) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 10-11) พบว่าอัตราส่วนที่แตกต่างกันของเกล็ดมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวโพด มีผลต่อคะแนนด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ความกรอบ และการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$) โดยในส่วนของสีพบว่า มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่มีเกล็ดมันฝรั่งสูง 70-85% มีคะแนนด้านสีสูงกว่ามันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่มีเกล็ดมันฝรั่งต่ำ 60%

($p \leq 0.05$) เนื่องจากผู้ทดสอบเห็นว่ามันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีสีเหลืองยอมรับได้ ผลดังกล่าวนี้ยืนยันได้จากการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 8) ซึ่งพบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณเกล็ดมันฝรั่งสูงมีค่าความสว่างต่ำ ค่าสีเหลืองสูง

ในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์พบว่า เมื่อทอดผลิตภัณฑ์จะเกิดการโป่งพองหรือเกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีผิวไม่สม่ำเสมอ หรือผิวเรียบแบน ทั้งนี้เป็นผลของความร้อนจากน้ำมันที่ใช้ทอดทำให้น้ำที่แทรกอยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัว และเปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำให้เนื้อของผลิตภัณฑ์เป็นโพรงหรือเป็นรูพรุน เพื่อให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ออกจากตัวผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งหากความดันของไอน้ำที่เกิดขึ้นสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวได้มากหรืออาจมากจนทำให้เกิดการแตกของผลิตภัณฑ์ได้ ในที่นี้แม้ว่าปริมาณเกล็ดมันฝรั่งที่มีในผลิตภัณฑ์จะมีผลต่อความโป่งพองหรือการพองตัว ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์แต่ถึงกระนั้นความแตกต่างที่เกิดขึ้นมีไม่มากนัก คณะกรรมการยอมรับด้านลักษณะปรากฏจึงมีค่าปานกลางยอมรับได้

ในด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ เห็นว่ามันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีกลิ่นมันฝรั่งปานกลาง แต่เมื่อมีเกล็ดมันฝรั่งที่สูงขึ้นถึง 80 และ 85 % ของส่วนผสมหลักในสูตรทำให้มีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรสต่ำลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีกลิ่นไหม้ซึ่งเกิดจากการใช้เกล็ดมันฝรั่งในปริมาณที่มากเกินไป มีโอกาสเกิด (burning effect) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีและกลิ่นรสผิดปกติ (Reinder, 1984) และเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อใช้เกล็ดมันฝรั่ง 70 % ของส่วนผสมหลักในสูตรมีคะแนนเฉลี่ยด้านการยอมรับรวมสูงที่สุด และพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากความกรอบเป็นสำคัญ

จากเกณฑ์ทางกายภาพและคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน เมื่อนำมาพิจารณาแล้วจึงเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากการใช้อัตราส่วนของ เกล็ดมันฝรั่ง : แป้งมันฝรั่ง : แป้งข้าวโพดเป็น 70 : 15 : 15 ซึ่งที่ปริมาณดังกล่าวผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง มีความหนาสม่ำเสมอ มีความกรอบ กลิ่นรส มันฝรั่งปานกลาง มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด ส่วนค่าความแข็งแม้ว่าไม่ใช่ค่าที่ต่ำสุด แต่อยู่ในระดับปานกลางคือ 512.03 g เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดที่ 578.49 g และค่าต่ำสุด 468.26 g

5.4 การเตรียมแผ่นแป้งก่อนทอด

จากผลการวิเคราะห์ความชื้น ไขมัน (ตารางที่ 12) พบว่า การอบที่ 40°C เวลา 2 ชั่วโมง มีความชื้นก่อน-หลังทอดต่ำสุด เท่ากับ 30.15 % และ 4.20 % ปริมาณไขมันมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 25.07 % เช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากการทำให้ความชื้นลดลงก่อนทอด โปรีตินและสตาร์ชจึง

จับโมเลกุลของน้ำไว้ได้น้อย เมื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน จึงมีผลให้น้ำในตัวอย่างระเหยออกไปได้มากทำให้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีความชื้นสุดท้ายต่ำ คือปริมาณน้ำตั้งต้นต่ำ ปริมาตรภายในชิ้นอาหารที่จะถูกแทนที่โดยน้ำมันระหว่างการทอดลดลง (Smith, 1975) ปริมาณไขมันจึงต่ำนั่นเอง Lulai และ Orr (1979) พบว่าการดูดซับน้ำมันจะเกิดขึ้นขณะที่ความชื้นที่อยู่ในอาหารเคลื่อนที่และระเหยเป็นไอน้ำในระหว่างการทอดยังมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เริ่มต้นมาก โปรตีน และ สตาร์ชจะจับโมเลกุลน้ำไว้มากขึ้น ความชื้นสุดท้ายก็มากด้วย และทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (Hoover and Miller, 1973) Saguy และ Pinthus (1995) พบว่าการที่ผลิตภัณฑ์มีไขมันต่ำสุดอาจจะอธิบายได้จากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งความชื้นที่มีอยู่ในอาหารจะเป็นเกณฑ์บอกปริมาณน้ำมันที่จะดูดกลืนเข้าไปในเนื้อเยื่ออาหาร โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะอมน้ำมันมาก ด้วยสาเหตุด้านกลไกในการเสียน้ำระหว่างทอด โดยขณะเริ่มทอด บริเวณผิวนอกของอาหารซึ่งมีทั้งน้ำอิสระและน้ำที่ยึดติดกับโมเลกุลของโปรตีน เมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงน้ำอิสระจะเริ่มระเหยทำให้ปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำที่อยู่ด้านในถัดเข้ามาจะเริ่มกลายเป็นไอ และพยายามหาช่องทางที่จะผ่านออกไป การระเหยของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อทำให้น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวของอาหารแทรกเข้าไปในช่องว่างที่เกิดขึ้น นั่นคือผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงหรือมีน้ำเริ่มต้นสูงจะอมน้ำมันได้มาก

เมื่อพิจารณาค่าสีวัดโดยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 13) พบว่าให้ผลสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นก่อนทอดต่ำ ทำให้ค่าความสว่าง (L) ลดลง และค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเวลา 3 ชั่วโมง ให้ค่าความสว่าง ค่าสีเหลืองเป็น 69.19 และ 20.98 ตามลำดับ สำหรับการอบที่ 40°C เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความสว่างเท่ากับ 64.55 ค่าสีเหลืองเท่ากับ 24.99 แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ผู้ทดสอบเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองปานกลาง เนื่องจากลักษณะการทอดแบบน้ำมันท่วมชิ้นอาหาร (deep fat frying) นี้อาหารที่จมน้ำมันที่อุณหภูมิสูงจะเกิดฟองฟูอย่างรุนแรง เนื่องจากน้ำมันบริเวณอาหารระเหยทำให้ผิวอาหารด้านนอกพองกรอบและเกิดสีน้ำตาลทองในเวลาอันสั้น ดังนั้นความชื้นก่อนทอดที่ต่ำ ทำให้น้ำมันบริเวณผิวระเหยออกไปได้หมด เมื่อวัดสีแสงจึงส่องผ่านได้น้อยทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น

สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 16-17) พบว่าวิธีการเตรียมแผ่นแป้งก่อนทอดมีผลต่อคะแนนสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส การอมน้ำมัน ความกรอบและการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$) โดยในด้านสีพบว่า การทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำจะมีคะแนนเฉลี่ยด้านสีสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองยอมรับได้ ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 13)

ในด้านลักษณะปรากฏพบว่า ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง นั่นคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นก่อนทอดต่างกันเกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันแต่ในที่นี้ผู้บริโภคนั้นแยกความแตกต่างด้านความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ได้ยาก คะแนนที่ได้จึงใกล้เคียงกัน

ด้านความกรอบและการอมน้ำมันพบว่า เมื่อมีความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่ำ คะแนนเฉลี่ยด้านความกรอบและการอมน้ำมันสูง แสดงว่า ความชื้นที่ลดลงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อกรอบแข็งขึ้น การอมน้ำมันมีน้อยลง และเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เห็นได้ว่าตัวอย่างที่อบที่ 40 °C เวลา 2 ชั่วโมง มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวมสูงสุด

5.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบ

เตรียมผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอนที่ระบุในข้อ 3.3 มาศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยแปรอุณหภูมิในการอบเป็น 35 , 40 และ 45 °C และแปรเวลาในการอบเป็น 90, 105 และ 120 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง และค่าสี (L, a, b) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 18-21 ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 22-23

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบมีผลต่อค่าเฉลี่ยความชื้น ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง และค่าสี ($p \leq 0.05$) อุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชื้นก่อน-หลังทอด ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง แต่ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับอุณหภูมิ 35 °C เวลาในการอบ 90 นาที ได้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่มีค่าความชื้นก่อน-หลังทอดเป็น 43.61% และ 10.54 % ตามลำดับ ปริมาณไขมัน 33.40 % ค่าความแข็ง 703.50 g / cm³ ค่าความสว่าง 76.48 ค่าสีแดง (-1.51) ค่าสีเหลือง 10.44 และมีค่าความชื้นก่อน-หลังทอด ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลงเป็น 22.46%, 2.23 % , 24.58%, 491.36 g / cm³ , 55.53 , 26.41 และค่าสีแดงเพิ่มขึ้นเป็น 13.05 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 45 °C เวลาในการอบเป็น 2 ชั่วโมง

อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการอบมีผลต่อปริมาณความชื้นก่อนทอด โดยเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลให้ความชื้นลดลง โดยที่ระดับอุณหภูมิ 35 °C เวลาในการอบ 90 นาที ให้ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่มีความชื้นสูงสุด 43.61% และเมื่อเพิ่มเวลาการอบขึ้น ณ อุณหภูมิเดียวกัน การอบที่นานขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง หากดูที่เวลาเดียวกันแต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าความชื้นก่อนทอดลดลงเช่นกัน และให้ผลเช่นเดียวกันกับความชื้นหลังทอด คือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการอบ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นลดลงหรือการเพิ่มอุณหภูมิการอบไปพร้อมกับเพิ่มเวลาในการอบ ทำให้ได้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบหลังทอดมีความชื้นลดลง

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังทอด พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการอบต่อค่าเฉลี่ยความชื้นหลังทอด ($p \leq 0.05$) ทำให้ได้ค่าความชื้นที่แตกต่างกัน การเพิ่มอุณหภูมิในการอบจะมีผลทำให้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีค่าความชื้นลดลง หรือการเพิ่มอุณหภูมิในการอบไปพร้อมๆ กับการเพิ่มเวลาในการอบจะทำให้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีค่าความชื้นหลังทอดลดลง (จากตารางที่ 18) อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 35 , 40 และ 45 °C มีค่าความชื้นของมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบหลังทอดเฉลี่ยเท่ากับ 8.20 , 3.00 และ 2.33 % ลดลงตามลำดับ เวลาในการอบแห้งที่ 90 , 105 และ 120 นาที มีค่าความชื้นของมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบหลังทอดเฉลี่ยเท่ากับ 5.56 , 4.49 และ 3.48 % ลดลงตามลำดับเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน พบว่าอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีผลทำให้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบมีปริมาณไขมันแตกต่างกัน การเพิ่มอุณหภูมิ เวลา หรือทั้งสองปัจจัยในการอบมีผลทำให้มันฝรั่งแผ่นมีปริมาณไขมันลดลงจาก 33.40 % มาเป็น 24.58 % ทั้งนี้มีผลมาจากความชื้นของมันฝรั่งแผ่นก่อนทอดที่แตกต่างกัน ยิ่งมันฝรั่งแผ่นก่อนทอดมีความชื้นสูง การอมน้ำมันก็จะยิ่งสูง (Hoover and Miller, 1963)

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง พบว่าอุณหภูมิและเวลามีอิทธิพลร่วมต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลา หรือทั้งสองปัจจัยทำให้มีค่าความแข็งลดลงเนื่องจากความชื้นมากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการพองตัวแตกต่างกันผลิตภัณฑ์จึงมีความแข็งกรอบแตกต่างกัน ค่าที่วัดได้จึงมีผลแตกต่างกันด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ คือการอบที่อุณหภูมิและเวลาสูงมีการพองตัวได้มาก จึงมีความแข็งลดลงทำให้ความกรอบเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าสี (L, a, b) เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลง , ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองสูงขึ้น นั่นคือผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเข้มจนเกือบเป็นสีน้ำตาลทองซึ่งเป็นสีที่ดี

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 22-23) พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบที่แตกต่างกันมีผลต่อคะแนนด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส การอมน้ำมัน ความกรอบ และการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$)

เมื่อดูคะแนนด้านสี เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเวลาในการอบเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับจะสูงขึ้นด้วย แต่จะเห็นว่าเวลาในอบ 120 นาที คะแนนการยอมรับจะลดลง อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองอ่อนเมื่ออบที่อุณหภูมิ 35 °C และมีสีเข้มเกินไปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 45 °C ผู้ทดสอบจึงไม่ยอมรับ คะแนนที่ได้จึงต่ำ เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์ มีความบางมาก การเพิ่มอุณหภูมิจึงมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ เป็นอย่างมาก

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมด ได้เลือกการอบที่อุณหภูมิ 45 °C เวลาในการอบ 90 นาที เป็นสภาวะในการอบแห้งมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป ทั้งนี้เพราะทำให้ได้มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบก่อนและหลังทอดที่มีค่าความชื้นต่ำ ความกรอบสูง มีปริมาณน้ำมันต่ำเพียง 23.31 % ค่าความสว่างลดลง ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งไม่แตกต่างจากมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่ได้จากอุณหภูมิการอบแห้งเดียวกันแต่เวลาเพิ่มขึ้น ทั้งยังคงกลิ่นรสมันฝรั่งไว้มากที่สุด และมีคะแนนการยอมรับด้านสีมากที่สุด จากนั้นศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการทอด

5.6 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาการทอด

การออกแบบการทดลองในขั้นตอนนี้ ศึกษาอุณหภูมิและเวลาการทอด โดยการแปรอุณหภูมิการทอดเป็น 185°C, 190°C เวลาในการทอดเป็น 10,12 และ 14 วินาที ในการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูปที่คัดเลือกได้ จากข้อ 5.3 และผ่านการอบด้วยอุณหภูมิและเวลาที่ที่ดีที่สุดที่เลือกได้จากข้อ 5.5 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 24-27 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 28-29

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นหลังทอด ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง พบว่ามีอิทธิพลระหว่างอุณหภูมิของน้ำมัน และเวลาในการทอดต่อค่าเฉลี่ยความชื้นหลังทอด ปริมาณไขมัน ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลของอุณหภูมิน้ำมัน และเวลาในการทอดต่อค่าความแข็ง ($p > 0.05$) โดยจะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาในการทอด ความชื้นจะลดลงมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 190°C เวลา 14 วินาที ณ อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความชื้นก็ลดลงเช่นกับการทอดที่เวลาเดียวกัน แต่เพิ่มอุณหภูมิในการทอด ทั้งนี้เนื่องจากว่า การเพิ่มอุณหภูมิการทอดเป็นการเพิ่มแรงดันให้กับไอน้ำ ทำให้ไอน้ำระเหยออกมาได้เพิ่มขึ้น (Eskew, Cording and Sullivan, 1963) ทำให้ปริมาณความชื้นของมันฝรั่งแผ่นทอดมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน(ตารางที่ 24-25) พบว่า ผลผลิตทันทีที่นำไปทอดที่อุณหภูมิเดียวกันแต่เวลาเพิ่มขึ้น ผลผลิตทันทีจะมีไขมันมากขึ้น อาจเนื่องจากในขณะที่ทำการทอด น้ำและไอน้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านรูโพรงของเนื้อเยื่อ และที่ว่างของรูโพรงที่เกิดขึ้นจะถูกแทนที่ด้วยน้ำมันที่ร้อน ความชื้นของอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นของน้ำมันที่ผิวของอาหารออกมา ความหนาของชั้นน้ำมันที่ผิวนี้นี้ จะเป็นตัวควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ซึ่งความหนาของชั้นน้ำมันจะขึ้นกับความหนืด และความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำมัน ความดันไฮโดรตึงของความชื้นในชั้นอาหารและน้ำมัน จะเป็นแรงผลักดันให้เกิดการถ่ายเทมวลสารของน้ำ (Fellows, 1990) เมื่อนำอาหารมาทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิสูง เวลานาน (Lawson, 1985) จะเกิดสารประกอบที่โมเลกุลเป็นวง และเกิดโพลีเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความหนืดของน้ำมันจึงเพิ่มขึ้น surface tension

ต่ำลง ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างการทอดลดลง ทำให้การอมน้ำมันมากกว่า (Fellows, 1990) เมื่อผลิตภัณฑ์ที่นำมาทอดอยู่ในน้ำมันเป็นเวลานานกว่า ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับจึงมากกว่าการทอดโดยใช้เวลาน้อยกว่า (Smith, 1973) และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปทอดที่เวลาเดียวกัน อุณหภูมิการทอดสูงขึ้น ปริมาณไขมันลดลง ปริมาณไขมันต่ำสุด (24.18%) ในผลิตภัณฑ์เมื่อทอดที่อุณหภูมิ 190 °C เวลา 10 วินาที เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้น เวลาการทอดที่ต่ำลง ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ต่ำลง เป็นเพราะว่า ขณะที่อุณหภูมิน้ำมันเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของน้ำมันลดลง จึงมีน้ำมันส่วนน้อยถูกดูดซับไว้ในเวลาจำกัด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้เวลานานกว่าจะอมน้ำมันได้มากกว่าการทอดที่เวลาน้อยกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาทอดทำให้ผลิตภัณฑ์สุกเร็วขึ้น มีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำมันลดลง จึงสามารถลดปริมาณไขมันในชิ้นอาหารได้ (Thorner, 1973)

ผลการวิเคราะห์ค่าสี (ตารางที่ 26-27) พบว่าไม่มีอิทธิพลของอุณหภูมิของน้ำมันและเวลาที่ใช้ทอดต่อค่าสีเหลือง ($p > 0.05$) แต่มีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของน้ำมัน และเวลาที่ใช้ทอดต่อค่าความสว่าง และค่าสีแดง ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่าตัวอย่างที่ได้จากการทอดที่อุณหภูมิแต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดมากขึ้น จะมีค่าความสว่างต่ำลง และค่าสีแดงสูงขึ้นแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จากการทอดที่เวลาแต่ละระดับ เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ในการทอดสูงขึ้น จะมีค่าความสว่างต่ำลง และค่าสีแดงสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มขึ้นนั่นคือ เมื่อทอดที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 14 วินาที ผลิตภัณฑ์จะมีค่า ความสว่างต่ำที่สุด (61.09) และค่าสีแดงสูงที่สุด (8.37) เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากในเกล็ดมันฝรั่งประกอบด้วย โปรตีน กรดอะมิโน สารประกอบที่มีไนโตรเจนและน้ำตาลรีดิวซ์เป็นองค์ประกอบเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจากการทอดจึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่าง amino group ของกรดอะมิโนหรือโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิล ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากปฏิกิริยา ได้แก่ เมลานอยดิน (melanoidins) ซึ่งเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล (Fennema, 1996) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น (Habib and Brown, 1956) (Roe และ Faulks, 1991) ศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดสีในมันฝรั่งทอดพบว่า ระหว่างการเกิดสีน้ำตาล ปริมาณกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลง ซึ่งเห็นว่าสีที่เกิดขึ้น อาจเกิดเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปทอดที่อุณหภูมิ 190°C เป็นเวลา 14 วินาที ซึ่งเป็นการทอดที่อุณหภูมิสูงและเป็นเวลานาน ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมากกว่าอุณหภูมิในชิ้นอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Saguy and Pinthus, 1993) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นได้เร็ว เนื่องจากความร้อนจากการทอดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Smith, 1975) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมาก การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) เมื่อใช้เวลาทอดที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน อุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น เมื่อทอดนานขึ้นสีจึงเข้มขึ้น (Ellis, 1959) Thorner

(1973) กล่าวว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทอดจะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันและปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง (ตารางที่ 24-25) พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์ เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลงนั่นคือจะกรอบขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทอดทำให้น้ำอิสระและน้ำที่ยึดอยู่ที่โมเลกุลของโปรตีนกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น โดยการลดลงของน้ำอิสระจะทำให้เกิดเปลือกนอกบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นลักษณะที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ก็ลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากน้ำมีการระเหยออกจากชิ้นอาหารได้มากขึ้น เกิดเป็นเปลือกแข็งได้มากกว่าการทอดที่เวลาสั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

เมื่อดูผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 28-29) เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาในการทอดไม่มีผลต่อคะแนนด้านสี ลักษณะปรากฏ การร่อนน้ำมัน ความกรอบ และการยอมรับรวม เนื่องจากว่าผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน จึงเห็นความแตกต่างได้ยาก แต่เมื่อดูคะแนนการยอมรับรวมจะเห็นว่าการทอดที่อุณหภูมิ 190 °C เวลาที่ใช้ในการทอด 12 วินาที มีคะแนนการยอมรับสูงสุด

5.7 ศึกษาการปรับปรุงรสชาติของมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป

ศึกษาการปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยเติมสารให้กลิ่นรสชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กลิ่นรสบาร์บีคิว รสไก่ รสต้มยำ รสผัดกระเพรา เปรียบเทียบกับการไม่เติมกลิ่นรส ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 30-31) พบว่า สารให้กลิ่นรสชนิดบาร์บีคิว ให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส และการยอมรับรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ กลิ่นรสผัดกระเพรา ซึ่งเป็นรสชาติแบบไทย ๆ แต่จะเห็นสีเขียวของใบกระเพราบนชิ้นผลิตภัณฑ์ ทำให้ผู้ทดสอบมีความรู้สึกไม่ดีต่อสีของผลิตภัณฑ์คะแนนด้านสีจึงต่ำ เช่นเดียวกับกลิ่นรสไก่ที่ให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง

5.8 ศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูปในทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์

จากตารางที่ 32 สังเกตได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีสีเหลืองค่อนข้างน้ำตาล ผลิตภัณฑ์มีความกรอบดี เมื่อพิจารณาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์มีความชื้น

3.72% ไม่แตกต่างจากความชื้นของอาหารว่างทั่วไปซึ่งจะมีความชื้นต่ำกว่า 3.50 % (Sacharow and Griffin, 1980) และมีไขมัน 28.07% ซึ่งหากเก็บไว้ในสภาวะและภาชนะบรรจุที่ไม่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์อาจเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นได้ (ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง 2530) ส่วนคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ พบว่า มีปริมาณยีสต์และรา มีน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด < 100 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์ทอดแห้งทั่วไป (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2530) และสอดคล้องกับ ค่า a_w ที่มีค่าเพียง 0.289 แสดงว่าผลิตภัณฑ์จะปลอดภัยจากจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุการเสื่อมเสียสามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำสุดเพียง 0.60 ดังนั้นผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่ผลิตได้จึงมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

5.9 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและทำนายอายุการเก็บ

เก็บผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP/PE/metallized PET/ CPP เก็บที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) และเก็บในสภาวะเร่งโดยเก็บที่อุณหภูมิ 45 และ 55 °C

คุณภาพทางกายภาพ

จากการตรวจสอบค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูประหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 33 พบว่า ค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ กล่าวคือ หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 55 °C มีค่า a_w เท่ากับ 0.383, 0.390 และ 0.395 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ในทุกอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บ ปรากฏว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากภาชนะบรรจุที่لامีเนตด้วยพลาสติก สามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศและไอน้ำได้ดี (มยุรี ภาคกล้าเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ชาติ, 2533) ค่า a_w สามารถบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 สามารถทำนายได้ว่า จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารไม่สามารถเจริญได้

ผลการตรวจสอบค่าสี (L, a, b) จากตารางที่ 33 ค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) ของมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 55 °C มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกันในทุกอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บ ส่วนค่าสีแดงมีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาเก็บ 5 สัปดาห์ เมื่ออุณหภูมิการเก็บเป็น 30 45 และ 55 °C ค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์เก็บในถุงที่มีแสงผ่านได้น้อย การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์จึงมีน้อย

ผลการวัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูป (ตารางที่ 33) พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการเก็บเป็น 30 45 และ 55 °C ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 486.32, 485.857 และ 497.548 g-force ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาเก็บ 5 สัปดาห์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เพราะผลิตภัณฑ์เก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้นได้ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์คงความกรอบอยู่ได้ โดยไม่แตกต่างกันมาก

คุณภาพทางเคมี

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มเก็บรักษา เนื่องจากในช่วงการบรรจุผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากสภาวะแวดล้อมรอบๆ ได้รวดเร็ว แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นมีน้อยมาก และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ตารางที่ 38 พบว่า อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุในถุงที่ลามิเนตด้วยพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ จึงมีคุณสมบัติป้องกันความชื้นได้ดี (มยุรี ภาคกล้าเจียก และอมรรัตน์ สวัสดิ์ชาติ, 2533)

จากการตรวจสอบค่า TBA (ตารางที่ 37-38) พบว่า อุณหภูมิและเวลาการเก็บมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBA ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าค่า TBA เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า TBA เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ระดับการหืนของผลิตภัณฑ์ หากค่า TBA เพิ่มขึ้น ค่าการหืนก็จะสูงด้วย เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน (oxidation rancidity) และเกิดการสลายตัว (hydrolysis rancidity) ทำให้เกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์โดยมีอนุมูลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งผู้ทดสอบเริ่มรู้สึกถึงความแตกต่างด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ได้เมื่อ TBA เท่ากับ 1.420 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์ / 100 กรัมตัวอย่าง ที่ 45 °C ในขณะที่ TBA เท่ากับ 1.380 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์ / 100 กรัมตัวอย่าง ที่ 55 °C ซึ่งใช้ค่า TBA เป็นเกณฑ์บอกอายุการเก็บที่ 45 และ 55 °C ตามลำดับ

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นหืน ความกรอบ การยอมรับรวม พบว่า อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิการเก็บและระยะเวลาเก็บมีผลให้คะแนนด้านสี กลิ่นหืน และความกรอบมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนด้านการยอมรับรวม ($p > 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 30 °C นาน 5 สัปดาห์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่นหืน ความกรอบเป็น 7.53, 3.66 และ 4.60 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 45 °C นาน 5 สัปดาห์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่นหืน ความกรอบเป็น 3.06, 3.20 และ 4.13 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 °C นาน 5 สัปดาห์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่นหืน ความกรอบ

เป็น 3.00, 2.60 และ 4.20 ตามลำดับ ส่วนคะแนนการยอมรับรวม ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.73 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่ 45 °C และ 55 °C นั้น ผู้ทดสอบไม่ยอมรับเมื่อเก็บไว้นาน 3 และ 2 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยมีคะแนนการยอมรับรวมเท่ากับ 5.06 และ 3.66 ตามลำดับ แสดงว่าถ้าเก็บรักษาที่ 45 °C สามารถเก็บรักษาได้ 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 55 °C เก็บได้ 2 สัปดาห์ และเก็บได้ 5 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ดังนั้นเมื่อพิจารณาคุณภาพในทุกด้าน ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบแบบขึ้นรูปสามารถเก็บรักษาได้ ประมาณ 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 °C โดยบรรจุในถุง OPP/PE/metallized PET/PP ในสภาวะที่ปิดผนึกด้วยความร้อน