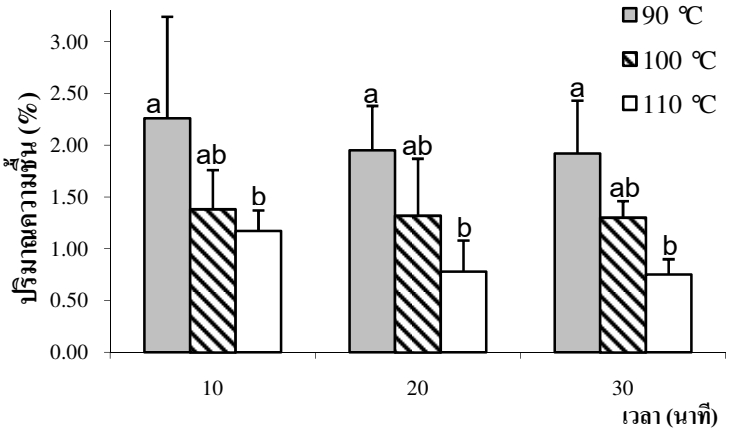
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทอดกล้วยน้ำว้าภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากการทดลองเตรียมกล้วยแผ่นบางทอดกรอบด้วยวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ความดัน 60 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้ มาวิเคราะห์หา ปริมาณความชื้น ค่าสี ปริมาณน้ำมันทั้งหมด และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1 - 4.3 และตารางที่ 4.1

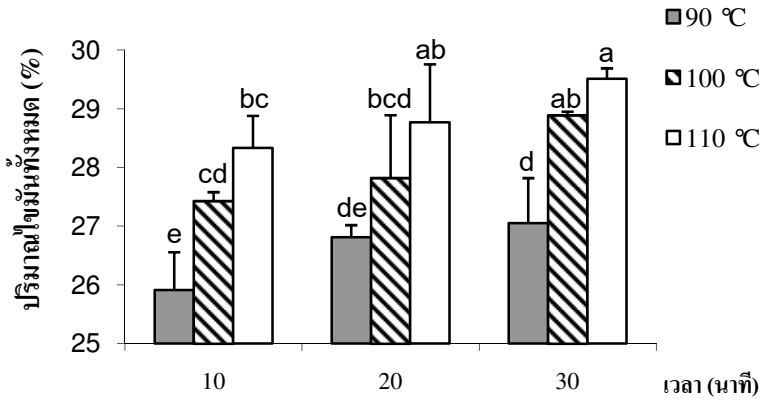
จากผลการทดลองในภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0.75 – 2.02 เปอร์เซ็นต์ และผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทอดและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดนั้นไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) โดยปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤0.05) เนื่องจากการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fry) มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำและพาความร้อน ซึ่งความร้อนนี้ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในอาหารเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง (Brennan, 2006)



ภาพที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สุญญากาศที่เวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

[a - b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤0.05)

จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 พบว่าทั้งเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณไขมันทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและเวลา โดยปริมาณไขมันทั้งหมดของตัวอย่างที่ทอดด้วย อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิและเวลาที่น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 25.91 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างที่ทอดด้วยอุณหภูมิและเวลาที่มากที่สุดคือ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที มีค่าปริมาณไขมันทั้งหมดเท่ากับ 29.51 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าปริมาณไขมันจะมีค่าแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น เนื่องจากขณะทอดน้ำจะระเหยกลายเป็นไอออกจากชิ้นอาหาร จะเหลือโครงสร้างที่เป็นรูพรุนซึ่งน้ำมันสามารถเข้าไปแทนที่ได้ (Boskou และ Elmadfa, 2010) ดังนั้นตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำกว่าจึงมีโอกาสทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่า

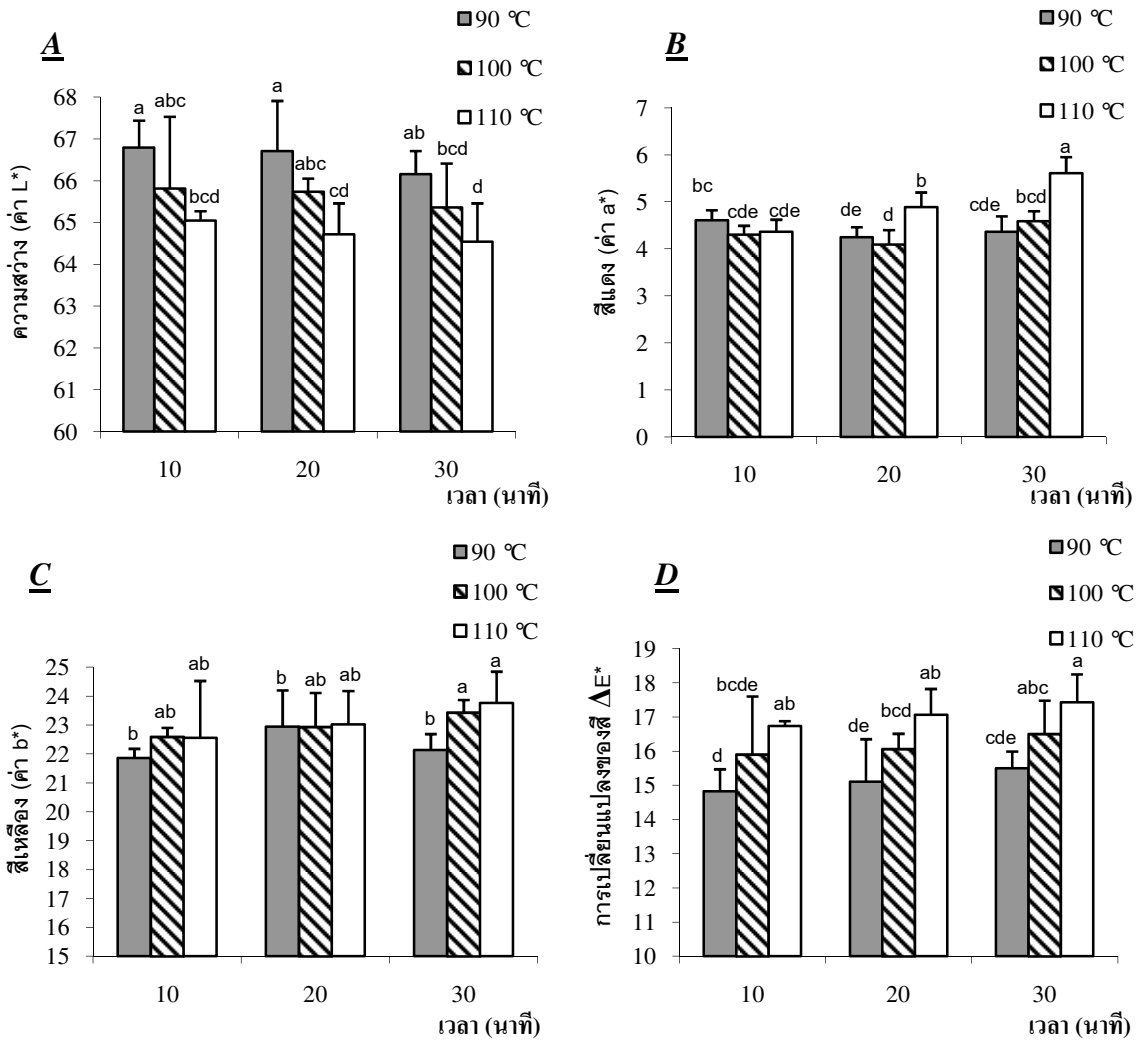


ภาพที่ 4.2 ปริมาณไขมันทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ผ่านการทอดแบบสุญญากาศที่เวลาและอุณหภูมิต่างกัน

$^{a-e}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่า ค่า L* (ค่าความสว่าง) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.3 *A* ในขณะที่ ค่า a* (ค่าสีแดง) และ ค่า b* (ค่าสีเหลือง) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่มมากขึ้น และจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อผลิตภัณฑ์ทอดที่เวลา 30 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.3 *B* และ 4.3 *C* ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า ΔE^* (ภาพที่ 4.3 *D*) ซึ่งเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของสี โดยเทียบกับค่าสีของเนื้อกล้วยสด พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่เวลาที่ใช้ในการทอดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อค่า L* และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ΔE^* ในขณะที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการทอดมีผลกับค่า L* ที่ลดลงและค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ค่า ΔE^* เฉลี่ยของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้จากการทอดที่อุณหภูมิ 90, 100

และ 110 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 14.83 15.90 และ 16.79 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับสีของตัวอย่างที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเหลืองสว่าง และมีสีคล้ำมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดที่สูงขึ้น และจะสังเกตได้ชัดที่สุดเมื่อผลิตภัณฑ์ทอดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น สาเหตุเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง และจะแปรผันตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทอด (นิธิยา, 2549)



ภาพที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์สี ของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ผ่านการทอดแบบสุญญากาศในเวลาและอุณหภูมิที่ต่างกัน

$^{a-e}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.1) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ทั้ง 9 ตัวอย่าง ในด้าน สี กลิ่น และรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) แต่ให้คะแนนความชอบทางด้าน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดมีผลต่อคะแนนความชอบทางด้าน เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม (p ≤0.05) แต่เวลาในการทอดไม่ทำให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) อุณหภูมิที่ใช้ทอดกล้วยน้ำว้า ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุด คือที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และ110 องศาเซลเซียส เวลา 10, 20, 30 โดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนนของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อใช้เวลาและอุณหภูมิในการทอดต่างกัน

อุณหภูมิ(°C)/ เวลา(นาที)	การประเมินทางประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
90/10	4.38±1.20	4.06±0.85	4.25±1.29	3.80±1.29^{d}	4.13±0.87^{e}
90/20	4.69±1.35	4.31±0.79	4.38±1.20	3.94±1.37^{cd}	4.31±1.35^{cd}
90/30	5.13±1.36	4.69±1.08	4.81±1.28	4.13±1.20^{bc}	4.50±1.15^{bcd}
100/10	5.19±0.83	4.63±0.96	4.31±1.39	4.38±1.31^{dc}	4.59±1.34^{d}
100/20	4.88±1.36	4.88±1.20	4.81±1.22	4.50±1.09^{abc}	4.63±0.96^{bcd}
100/30	5.06±1.12	4.63±1.02	4.88±1.09	5.00±1.15^{ab}	5.06±0.98^{abc}
110/10	5.13±0.62	4.50±1.03	5.25±1.28	4.85±1.36^{a}	5.23±1.31^{abc}
110/20	4.88±1.09	4.50±1.37	5.31±1.3	5.19±1.33^{a}	5.56±1.26^{a}
110/30	5.5±1.10	4.69±1.08	5.19±1.38	5.31±1.14^{a}	5.31±1.08^{ab}

$^{a-e}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤0.05)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05)

การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จาก 9 สภาวะ เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการทอดกล้วยน้ำว้าฝานบางภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และ110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที เป็นสภาวะที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดเท่ากัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) และเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดพบว่า ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 20 และ 30 นาที มีปริมาณน้ำมันมากที่สุด และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และ 110 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที มีปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ 2 สภาวะแรก (อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 20 และ 30 นาที) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) ยังแสดงว่าทั้ง 4 ตัวอย่างมีการความเปลี่ยนแปลงของสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) ดังนั้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที จึงเป็นสภาวะที่ดีที่สุด และเพื่อเป็นการลดเวลาในกระบวนการผลิต จึงพิจารณาเลือกสภาวะที่ 110 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที เป็นสภาวะการทอดที่เหมาะสมในการทดลองในครั้งนี้

4.2 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้จากการทอดด้วยสภาวะสุญญากาศ และที่ได้จากการทอดที่สภาวะปกติ

จากการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในหัวข้อที่ 4.1 พบว่าการทอดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงนำกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่เตรียมได้จากสภาวะดังกล่าวมาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพกับกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยการวิเคราะห์หา ปริมาณความชื้น ค่าสี ปริมาณน้ำมัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโร-ทีนอยด์ทั้งหมด และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณความชื้น ค่าสี ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี และปริมาณน้ำมันทั้งหมดในกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ และค่าความชื้น ค่าสี ของกล้วยน้ำว้าสด จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำมัน ของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศกับตัวอย่างที่ทอดภายใต้สภาวะปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) โดยปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้คือ 1.35 และ 1.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณน้ำมันทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 27.42 และ 26.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้จากการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ มีค่าไม่ต่ำกว่าการทอดภายใต้สภาวะปกติ

จากการเปรียบเทียบค่าสีของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบทั้งสองตัวอย่างพบว่า ค่า L*, a*, b* และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย ค่า L* ของผลิตภัณฑ์ที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดในสภาวะปกติ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีสีที่สว่างกว่า และค่า a* ที่แสดงถึงโทนสีแดง แต่สำหรับผลิตภัณฑ์นี้จะอยู่ที่เฉดสีน้ำตาล

จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีค่า a* ที่น้อยกว่า ซึ่งบ่งบอกว่ากล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีสีที่คล้ำน้อยกว่ากล้วยทอดกรอบที่สภาวะปกติ จึงส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบภายใต้สภาวะสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Da Silva และ Moreira. (2008) ที่ศึกษาการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศกับผักและผลไม้ คือ มันเทศ ถั่วแขก มะม่วง และมันฝรั่ง ที่อุณหภูมิ 120 – 130 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการทอดในสภาวะปกติที่อุณหภูมิ 160 – 165 องศาเซลเซียส พบว่า การทอดที่สภาวะสุญญากาศทำให้ของผลิตภัณฑ์มีสีที่เป็นธรรมชาติมากกว่าการทอดที่สภาวะปกติ ซึ่งการทอดที่สภาวะปกติทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่คล้ำ เนื่องจากการใช้ความร้อนสูงในการทอด จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้น

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้น ปริมาณสี ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี และปริมาณน้ำมันทั้งหมด ในกล้วยแผ่นบางทอดกรอบและค่าความชื้น ค่าสี ในกล้วยน้ำว้าสด

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)	L*	a*	b*	ΔE*	ปริมาณน้ำมันทั้งหมด^{ns} (%)
กล้วยน้ำว้าสด	65.46±0.22	81.52±1.25	4.52±0.21	20.17±0.41	-	
กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	1.35^{ns}±0.19	68.98^{b}±0.80	3.79^{b}±0.35	22.24^{b}±0.86	13.00^{b}±0.61	27.42±0.99
กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติ	1.53^{ns}±0.11	65.65^{a}±0.86	7.23^{a}±0.53	24.46^{a}±0.67	16.66^{a}±0.81	26.72±1.08

^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ตารางที่ 4.3) จะเห็นได้ว่าตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้จากการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ มีปริมาณสูงกว่าตัวอย่างที่ทอดในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าที่สูงกว่าประมาณ 2.7 เท่า แสดงให้เห็นว่าการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศซึ่งใช้อุณหภูมิในการทอดต่ำกว่า สามารถลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการสูญเสียปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในระหว่างการแปรรูปกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ พบว่าขั้นตอนการฝานบางและเก็บชิ้นกล้วยในถุงพลาสติก (PE) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูญเสียมากถึง 67.85

เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างกล้วยน้ำว้าสดเริ่มต้น ในขณะที่ขั้นตอนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและการทอดแบบปกติ มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง 74.02 และ 90.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกล้วยน้ำว้าฝานบาง (ก่อนทอด) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศระหว่างตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการใส่ถุงพลาสติก เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและตัวอย่างที่ไม่ผ่านขั้นตอนการเก็บในถุงพลาสติก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าปริมาณฟีนอลิกมีค่าเท่ากับ 58.76 และ 90.20 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่างกันถึง 1.5 เท่า จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนในการเก็บกล้วยฝานบางในถุงพลาสติก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้มีการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจำนวนมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ รามราชที่ได้มีการศึกษาการสูญเสียของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในกระบวนการแปรรูปกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ พบว่าในขั้นตอนการหั่นและเก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในถุงพลาสติกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้สูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกถึง 73.08 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกล้วยน้ำว้าสด เพราะในขั้นตอนฝานบางจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว รวมไปถึงระยะเวลาที่นานถึง 2 ชั่วโมง ทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับออกซิเจน เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะส่งผลในการทำลายสารฟีนอลิกได้ และพบว่าเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดสจะมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้นเมื่อได้สัมผัสกับออกซิเจน ทำให้เกิดการออกซิเดชัน จึงทำให้เกิดสีคล้ำขึ้นที่ตัวชิ้นกล้วยน้ำว้าฝานบาง

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของในกล้วยน้ำว้าสด กล้วยน้ำว้าฝานบาง (ก่อนทอด) กล้วยทอดกรอบ-แผ่นบาง และปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ

ตัวอย่าง/การวิเคราะห์	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ไมโครกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)
กล้วยน้ำว้าสด	703.51 ± 43.56	884.84±39.48	-	-
กล้วยน้ำว้าฝานบางที่เก็บในถุงพลาสติก 2 ชั่วโมง (ก่อนทอด)	226.20 ± 22.23	311.59±22.91	-	-
กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยไม่ผ่านขั้นตอนการเก็บในถุงพลาสติก 2 ชั่วโมง	90.20± 3.50	29.24±1.27	-	-
กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	58.76^{a} ± 4.02	8.42^{a}±0.44	9.41^{a} ± 0.45	5.57^{a}±0.30
กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติ	21.50^{b}± 2.73	3.11^{b}±0.39	3.4^{b} ± 0.26	3.47^{b}±0.28

^{a} ,^{b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันระหว่างตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีค่ามากกว่าของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับผลของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีค่าเท่ากับ 8.42 และ 3.11 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าประมาณ 2.7 เท่า แสดงให้เห็นว่าการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศซึ่งใช้อุณหภูมิในการทอดต่ำกว่าสามารถลดการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบได้ เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในขั้นตอนการฝานบางและเก็บชิ้นกล้วยในถุงพลาสติก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลง 64.78 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างกล้วยน้ำว้าสดเริ่มต้น ในขณะที่ขั้นตอนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและการทอดแบบปกติ มีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลง 97.30 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกล้วยน้ำว้าฝานบาง (ก่อนทอด) และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศระหว่างตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการเก็บในถุงพลาสติก เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและตัวอย่างที่ไม่ผ่านขั้นตอนการเก็บในถุงพลาสติก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเท่ากับ 8.42 และ 29.24 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่างกันถึง 3.5 เท่า จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนในการใส่ถุงพลาสติก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลง เช่นเดียวกับการสูญเสียปริมาณฟีนอลิก กล่าวคือเมื่อเกิดการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไปด้วย

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีของกล้วยทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและสภาวะปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 9.41 และ 3.4 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณวิตามินซีในกล้วยน้ำว้าสด (ดิบ) มีค่า เท่ากับ 31 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (เบญจมาศ, 2545) จะเห็นว่ากล้วยแผ่นบางทอดกรอบภายใต้สภาวะสุญญากาศมีการสูญเสียปริมาณวิตามินซีน้อยกว่า กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยน้ำว้าสด เนื่องจากในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศได้ใช้อุณหภูมิในการทอดที่ต่ำกว่าการทอดในสภาวะปกติ ประกอบกับการทอดในระบบสุญญากาศจะทำให้ชิ้นอาหารในระหว่างการทอดมีการสัมผัสกับออกซิเจนน้อย ดังนั้นจึงมีปริมาณวิตามินซีคงเหลืออยู่มากกว่า เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Dueik และ Bouchon (2010) ที่พบว่าการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทำให้ปริมาณวิตามินซีในมันฝรั่งคงเหลือมากกว่าการทอดในสภาวะปกติ และอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อปริมาณวิตามินซี ยิ่งอุณหภูมิสูงยิ่งทำให้สูญเสียปริมาณวิตามินซีมากขึ้น

ผลจากเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและที่ทอดในสภาวะปกติ (ตารางที่ 4.3) พบว่ากล้วยทอดกรอบภายใต้สภาวะ

สุญญากาศมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมากกว่ากล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 5.57 และ 3.47 ไมโครกรัม/1กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียแคโรทีนอยด์นั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอาหารแต่ละชนิดและสภาวะในการบวนการแปรรูป แต่ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับสภาวะในการแปรรูปมากกว่าโครงสร้าง กล่าวคือ อุณหภูมิ และออกซิเจน นั้นเอง (Miller และคณะ, 1996)

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เปรียบเทียบกับกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติ โดยให้คะแนนความชอบด้วยวิธี Hedonic scale 7 ระดับ โดย 1 คะแนน หมายถึงไม่ชอบมาก และ 7 คะแนน หมายถึงชอบมาก พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้าน สี และรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ให้คะแนนความชอบทางด้าน กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในด้านสีไม่ต่างกันเนื่องจาก บางคนชอบสีคล้ำที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่คุ้นเคยดีในท้องถิ่น และบางคนก็ชอบสีเหลืองสว่างของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จึงทำให้มีคะแนนไม่ต่างกัน คือ 5.57 และ 4.93 ตามลำดับ กล่าวคือคะแนนมีความชอบอยู่ระดับ ชอบเล็กน้อย ในด้านกลิ่นผู้ทดสอบมีความชอบกลิ่นของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติมากกว่าเนื่องจากมีกลิ่นเฉพาะที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ชัดเจนกว่า นอกจากนี้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติมากกว่าโดยให้คะแนนความชอบอยู่ที่ระดับ ชอบเล็กน้อย และให้คะแนนความชอบโดยรวมของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติมากกว่าเช่นกัน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนนของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เปรียบเทียบกับการทอดที่สภาวะปกติ

ตัวอย่าง	การประเมินทางประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	4.93±1.29	4.43^{b}±0.96	5.07±1.17	4.93^{b}±1.20	5.20^{b}±1.13
กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดในสภาวะปกติ	5.57±1.41	5.73^{a}±0.98	5.63±1.03	5.67^{a}±0.96	5.97^{a}±0.81

^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ พบว่าการทอดที่สภาวะสุญญากาศนั้น สามารถลดการสูญเสีย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และมีค่าสีที่ธรรมชาติของกล้วยมากกว่าการทอดที่สภาวะปกติ แต่ในด้านการดูดซับน้ำมันยังมีปริมาณเทียบเท่ากับการทอดที่สภาวะปกติ และคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับ ชอบเล็กน้อย นอกจากนี้ผู้ทดสอบยังให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบภายใต้สภาวะปกติสูงกว่าที่ได้จากการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อไป และผลจากขั้นตอนการแปรรูป กล่าวคือขั้นตอนการเก็บชิ้นกล้วยในถุงพลาสติกเป็นเวลา 2 ชั่วโมงนั้น ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงมาก ดังนั้นจึงมีการตัดขั้นตอนนี้ไปเพื่อลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยน้ำว้า

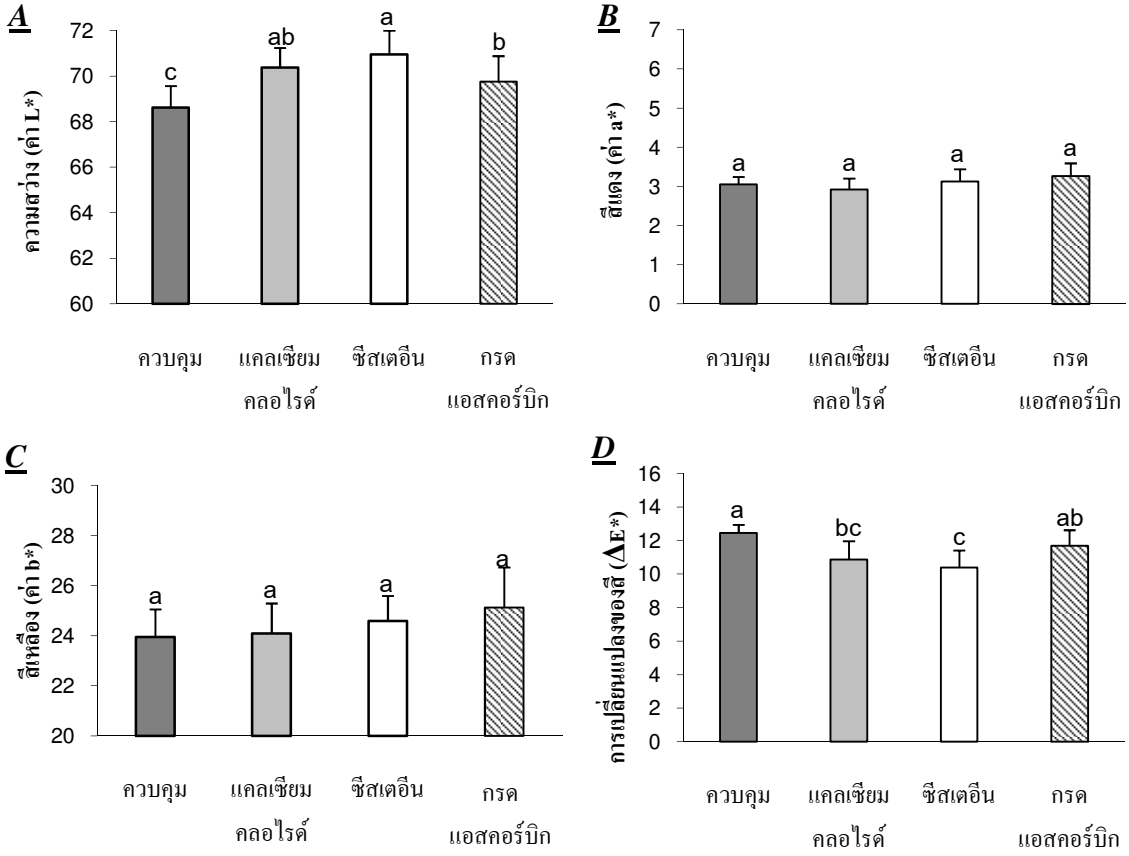
4.3 ผลของการแช่ชิ้นกล้วยน้ำว้าในสารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลต่อคุณภาพโดยรวมของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ

จากการทดลองเตรียมกล้วยน้ำว้าแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยก่อนทอดนำชิ้นกล้วยน้ำว้าฝานบาง แช่ลงในสารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแต่ละชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ ซีสเตอีน และกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 3 นาที และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายเป็นตัวอย่างควบคุม นำตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้มาวิเคราะห์หา ปริมาณความชื้น ค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4 ตารางที่ 4.5 และ 4.6

จากการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าค่า L* (ค่าความสว่าง) และ ΔE^* (ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี) ของทั้ง 4 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.4 *A* และ 4.4 *D* กล่าวคือ ตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายซีสเตอีนและตัวอย่างที่ผ่านการแช่แคลเซียมคลอไรด์ มีค่าความสว่างมากที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก โดยมีค่าเท่ากับ 70.96, 70.37 และ 69.76 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความสว่างเพียง 68.62 ผลในการทดลองนี้สอดคล้องกันกับ การทดลองของ Apintanapong และคณะ (2007) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่า การแช่สารละลายซีสเตอีนและแคลเซียมคลอไรด์ มีค่าความสว่างมากที่สุด เนื่องจากผลของสารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลกล่าวคือ สารซีสเตอีนสามารถทำปฏิกิริยากับควิโนนซึ่งเป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการออกซิเดชันของโพลีฟีนอล โดยมีโพลีฟีนอลออกซิเดสเป็น

ตัวเร่ง ทำให้ได้สารประกอบออร์โท-ไดฟีนอลที่คงตัวและไม่มีสี และซีสเทอีนยังสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้อีกด้วย เนื่องจากเกิดการจับกับคอร์เปอร์ ไอออนที่เป็นโคเอนไซม์ (co-emzyme) ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ กรดแอสคอร์บิกสามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลจากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิม ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล และผลของแคลเซียมคลอไรด์ เป็นไปได้ว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะถูกขัดขวางโดย ไอออน คลอไรด์

จากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีพบว่า การแช่สารละลายซีสเตอีน สามารถลดการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบสุญญากาศได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม จะเห็นได้ว่าตัวอย่างความคุมมีการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด คือ 12.45 ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าความสว่าง แต่เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่า a* (ค่าสีแดง) และ ค่า b* (ค่าสีเหลือง) ของแต่ละตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) ดังแสดงในภาพที่ 4.4 *B* และ 4.4 *C* ตามลำดับ กล่าวคือการแช่สารละลาย ทั้ง 3 ชนิดไม่มีผลต่อค่าสีแดงและสีเหลือง



ภาพที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์สี ของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะ สุญญากาศ โดยผ่านการแช่สาระลาย แคลเซียมคลอไรด์ ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิก ก่อนการทอด

$^{a-c}$หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยผ่านการแช่สาระลาย แคลเซียมคลอไรด์ ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิก ก่อนทอดและตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการแช่) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณความชื้นของทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1.33-1.42 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความชื้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สุญญากาศ ที่ผ่านการแช่สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิก ก่อนทอด และตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการแช่)

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น ^{ns} (%)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)
ควบคุม	1.33±0.11	84.80^{c}±8.65	28.34^{c}±2.86
แคลเซียมคลอไรด์	1.42±0.10	134.51^{b}±6.31	279.89^{b}±28.92
ซีสเตอีน	1.40±0.14	183.98^{a}±16.25	466.02^{a}±31.36
กรดแอสคอร์บิก	1.36±0.12	156.07^{ab}±7.93	358.17^{ab}±22.01

$^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างที่ผ่านการแช่สาระลายลายแต่ละชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิก และเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤0.05) กล่าวคือ ตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายซีสเตอีน และตัวอย่างที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 183.98 – 156.07 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 84.80 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายซีสเตอีนและแคลเซียมคลอไรด์ ถึง 2.19 และ 1.84 เท่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้ง 3 ตัวอย่างสามารถลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สาร(ควบคุม) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุดารัตน์ (2551) ที่ศึกษาการรักษาคุณภาพสับปะรดตัดแต่งพันธุ์ภูเก็ตโดยใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและสภาพบรรยากาศ

ควบคุม พบว่าตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.2 โมลลาร์ และตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่ละลายซิสเตอีนที่ความเข้มข้น 0.05 โมลลาร์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการแช่สารละลาย) เนื่องจากสารทั้งสองตัวเป็นสารรีดิวซิง สามารถทำปฏิกิริยากับควิโนนซึ่งเป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการออกซิเดชันของโพลีฟีนอล โดยมีโพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่ง ได้เป็นสารประกอบออร์โท-ไดฟีนอล และแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม เฮไลด์ ที่มีความสามารถในการยังยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (นิธิยา, 2549; มณฑาทิพย์, 2539) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สุญญากาศ โดยผ่านการแช่สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิก ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมพบว่าตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 279.89, 466.02, 358.17 และ 28.34 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายซีสเตอีน และตัวอย่างที่ผ่านการแช่กรดแอสคอบิก มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 466.02 – 358.17 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 28.34 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายซีสเตอีนและแคลเซียมคลอไรด์ถึง 16.4 และ 12.6 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้ง 3 ตัวอย่างสามารถลดการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนนของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิก ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ตัวอย่าง	การประเมินทางประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ควบคุม	5.23±1.28	4.50^{a}±1.32	4.70^{a}±1.61	4.78^{a}±1.45	5.05^{a}±1.33
แคลเซียมคลอไรด์	5.27±1.49	4.07^{a}±1.21	4.50^{a}±1.53	4.22^{b}±1.63	4.52^{b}±1.40
ซีสเตอีน	5.53±1.20	3.58^{b}±1.53	3.20^{b}±1.71	4.27^{b}±1.49	3.53^{c}±1.63
กรดแอสคอร์บิก	5.25±1.27	4.27^{a}±1.43	4.20^{a}±1.69	4.52^{ab}±1.28	4.77^{ab}±1.40

$^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.6) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง ในด้าน สี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับ ชอบเล็กน้อย แต่ให้คะแนนความชอบทางด้าน กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่น และรสชาติของตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายซีสเตอีนน้อยที่สุด อยู่ในระดับ ไม่ชอบเล็กน้อย เนื่องจากสารซีสเตอีนมีกลิ่นซัลเฟอร์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นนั้นด้วยเช่นกัน คะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนของตัวอย่างควบคุมมากที่สุด โดยคะแนนมีค่าเท่ากับ 4.78 ซึ่งอยู่ในระดับ เฉยๆ ถึง ชอบเล็กน้อย และผลของการให้คะแนนจากผู้ทดสอบ ในด้านความชอบโดยรวม ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิกจะมีคะแนนความชอบมากที่สุด ถึงแม้การแช่กรดแอสคอร์บิกจะทำให้ตัวอย่างที่ได้มีรสเปรี้ยวเล็กน้อยก็ตาม

จากการวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยผ่านการแช่สารละลายที่มีสมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล คือ แคลเซียม-คลอไรด์ ซีสเตอีน และกรดแอสคอร์บิก พบว่าสารทั้ง 3 ชนิด ทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้มี ค่าความสว่างของสี ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดีกว่าตัวอย่างควบคุม โดยสารละลายซิสเตอีน และกรดแอสคอร์บิก เป็นสารที่ทำให้สมบัติทางเคมีกายภาพดีที่สุด แต่เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสแล้วพบว่าผลิตภัณฑ์ที่

แช่สารละลายซีสเตอีน มีคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจากกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นในการทดลองนี้การใช้กรดแอสคอร์บิกในการเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จึงเป็นตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด

4.4 ผลของการเคลือบชิ้นกล้วยน้ำว้าในสารละลายที่มีสมบัติช่วยลดการดูดซับน้ำมันต่อคุณภาพโดยรวมของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ

จากการทดลองเตรียมกล้วยน้ำว้าแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยก่อนทอดนำชิ้นกล้วยน้ำว้าฝานบาง แช่ลงในสารไฮโดรคลอลอยด์ชนิดต่างๆ คือ แพคติน คาร์บอกซีเมธิล-เซลลูโลส (CMC) และกัวกัม ที่ความเข้มข้น 1 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายเป็นตัวอย่างควบคุม นำตัวอย่างกล้วยทอดกรอบที่ได้มาวิเคราะห์หา ปริมาณความชื้น ค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ปริมาณวิตามินซี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8 และภาพที่ 4.5 – 4.8

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าการเคลือบชิ้นกล้วยน้ำว้าด้วยสารต่างๆก่อนทอด มีผลต่อปริมาณความชื้นของตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่เคลือบด้วย CMC และ กัวกัม มีปริมาณความชื้น คือ 2.03 และ 2.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เคลือบด้วยแพคติน สำหรับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เคลือบด้วยแพคติน มีปริมาณความชื้น คือ 1.54 และ 1.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Garmakhany และคณะ (2008) ซึ่งศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นบางทอดกรอบโดยใช้สารไฮโดรคลอลอยด์ คือ CMC แซนแทนกัม กัวกัม และ ทรากาแคนท์ (tragacanth) พบว่าการใช้สารไฮโดรคอลอยด์จะทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และทำให้ปริมาณน้ำมันลดลงด้วย

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่าสี (L* a* b*) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยผ่านการเคลือบด้วยสารไฮโดรคลอลอยด์ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นกล้วยน้ำว้าขั้นต้น คือ CMC กัวกัม แพคติน ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสติติทางด้านสี โดยค่า L* (ความสว่าง) มีค่าอยู่ในช่วง 69.03 - 70.52 ค่า a*(ค่าสีแดง) มีค่าอยู่ในช่วง 3.94 - 4.17 ค่า b*(ค่าสีเหลือง) มีค่าอยู่ในช่วง 24.20 - 25.81 และค่า ΔE^*(ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี) มีค่าอยู่ในช่วง 13.52 - 14.23 จะเห็นได้ว่าการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

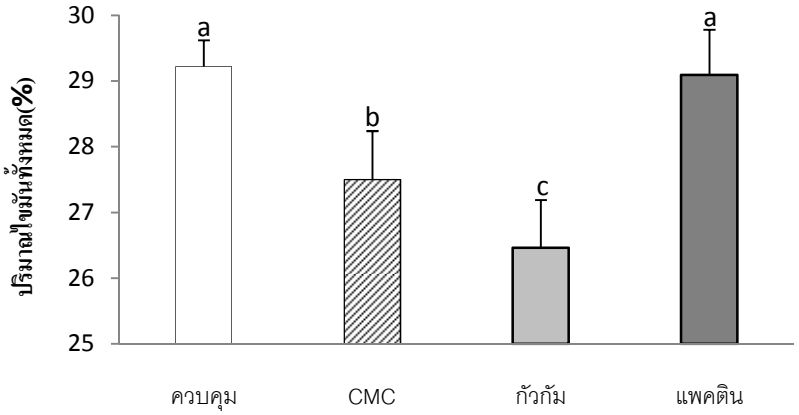
ตารางที่ 4.7 ปริมาณความชื้น ค่าสี และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ชนิดต่างๆ ก่อนทอด

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)	L*^{ns}	a*^{ns}	b*^{ns}	ΔE*^{ns}
ควบคุม	1.54^{b}±0.11	70.52±0.97	4.00±0.39	25.81±2.88	13.52±1.41
CMC	2.03^{a}±0.19	69.18±1.23	3.94±0.41	24.89±2.18	14.23±1.19
กัวกัม	2.26^{a}±0.18	69.03±1.44	4.17±0.23	24.20±2.18	14.02±1.05
แพคติน	1.70^{b}±0.13	69.45±0.43	4.03±0.32	24.49±1.39	13.76±1.30

^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

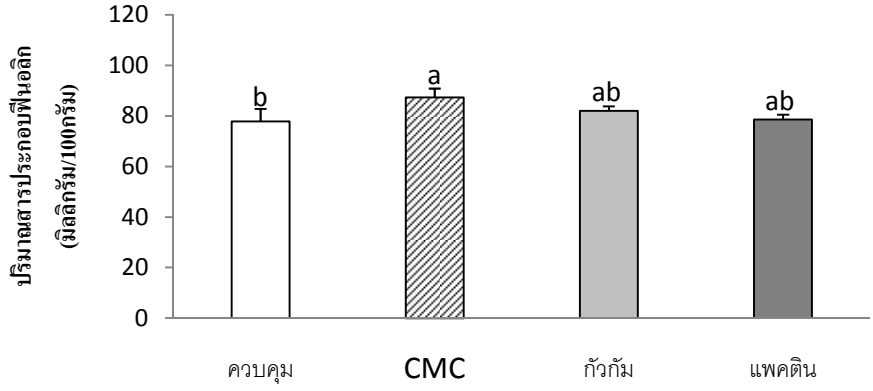
จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่า ปริมาณไขมันทั้งหมดของ ทั้ง 4 ตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบด้วย กัวกัม มีปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด คือ 26.46 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ CMC มีค่าเท่ากับ 27.50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบด้วยแพคติน และตัวอย่างควบคุม มีปริมาณน้ำมันมากที่สุด คือ 29.09 และ 29.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเคลือบด้วย กัวกัม และ CMC สามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ 9.45 และ 5.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งจากงานของ Singthong และ Thongkaew (2009) ศึกษาผลของการใช้สารไฮโดร์คลอลอยด์ คือ อัลจิเนต CMC และแพคติน ต่อการดูดซับน้ำมันของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ พบว่าแพคตินที่ระดับความเข้มข้น 1 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ร่วมกับการลวกชิ้นกล้วยด้วยแคลเซียม-คลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร และ CMC ที่ระดับความเข้มข้น 1 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ร่วมกับการลวกชิ้นกล้วยด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.25 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร มีการดูดซับน้ำมันน้อยลงในปริมาณที่เท่ากัน แต่ในผลการทอดลองนี้ที่ความเข้มข้นเดียวกันของแพคติน ผลิตภัณฑ์มีการดูดซับน้ำมันมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีการเคลือบด้วยกัวกัม และ CMC อาจเนื่องมาจากการไม่ได้ใช้แคลเซียมคลอไรด์ร่วมด้วย หรืออาจจะใช้สารแพคตินคนละชนิดกัน แต่การใช้สารกัวกัม และ CMC ในการเคลือบสามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ เนื่องจากคุณสมบัติการเกิดเจลของกัมแต่ละชนิด ทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวหน้าชิ้นอาหารจึงช่วยป้องกันโครงสร้างของชิ้นอาหารในระหว่างการทอด และทำให้การซึมผ่านของน้ำมันผ่านเข้าไปยังชิ้นอาหารน้อยลง (Akdeniz และคณะ 2005)



ภาพที่ 4.5 ปริมาณไขมันทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สุญญากาศเมื่อผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ชนิดต่างๆ ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

[a - c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

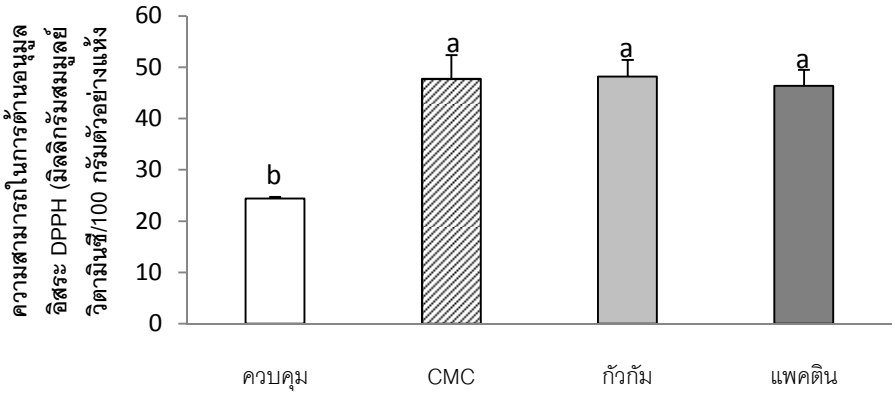
จากภาพที่ 4.6 แสดงผลของการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบCMC กัวกัม แพคติน เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าตัวอย่างทั้ง 4 มีชนิดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด เท่ากับ 77.82 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง และตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ CMC มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด เท่ากับ 87.37 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติ พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ กัวกัม และ แพคติน ไม่ได้มีค่าที่แตกต่างกันกับ ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ CMC จึงสรุปได้ว่าการเคลือบกล้วยน้ำว้าฝานบางก่อนทอดด้วย CMC จะส่งผลให้การสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงได้



ภาพที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สุญญากาศเมื่อผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ชนิดต่างๆ ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

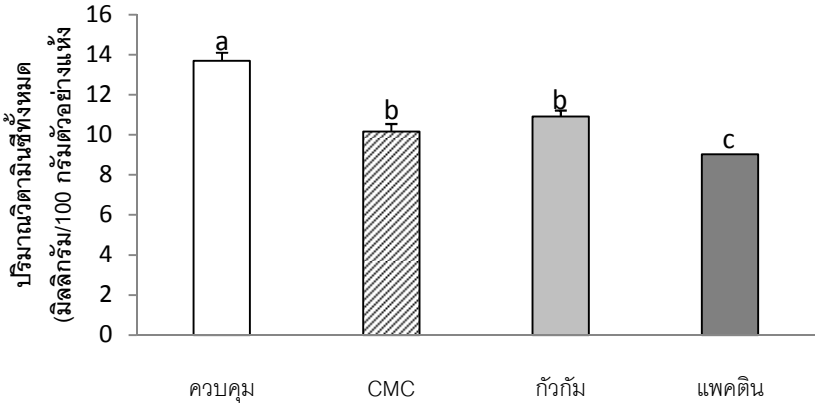
[a,b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) ดังแสดงภาพที่ 4.7 โดยตัวอย่างควบคุมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 24.40 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ CMC กัวกัม และแพคติน มีค่าเท่ากับ 47.73, 48.18 และ 46.37 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ตัวอย่างนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จะเห็นได้ว่าการเคลือบสารไฮโรคลอลอยด์ คือ CMC กัวกัม หรือ แพคติน มีส่วนช่วยลดการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบได้



ภาพที่ 4.7 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สุญญากาศเมื่อผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ชนิดต่างๆ ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

[a,b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.8 ปริมาณวิตามินซี ของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สุญญากาศเมื่อผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ชนิดต่างๆ ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

[a-c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์และตัวอย่างควบคุม ดังภาพที่ 4.8 พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ CMC กัวกัมและตัวอย่างที่เคลือบด้วยแพคตินโดยมีค่าเท่ากับ 13.69, 10.16, 10.91 และ 9.03 มิลลิกรัม/100กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ การสูญเสียวิตามินซีของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบสารละลายไฮโดรคลอลอยด์นั้น อาจมาจากขั้นตอนในการ แช่ชิ้นกล้วยลงในสารละลายไฮโดรคลอลอยด์ เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นจึงเทเจลที่เป็นส่วนเกินออก แล้วทำการอบที่อุณหภูมิ 135 ต่ออีก 3 นาที ซึ่งขั้นตอนการแช่ชิ้นกล้วยลงในเจลนั้น อาจทำให้วิตามินซีละลายออกไปพร้อมกับเจลที่เทออก ซึ่งการล้าง หรือการแช่ผักผลไม้ ที่หั่นแล้ว จะเกิดการสูญเสียวิตามินซีได้อย่างรวดเร็ว และการให้ความร้อนแก่ผักผลไม้ ก็สามารถทำให้สูญเสียวิตามินซีได้เช่นกัน (นิธิยา, 2545) และจากภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วยแพคตินมีการสูญเสียปริมาณวิตามินซีมากที่สุด อาจเป็นเพราะการเกิดเจลของแพคตินเกิดเจลได้น้อย จึงทำให้วิตามินซีละลายไปกับสารละลายแพคตินได้มากกว่าสารละลายชนิดอื่นที่มีการเกิดเจลได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนนของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อผ่านการเคลือบสารไฮโดรคอลอยด์ชนิดต่างๆ ก่อนทอด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ตัวอย่าง	การประเมินทางประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ควบคุม	5.60±1.00	4.67^{b}±1.12	5.07^{ab}±1.08	4.87^{b}±1.25	5.43^{ab}±0.97
CMC	5.03±1.19	4.70^{b}±0.95	5.00^{b}±1.44	4.87^{b}±1.46	5.20^{ab}±1.50
กัวกัม	5.10±1.37	4.63^{b}±1.22	4.97^{b}±1.07	5.07^{ab}±1.36	5.13^{b}±1.22
แพคติน	5.13±1.20	5.23^{a}±1.22	5.57^{a}±0.90	5.50^{a}±1.14	5.80^{a}±0.93

^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์ชนิดต่างๆ ก่อนทอด คือ CMC กัวกัม แพคตินและตัวอย่างควบคุม ดังตารางที่ 4.8 พบว่า คะแนนความชอบทางด้านสี ของทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) โดยคะแนนอยู่ในช่วง 5.03 -5.60 กล่าวคืออยู่ในระดับ ชอบเล็กน้อย และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง กัวกัม CMC และตัวอย่างควบคุม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) ทั้งในด้านของ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีคะแนนอยู่ระดับ เฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย แต่ตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบด้วย แพคติน ได้คะแนนความชอบ ในด้าน กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ถึงแม้ว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วย แพคตินจะมีความชอบทางด้านประสาทสัมผัสสูงที่สุด แต่แพคตินก็ไม่สามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์นี้ได้

จากการวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยผ่านการเคลือบสารไฮโดรคลอลอยด์เพื่อลดการดูดซับปริมาณน้ำมัน คือ CMC กัวกัม แพคติน พบว่า กัวกัม มีความสามารถในการช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด รองลงมาคือ CMC และจากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกตัวอย่างที่เคลือบด้วย CMC มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างควบคุมแต่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่เคลือบด้วย กัวกัม ประกอบกับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ทั้ง กัวกัม และ CMC ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) และจากการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม พบว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วย กัวกัม และ CMC ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในการใช้สารไฮโดรคลอลอยด์เพื่อช่วยลดการดูดซับน้ำมันในการทอดลองครั้งนี้ กัวกัม เป็นสารที่เหมาะสมที่สุดในการช่วยลดการดูดซับน้ำมัน และช่วยให้คุณภาพทางเคมีกายภาพดีขึ้นอีกด้วย

4.5 ผลของการแช่แข็งชิ้นกล้วยน้ำว้าก่อนการทอด ต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบ

จากการทดลองเตรียมกล้วยแผ่นบางทอดกรอบด้วยวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยก่อนทอด นำชิ้นกล้วยน้ำว้าฝานบางไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ตัวอย่างแช่แข็ง) นำตัวอย่างที่ได้มาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพกับกล้วยแผ่นบางทอดกรอบด้วยวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ตัวอย่างควบคุม) วิเคราะห์ ปริมาณความชื้น ค่าสี ปริมาณน้ำมันทั้งหมด เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้น ค่าสี ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ปริมาณน้ำมันทั้งหมด ความแข็ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยผ่านขั้นตอนการแช่แข็งก่อนทอดเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น(%)	L^{*ns}	a^{*ns}	b*	ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี^{ns} (ΔE^*)	ปริมาณไขมันทั้งหมด^{ns} (%)	ความแข็งนิวตัน (N)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก^{ns} (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)
ควบคุม	1.32^{a} ±0.06	66.22±1.25	3.67±0.24	22.90^{b}±0.75	15.26±1.13	28.75±0.25	9.92^{a}±0.97	92.07±8.64
แช่แข็ง	1.04^{b} ±0.13	65.52±1.27	3.72±0.24	23.72^{a}±0.95	16.09±1.18	29.42±0.70	6.82^{b}±0.98	86.17±3.89

^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของตัวอย่างควบคุมมีปริมาณความชื้นมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปรย และ ธงชัย 2551 ซึ่งศึกษาผลของกรรมวิธีก่อนทอดต่อคุณภาพเห็ดนางฟ้าทอดสุญญากาศ พบว่าตัวอย่างที่มีการแช่แข็งก่อนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง เนื่องจากตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งก่อนนำไปทอดจะทำให้น้ำในตัวอย่างกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ซึ่งจะทำให้เซลล์เนื้อเยื่อเกิดเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ เมื่อนำไปทอดจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำในสภาวะน้ำแข็งอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยความร้อนจะเกิดการถ่ายเทจากน้ำมันไปสู่ผิวของชิ้นอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจะถ่ายเทความร้อนจากชิ้นอาหารไปสู่น้ำในอาหาร จนน้ำในอาหารมีอุณหภูมิถึงจุดเดือดของน้ำ และน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแพร่ออกสู่ภายนอกอาหาร

ผลจากการทดลองวัดค่าสี L* a* b* และจากการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) ดังแสดงที่ตาราง 4.9 พบว่าค่าสี L*(ความสว่าง) a*(โทนสีแดง) และ ΔE^*(ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง โดยค่า L* จะอยู่ในช่วง 65.52-66.22 a* อยู่ในช่วง 3.67-3.72 และ ΔE^* อยู่ในช่วง 22.90-23.72 แต่ค่า b* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงโทนสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็งของการทอดนั้นมีค่าเท่ากับ 23.72 ซึ่งมากกว่าตัวอย่างควบคุม ที่มีค่าเท่ากับ 22.90

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดของทั้ง 2 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณน้ำมันทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 28.75-29.42 ซึ่งให้ผลที่แตกต่างกันกับงานวิจัยของ ปิยะทิพย์ (2550) ซึ่งศึกษาผลของการเตรียมก่อนการทอดและระดับความสุกต่อคุณภาพกล้วยหอมทองแว่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่าในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งจะมีปริมาณน้ำมันน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็ง โดยอธิบายว่าเนื่องจากการการแพร่ของน้ำบางส่วนออกมาอยู่ระหว่างเซลล์ การทอดอาหารขณะที่อาหารยังอยู่ในสภาพแช่แข็งจะเกิดการเดือดที่รุนแรงในขณะที่ยังรักษาโครงสร้างของอาหารไว้ได้ ซึ่งอาจเป็นผลจากการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งและการระเหยที่เกิดขึ้นในเวลาพร้อมๆ กัน เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงมีรูพรุนขนาดเล็กซึ่งทำให้ปริมาณน้ำมันดูดซับลดลง แต่ในการทดลองของ ปรย และ ธงชัย (2551) ที่ศึกษาผลของกรรมวิธีก่อนทอดต่อคุณภาพเห็ดนางฟ้าทอดสุญญากาศ พบว่า ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งมีมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งซึ่งอธิบายว่า เนื่องจากการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น น้ำใน

อาหารจะเกิดการระเหย จากรูพรุนกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมันสามารถเข้าไปแทนที่น้ำในอาหารได้ ส่งผลให้อาหารมีปริมาณน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งจะมีค่าปริมาณความชื้นน้อยกว่า ทำให้น้ำมันสามารถเข้าไปแทนที่ได้มากกว่า ดังนั้นปริมาณน้ำมันในตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งอาจจะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและลักษณะของเครื่องที่ใช้ในการทอด

เมื่อวิเคราะห์ความแข็งด้วยของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบเครื่อง Texture analyzer พบว่าค่าความแข็งของตัวอย่างควบคุมมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือขั้นตอนการแช่แข็งสามารถลดค่าความแข็งของตัวอย่างได้ถึง 1.45 เท่า จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการแช่แข็งก่อนนำไปทอดนั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ปิยะทิพย์ (2550) ที่ได้ทำการทอดลองแช่แข็งกล้วยหอมก่อนที่จะนำไปทอดในสภาวะสุญญากาศ พบว่าการแช่แข็งทำให้ค่าของความแข็งลดน้อยลงกว่าการที่ไม่ผ่านขั้นตอนแช่แข็งก่อนการทอดและงานวิจัยของ Shyu และ Hwang (2001) ที่ศึกษาการแช่แข็งแอบเปิ้ล ก่อนที่จะนำไปทอดในสภาวะสุญญากาศ เมื่อนำตัวอย่างไปส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopic) พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนอย่างรวดเร็วระหว่างเซลล์ของอาหารที่ถูกแช่แข็งและน้ำในผลึกน้ำแข็งสามารถระเหยอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกพบว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างแช่แข็งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิก อยู่ในช่วง 86.17 – 92.07 มิลลิกรัม ต่อ100 กรัมตัวอย่างแห้ง แสดงให้เห็นว่าการแช่แข็งตัวอย่างก่อนการทอดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนนของตัวอย่างกล้วยแผ่นบางทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยผ่านขั้นตอนการแช่แข็งก่อนทอดเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ตัวอย่าง	การประเมินทางประสาทสัมผัส				
	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม^{ns}
ควบคุม	5.40±1.33	4.67±0.99	5.03±1.10	4.43^{b}±1.50	5.07±1.14
แช่แข็ง	5.00±1.11	4.57±1.14	5.27±1.20	5.43^{a}±1.22	5.60±1.03

^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้งที่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งก่อนทอดและตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ผ่านการแช่แข็งก่อนทอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) ในขณะที่คะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็งก่อนทอดนั้นมีคะแนน 5.43 อยู่ในระดับความชอบคือ ชอบเล็กน้อย และตัวอย่างควบคุม 4.43 อยู่ในระดับความชอบคือ เฉยๆ กล่าวคือตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งนั้นให้ผลทางด้านเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแข็งด้วยเครื่อง Texture analyzer