วันที่ 15 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 244834
เลขเรียกหนังสือ 13

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาแป้งซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือตกค้างอยู่ในสายการผลิตก๋วยเตี๋ยวมาใช้ผลิตฟิล์มบริโภคที่มีการดูดซับน้ำมันต่ำ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบริโภค ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมต่อการลดการดูดซับน้ำมันในฟิล์มบริโภค และขั้นตอนที่ 3 เป็นการทดลองนำฟิล์มบริโภคที่ผลิตได้มาใช้ประโยชน์ ซึ่งได้ผลการทดลองทั้งหมดดังนี้

4.1 การหาปริมาณอะมิโลสของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาหาปริมาณอะมิโลสของแป้งข้าวเจ้าที่ตกค้างอยู่บนสายการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยใช้โปเตโตอะมิโลสเป็นสารมาตรฐาน (ภาคผนวกที่ ง.1) จากการวิเคราะห์พบว่าแป้งตัวอย่างมีปริมาณอะมิโลสเท่ากับร้อยละ 20.46 ± 1.81 ผลที่ได้สอดคล้องกับการรายงานผลของ Kasemsuwan และคณะ, 1998 พบว่าปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 20.5 ± 0.15 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (2529) พบว่าแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวมีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงปานกลางคือมีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 20 – 27

4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบริโภคจากแป้งข้าวเจ้า

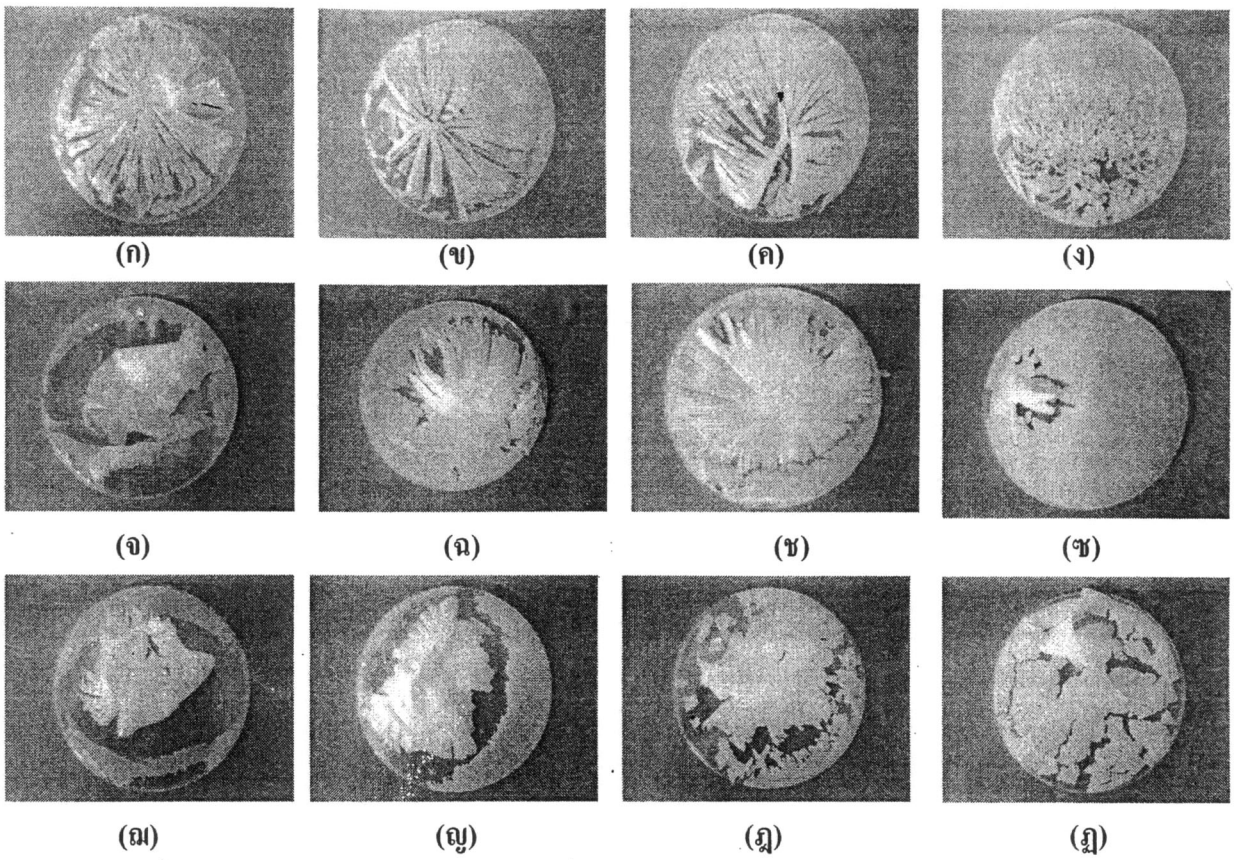
ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำแป้ง ชนิดและความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า โดยผลที่ได้จะนำมาใช้พิจารณาเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตต่อไป สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการทดลองโดยแปรค่า ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 2, 5 และ 8 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการใช้สารละลายที่มีปริมาณของแข็งต่ำเกินไป (น้อยกว่า 4%) ทำให้พอลิเมอร์ของแป้งมีการละลายอย่างสมบูรณ์ซึ่งยากต่อการเกิดเจลทำให้ฟิล์มที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม Pagella และคณะ (2002) ได้ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคจากแป้งซึ่งเตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 2, 5 และ 8 โดยน้ำหนัก ร่วมกับกลีเซอรอลและซอร์บิทอลร้อยละ 10 -20 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีที่สุดคือฟิล์มที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 5 โดยถ้าสารละลายแป้งมีปริมาณของแข็งที่สูงเกินไป (มากกว่า 30%) จะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงจนไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ (Han, 2005) นอกจากนี้ยังทดลองใช้พลาสติไซเซอร์ 2 ชนิด คือกลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอล ซึ่งแต่ละชนิดจะทดลองใช้ที่ระดับร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้า สำหรับเหตุผลในการเลือกใช้ พลาสติไซเซอร์ 2 ชนิดนี้เนื่องจาก กลีเซอรอลสามารถละลายในน้ำ และแอลกอฮอล์ ในขณะที่ใช้เป็นตัวทำละลายน้ำมันได้ดีพอสมควรและกลีเซอรอล สามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง ส่วนโพลีเอทิลีน

ไกลคอลสามารถละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์ เสถียรต่อความร้อน และสารเคมีหลายชนิด โดยงานวิจัยที่มีการใช้กลีเซอรอลและพอลีเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์ได้แก่ ปนัดดา พวงเกษม (2540) ได้ศึกษาการผลิตฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กลีเซอรอล ซอร์บิทอลและพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ทุติยาภรณ์ จิตตะปาโล (2543) ได้ศึกษาการผลิตฟิล์มบริโภคจากโปรตีนในรำข้าวโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ เป็นต้น ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกใช้พลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ในการผลิตฟิล์ม ส่วนการแปรระดับความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ในช่วงร้อยละ 10 – 40 เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 10) ปริมาณของกลีเซอรอลไม่เพียงพอต่อการเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ของแป้ง ฟิล์มไม่มีความยืดหยุ่น และไม่สามารถลอกออกจากตัวแม่พิมพ์ได้ แต่ที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลสูงกว่าร้อยละ 40 ฟิล์มจะมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นและมีความสามารถในการต้านทานแรงดึงขาดต่ำ ทำให้ไม่สามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้ (Parra และคณะ, 2004)

4.2.1 ลักษณะปรากฏและลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม

เมื่อนำส่วนผสมแป้งที่เตรียมตามแผนการทดลองมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.2 เซนติเมตร และนำมาตรวจลักษณะปรากฏและลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม พบว่าได้ผลดังแสดงรูปที่ 4.1 – 4.2 และตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าชนิดของพลาสติไซเซอร์มีผลต่อการขึ้นรูปฟิล์ม โดยฟิล์มบริโภคที่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์มีลักษณะขาวขุ่น มีฝ้าขาวและมีจุดทึบสีขาวกระจายอยู่ทั่วทั้งแผ่น มีเนื้อสัมผัสเปราะ ฉีกขาดเป็นชิ้นได้ง่ายและไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้ทุกระดับความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ (รูปที่ 4.1) ที่เป็นเช่นนี้เพราะพอลิเอทิลีนไกลคอลมีขนาดโมเลกุลใหญ่ (มวลโมเลกุล 10,000 ดาลตัน) และมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลน้อยทำให้มีการกระจายตัวในแป้งเปียกไม่ดี ส่งผลให้มีการยึดจับกับโมเลกุลของสตาร์ชไม่สมบูรณ์และทำให้การเสริมประสานกับร่างแหของสตาร์ชไม่ดี (ปนัดดา พวงเกษม, 2540) ดังนั้นผลการทดลองที่ได้ในขั้นตอนนี้จึงสรุปได้ว่าพอลิเอทิลีนไกลคอลทุกระดับความเข้มข้นไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตฟิล์มบริโภคได้



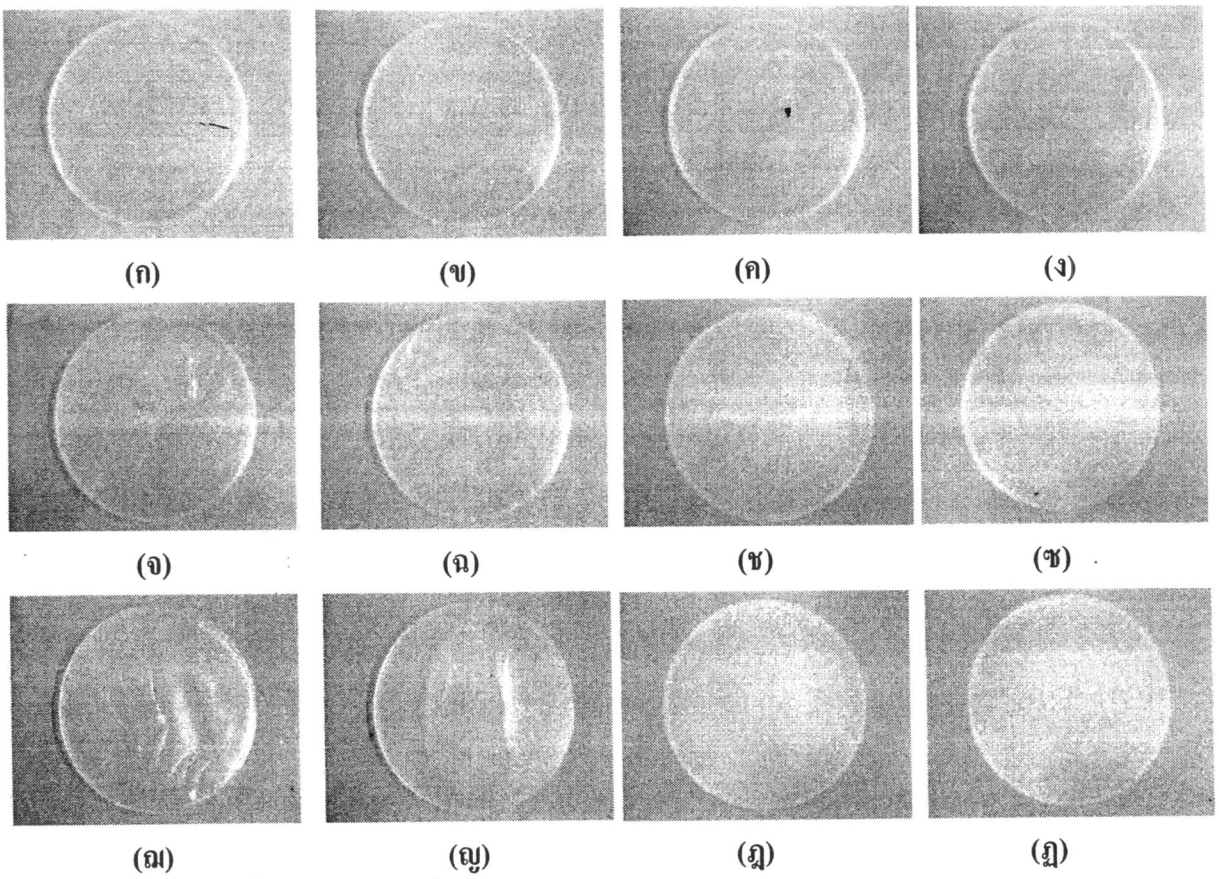
รูปที่ 4.1 ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล (ก) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ10 (ข) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 20 (ค) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 30 (ง) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 40 (จ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 (ฉ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 20 (ช) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 30 (ซ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 40 (ฌ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลร้อยละ 10 (ญ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 20 (ฎ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 30 (ฏ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 40

อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.1 ยังพบว่าเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของแป้งระดับเดียวกันการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลจะทำให้ฟิล์มมีการเกาะตัวกันเป็นแผ่นมากขึ้นและมีการแตกร่อนออกจากตัวแม่พิมพ์น้อยลง ในขณะที่ถ้าพิจารณาที่ความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลระดับเดียวกัน พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากแป้งที่ร้อยละ 2 มีลักษณะเปราะและร่อนออกจากตัวแม่พิมพ์ทั้งหมดโดยมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ ไม่เกาะตัวกันแต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งเป็นร้อยละ 5 และ 8 จะพบว่าฟิล์มมีการยึดเกาะตัวกันมากขึ้นอย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งในช่วงที่ศึกษาก็ไม่สามารถช่วยให้การขึ้นรูปฟิล์มเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือแผ่นฟิล์มยังคงมีลักษณะกรอบและแตกง่าย

จากผลที่ได้อาจกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของแป้งและพอลีเอทิลีนไกลคอลที่ใช้ในการศึกษานี้ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตฟิล์ม เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะเปราะ แตกเป็นชิ้นเล็กๆทำให้ไม่สามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้

สำหรับในส่วนของฟิล์มบริโภคที่เตรียมโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์นั้นพบว่าฟิล์มที่ได้มีสีขาว ขุ่นปานกลาง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการคืนตัวของสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นมีลักษณะขุ่นและทึบแสง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) และพบว่าฟิล์มที่ได้มีผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศหยาบและด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว อาจเนื่องจากผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศมีการระเหยของไอน้ำออกจากผิวหน้าทำให้ผิวสัมผัสมีความหยาบ

จากผลการทดลองยังพบที่ระดับความเข้มข้นของแป้งเท่าๆ กัน การเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลลงในส่วนผสมจะทำให้สามารถลอกฟิล์มจากตัวแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้นและได้ฟิล์มที่เป็นแผ่นสมบูรณ์มากขึ้น โดยจากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากพลาสติไซเซอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 มีลักษณะใสแต่เปราะขาดง่ายและยังไม่สามารถลอกออกเป็นแผ่นได้ ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของ พลาสติไซเซอร์เป็นร้อยละ 30 – 40 จะทำให้ได้แผ่นฟิล์มที่เหนียวมากขึ้น ทำให้สามารถลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มที่สมบูรณ์ได้ดีขึ้น สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลแล้วทำให้สามารถลอกฟิล์มอออกมาได้สมบูรณ์นั้น อธิบายได้ว่ากลีเซอรอลจะไปแทรกและจับยึดกับโมเลกุลของสตาร์ชทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงและเกิดโครงสร้างที่ยืดหยุ่น (Maria และคณะ, 2006) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Laohakunjit และ Noomhorm (2004) พบว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้ามีผิวหน้าที่ไม่เรียบแต่เมื่อเติมซอร์บิทอลมีผลให้ฟิล์มมีผิวเรียบ ยืดหยุ่นและละลายน้ำเพิ่มขึ้น ลดความเปราะและเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม ซึ่งในการทดลองนี้การเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10 – 20 อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์อ่อนตัว ดังนั้นจึงทำให้แป้งเกิดการฉีกขาดในระหว่างการลอกออกจากตัวแม่พิมพ์ เมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลเป็นร้อยละ 30 – 40 จะทำให้มีโมเลกุลของกลีเซอรอลไปแทรกอยู่ระหว่างสายพอลิเมอร์ของแป้งมากขึ้น ส่งผลให้เกิดโครงสร้างที่ยืดหยุ่นมากขึ้นและทำให้สามารถลอกฟิล์มออกจากตัวแม่พิมพ์ได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.2 ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมกลีเซอรอล (ก) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 (ข) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 (ค) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 (ง) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 (จ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 (ฉ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 (ช) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 (ซ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 (ฌ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 (ญ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 (ฎ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 (ฏ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40

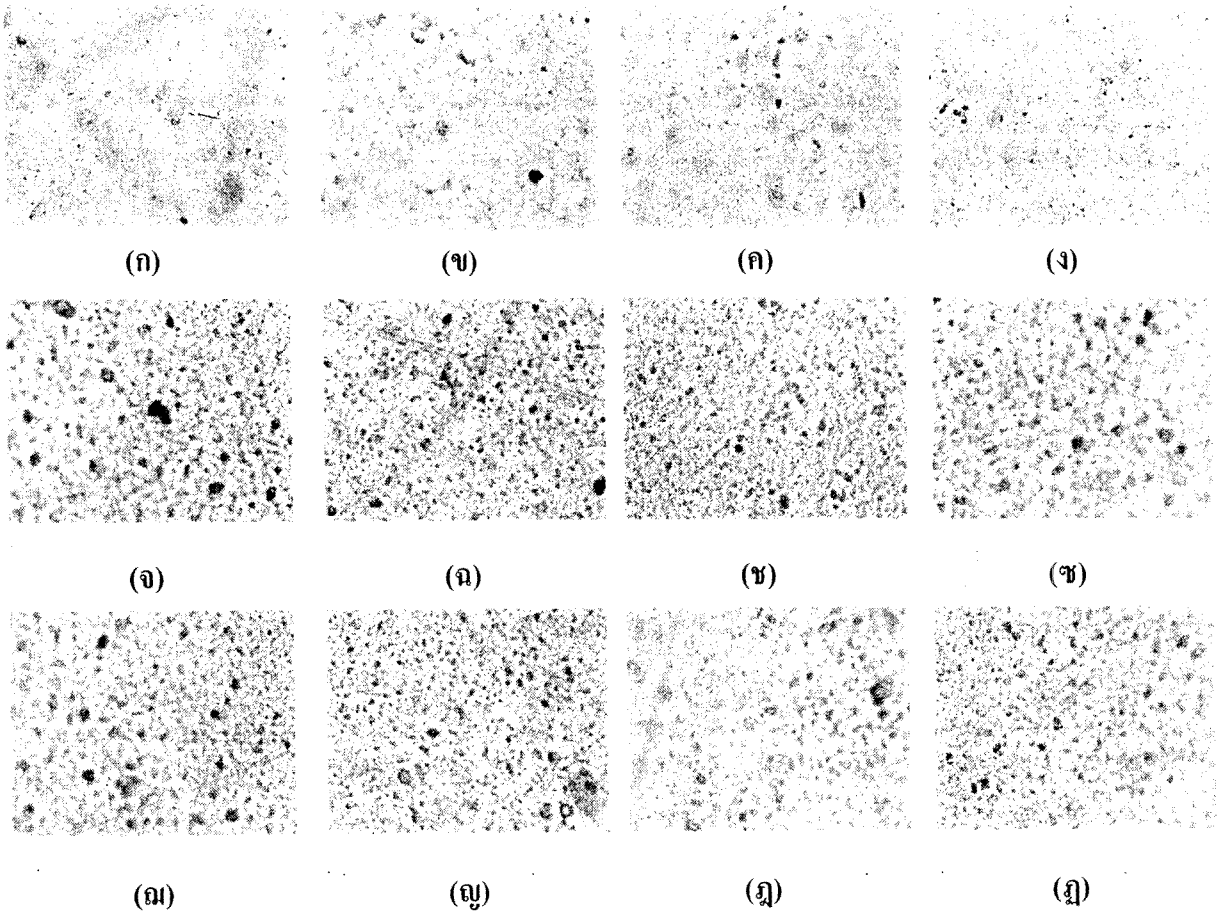
ตารางที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าเติมกลีเซอรอล

แผ่นฟิล์ม	ลักษณะปรากฏ
1. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 2และกลีเซอรอลร้อยละ 10	สีขาว ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบด้าน แต่ไม่สามารถลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มได้
2. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 2และกลีเซอรอลร้อยละ 20	สีขาว ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบด้าน แต่ไม่สามารถลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มได้
3. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 2และกลีเซอรอลร้อยละ 30	สีขาว ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบด้าน แต่ไม่สามารถลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มได้
4. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 2และกลีเซอรอลร้อยละ 40	สีขาว ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบด้าน แต่ไม่สามารถลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มได้
5. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 5และกลีเซอรอลร้อยละ 10	สีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและ ด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย เปราะบาง ไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้
6. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 5และกลีเซอรอลร้อยละ 20	สีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและ ด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย เปราะบาง ไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้
7. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 5และกลีเซอรอลร้อยละ 30	สีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและ ด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย มีความอ่อนตัว สามารถลอกเป็นแผ่นได้
9. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 8และกลีเซอรอลร้อยละ 10	สีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและ ด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย มีความแข็งกระด้าง เปราะบาง ไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้
10. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 8และกลีเซอรอลร้อยละ 20	สีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและ ด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย มีความแข็งกระด้างน้อยกว่าฟิล์มที่เติม กลีเซอรอลร้อยละ 10 เปราะบาง ไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้
11. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 8และกลีเซอรอลร้อยละ 30	สีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและ ด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย มีความอ่อนตัว สามารถลอกเป็นแผ่นได้
12. แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 8และกลีเซอรอลร้อยละ 40	สีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและ ด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย มีความอ่อนตัวมากกว่าฟิล์มที่เติม กลีเซอรอลร้อยละ 30 สามารถลอกเป็นแผ่นได้

ในส่วนอิทธิพลของความเข้มข้นของแป้งนั้นพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งจะทำให้ แผ่นฟิล์มมีความขุ่นมากขึ้น โดยจากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่าการใช้แป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส ไม่สามารถลอกออกจากตัวแม่พิมพ์ได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งเป็นร้อยละ 5 และ 8 จะพบว่า แผ่นฟิล์มที่ได้มีความขุ่นมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 2 มีระดับความเข้มข้นของปริมาณของแข็งต่ำเกินไปทำให้การละลายของแป้งและการเกิดเจลเป็นไป อย่างไม่สมบูรณ์ (Han, 2005)

ผลการทดลองในขั้นตอนนี้บ่งชี้ว่าสภาวะที่สามารถใช้ในการผลิตฟิล์มบริโภคได้คือการใช้ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 5 – 8 และกลีเซอรอลร้อยละ 30 – 40 ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของฟิล์มบริโภคจะใช้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากสภาวะข้างต้นเท่านั้น

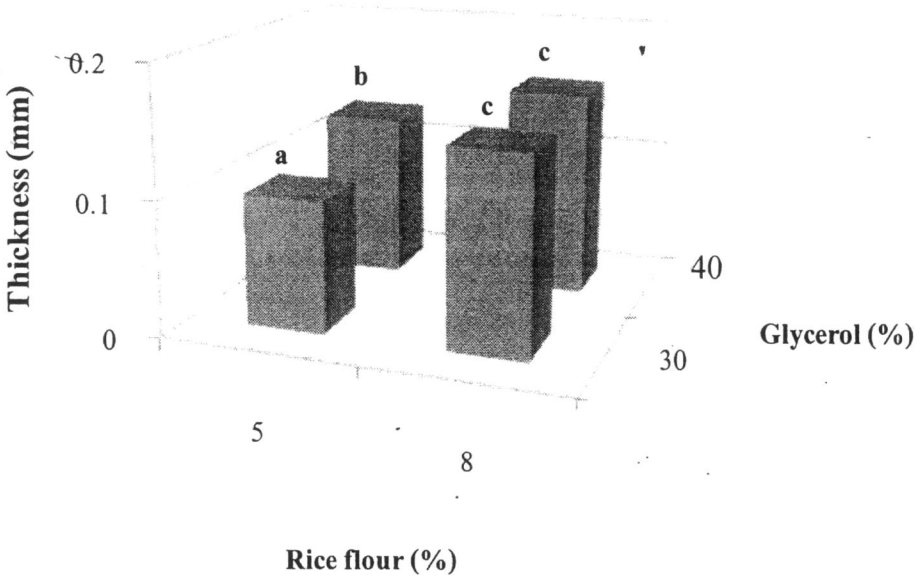
เมื่อนำฟิล์มที่ได้มาส่องดู ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 เท่า พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.3 ซึ่งจากรูปพบว่าลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ระดับความเข้มข้นแป้งเดียวกันการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลทำให้รอยบุ๋มของฟิล์มตื้นขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปนัดดา พวงเกษม (2540) ซึ่งศึกษาการผลิตฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและพบว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ทำให้มีการเชื่อมประสานกันระหว่างกลีเซอรอลกับร่างแหของสตาร์ชมากขึ้น ส่งผลให้รอยบุ๋มของแผ่นฟิล์มตื้นขึ้น และที่ระดับการใช้กลีเซอรอลเดียวกันการเพิ่มปริมาณแป้ง พบว่ารอยบุ๋มของฟิล์มมีความกว้างและลึกมากขึ้น เนื่องจากปริมาณของแข็งในฟิล์มเพิ่มขึ้นแต่มีปริมาณ พลาสติไซเซอร์เท่าเดิม ทำให้มีการเชื่อมประสานกันระหว่างกลีเซอรอลกับสตาร์ชน้อยลง ดังนั้นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 การใช้ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 8 จึงพบรอยบุ๋มที่มีความกว้างและลึกกว่าการใช้ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 2



รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมกลีเซอรอลโดยใช้เครื่อง Image analysis ที่กำลังขยาย 10 เท่า (ก) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 (ข) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 (ค) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 (ง) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 (จ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 (ฉ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 (ช) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 (ซ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 (ฌ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 (ญ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 (ฎ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 (ฏ) ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40

4.2.2 ความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

เนื่องจากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2.1 พบว่าสภาวะที่สามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มได้คือการใช้แป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 โดยใช้กลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนักของแป้งเป็นพลาสติไซเซอร์ ดังนั้นจึงนำมาตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนาพบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 – 4.3



รูปที่ 4.4 ผลของแป้งและกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

จากรูปที่ 4.4 พบว่าความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าและความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์มีผลต่อความหนาของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 มีความหนามากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.156 ± 0.018 มิลลิเมตร ส่วนฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 มีความหนาน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.989 ± 0.118 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของแป้งต่อความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	ความหนา (mm)
5	0.113^{a} ± 0.017
8	0.152^{b} ± 0.013

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นแป้งต่อความหนาพบว่า ความเข้มข้นแป้งมีผลต่อความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ การเพิ่มความเข้มข้นแป้งจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 8 จะทำให้แผ่นฟิล์มบริโภคมีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 0.113 ± 0.017 มิลลิเมตร เป็น 0.152 ± 0.013 มิลลิเมตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิต

ฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าจะใช้ปริมาณสารละลายในการเทลงบนแม่พิมพ์เท่ากันทุกครั้งคือ เท่ากับ 25 มิลลิลิตร และใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เมื่อนำสารละลายแป้งไปทำแห้งน้ำจะระเหยออกไป ทำให้เหลือเพียงปริมาณของแข็ง และปริมาณของกลีเซอรอล (Han, 2005)

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (ร้อยละ)	ความหนา (mm)
30	$0.124^{a} \pm 0.028$
40	$0.141^{b} \pm 0.018$

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลในช่วงที่ศึกษามีผลทำให้ฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้ามีความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ การใช้ความเข้มข้นของกลีเซอรอลร้อยละ 30 มีผลทำให้มีความหนาเท่ากับ 0.124 ± 0.028 มิลลิเมตร และการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 40 มีผลทำให้ฟิล์มบริโภคได้ที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้ามีความหนาเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.141 ± 0.018 มิลลิเมตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากภายในขั้นตอนการทำแห้งแผ่นฟิล์มบริโภค กลีเซอรอล ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มบริโภคจะยังคงค้างอยู่ในตัวแผ่นฟิล์ม ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลจึงเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความหนาเพิ่มมากขึ้น

4.2.3 การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า จะทำโดยสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมโดยใช้ Scoring test และ hedonic test จำนวนผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนเบื้องต้นจำนวน 15 คน มาทำการทดสอบคุณลักษณะดังกล่าว

ตารางที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าและความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธี Scoring test

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (ร้อยละ)	คุณลักษณะ		
		ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	สี^{ns}
5	30	$3.46^{ab} \pm 0.64$	$1.26^{a} \pm 0.59$	3.33 ± 0.82
5	40	$3.80^{b} \pm 0.56$	$2.00^{b} \pm 0.65$	3.46 ± 0.74
8	30	$3.20^{a} \pm 0.41$	$1.80^{b} \pm 0.86$	3.46 ± 0.74
8	40	$3.60^{ab} \pm 0.83$	$2.33^{b} \pm 0.72$	3.40 ± 0.51

หมายเหตุ: - ค่าที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b,c, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

- ns ค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวตั้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงผลของความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าและความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธี Scoring test พบว่าลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบพบว่าลักษณะปรากฏของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างจากฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งร้อยละ5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 40 ซึ่งแสดงว่าฟิล์มมีลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มด้านที่สัมผัสกับอากาศหยาบด้านและด้านที่สัมผัสกับตัวแม่พิมพ์มันวาว โดยปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย ส่วนคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 พบว่าฟิล์มมีความสามารถในการยืดออกจากกันต่ำกว่าฟิล์มอีก 3 ตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มทั้ง 3 ตัวอย่างได้มีคะแนนอยู่ในช่วง 1.80 – 2.33 ซึ่งหมายความว่าแผ่นฟิล์มมีความสามารถในการยืดออกจากกันปานกลาง สำหรับในการทดลองครั้งนี้พบว่าคุณสมบัติด้านสีของฟิล์มทั้ง 4 ตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยฟิล์มมีลักษณะสีขาวขุ่นปานกลาง

ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าและความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธี hedonic test

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (ร้อยละ)	คุณลักษณะ			
		ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบโดยรวม
5	30	6.40 ± 0.41	6.87^{b} ± 0.18	6.53 ± 0.74	5.67^{a} ± 0.62
5	40	6.67 ± 0.41	6.73^{ab} ± 0.79	6.33 ± 0.72	6.87^{c} ± 0.64
8	30	6.33 ± 0.63	6.26^{a} ± 0.72	6.13 ± 0.52	6.13^{b} ± 0.52
8	40	6.73 ± 0.72	6.53^{ab} ± 0.70	6.06 ± 0.59	6.46^{bc} ± 0.63

หมายเหตุ: - ค่าที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b,c, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

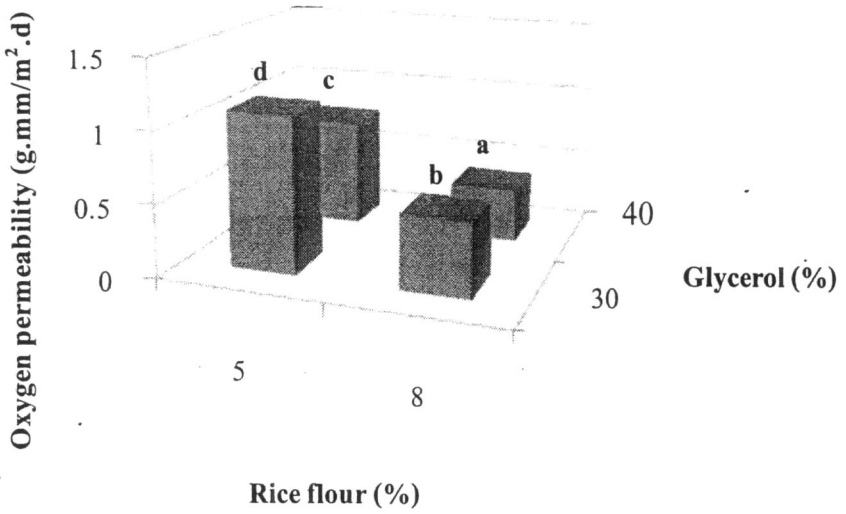
- ns ค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวตั้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงผลของความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าและความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธี hedonic test พบว่าปริมาณแป้งและปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของฟิล์มบริโภคแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ส่วนคะแนนการยอมรับทางด้านสีนั้นพบว่าสีของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีมากที่สุด และทางด้านความชอบโดยรวมพบว่าแป้งร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 และแป้งร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 และร้อยละ 40 ได้รับคะแนนการยอมรับทางความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผู้บริโภคลงให้คะแนนการยอมรับในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ส่วนแป้งร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 นั้นได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด

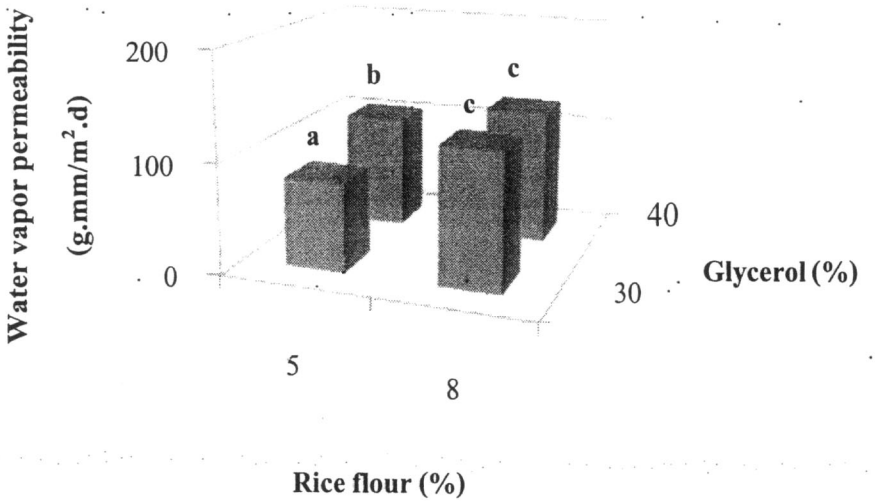
4.2.4 การศึกษาการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายแป้งข้าวเจ้าและความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ใช้ในการผลิตฟิล์มมีผลต่อค่าการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กล่าวคือการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งและกลีเซอรอลจะทำให้การซึมผ่านของออกซิเจนลดลงแต่จะทำให้การซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.5 และ 4.6) โดยสภาวะที่มีการซึมผ่านของออกซิเจนมากที่สุดและน้อยที่สุดคือสภาวะที่เตรียมโดยใช้แป้งร้อยละ 5 กลีเซอรอลร้อยละ 30 ซึ่งมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ 1.10 ± 0.12 g.mm/m^2.d และสภาวะที่เตรียมโดยใช้แป้งร้อยละ 8 กลีเซอรอลร้อยละ 40 ซึ่งมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ 0.38 ± 0.07 g.mm/m^2.d ตามลำดับ

สำหรับสภาวะที่มีการซึมผ่านของไอน้ำมากที่สุดและน้อยที่สุดคือสภาวะที่เตรียมโดยใช้แป้งร้อยละ 8 กลีเซอรอลร้อยละ 30 ซึ่งมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 124.20 ± 2.43 g.mm/m^2.d และสภาวะที่เตรียมโดยใช้แป้งร้อยละ 5 กลีเซอรอลร้อยละ 30 ซึ่งมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 80.69 ± 1.34g.mm/m^2.d ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายแป้งและกลีเซอรอลต่อการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า



รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายแป้งและกลีเซอรอลต่อการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

สำหรับผลการพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยด้านการซึมผ่านของออกซิเจนพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งจะทำให้การซึมผ่านของออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

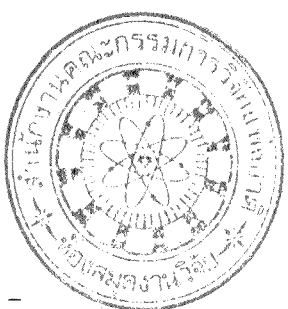
โดยจากตารางที่ 4.6 พบว่าการซึมผ่านของออกซิเจนลดลงจาก 0.94 g.mm/m^2.d เป็น 0.45 g.mm/m^2.d ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าการแพร่ของสารผ่านแผ่นฟิล์มจะมีกลไก 3 ขั้นตอนคือจากโครงสร้างทางเคมีของแผ่นฟิล์ม ทำให้ก๊าซ ไอ และสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถละลาย (Dissolve) เข้าไปในแผ่นฟิล์มและโมเลกุลที่ละลายเข้าไปนี้จะแพร่ผ่าน (Diffuse) แผ่นฟิล์มโดยกระบวนการที่เรียกว่า Activated Diffusion Process เพื่อสร้างสมดุลศักย์ทางเคมี (Chemical Potential) ของโมเลกุลนั้น และแพร่จากที่มีศักย์สูงกว่าไปสู่ที่มีศักย์ต่ำกว่าจนกระทั่งผ่านแผ่นฟิล์มไปอีกด้านหนึ่ง (Desorp) ประสิทธิภาพการแพร่ของสารผ่านแผ่นฟิล์มขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง และสภาพมีขั้วของสาร โดยสารที่มีขนาดเล็กจะสามารถแพร่ผ่านแผ่นฟิล์มได้เร็ว ส่วนสารที่มีโมเลกุลเป็นเส้นตรงจะแพร่ได้ดีกว่าโมเลกุลเป็นวงหรือเป็นกิ่งก้าน ในขณะที่สารที่มีขั้วจะแพร่ผ่านฟิล์มที่มีขั้วได้ดี (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) สำหรับในการทดลองนี้วัตถุดิบที่ใช้ผลิตฟิล์มคือแป้ง โดยออกซิเจนเป็นก๊าซที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงไม่สามารถละลายในฟิล์มแป้งได้ (Han, 2005) ดังนั้นการเพิ่มระดับความเข้มข้นของแป้งมากขึ้น ก็จะยิ่งทำให้เป็นอุปสรรคต่อการแพร่ของออกซิเจนค่าการซึมผ่านของออกซิเจนจึงต่ำลง

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายแป้งต่อการซึมผ่านของออกซิเจน

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	การซึมผ่านของออกซิเจน (g.mm/m^2.d)
5	$0.94^{b} \pm 0.19$
8	$0.45^{a} \pm 0.09$

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ในส่วนของความเข้มข้นของกลีเซอรอล พบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอล การซึมผ่านของออกซิเจนจะมีค่าลดลงเช่นกัน โดยจากตารางที่ 4.7 พบว่าการซึมผ่านของออกซิเจนลดลงจาก 0.81 g.mm/m^2.d เป็น 0.57 g.mm/m^2.d สำหรับการที่การซึมผ่านของออกซิเจนลดลง เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอล อธิบายได้ว่ากลีเซอรอลเป็นพอลิออลที่แสดงความมีขั้ว ซึ่งออกซิเจนเป็นก๊าซที่ไม่มีขั้ว จึงไม่สามารถละลายในฟิล์มแป้งได้ (Han, 2005) ทำให้เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลมากขึ้น ค่าการซึมผ่านของออกซิเจนจึงต่ำลง



ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อการซึมผ่านของออกซิเจน

ความเข้มข้นของกลีเซอรอล(ร้อยละ)	การซึมผ่านของออกซิเจน (g.mm/m^2.d)
30	$0.81^b \pm 0.31$
40	$0.57^a \pm 0.21$

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับผลการพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยด้านการซึมผ่านของไอน้ำพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งจะทำให้การซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 92.60 g.mm/m^2.d เป็น 123.93 g.mm/m^2.d ที่เป็นเช่นนี้ใช้เหตุผลเดียวกับกรณีของการแพร่ของออกซิเจน ทั้งนี้การซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มนั้นมีกลไกเป็นแบบเดียวกัน ซึ่งแป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) (Mali และคณะ, 2004) ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายโมเลกุลของน้ำในฟิล์มได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของธารทิพย์ หังสพฤกษ์ (2544) ได้ทดลองผลิตฟิล์มจากแป้งบุก โดยแปรปริมาณแป้งในช่วงร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยมวลต่อปริมาตร แล้วพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งบุกส่งผลทำให้ฟิล์มเกิดเร็วขึ้น โครงสร้างภายในอาจไม่แน่นเท่ากับฟิล์มที่มีความเข้มข้นแป้งบุกต่ำกว่า จึงทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายแป้งต่อการซึมผ่านของไอน้ำ

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	การซึมผ่านของไอน้ำ (g.mm/m^2.d)
5	$92.60^a \pm 12.15^b$
8	$123.93^b \pm 1.77$

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ในส่วนของความเข้มข้นของกลีเซอรอล พบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอล การซึมผ่านของไอน้ำ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยจากตารางที่ 4.9 พบว่า ค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 102.40 g.mm/m^2.d เป็น 114.13 g.mm/m^2.d สำหรับการที่การซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายแป้งขึ้นนั้น อธิบายได้ว่ากลีเซอรอลเป็นพอลิออลโมเลกุลขนาดเล็ก เมื่อเข้าไปแทรกระหว่างสายพอลิเมอร์ทำให้ลดความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจน และเพิ่มความชอบน้ำ

(hydrophilicity) ของฟิล์มแป้งมากยิ่งขึ้น โดยกลีเซอรอลที่อยู่ในโครงสร้างของฟิล์มส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของโมเลกุลน้ำในช่องว่างของฟิล์มได้ดี (Tong และคณะ, 2008) ส่งผลให้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลมากขึ้น การซึมผ่านของไอน้ำยิ่งเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.9 อิทธิพลของความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อการซึมผ่านของไอน้ำ

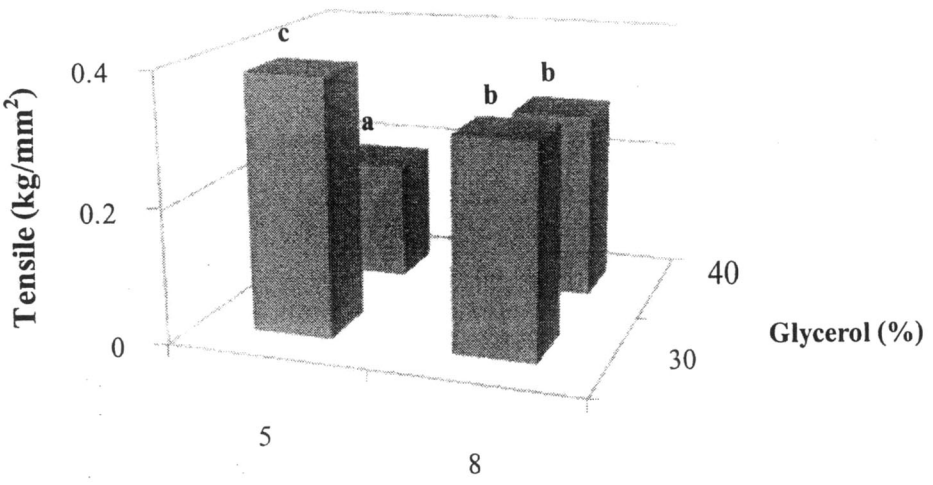
ความเข้มข้นของกลีเซอรอล(ร้อยละ)	การซึมผ่านของไอน้ำ(g.mm/m^2.d)
30	102.40^a ± 22.07
40	114.13^b ± 9.81

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

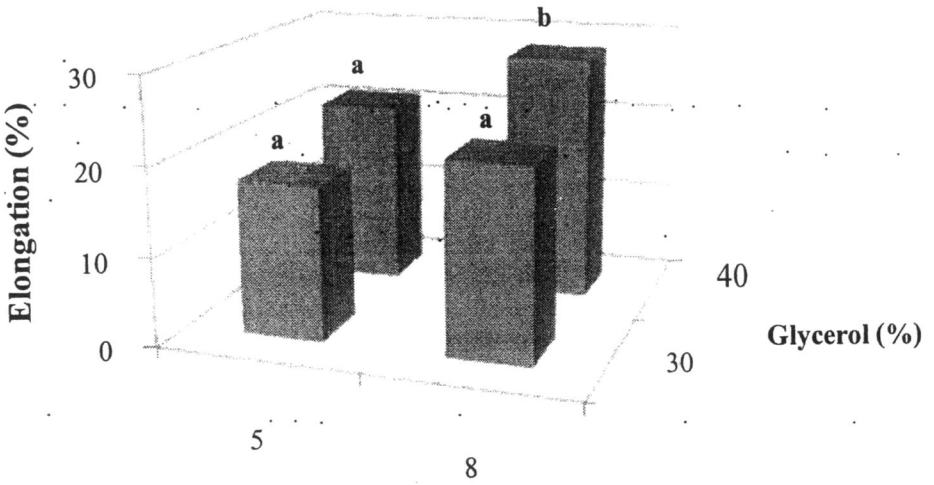
4.2.5 การศึกษาค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายแป้งข้าวเจ้าและความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ใช้ในการผลิตฟิล์มมีผลต่อค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งและกลีเซอรอลจะทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดลดลง และร้อยละการยืดตัวจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.7 และ 4.8) โดยสภาวะที่มีการค่าต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุดและต่ำที่สุดคือสภาวะที่เตรียมโดยใช้แป้งร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 ซึ่งมีค่าต้านทานแรงดึงขาดสูงสุดเท่ากับ 0.387 ± 0.049 kg/mm^2 และสภาวะที่เตรียมโดยใช้แป้งร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 ซึ่งมีค่าต้านทานแรงดึงขาดต่ำสุดเท่ากับ 0.184 ± 0.049 kg/mm^2 ตามลำดับ สาเหตุที่แป้งร้อยละ5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 มีค่าต้านทานแรงดึงขาดต่ำนั้น อาจเนื่องมาจากปริมาณกลีเซอรอลที่เติมลงในฟิล์มมีปริมาณมากเกินพอ ทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งลดลง จึงทำให้ฟิล์มแป้งร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดต่ำที่สุด ส่วนสภาวะที่มีค่าร้อยละการยืดตัวมากที่สุดคือสภาวะที่เตรียมโดยใช้แป้งร้อยละ 8 กลีเซอรอลร้อยละ 30 ซึ่งมีค่าร้อยละการยืดตัวเท่ากับ 28.19 ± 7.94 อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 5 กลีเซอรอลร้อยละ 40 และแป้งร้อยละ 8 กลีเซอรอลร้อยละ 40 มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นจาก 0.184 ± 0.049 kg/mm^2 เป็น 0.285 ± 0.048 kg/mm^2 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมากจากผลของอิทธิพลร่วมระหว่างแป้งและกลีเซอรอล ส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น โดยค่าต้านทานแรงดึงขาดจะบอกถึงปริมาณแรงที่ใช้ในการดึงแผ่นฟิล์มบริโภคให้ขาดออกจากกัน ค่านี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ ซึ่งถ้าค่าต้านทานแรงดึงขาดมากแสดงว่าฟิล์มบริโภคที่ได้นั้นจะมีความแข็งแรงของพันธะสูง ส่วนค่าร้อยละ

การยืดตัวนั้นจะบอกถึงคุณสมบัติในการยืดตัวของแผ่นฟิล์มบริโภค โดยค่าร้อยละการยืดตัวมีค่าน้อย แสดงว่าฟิล์มมีลักษณะเปราะและไม่ยืดหยุ่น (Guilbert, 1986)



รูปที่ 4.7 ผลของแป้งและกลีเซอรอลต่อค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า



รูปที่ 4.8 ผลของแป้งและกลีเซอรอลต่อค่าร้อยละการยืดตัวของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ 4.10 อิทธิพลของแป้งต่อค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	ค่าต้านทานแรงดึงขาด (kg/mm^2)	ค่าร้อยละการยืดตัว
5	$0.116^{a} \pm 0.080$	$18.70^{a} \pm 3.21$
8	$0.301^{b} \pm 0.065$	$24.91^{a} \pm 6.76$

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับผลการพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยด้านค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัว พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งจะทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าร้อยละการยืดตัวพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยจากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นจาก 0.116 ± 0.080 kg/mm^2 เป็น 0.301 ± 0.065 kg/mm^2 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากการยึดของโมเลกุลที่จับตัวกันมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของธารทิพย์ หังสพฤกษ์ (2544) ได้ทดลองผลิตฟิล์มจากแป้งบุก โดยแปรปริมาณแป้งในช่วงร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยมวลต่อปริมาตรแล้วพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งบุก ทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.11 อิทธิพลของกลีเซอรอลต่อค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (ร้อยละ)	ค่าต้านทานแรงดึงขาด (kg/mm^2)	ค่าร้อยละการยืดตัว
30	$0.250^{b} \pm 0.078$	$18.95^{a} \pm 3.94$
40	$0.167^{a} \pm 0.138$	$24.66^{b} \pm 6.61$

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ในส่วนของความเข้มข้นของกลีเซอรอล พบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอล มีผลทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดลงลงและค่าร้อยละการยืดตัวเพิ่มขึ้น โดยจากตารางที่ 4.11 พบว่าค่าต้านทานแรงดึงขาดลงลงจาก 0.250 ± 0.078 kg/mm^2 เป็น 0.167 ± 0.138 kg/mm^2 และ ค่าร้อยละการยืดตัว

เพิ่มขึ้นจาก 18.95 ± 3.94 เป็น 24.66 ± 6.61 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ลงในฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งลดลง ส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งเคลื่อนที่ได้มากขึ้นจึงทำให้ฟิล์มบริโภคที่ได้ที่มีการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 40 มีค่าต้านทานแรงดึงขาดลดลง และค่าร้อยละการยืดตัวสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Guilbert Gontard และ Gorris, 1986; Laohakunjit และ Noomhorm, 2004; Alves และคณะ, 2007 ที่พบว่าการเติมพลาสติไซเซอร์มีผลทำให้การต้านแรงดึงขาดลดลงและเกิดการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้น

4.2.6 การศึกษาการดูดซับน้ำมันของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

เมื่อนำฟิล์มทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 5 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 มาวิเคราะห์การดูดซับน้ำมัน ตามมาตรฐาน มอก. 654 – 2529 ซึ่งระบุไว้ว่าฟิล์มที่สามารถป้องกันการซึมของน้ำมันหรือไขมันได้ต้องไม่พบสีที่ละลายในน้ำมันซึ่งหยดลงบนทรายบนฟิล์มที่วางบนกระดาษขาวเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน พบว่าได้ผลดังตารางที่ 4.12 จากผลการทดลองพบว่าแผ่นฟิล์มแป้งข้าวเจ้าทั้ง 4 ชนิดสามารถป้องกันการซึมของน้ำมันได้ตามมาตรฐานเป็นเวลา 5 วันตามกำหนด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ขนาด รูปร่างและสภาพมีขั้วของสารแพร่มีผลต่อการซึมผ่านของฟิล์ม โดยโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะแพร่ผ่านพลาสติกที่ไม่มีขั้วได้ดีกว่าฟิล์มที่มีขั้ว (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) ดังนั้นความมีขั้วของแป้งจึงสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันหรือไขมันซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วได้ เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.12 ผลการดูดซับน้ำมันของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (ร้อยละ)	เวลา (วัน)
5	30	> 5
5	40	> 5
8	30	> 5
8	40	> 5

จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้ทั้งหมดสรุปได้ว่ากลีเซอรอลเหมาะสมที่จะใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ในการผลิตฟิล์มแป้งข้าวเจ้ามากกว่าพอลิเอทิลีนไกลคอล โดยการใช้แป้งความเข้มข้นร้อยละ 8 และกลีเซอรอลร้อยละ 40 นำมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจิไนส์เซอร์ แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยใช้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และทำ

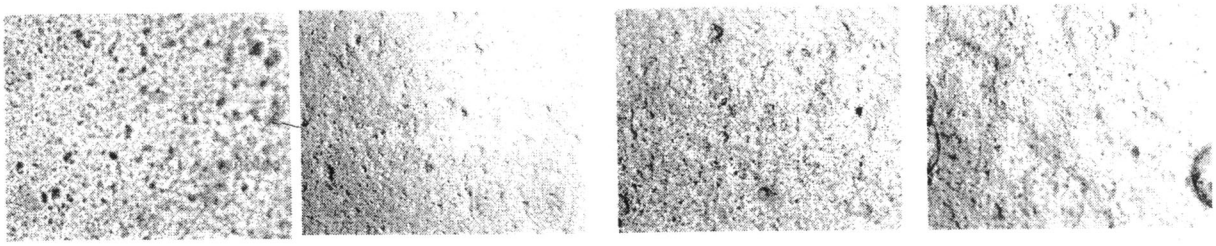
แห้งด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งแผ่นฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบและด้านที่สัมผัสพลาสติกมันวาว ปรากฏฟองอากาศและเม็ดแป้งในปริมาณเล็กน้อย มีความหนาเท่ากับ 0.156 ± 0.018 มิลลิเมตร มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำเท่ากับ 0.38 ± 0.07 g.mm/m^2.d และ 123.74 ± 0.71 g.mm/m^2.d ตามลำดับ มีค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดเท่ากับ 0.285 ± 0.048 kg/mm^2 และ 28.19 ± 7.94 ตามลำดับ และพบว่าแผ่นฟิล์มสามารถป้องกันการซึมของน้ำมันได้ตามมาตรฐานเป็นเวลา 5 วันตามกำหนด

4.3 การศึกษาผลของเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้า

เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตฟิล์มบริโภคที่ลดการดูดซับน้ำมันในอาหาร จากงานวิจัยของ Singthong และ Thongkaew (2009) พบว่ามีการใช้สารที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันหลายชนิด อาทิ อัลจิเนต เพคตินและเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น จากการค้นคว้ายังพบว่า Garcia และคณะ (2002) ได้ทดลองใช้ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและเมทิลเซลลูโลสเพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทอดกรอบ และพบว่าเมทิลเซลลูโลสสามารถลดการดูดซับน้ำมันได้มากกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ดังนั้นการทดลองนี้จะทดลองเติมเมทิลเซลลูโลสลงไปในระหว่างขั้นตอนการผลิต โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคที่ผลิตได้ สำหรับสูตรในการผลิตฟิล์มนั้นจะใช้ผลการทดลองจากข้อที่ 4.2 ซึ่งพบว่าฟิล์มที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสามารถผลิตได้โดยใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 และกลีเซอรอลร้อยละ 40 ส่วนการศึกษาผลของเมทิลเซลลูโลสนั้นจะทำโดยแปรค่าความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นช่วงที่ความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสสามารถอุ้มน้ำไว้ในตัวได้ดี ซึ่งเมทิลเซลลูโลสจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามโครงสร้างของแป้งในแผ่นฟิล์ม โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลของน้ำในเมทิลเซลลูโลสระเหยออกไป ส่งผลให้โมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสแต่ละโมเลกุลจะเกิดปฏิกิริยาต่อกันเกิดเป็นฟิล์มซึ่งทำหน้าที่กั้นไม่ให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์ออกไปสู่ภายนอก และทำให้น้ำมันไม่เข้าสู่ผลิตภัณฑ์ (Singthong และ Thongkaew, 2009)

4.3.1 ลักษณะปรากฏและลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส

เมื่อนำส่วนผสมแป้งที่เตรียมตามแผนการทดลองมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.2 เซนติเมตร และนำมาตรวจลักษณะปรากฏและลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม พบว่าได้ผลดังแสดงรูปที่ 4.9



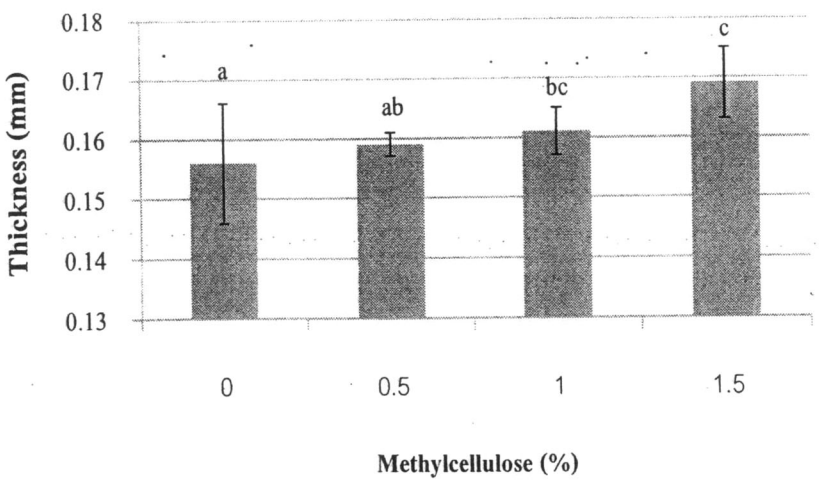
(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 4.9 ผลของเมทิลเซลลูโลสต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 และกลีเซอรอลร้อยละ 40 โดยใช้เครื่อง Image analyser ที่กำลังขยาย 10 เท่า (ก) ตัวอย่างควบคุม (ข) เติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 (ค) เติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.0 (ง) เติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.5

จากรูปที่ 4.9 พบว่าการเติมเมทิลเซลลูโลสลงในฟิล์มแป้งทำให้รอยบุ๋มมีขนาดเล็กลงและมีความตื้นขึ้น เนื่องจากในขั้นตอนของการผลิตฟิล์ม เมื่อผสมเมทิลเซลลูโลสเข้ากับสารละลายแป้ง แล้วระเหยตัวทำละลายออก ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งและเมทิลเซลลูโลส (Mallikarjunan และคณะ, 1997) รอยบุ๋มของฟิล์มจึงมีความตื้นขึ้น

4.3.2 ความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส

ผลการวัดค่าความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 8 และกลีเซอรอลร้อยละ 40 โดยมีการแปรค่าความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนักของสารละลายแป้ง ดังรูปที่ 4.10

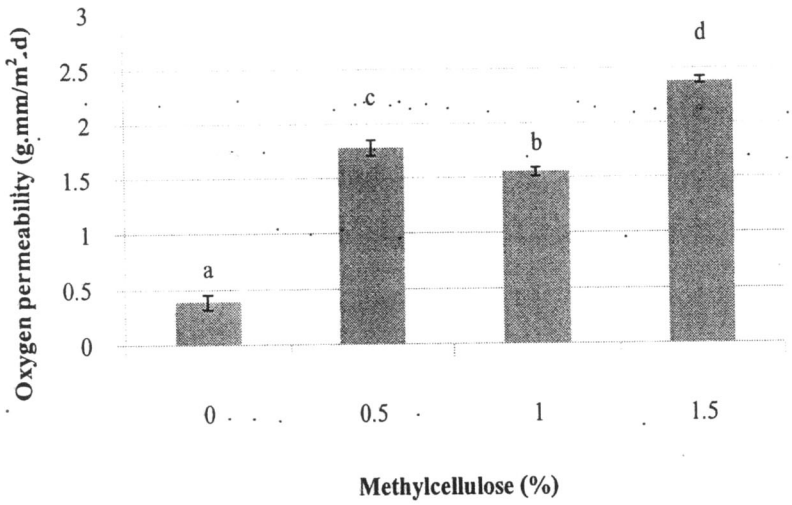


รูปที่ 4.10 ผลของเมทิลเซลลูโลสต่อความหนาของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

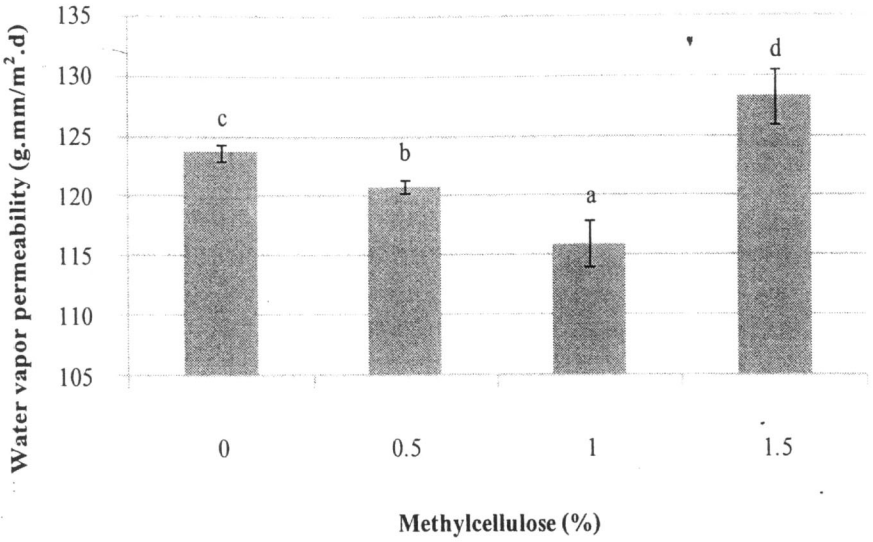
จากรูปที่ 4.10 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสมีผลทำให้ฟิล์มแป้งมีความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.5 มีความหนามากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.169 ± 0.026 มิลลิเมตร ส่วนฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า ที่ไม่ได้เติมเมทิลเซลลูโลสมีความหนาน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.156 ± 0.010 มิลลิเมตร สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสแล้วมีผลทำให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์คาร์โบไฮเดรต ดังนั้นการเติมเมทิลเซลูโลสลงในฟิล์มแป้งจึงเสมือนเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งลงในฟิล์มแป้ง ดังนั้นฟิล์มที่เติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.5 จึงมีความหนามากกว่าฟิล์มที่เติมแป้งข้าวเจ้าที่เติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1, 0.5 และไม่ได้เติมเมทิลเซลลูโลสตามลำดับ

4.3.3 การศึกษาการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส

ผลการศึกษาการค่าซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำของฟิล์มบริโภคที่เตรียมจากแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 และ กลีเซอรอลร้อยละ 40 โดยมีการแปรค่าความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนักของสารละลายแป้ง ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ผลของเมทิลเซลลูโลสต่อการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า



รูปที่ 4.12 ผลของเมทิลเซลลูโลสต่อการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

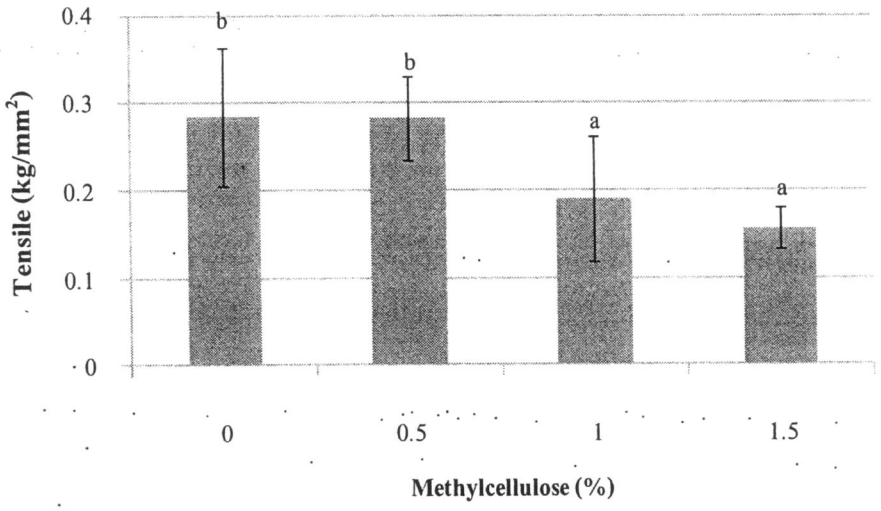
จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าการเติมเมทิลเซลลูโลสลงในฟิล์มแป้งข้าวเจ้ามีผลต่อค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำของแผ่นฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือการเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสจะทำให้การซึมผ่านของออกซิเจนเพิ่มขึ้นแต่จะทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าประสิทธิภาพการแพร่ของสารผ่านแผ่นฟิล์มขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง และสภาพมีขั้วของสาร โดยสารที่มีขนาดเล็กจะสามารถแพร่ผ่านแผ่นฟิล์มได้เร็ว ส่วนสารที่มีโมเลกุลเป็นเส้นตรงจะแพร่ได้ดีกว่าโมเลกุลเป็นวงหรือเป็นกิ่งก้าน ในขณะที่สารที่มีขั้วจะแพร่ผ่านฟิล์มที่มีขั้วได้ดี (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) เนื่องจากเมทิลเซลลูโลสประกอบด้วยหมู่เมทิลที่ด้านปลาย ซึ่งเป็นหมู่ที่แสดงความไม่มีขั้วและก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่แสดงความไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายในเมทิลเซลลูโลสได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสจึงเป็นการเพิ่มความไม่มีขั้วของฟิล์มส่งผลให้การซึมผ่านของออกซิเจนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสจากร้อยละ 0.5 เป็น 1.0 พบว่าการซึมผ่านของออกซิเจนมีค่าลดลงจาก 0.38 ± 0.07 g.mm/m^2.d เป็น 1.55 ± 0.04g.mm/m^2.d ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้

สำหรับผลการซึมผ่านของไอน้ำจากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสในช่วงร้อยละ 0 - 1.0 ส่งผลให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ที่เป็นเช่นนี้ใช้เหตุผลเดียวกับกรณีของการแพร่ของออกซิเจน ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสเป็นการเพิ่มความไม่มีขั้ว ทำให้น้ำซึ่งเป็นสารละลายที่มีขั้วไม่สามารถแพร่ผ่านแผ่นฟิล์มได้ส่งผลให้การซึมผ่านของไอน้ำลดลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสจากร้อยละ 1.0 เป็น 1.5 พบว่าการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 116.00 ± 2.00 g.mm/m^2.d เป็น 128.22 ± 2.21 g.mm/m^2.d

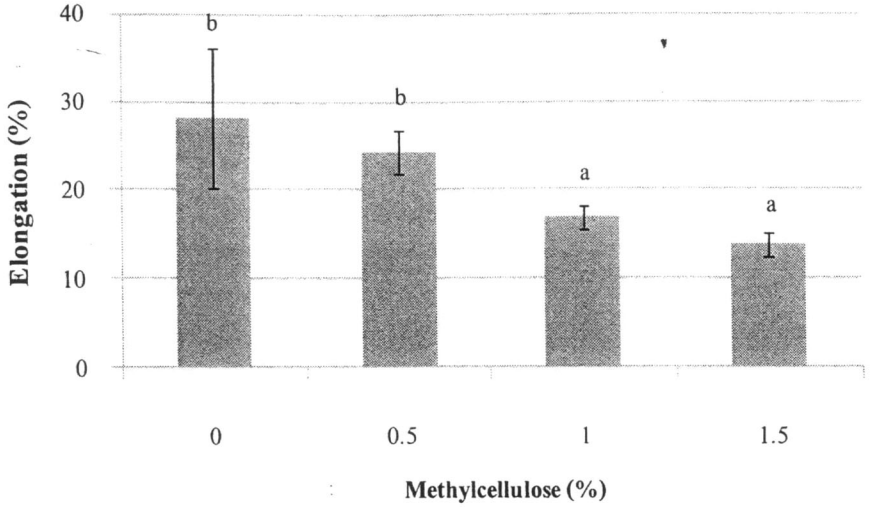
ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากฟิล์มเมทิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีลักษณะปรากฏของฟองอากาศกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งแผ่นฟิล์มซึ่งเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของฟิล์มต่ำ โดยค่าอัตราการซึมผ่านจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของฟิล์มลดลง (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

4.3.4 การศึกษาค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส

เมื่อนำฟิล์มทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 และเติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับมาวิเคราะห์ค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัว พบว่าได้ผล ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 ผลของเมทิลเซลลูโลสต่อค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า



รูปที่ 4.14 ผลของเมทิลเซลลูโลสต่อค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเมทิลเซลลูโลสลงในแป้งข้าวเจ้ามีผลทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มบริโภคได้ที่ไม่ได้เติมเมทิลเซลลูโลสจะมีค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.285 ± 0.079 kg/mm^2 และ 28.19 ± 7.94 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติมเมทิลเซลลูโลสลงในฟิล์มแป้งนั้นพบฟองอากาศเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของฟิล์มแป้งบริโภค ดังนั้นเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสมากขึ้นฟองอากาศจึงเพิ่มมากขึ้นตาม ทำให้เมื่อนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบบริเวณที่เป็นฟองอากาศ พบว่ามีพื้นผิวที่บางกว่าบริเวณอื่นทำให้เกิดการขาดบริเวณที่เป็นฟองทำให้ค่าทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Garcia และคณะ, 2004 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเมทิลเซลลูโลสจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 5 ลงในฟิล์มมีผลทำให้ค่าร้อยละการยืดตัวจะสูงขึ้นร้อยละ 42 และค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะลดลงร้อยละ 25

4.3.5 การศึกษาการดูดซับน้ำมันของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส

เมื่อนำฟิล์มทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 และเติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 มาวิเคราะห์การดูดซับน้ำมัน ตามมาตรฐานมอก. 654 – 2529 ซึ่งระบุไว้ว่าฟิล์มที่สามารถป้องกันการซึมของน้ำมันหรือไขมันได้ต้องไม่พบสีที่ละลายในน้ำมันซึ่ง หยดลงบนทรายบนฟิล์มที่วางบนกระดาษขาวเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน ในการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์มแป้งข้าวเจ้าทั้ง 4 ชนิดสามารถป้องกันการซึมของน้ำมันได้ตามมาตรฐานเป็นเวลา 5 วันตามกำหนด (ตารางที่ 4.13) ทั้งนี้เนื่องจาก ขนาด รูปร่างและสภาพมีขั้วของสารแพร่มีผลต่อการซึมผ่านของฟิล์ม

โดยโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะแพร่ผ่านพลาสติกที่ไม่มีขั้วได้ดีกว่าฟิล์มที่มีขั้ว (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) ดังนั้นความมีขั้วของแป้งและเมทิลเซลลูโลสที่เป็นอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันหรือไขมันได้เป็นอย่างดี (Han, 2005)

ตารางที่ 4.13 ผลการดูดซับน้ำมันของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส

ความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ)	เวลา (วัน)
0	> 5
0.5	> 5
1.0	> 5
1.5	> 5

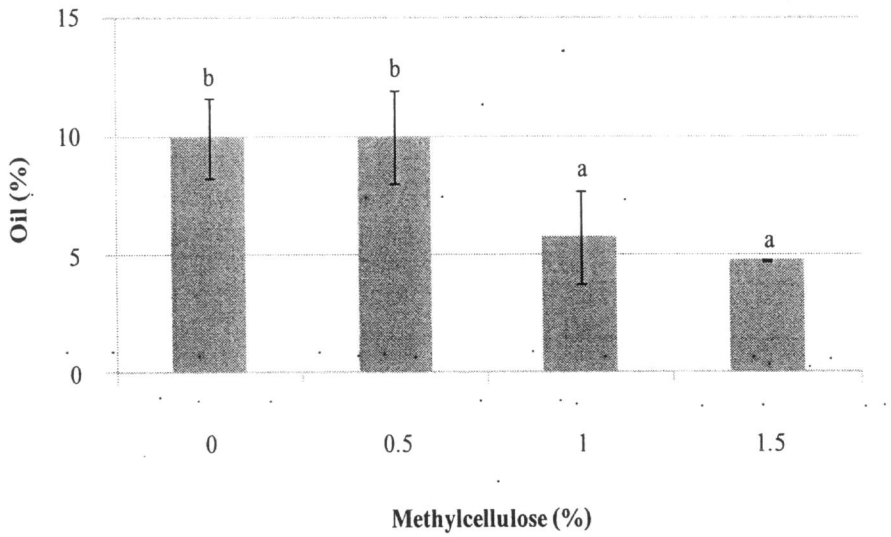
4.4 ผลการใช้ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมเมทิลเซลลูโลสต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมเมทิลเซลลูโลสต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด ซึ่งทำโดยนำฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 8 กลีเซอรอลร้อยละ 40 และเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ มาห่อหุ้มชิ้นมันฝรั่งขนาด กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรและสูง 1 เซนติเมตร จากนั้นนำมาทอดแบบจุ่มในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ภายหลังตั้งทิ้งไว้ ให้สะเด็ดน้ำมัน 1 นาที จึงนำชิ้นตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณไขมันและการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งผลการทดลองทั้งหมด ดังนี้

4.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันของอาหารทอด

รูปที่ 4.15 แสดงถึงชิ้นมันฝรั่งทอดที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มแป้งที่ใช้เมทิลเซลลูโลสความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณไขมันพบว่าการเติมเมทิลเซลลูโลสลงในฟิล์มแป้งข้าวเจ้ามีผลต่อปริมาณไขมันในแผ่นฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งห่อฟิล์มแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้เติมเมทิลเซลลูโลสโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 9.96 ± 1.94 ทั้งนี้อธิบายได้ว่าความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.5 นั้นต่ำเกินไป ทำให้ความสามารถในการขวางกั้นการแพร่ผ่านของไขมันโดยการสร้างชั้นเจลปกคลุมความชื้นในอาหารไม่เพียงพอ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singthong และ Thongkaew, 2009 ที่พบว่าการเคลือบผลิตภัณฑ์กล้วยทอดด้วยเมทิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ไม่สามารถลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ได้ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้พบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสในฟิล์มเป็นร้อยละ 1.0 และ 1.5 สามารถลด

ปริมาณน้ำมันในฟิล์มแป้งทอดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่ามีปริมาณน้ำมันน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมเมทิลเซลลูโลสถึงร้อยละ 4.13 ± 2.55 และ 5.09 ± 1.66 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติในการต้านทานไขมันของเมทิลเซลลูโลส โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลของน้ำในเมทิลเซลลูโลสระเหยออกไป ส่งผลให้โมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสแต่ละโมเลกุลจะเกิดปฏิกิริยาต่อกันเกิดเป็นฟิล์มซึ่งทำหน้าที่กั้นไม่ให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์ออกไปสู่ภายนอก และทำให้น้ำมันไม่เข้าสู่ผลิตภัณฑ์ (Singthong และ Thongkaew, 2009) เมื่อนำมาห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ ทำให้มีชั้นฟิล์มที่ควบคุมการแพร่ผ่านของไขมันในฟิล์ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Garcia และคณะ, 2002 กล่าวว่าการใช้เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.0 ร่วมกับซอร์บิทอล ร้อยละ 0.5 เคลือบมันฝรั่งทอดสามารถลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันได้ถึงร้อยละ 40.6 เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เคลือบด้วยเมทิลเซลลูโลส



รูปที่ 4.15 ผลปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งห่อหุ้มฟิล์มแป้งข้าวเจ้าทอด

4.4.2 การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลสเพื่อลดการดูดซับน้ำมัน

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของฟิล์มบริโภคที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเติมเมทิลเซลลูโลส โดยการนำแผ่นฟิล์มบริโภคที่ได้ไปห่อหุ้มมันฝรั่งจากนั้นนำไปทอดและทำการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านลักษณะสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ Scoring test และ hedonic test จำนวนผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนเบื้องต้นจำนวน 15 คน มาทำการทดสอบคุณลักษณะดังกล่าว

ตารางที่ 4.14 ผลของความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าห่อมันฝรั่งทอดด้วยวิธี Scoring test

ความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ)	คุณลักษณะ			
	สี	กลิ่นรส^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}
0	4.47^{a}± 0.74	4.40 ± 0.74	3.67 ± 0.82	3.47± 0.92
0.5	4.07^{a}± 0.70	3.93 ± 0.96	3.20 ± 1.15	3.40 ± 0.74
1.0	4.20^{a}± 0.86	4.13 ± 1.13	3.53 ±0.99	3.60 ± 0.91
1.5	3.13^{b}± 0.99	4.33 ± 0.82	3.53 ± 0.92	3.07 ± 1.03

หมายเหตุ: - ค่าที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้ง (a,b,c, ...) แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

- ns ค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวตั้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.14 ซึ่งแสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมเมทิลเซลลูโลสเพื่อลดการดูดซับน้ำมันห่อมันฝรั่งทอด พบว่าลักษณะทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบพบว่าสีของผลิตภัณฑ์ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าห่อมันฝรั่งทอดที่เติมเมทิลเซลลูโลสในช่วงร้อยละ 0 – 1.0 และ 1.5 มีสีเหลืองอมส้ม และสีเหลืองอมน้ำตาล ตามลำดับ ส่วนลักษณะทางด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวคือ ลักษณะด้านกลิ่นรส พบว่ามีกลิ่นมันห่อฟิล์มแป้งทอดเล็กน้อยและไม่มีกลิ่นแปลกปลอมอื่นๆ เช่น กลิ่นหืน ส่วนด้านรสชาติ พบว่าสามารถรับรู้ได้ถึงรสชาติของมันห่อฟิล์มแป้งทอด และไม่ มีรสชาติ อื่นที่ไม่ต้องการ เช่นรสขม และด้านเนื้อสัมผัสมีลักษณะกรอบเล็กน้อย เหนียวปานกลางและแข็งกระด้าง อมน้ำมันเล็กน้อย

ตารางที่ 4.15 ผลของความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าห่อมันฝรั่งทอดด้วยวิธี hedonic test

ความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ)	คุณลักษณะ				
	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบโดยรวม^{ns}
0	7.33 ± 1.67	6.93 ± 0.96	5.80 ± 1.69	6.06 ± 1.83	6.60 ± 1.59
0.5	7.20 ± 1.97	6.27 ± 1.27	5.13 ± 1.81	5.33 ± 1.63	5.34 ± 1.40.
1.0	6.13 ± 1.92	6.73 ± 0.88	5.60 ± 1.59	5.67 ± 1.88	6.33 ± 1.99
1.5	7.00 ± 2.00	6.80 ± 1.15	5.33 ± 2.13	6.00 ± 1.89	5.80 ± 1.66

หมายเหตุ: - ns ค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวตั้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.15 ซึ่งแสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมเมทิลเซลลูโลสเพื่อลดการดูดซับน้ำมันห่อมันฝรั่งทอด พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของฟิล์มบริโภคอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางด้านสี ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ทางด้านกลิ่นรสนั้นผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในช่วงชอบเล็กน้อย ทางด้านรสชาติพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในช่วงเฉยๆ และทางด้านเนื้อสัมผัสและทางด้านความชอบโดยรวมนั้นพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในช่วงเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย