

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของแป้งเหลือทิ้ง

แป้งที่นำมาใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ เป็นแป้งเหลือทิ้งจากขั้นตอนการนึ่งในกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงขอเรียกแป้งที่นำมาศึกษานี้ว่า แป้งเหลือทิ้ง โดยแป้งเหลือทิ้งมีลักษณะขุ่นหนืด สีขาวขุ่น และเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของแป้งเหลือทิ้งพบว่า แป้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 9.17 และมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร และความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 2.85, 0.06, 0.02, 0.01 และ 87.69 ตามลำดับ แป้งเหลือทิ้งมีน้ำหนักฐานแห้ง (%wt. dry basis) เท่ากับ ร้อยละ 12.31 และมีปริมาณอะมิโลส ร้อยละ 0.71 แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของแป้งเหลือทิ้ง

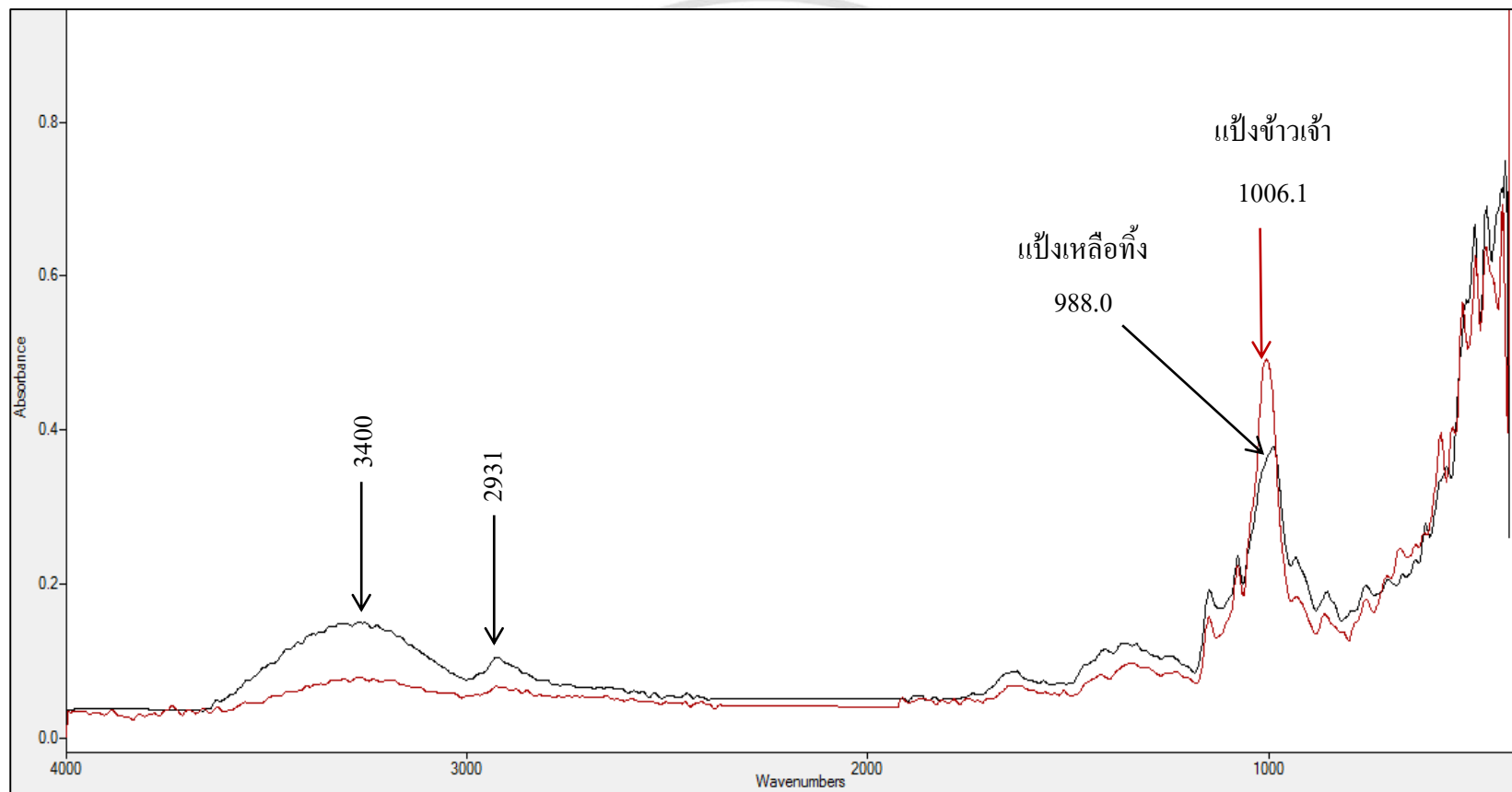
ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	87.69±0.01
คาร์โบไฮเดรต	9.17±0.00
โปรตีน	2.85±0.06
เถ้า	0.02±0.02
ไขมัน	0.06±0.00
เส้นใยอาหาร	0.01±0.08
น้ำหนักฐานแห้ง	12.31±0.01
อะมิโลส	0.71±0.02

การตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดในแป้งเหลือทิ้ง พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 30 โคลิฟอร์มต่อกรัมของตัวอย่าง (cfu/g) และการตรวจวิเคราะห์ยีสต์และราในแป้งเหลือทิ้ง พบว่า ไม่พบจำนวนยีสต์และราในแป้งเหลือทิ้งเลย ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวที่กำหนด

ใน มอก. 959-2533 กำหนดให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง และจำนวนยีสต์และราไม่เกิน 10 โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง

โครงสร้างของแป้งเหลือทิ้งและแป้งข้าวเจ้า สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิค FTIR แสดงผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พบว่า กราฟ FTIR ของแป้งเหลือทิ้งและแป้งข้าวเจ้ามีพีกอยู่ที่ค่า 3400 cm^{-1} จะมีหมู่ -OH stretching ซึ่งอาจแสดงถึงการมีน้ำอยู่ในส่วนองค์ประกอบของแป้งเหลือทิ้งและแป้งข้าวเจ้า ส่วนพีกที่ค่า 2931 cm^{-1} จะสามารถบอกได้ว่าตัวอย่างที่ใช้มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sumrit *et al.*, (2011) จากกราฟจะเห็นได้ว่า องค์ประกอบของแป้งเหลือทิ้งนั้นมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำแป้งเหลือทิ้งมาผลิตฟิล์มได้ และเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างแป้งด้วยเทคนิค DSC เพื่อหาอุณหภูมิการเกิดเจลาคติไนซ์ของแป้งตัวอย่าง (แป้งข้าวเจ้าและแป้งเหลือทิ้ง) พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิการเกิดเจลาคติไนซ์อยู่ในช่วงประมาณ 73-75 องศาเซลเซียส (แสดงดังภาพที่ ก-4 ในภาคผนวก ก) (Cham and Suwannaporn, 2010; Huang *et al.*, 1994) และแป้งเหลือทิ้งเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC เพื่อหาอุณหภูมิการเกิดเจลาคติไนซ์ พบว่า ไม่พบช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาคติไนซ์ (ดังภาพที่ ก-5 ในภาคผนวก ก) เนื่องจากแป้งเหลือทิ้งเป็นแป้งเหลือทิ้งจากขั้นตอนการนึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านความร้อนมาแล้ว ดังนั้นแป้งเหลือทิ้งที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จึงเป็นแป้งที่เกิดการเจลาคติไนซ์ไปแล้ว

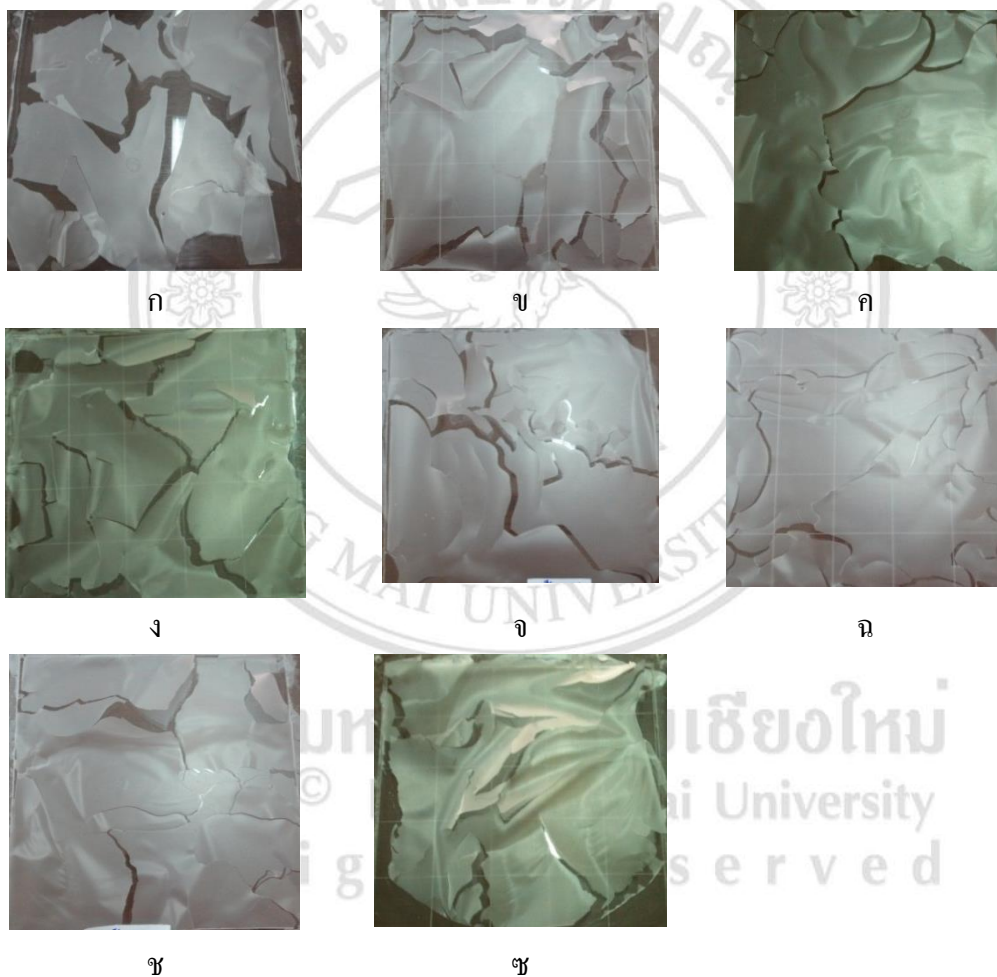
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved
ภาพที่ 4.1 FTIR spectra ของแป้งข้าวและแป้งเหลือทิ้ง

4.2 ปริมาณของแป้งเหลือทิ้งที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มแป้ง

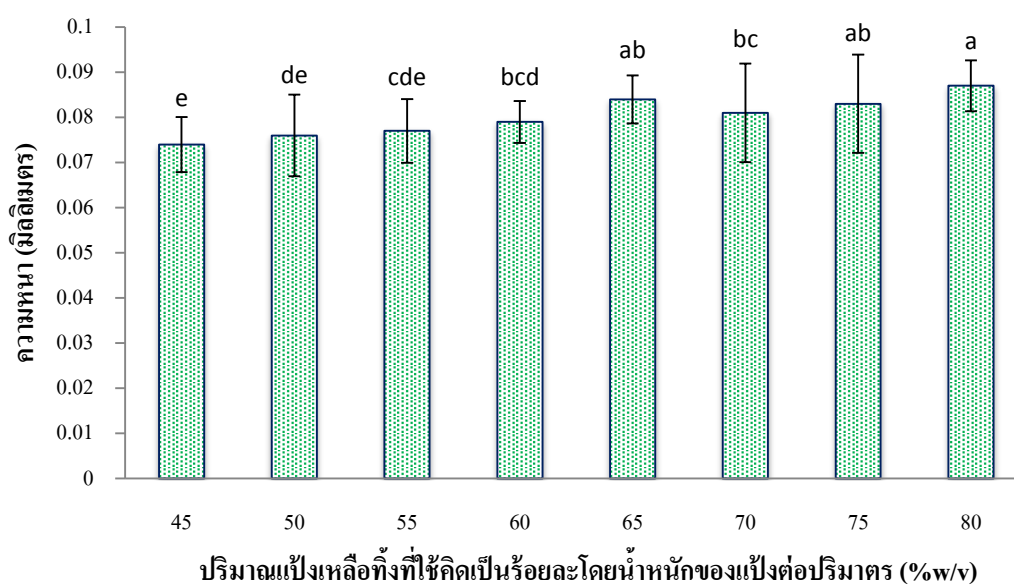
การศึกษาปริมาณของแป้งเหลือทิ้งที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มแป้ง โดยทำการศึกษาปริมาณแป้ง 7 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 และ 80 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดลองโดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏของฟิล์มแป้งที่ผลิตได้ พบว่า ฟิล์มที่ได้มีลักษณะขุ่น เกะกักรันเป็นแผ่น เปราะ แตกง่าย และไม่มีความยืดหยุ่น ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะมีลักษณะหยาบ และผิวด้านที่สัมผัสกับแผ่นแม่แบบจะลื่นและมันวาว แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ฟิล์มแป้งที่ได้จากแป้งปริมาณร้อยละ 45 (ก), ร้อยละ 50 (ข), ร้อยละ 55 (ค), ร้อยละ 60 (ง), ร้อยละ 65 (จ), ร้อยละ 70 (ฉ), ร้อยละ 75 (ช) และร้อยละ 80 (ซ) (น้ำหนักต่อปริมาตร) ตามลำดับ

จากลักษณะปรากฏของฟิล์มที่ผลิตได้ข้างต้นให้ผลสอดคล้องกับ Laohakunjit and Noomhorm (2004) ที่ได้ทำการศึกษาฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชของข้าว พบว่า ฟิล์มสตาร์ชจากข้าวมีลักษณะโปร่งแสง เปราะ แตกหักง่าย ฟิล์มด้านหนึ่งจะหยาบ และอีกด้านหนึ่งจะมันวาว นอกจากนี้ สุคนธา (2545) ได้รายงานว่ฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะขุ่น โปร่งแสง ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบ ด้านที่สัมผัสกับแผ่นแม่แบบจะลื่น มัน และมีผิวเรียบ

จากงานวิจัยเมื่อนำฟิล์มที่ผลิตได้มาวัดความหนา พบว่า ฟิล์มที่เติมปริมาณแป้งต่ำจะมีความหนาน้อยกว่าฟิล์มที่เติมปริมาณของแป้งสูง และความหนาของฟิล์มจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง แสดงผลดังภาพที่ 4.3 เมื่อใช้ปริมาณแป้งร้อยละ 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 และ 80 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อมาผลิตฟิล์มแป้ง พบว่า ฟิล์มจะมีค่าความหนาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.074-0.087 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยฟิล์มที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 45 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีความหนาน้อยที่สุดและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.074 มิลลิเมตร ขณะที่ฟิล์มที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 80 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีจะความหนามากที่สุดและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.087 มิลลิเมตร นอกจากนี้ค่าความหนาของฟิล์มที่ผลิตได้ยังแสดงถึงความสามารถในการส่งผ่านของแสงและค่าความทึบแสง ถ้าหากฟิล์มที่ผลิตได้มีความบางมากจะมีการส่งผ่านของแสงมากและค่าความทึบแสงน้อย แต่ถ้าฟิล์มมีความหนามากก็จะมี การส่งผ่านของแสงน้อยและแสดงค่าความทึบแสงมากเช่นกัน (Fakhoury *et al.*, 2012) โดยงานวิจัยของ Mali *et al.*, (2004) พบว่าความหนาของฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชของมันเทศที่มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความทึบแสงของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น



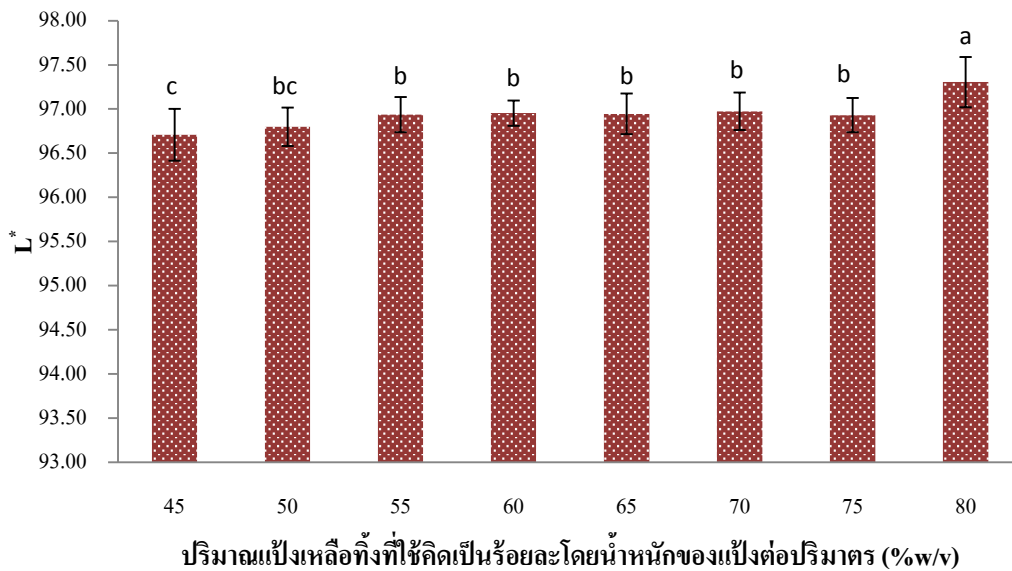
ภาพที่ 4.3 ความหนาของฟิล์มแป้งที่แต่ละระดับของปริมาณแป้งเหลือทิ้งที่ใช้ผลิตฟิล์ม

ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (total color difference, ΔE^*) ของบรรจุภัณฑ์เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะปรากฏและการยอมรับของผู้บริโภค จากการทดลองวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และ ΔE^* ของฟิล์มแข็ง โดยใช้ระบบ CIE ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในการผลิตฟิล์มแข็งส่งผลต่อค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE^* โดยค่า L^* จะแสดงค่าความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว ไปจนถึงค่า $-L^*$ แสดงถึงสีดำ ซึ่งค่า L^* ของฟิล์มมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96.94-97.31 แสดงว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความสว่างมาก และมีสีขาว และค่าความสว่าง ($+L^*$) ของฟิล์มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยฟิล์มที่ใช้ปริมาณแข็งร้อยละ 80 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่าความสว่าง ($+L^*$) มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความสว่าง ($+L^*$) ของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งจากร้อยละ 45 เป็นร้อยละ 80 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงดังภาพที่ 4.4 ขณะที่ค่า a^* แสดงถึงโทนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงโทนสีแดง ($+a^*$) และค่า b^* ซึ่งแสดงโทนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปจนถึงโทนสีเหลือง ($+b^*$) พบว่า ค่า a^* ของฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าเป็นลบ แสดงว่าฟิล์มมีสีอยู่ในโทนสีเขียว ($-a^*$) และค่า a^* ของฟิล์มจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (แสดงดังภาพที่ 4.5) ส่วนค่า b^* ของฟิล์มมีค่าเป็นบวก แสดงว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีสีอยู่ในโทนสีเหลือง และค่า b^* ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณแข็งที่ใช้ผลิตฟิล์ม (แสดงดังภาพที่ 4.6)

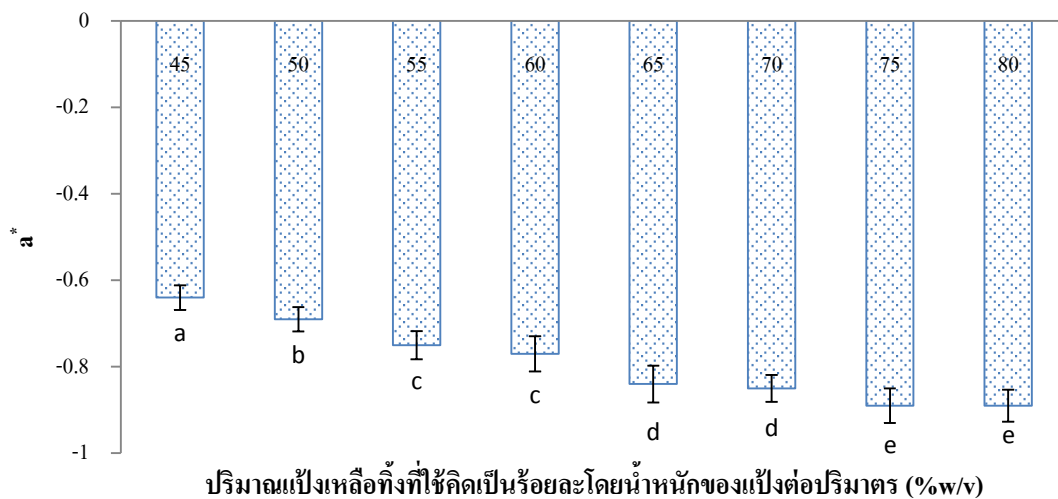
สำหรับผลของค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) พบว่าค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแข็งที่ใช้ฟิล์มจากร้อยละ 45 เป็นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยฟิล์มที่มีการเติมปริมาณแข็งมีค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) อยู่ในช่วง 1.24-1.48 (แสดงดังภาพที่ 4.7) โดยค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bourtoom (2008) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มจากสตาร์ช และไคโตซาน พบว่า เมื่อปริมาณของสตาร์ชที่ใช้ผลิตฟิล์มมีค่าลดลง ค่าความสว่าง ($+L^*$) และค่าโทนสีเขียว ($-a^*$) ของฟิล์มจะมีค่าลดลง แต่ค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีค่าเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามในแต่ละระดับของปริมาณแข็งที่ใช้ในการผลิตฟิล์มแข็ง ฟิล์มแข็งจะมีความเปราะ แตกหัก และขาดความยืดหยุ่น โดยฟิล์มที่มีปริมาณแข็งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีความหนาน้อยกว่าฟิล์มที่มีปริมาณแข็งร้อยละ 80 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขณะที่ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ค่า a^* และค่า b^* ของฟิล์มที่มีปริมาณแข็งร้อยละ 75 และ 80 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และจากลักษณะปรากฏของฟิล์ม

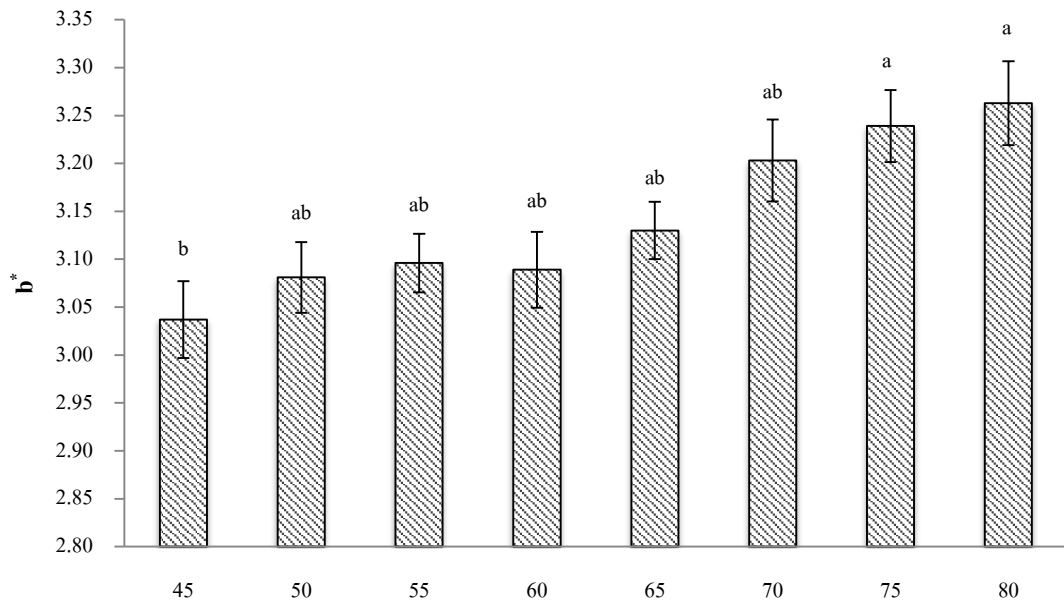
แป้งที่ผลิตได้ดังแสดงในภาพที่ 4.2 จะพบว่าการใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 และ 80 มีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตฟิล์มแป้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แค่เพียงปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อนำไปผลิตฟิล์มและทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4.4 ค่า L* ของฟิล์มแป้งที่แต่ละระดับของปริมาณแป้งเหลือทิ้งที่ใช้ผลิตฟิล์ม

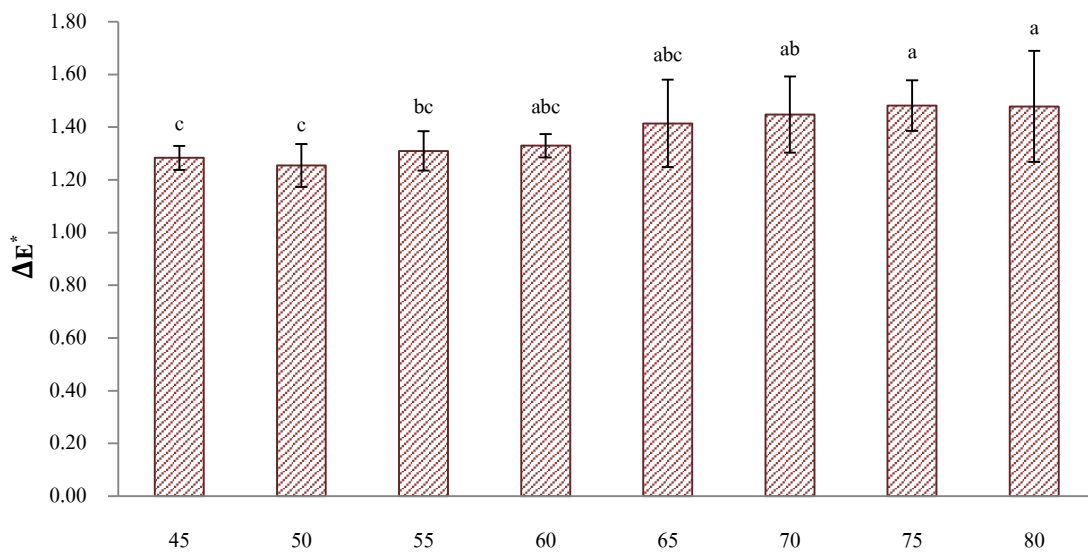


ภาพที่ 4.5 ค่า a* ของฟิล์มแป้งที่แต่ละระดับของปริมาณแป้งเหลือทิ้งที่ใช้ผลิตฟิล์ม



ปริมาณแปลงลือทึงที่ซึคคดเป็นร้อยละโดยน้าหนักของแปลงต่อปริมาตร (%w/v)

ภาพที่ 4.6 ค่า b* ของฟิล์มแปลงที่แต่ละระดับของปริมาณแปลงลือทึงที่ซึคคดฟิล์ม



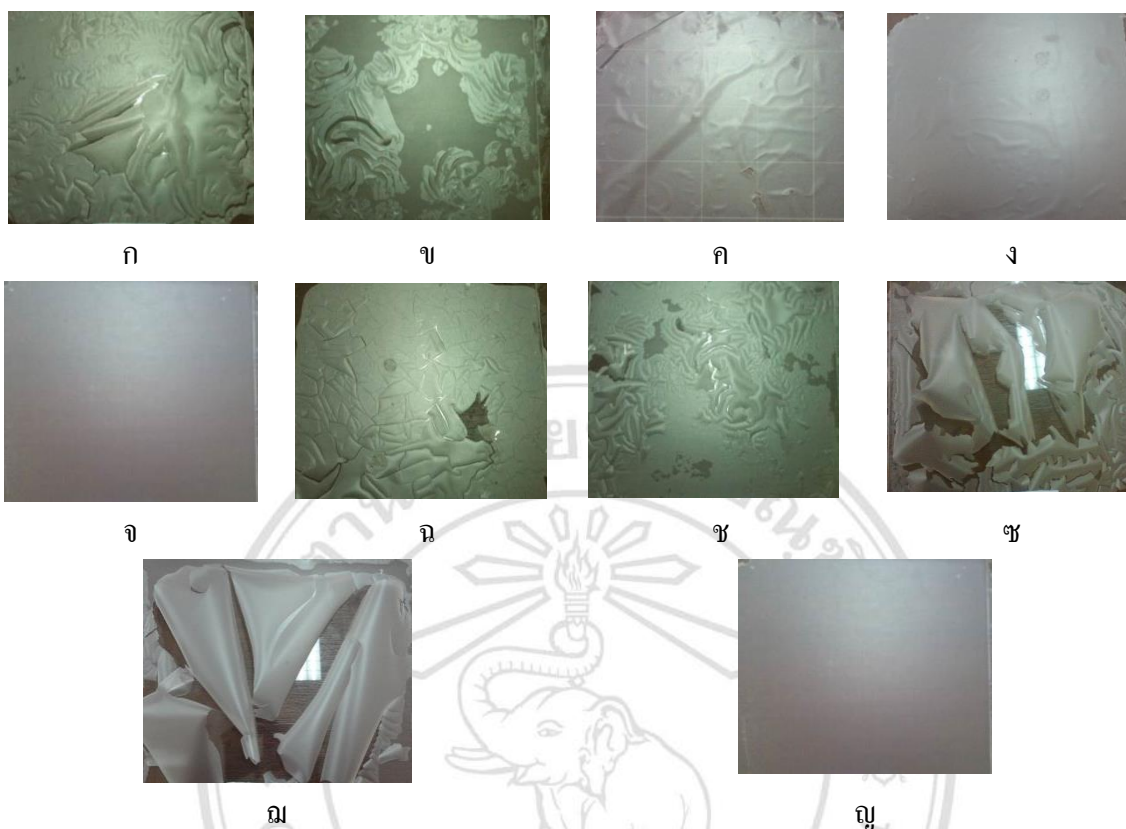
ปริมาณแปลงลือทึงที่ซึคคดเป็นร้อยละโดยน้าหนักของแปลงต่อปริมาตร (%w/v)

ภาพที่ 4.7 ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE*) ของฟิล์มแปลงที่แต่ละระดับของปริมาณแปลงลือทึงที่ซึคคดฟิล์ม

4.3 ชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มแป้ง

จากหัวข้อ 4.2 ได้เลือกใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มาทำการผลิตฟิล์ม รวมทั้งทำการศึกษาชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มจากแป้งเหลือทิ้ง โดยพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ทำการศึกษา 5 ระดับของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ได้แก่ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) (แสดงการเตรียมพลาสติกไซเซออร์ ดังตารางที่ 3.3) ผลการทดลองจากลักษณะปรากฏของฟิล์ม (แสดงดังภาพที่ 4.8 (ก) ถึง (จ)) พบว่า สามารถผลิตฟิล์มแป้งได้เมื่อมีการเติมกลีเซอรอลปริมาณร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) โดยฟิล์มแป้งที่เติมกลีเซอรอลปริมาณร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) มีลักษณะขาวขุ่น สามารถยืดหยุ่น ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศจะหยาบ ขณะที่ฟิล์มที่ผลิตได้เมื่อเติมกลีเซอรอลปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) มีจะลักษณะใส สามารถยืดหยุ่น และนุ่มมากกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) ดังนั้นการเติมพลาสติกไซเซออร์อย่างกลีเซอรอลลงไปในการผลิตฟิล์มจะช่วยให้ฟิล์มมีความอ่อนตัวลง เพราะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันภายในฟิล์มจะอ่อนแอลง (ปนัดดา, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับ Laohakunjit and Noomhorm (2004) ที่ได้รายงานว่าฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชของข้าว เมื่อเติมกลีเซอรอลในปริมาณร้อยละ 20-35 พบว่า ฟิล์มสตาร์ชจากข้าวที่ใช้ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20 และ 25 จะมีลักษณะใสและยืดหยุ่นได้ โดยด้านหนึ่งของฟิล์มจะหยาบขณะที่อีกด้านหนึ่งจะมันวาว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลเป็นร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) พบว่า ฟิล์มที่ได้จะมีความนุ่มเพิ่มมากขึ้น

สำหรับการทดลองผลิตฟิล์มแป้งจากแป้งเหลือทิ้งที่มีการเติมซอร์บิทอลลงไป ผลการทดลองแสดงลักษณะปรากฏของฟิล์มดังภาพที่ 4.8 พบว่า ฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลปริมาณร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) จะมีลักษณะแตกหักง่าย และไม่มี ความยืดหยุ่น (แสดงดังภาพที่ 4.8 (ฉ) ถึง (ณ)) ขณะที่ฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) แสดงดังภาพที่ 4.8 (ญ) จะไม่สามารถแกะออกจากแผ่นแม่แบบได้ ทำให้ไม่สามารถศึกษาและแสดงผลของคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของฟิล์มได้



ภาพที่ 4.8 फिल्मเป่งที่ใช้ปริมาณเป่งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมกลีเซอรอล ร้อยละ 10 (ก), 20 (ข), 30 (ค), 40 (ง) และ 50 (จ) โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของเป่งเหลือทิ้ง) ตามลำดับ และเติมซอร์บิทอลร้อยละ 10 (ฉ), 20 (ช), 30 (ซ), 40 (ฅ) และ 50 (ฎ) โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของเป่งเหลือทิ้ง) ตามลำดับ

จากผลที่กล่าวมาข้างต้นเมื่อนำฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของเป่งเหลือทิ้ง) มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) แสดงผลการศึกษาในตารางที่ 4.2 จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าความสว่าง ($+L^*$) ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.28, 99.64 และ 99.84 ตามลำดับ แต่เมื่อผลิตฟิล์มโดยเติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของเป่งเหลือทิ้ง) พบว่า ค่าความสว่าง ($+L^*$) ของฟิล์มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับค่าโทนสีแดง ($+a^*$) ของฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วง 0.57-0.63 และค่าโทนสีแดง ($+a^*$) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล โดยฟิล์มที่เติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของเป่งเหลือทิ้ง) มีค่าโทนสีแดง ($+a^*$) สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 และค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) มีค่าอยู่ในช่วง 0.49-0.58 ซึ่งค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) ของฟิล์มไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ขณะที่ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น โดยค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของฟิล์มสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 เมื่อเติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง)

ตารางที่ 4.2 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของฟิล์มแป้งที่มีใช้ปริมาณแป้งเหลืองร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และมีการเติมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง)

ปริมาณ กลีเซอรอล (ร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนัก แห้งของแป้งเหลือง)	ค่าสี			ΔE^*
	L^*	a^*	b^*	
30	99.28±0.16 ^b	0.61±0.03 ^a	0.58±0.13 ^{ns}	0.45±0.06 ^a
40	99.64±0.23 ^a	0.57±0.02 ^b	0.49±0.09 ^{ns}	0.29±0.02 ^b
50	99.84±0.01 ^a	0.63±0.00 ^a	0.51±0.06 ^{ns}	0.33±0.03 ^b

หมายเหตุ: ^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

เมื่อทดสอบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มที่ผลิตได้จากการใช้ปริมาณแป้งเหลืองร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาด ค่าการละลายน้ำ และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3) ซึ่งพบว่าฟิล์มดังกล่าวมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 0.074, 0.077 และ 0.079 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาด มีค่าเฉลี่ย (ร้อยละ) เท่ากับ 41.72, 48.51 และ 54.74 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลลงไป ขณะที่ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.36, 2.13 และ 1.84 MPa ตามลำดับ ถึงแม้การเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจากร้อยละ 30 เป็น 40 จะมีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 56.6 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจากร้อยละ 40 เป็น 50 กลับส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงจะลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณกลีเซอรอลพบว่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารลดความเป็นผลึกและช่วยให้เกิดความเป็นพลาสติกที่มีการยืดตัวได้ดี ทำให้ฟิล์มแป้งที่เติมกลีเซอรอลลงไปมีความเป็นผลึกลดลงและมีสถานะเหนียวหนืดส่งผลให้สมบัติการยืดตัวของฟิล์มมีมากขึ้น ทำให้มีค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาด มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น

สำหรับค่าการละลายน้ำของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ โดยค่าการละลายน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น จากการทดลอง (แสดงดังตารางที่ 4.3) พบว่า ค่าการละลายน้ำของฟิล์มแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) โดยมีค่าการละลายน้ำร้อยละเฉลี่ยเท่ากับ 26.60, 33.25 และ 34.49 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Laohakunjit and Noomhorm (2004) และ Bourtoom (2008) โดย Laohakunjit and Noomhorm (2004) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อเติมปริมาณกลีเซอรอลจากร้อยละ 20 ถึง 35 ลงไปเพื่อผลิตฟิล์มสตาร์ชจากข้าว พบว่าค่าการละลายน้ำของฟิล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลสูงขึ้น โดยมีค่าการละลายน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 17, 20, 25 และ 30 เมื่อเติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20, 25, 30 และ 35 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) ตามลำดับ ขณะที่ Bourtoom (2008) ทำการผลิตฟิล์มจากแป้งข้าวและโคโคซานที่เติมซอร์บิทอล กลีเซอรอล และ โพลีเอทิลีนไกลคอล ในปริมาณร้อยละ 20-60 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) พบว่า ค่าการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30.19 ถึง 36.46 เมื่อเติมซอร์บิทอล เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 27.93 ถึง 32.54 เมื่อเติมกลีเซอรอล และเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 28.45 ถึง 36.54 เมื่อเติมโพลีเอทิลีนไกลคอล

และสำหรับค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ของฟิล์มแป้ง จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) (แสดงดังตารางที่ 4.3) โดยฟิล์มที่เติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำเฉลี่ยสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ $3858.39 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ และฟิล์มที่เติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 3029.04 และ 3782.82 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นเนื่องจากกลีเซอรอลมีสมบัติความชอบน้ำจึงส่งผลทำให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูงขึ้นได้ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Laohakunjit and Noomhorm (2004) ได้ทำการศึกษาฟิล์มจากสตาร์ชข้าวที่มีการเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณร้อยละ 20-35 โดยผลการศึกษาพบว่า ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง)

คุณสมบัติของฟิล์มแป้ง	ปริมาณกลีเซอรอล (ร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง)		
	30	40	50
ความหนา (มิลลิเมตร)	0.074±0.007 ^{ns}	0.077±0.006 ^{ns}	0.079±0.000 ^{ns}
ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) (MPa)	1.36±0.12 ^b	2.13±0.10 ^a	1.84±0.02 ^b
การยืดตัว ณ จุดที่ขาด (elongation at break) (ร้อยละ)	41.72±0.24 ^{ns}	48.51±4.10 ^{ns}	54.74±1.86 ^{ns}
การละลายน้ำ (solubility) (ร้อยละ)	26.60±1.18 ^b	33.25±2.19 ^a	34.49±2.98 ^a
อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) (g·m ⁻² ·day ⁻¹)	3029.04±40.35 ^c	3782.82±9.68 ^b	3858.39±21.36 ^a

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)
^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากที่กล่าวมาในข้างต้นว่าการเติมซอร์บิทอลเพียงอย่างเดียวในปริมาณร้อยละ 10, 20, 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) เพื่อทำการผลิตฟิล์มนั้นผลปรากฏว่าไม่สามารถผลิตฟิล์มได้ แต่อย่างไรก็ตามซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไฮเซอรัลชนิดหนึ่งซึ่งช่วยลดการซึมผ่านไอน้ำ (water vaour permeability) และยังทำให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าลดลงได้นอกจากนี้การใช้ซอร์บิทอลในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้ซอร์บิทอลแทรกตัวและจับพันธะระหว่างสายโมเลกุลของแป้งอย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้แผ่นฟิล์มมีความแข็งแรง (พิสิฐพันธุ์, 2554)

โดยจากงานวิจัยของ Laohakunjit and Noomhorm (2004) ได้ทำการเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในปริมาณร้อยละที่เท่ากันคือ ร้อยละ 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง เพื่อผลิตฟิล์มสตาร์ชจากข้าว ผลการศึกษาพบว่าในทุกๆ ระดับของปริมาณกลีเซอรอล (ร้อยละ 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 โดยน้ำหนัก) ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลจะมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำและค่าการละลายน้ำของฟิล์มสูงกว่าฟิล์มที่เติมซอร์บิทอล ซึ่งอาจเนื่องมาจากซอร์บิทอลมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่ากลีเซอรอล และมีแรงในการยึดเกาะกับโมเลกุลภายในโครงสร้างของแป้งมากกว่ากลีเซอรอล จึงทำให้ความสามารถของซอร์บิทอลที่จะไปจับกับโมเลกุลของน้ำลดลงส่งผลให้

ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลงเมื่อเทียบกับกลีเซอรอล (McHugh and Krochta, 1994; Gontard *et al.*, 1992; Garcia *et al.*, 2000) จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้นำซอร์บิทอลมาใช้ในการผลิตฟิล์ม โดยจะนำมาผสมร่วมกับกลีเซอรอลในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

4.4 การผสมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในการผลิตฟิล์มแข็ง

จากหัวข้อ 4.3 เมื่อทราบชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมต่อการทำฟิล์ม ซึ่งได้แก่ ฟิล์มที่ใช้ปริมาณแข็งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ ปริมาตรร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแข็งเหลือทิ้ง) จากนั้นทำการปรับอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอลที่จะเติมลงไป ได้แก่ 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 จากลักษณะปรากฏของฟิล์มแข็งที่ผลิตได้นั้น พบว่า ฟิล์มแข็งที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแข็งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล ทั้ง 4 อัตราส่วน จะมีลักษณะแตก เปราะ และไม่มีคามยืดหยุ่น แสดงดังภาพที่ 4.9 และจากภาพที่ 4.9 (ค) แม้ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะเรียบไม่แตก แต่เมื่อลอกแผ่นฟิล์มออกจากแม่แบบผลปรากฏว่าฟิล์มจะแตกออกเป็นชิ้นๆ ดังนั้นการใช้ปริมาณแข็งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแข็งเหลือทิ้ง) ในทุกๆ อัตราส่วน น้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นฟิล์มแข็งได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ก



ข



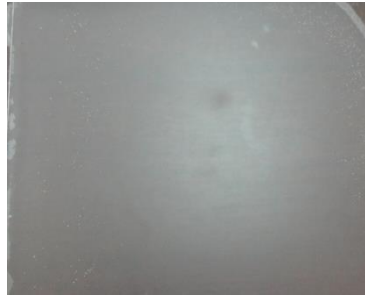
ค



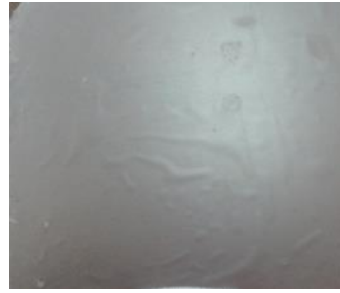
ง

ภาพที่ 4.9 फिल्मแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอรร์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1 (ก), 2:1 (ข), 3:1 (ค) และ 4:1 (ง) ตามลำดับ

ผลการผลิตฟิล์มแป้งเมื่อใช้ปริมาณพลาสติกไซเซอรร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1 (แสดงดังภาพที่ 4.10 (ก)) พบว่า ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเรียบแต่ไม่สามารถแกะออกจากแม่แบบได้ ขณะที่การเติมปริมาณพลาสติกไซเซอรร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 เพื่อผลิตฟิล์ม ดังแสดงภาพที่ 4.10 (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ และการเติมปริมาณพลาสติกไซเซอรร์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 สามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มได้โดยสามารถลอกฟิล์มออกจากแม่แบบได้ และฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้นและไม่แตกหักง่ายเมื่อมีการปรับอัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล แสดงลักษณะปรากฏของฟิล์มดังภาพที่ 4.11



ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 4.10 फिल्मแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอรร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1 (ก), 2:1 (ข), 3:1 (ค) และ 4:1 (ง) ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



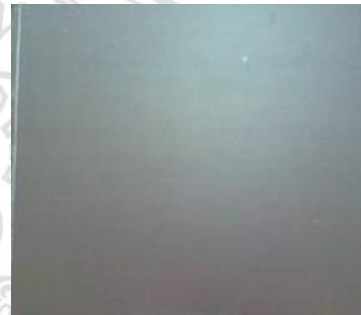
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 4.11 फिल्मแบ่งที่ใช้ปริมาณแบ่งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแบ่งเหลือทิ้ง) โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1 (ก), 2:1 (ข), 3:1 (ค) และ 4:1 (ง) ตามลำดับ

ฟิล์มที่มีปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 40 อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 และฟิล์มที่มีปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแบ่งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 จะมีความหนาอยู่ในช่วง 0.071-0.076 มิลลิเมตร (แสดงผลดังตารางที่ 4.4) และฟิล์มที่มีปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแบ่งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1 จะมีความหนาสูงสุด คือ 0.076 มิลลิเมตร (ดังตารางที่ 4.4) ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของฟิล์มที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแบ่งเหลือทิ้ง) ทั้ง 3 อัตราส่วน ที่แสดงดังตารางที่ 4.5 จะมีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่มีการเติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแบ่งเหลือทิ้ง) โดยฟิล์มที่มีการเติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแบ่งเหลือทิ้ง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 มีค่าความสว่าง ($+L^*$) เฉลี่ยเท่ากับ 99.84, 99.87 และ 99.84 ตามลำดับ ค่าโทนสีแดง ($+a^*$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60, 0.61 และ 0.63 ตามลำดับ มีค่าโทนสี

เหลือง (+b*) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44, 0.38 และ 0.38 ตามลำดับ ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30, 0.26 และ 0.27 ตามลำดับ ส่วนฟิล์มที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 50 ที่อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลและซอร์บิทอล 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 มีค่าความสว่าง (+L*) เฉลี่ยเท่ากับ 99.99, 99.66, 99.85 และ 99.91 ตามลำดับ ค่าโทนสีแดง (+a*) เฉลี่ยเท่ากับ 0.64, 0.66, 0.63 และ 0.64 ตามลำดับ มีค่าโทนสีเหลือง (+b*) เฉลี่ยเท่ากับ 0.45, 0.46, 0.48 และ 0.40 ตามลำดับ ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) เฉลี่ยเท่ากับ 0.31, 0.36, 0.32 และ 0.29 ตามลำดับ (แสดงผลดังตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนาของฟิล์มแข็งเมื่อผสมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลและใช้ปริมาณแข็งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแข็งเหลือทิ้ง)

ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ (ร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับ น้ำหนักแห้งของแข็งเหลือทิ้ง)	อัตราส่วนน้ำหนักของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล	ความหนา (มิลลิเมตร)
40	2:1	0.072±0.001 ^{ab}
	3:1	0.071±0.003 ^{ab}
	4:1	0.070±0.006 ^b
50	1:1	0.076±0.001 ^a
	2:1	0.074±0.002 ^{ab}
	3:1	0.073±0.004 ^{ab}
	4:1	0.071±0.001 ^{ab}

หมายเหตุ: ^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของฟิล์มเมื่อผสม กลีเซอรอลและซอร์บิทอลและใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติม พลาสติกไซเซอรปริมาณร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง)

ปริมาณ พลาสติกไซเซอร (ร้อยละโดยน้ำหนัก เทียบกับน้ำหนักแห้ง ของแป้งเหลือทิ้ง)	อัตราส่วน น้ำหนักรของ กลีเซอรอลต่อ ซอร์บิทอล	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
40	2:1	99.84±0.06 ^{ab}	0.60±0.01 ^d	0.44±0.08 ^{abc}	0.30±0.02 ^{bcd}
	3:1	99.87±0.04 ^a	0.61±0.01 ^d	0.38±0.02 ^c	0.26±0.01 ^c
	4:1	99.84±0.10 ^{ab}	0.63±0.00 ^{ab}	0.38±0.00 ^c	0.27±0.01 ^{de}
50	1:1	99.99±0.11 ^a	0.64±0.00 ^{ab}	0.45±0.02 ^{abc}	0.31±0.01 ^{bc}
	2:1	99.66±0.04 ^b	0.66±0.01 ^a	0.46±0.01 ^{ab}	0.36±0.01 ^a
	3:1	99.85±0.10 ^{ab}	0.63±0.01 ^c	0.48±0.07 ^a	0.32±0.03 ^b
	4:1	99.91±0.06 ^a	0.64±0.01 ^b	0.40±0.00 ^{bc}	0.29±0.01 ^{cde}

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 ค่าการละลายน้ำของฟิล์มที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซอรร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักรของกลีเซอรอลและซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 จะมีค่าการละลายน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซอรร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักรของกลีเซอรอลและซอร์บิทอล 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 โดยฟิล์มที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซอรร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) มีค่าการละลายน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 26.95, 30.84 และ 31.19 ตามลำดับ และฟิล์มที่ปริมาณพลาสติกไซเซอรร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) มีค่าการละลายน้ำ (ร้อยละ) เฉลี่ยเท่ากับ 31.60, 30.99, 33.70 และ 33.95 ตามลำดับ การผลิตฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนน้ำหนักรของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 4:1 ที่ปริมาณพลาสติกไซเซอรร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) จะได้ฟิล์มที่มีค่าการละลายน้ำสูงที่สุด เนื่องจากกลีเซอรอลและซอร์บิทอลยังเป็นสารยึดตัวที่สามารถที่ละลายน้ำได้จึงทำให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Müller และคณะ (2008) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลและซอร์บิทอลทำให้ค่าการละลายของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น อีกทั้งการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่ทำให้ฟิล์มมีความสามารถในการดูดความชื้นได้เพิ่มขึ้น โดยแผ่นฟิล์มที่มีการเติมกลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความ

ยี่หุบมีค่าการดูดความชื้นมากกว่าแผ่นฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอล เนื่องจากกลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (hygroscopic) มากกว่าซอร์บิทอล (Mathew and Dufresne, 2002) จึงช่วยให้ฟิล์มมีค่าการละลายน้ำได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.6 ค่าการละลายน้ำของฟิล์มแป้งเมื่อผสมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลและใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งของแป้งเหลือทิ้ง)

ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับ น้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง)	อัตราส่วนน้ำหนักของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล	การละลายน้ำ (ร้อยละ)
40	2:1	26.95±3.12 ^c
	3:1	30.84±0.71 ^b
	4:1	31.19±1.47 ^{ab}
50	1:1	31.60±0.22 ^{ab}
	2:1	30.99±1.62 ^{ab}
	3:1	33.70±1.11 ^{ab}
	4:1	33.95±1.13 ^a

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์ม แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าฟิล์มที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 มีค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.16 MPa และมีค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาด (ร้อยละ) เฉลี่ยเท่ากับ 69.27 และที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 และ 4:1 ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มมีค่าลดลง โดยมีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 1.33 และ 1.26 MPa ตามลำดับ และการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์ม (ร้อยละ) เฉลี่ยเท่ากับ 55.61 และ 54.79 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.7 เมื่อปริมาณพลาสติกไซเซออร์เป็นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มมีค่าลดลง และมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ

ฟิล์มที่เติมปริมาณพลาสติกไซเซอรร์้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) ในทุกอัตราส่วน โดยค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.30, 1.53, 1.14 และ 1.45 MPa และค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์ม (ร้อยละ) เฉลี่ยเท่ากับ 48.57, 38.18, 34.67 และ 34.49 ตามลำดับ

ทุกๆ อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลและซอร์บิทอลที่ทำการทดลองผลิตฟิล์มซึ่งได้แก่ อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 โดยอัตราส่วนน้ำหนักดังกล่าวนี้เป็นการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลหรือลดปริมาณซอร์บิทอล (แสดงการปรับอัตราส่วนน้ำหนักดังตารางที่ 3.4) ซึ่งการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลให้มากขึ้นช่วยให้โครงสร้างของฟิล์มมีความอ่อนตัวได้มากขึ้น และช่วยให้ฟิล์มที่ผลิตได้มีความเป็นพลาสติกที่มีการยืดตัวได้ดี น่าจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาด มีค่าสูงขึ้น ดังเช่นงานวิจัยของ Laohakunjit and Noomhorm (2004) และ McHung and Krochata (1994) โดย Laohakunjit and Noomhorm (2004) ได้รายงานว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลและซอร์บิทอลร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) ช่วยส่งผลค่าความต้านทานดึงขาดลดลงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มสตร้าซจากข้าวมีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในงานวิจัยนี้กลับพบว่า ทั้งค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากผลของซอร์บิทอลที่เติมลงไป ในปริมาณที่ยังไม่เหมาะสมหรือยังมีอิทธิพลของซอร์บิทอลในปริมาณที่มากอยู่ อีกทั้งซอร์บิทอลเองก็มิขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ทำให้ความสามารถในการแทรกตัวเข้าไปใน โครงสร้างของฟิล์มเพื่อทำการสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกันระหว่างโมเลกุลภายในฟิล์มเกิดขึ้นได้น้อยกว่าและความสามารถในการเกิดเป็นพลาสติกที่มีความยืดตัวที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกลีเซอรอลซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า จึงทำให้ฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลลงไป ในปริมาณที่ไม่เหมาะสมมีความแข็งแรงลดลงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความยืดตัว ณ จุดที่ขาดลดลง จากเหตุผลดังกล่าวอาจจะต้องมีการศึกษาหาอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลและซอร์บิทอลที่เหมาะสมเพื่อทำการผลิตฟิล์มที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดสูง ต่อไป

ตารางที่ 4.7 ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มแป้งเมื่อผสมกลีเซอรอล และซอร์บิทอลและใช้ปริมาณแป้งเหลืองทั้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ ปริมาณร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง)

ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับ น้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง)	อัตราส่วนน้ำหนักของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล	คุณสมบัติทางกล	
		ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดที่ ขาด (ร้อยละ)
40	2:1	2.16±0.025 ^a	69.22±6.99 ^a
	3:1	1.33±0.075 ^c	55.61±5.45 ^b
	4:1	1.26±0.09 ^{cd}	54.79±1.86 ^b
50	1:1	1.30±0.03 ^{cd}	48.57±6.47 ^b
	2:1	1.53±0.08 ^b	38.18±3.05 ^c
	3:1	1.14±0.08 ^d	34.67±1.59 ^c
	4:1	1.45±0.03 ^{bc}	34.49±2.19 ^c

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการศึกษาอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ผลิตได้แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า ทุกๆ อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล (2:1, 3:1 และ 4:1) (ที่แสดงการเตรียมไว้ในตารางที่ 3.4) ของฟิล์มที่มีปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ฟิล์มที่ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่มีปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ที่ทุกๆ อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล และเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลและลดปริมาณซอร์บิทอล ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4.8 ฟิล์มที่มีการเติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2834.56 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ และค่าจะเพิ่มสูงขึ้นที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 และ 4:1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3226.29 และ $3233.30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ ตามลำดับ

ขณะที่ฟิล์มที่มีการเติมปริมาณพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 3609.26 , 3884.53 , 4036.38 และ $4059.83 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลและลดปริมาณซอร์บิทอลเช่นกัน แต่ที่อัตราส่วน

อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 และ 4:1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแข็งเมื่อผสมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลและใช้ปริมาณแป้งเหลืองร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง)

ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับ น้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง)	อัตราส่วนน้ำหนักของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)
40	2:1	2834.56±78.41 ^c
	3:1	3226.29±103.4 ^{de}
	4:1	3233.30±46.79 ^{cd}
50	1:1	3609.26±99.89 ^{bc}
	2:1	3884.53±10.90 ^{ab}
	3:1	4036.38±114.3 ^a
	4:1	4059.83±33.39 ^a

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

ดังนั้นฟิล์มที่มีการเติมซอร์บิทอลในปริมาณที่มากกว่าจะมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่มีการเติมซอร์บิทอลในปริมาณที่น้อยกว่าหรือมีการเติมกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น (พิจารณาการเติมปริมาณกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในตารางที่ 3.4) เนื่องจากซอร์บิทอลมีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีคุณสมบัติในการดูดน้ำน้อยกว่ากลีเซอรอล จึงทำให้การกักเก็บน้ำในแผ่นฟิล์มน้อยลง ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำจึงมีค่าน้อยกว่าฟิล์มที่มีการเติมกลีเซอรอล (Cerqueira *et al.*, 2012) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bourtoom (2008) ที่ทำศึกษาผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิดต่างๆ ต่อคุณสมบัติของการผลิตฟิล์มเคลือบเชื่อมอัลจินต และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมไตรโตซานตามลำดับ ก็พบว่าฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีคุณสมบัติดูดความชื้น (hygroscopic) สูง (Mathew and Dufresne, 2002) เมื่อทำการผลิตฟิล์มที่ใช้ปริมาณกลีเซอรอลที่สูงขึ้นจึงทำให้ฟิล์มดูดซับไอน้ำเข้าไปในแผ่นฟิล์มมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นหรือมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่สูงขึ้นนั่นเอง

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่าการผสมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในการผลิตฟิล์มจากแป้งเหลือง พบว่า ฟิล์มที่มีการเติมปริมาณแป้งเหลืองร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 เป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าความต้านทานแรงดึง (2.16 ± 0.025 MPa) และค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์ม (ร้อยละ, 69.22 ± 6.99) ที่สูงที่สุด และค่าการละลายน้ำ (ร้อยละ, 26.95 ± 3.12) และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (2834.56 ± 78.41 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 และ 4:1 และเมื่อเทียบกับฟิล์มที่มีการเติมปริมาณแป้งเหลืองร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร ปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ในทุกๆ อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล

จากคุณสมบัติของฟิล์มที่เติมพลาสติกไซเซอร ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่มีความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มที่สูงกว่า และการละลายน้ำและอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่ต่ำกว่าฟิล์มที่มีการเติมปริมาณแป้งเหลืองร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร ปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ในทุกๆ อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกฟิล์มที่เติมพลาสติกไซเซอร ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ไปทำการศึกษาและประยุกต์ใช้ในตอนที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ต่อไป

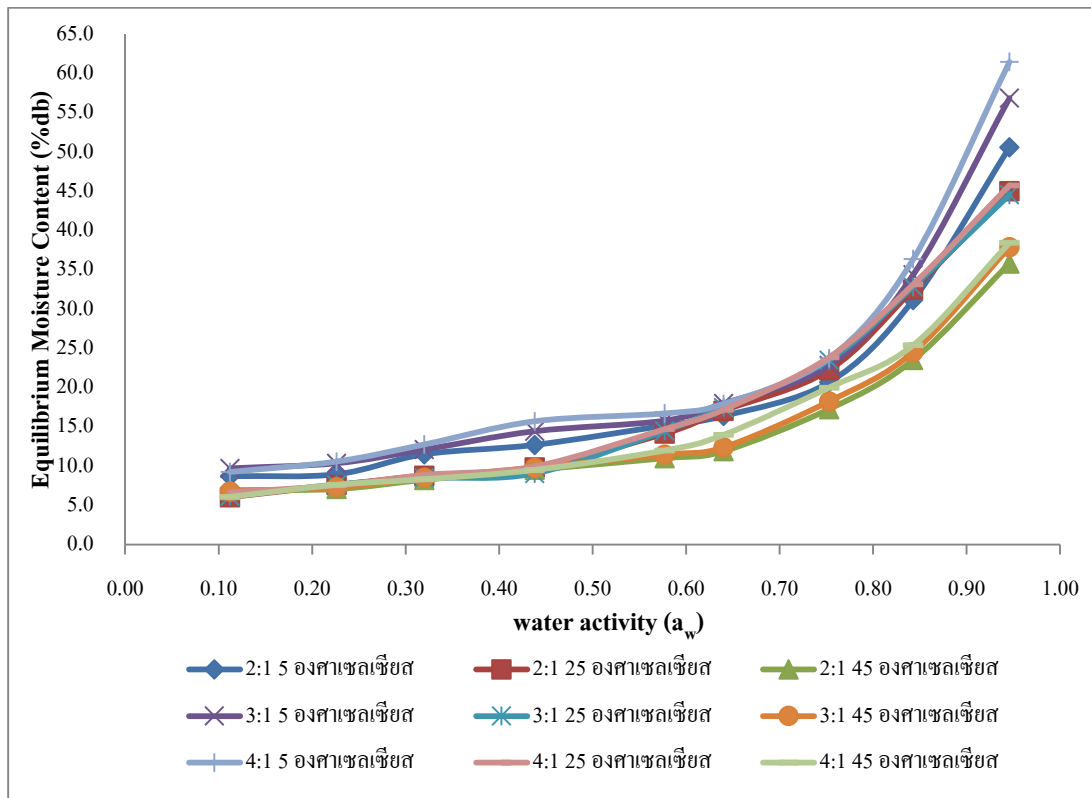
4.5 ซอฟชั่นไอโซเทอมของฟิล์มแป้ง

จากการศึกษาลักษณะซอฟชั่นไอโซเทอมของตัวอย่างฟิล์มแป้งที่มีการยืดตัวสูงที่สุด ได้แก่ ฟิล์มที่ใช้ปริมาณแป้งเหลืองร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมปริมาณพลาสติกไซเซอร ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 จะถูกนำมาเติมสารโพแทสเซียมซอร์เบทเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา แล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาซอฟชั่นไอโซเทอม โดยเก็บฟิล์มภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน 9 ระดับ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11.2, 22.6, 32.0, 43.8, 57.7, 64.0, 75.3, 84.3 และ 94.6 ตามลำดับ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ที่ศึกษาเท่ากับ 0.112, 0.226, 0.320, 0.438, 0.577, 0.640, 0.753, 84.300 และ 94.600 ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิในการศึกษาที่ 5, 25 และ 45

องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น และสร้างกราฟ มอยซ์เจอร์ซอฟชันไอโซเทอม แสดงดังภาพที่ 4.12

สภาวะสมดุลของความชื้นของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้น ซอฟชัน ไอโซเทอมของฟิล์มจะแสดงกราฟในรูปแบบ sigmoid shaped curvatures ตามการแบ่งประเภทของ Brunauer, Deming and Teller ในปี 1938 โดยความชื้นสมดุลจะเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงและมี แนวโน้มที่โค้งเข้าหาแนวเส้นที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ซึ่งลักษณะแบบนี้จะพบได้ใน ฟิล์มแข็ง นอกจากนี้ในฟิล์มที่ทำจากแข็งจะพบว่าสารพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้เติมลงไปจะมีคุณสมบัติ ของการดูดความชื้นมากกว่าแข็งที่ใช้ ดังนั้นความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์ม ที่ทำจากแข็งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้เป็นส่วนใหญ่เมื่อกำหนดให้แข็งมีน้ำหนักคงที่ (de la Cruz *et al.*, 2001; Turhan and Sahbaz, 2004; Zhang and Han, 2006a; Aytunga Arik Kibar and Ferhunde, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ โดยตัวอย่างฟิล์มที่เติมปริมาณของกลีเซอรอลมาก ได้แก่ ฟิล์มที่เติมอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 4:1 จะมีค่าการดูดความชื้นสูงสุด และสูงกว่าฟิล์มที่เติมอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 และฟิล์มที่เติมอัตราส่วนน้ำหนัก ของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.12) สอดคล้องกับ Zhang and Han (2006, 2008) ได้รายงานไว้ว่า ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จะมีปริมาณความชื้นสูงกว่าฟิล์มที่ใช้ พลาสติกไซเซอร์ชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากใน โครงสร้างของกลีเซอรอลมีขั้วที่ ความชอบน้ำ (-OH) อยู่มาก จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำและสามารถเก็บโมเลกุลของน้ำภายใน โครงข่ายโพลีเมอร์แข็งได้ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิ มีผลต่อระดับพลังงานจลน์ของโมเลกุลน้ำ โดยโมเลกุลของน้ำที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีพลังงานภายใน โมเลกุลสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้ความสามารถในการดึงดูระหว่าง โมเลกุลลดลง จึงส่งผลให้การดูดซับความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Jamali *et al.*, 2006)

จากข้อมูลซอฟชันไอโซเทอมของฟิล์มแข็งที่ได้ ดังภาพที่ 4.12 สามารถติดตามผลการเปลี่ยนแปลง ความชื้นสมดุลของฟิล์มที่สภาวะอุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส และค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ในช่วง 0.10 ถึง 0.90 โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาศึกษาแบบต่างๆ ได้แก่ Henderson, Smith, Halsey, Oswin และ Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) จากค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น ที่อุณหภูมิและค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่างๆ จะทราบค่าคงที่ต่างๆ ของแต่ละสมการ แสดงตารางที่ 4.9 ถึง 4.11 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.12 ปริมาณความชื้นสมดุลของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือ ทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส และค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) 0.11, 0.23, 0.32, 0.44, 0.58, 0.75, 0.84 และ 0.90 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่ของสมการทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซ-เซอร์ ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	สมการ	พารามิเตอร์					R ² _{adj}	RMSE
		A	B	C	M ₀	K		
5	Modified Henderson	0.0049	1.7529	-	-	-	0.9513	0.556
	Modified Smith	3.7692	15.5762	-	-	-	0.8429	0.1112
	Modified Halsey	105.6261	1.8919	-	-	-	0.6932	0.1397
	Modified Oswin	2.7182	0.3951	-	-	-	0.8046	0.1150
	GAB	-	-	3.6470	3.6912	110.8012	0.7225	0.1328
25	Modified Henderson	0.0061	1.7777	-	-	-	0.9529	0.0547
	Modified Smith	3.4927	13.0477	-	-	-	0.8871	0.1076
	Modified Halsey	83.8515	1.9167	-	-	-	0.6966	0.1389
	Modified Oswin	2.5660	0.3897	-	-	-	0.8078	0.1105
	GAB	-	-	3.0057	3.7063	36.4217	0.7236	0.1326

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R^2_{adj}	RMSE
		A	B	C	M_0	K		
45	Modified Henderson	0.0073	1.7997	-	-	-	0.9524	0.0540
	Modified Smith	3.2676	11.1759	-	-	-	0.8889	0.1351
	Modified Halsey	68.5271	1.9387	-	-	-	0.6996	0.1382
	Modified Oswin	2.4400	0.3850	-	-	-	0.8106	0.1097
	GAB	-	-	2.5382	3.7195	13.7706	0.7929	0.1147

เมื่อ M_0 คือ GAB monolayer moisture (กรัมของน้ำ/100 กรัมของฟิล์มแห้ง)

และ A, B, Y และ k คือ ค่าคงที่

R^2_{adj} คือ Adjusted coefficient of determination, RMSE คือ Root mean squares error

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ของสมการทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซ-เซอร์ ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	สมการ	พารามิเตอร์					R ² _{adj}	RMSE
		A	B	C	M ₀	K		
5	Modified Henderson	0.0040	1.7712	-	-	-	0.9525	0.0550
	Modified Smith	3.9601	17.0217	-	-	-	0.8845	0.1781
	Modified Halsey	125.1449	1.8960	-	-	-	0.6938	0.1395
	Modified Oswin	2.7946	0.3928	-	-	-	0.8060	0.1111
	GAB	-	-	3.6102	3.7221	21.7640	0.7789	0.1196
25	Modified Henderson	0.0060	1.7534	-	-	-	0.9514	0.0556
	Modified Smith	3.5253	13.8514	-	-	-	0.8873	0.1369
	Modified Halsey	85.1744	1.8903	-	-	-	0.6930	0.1397
	Modified Oswin	2.6042	0.3950	-	-	-	0.8046	0.1115
	GAB	-	-	3.0422	3.7233	24.4074	0.7029	0.1375

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R^2_{adj}	RMSE
		A	B	C	M_0	K		
45	Modified Henderson	0.0085	1.7379	-	-	-	0.9504	0.0561
	Modified Smith	3.1844	11.5675	-	-	-	0.8919	0.1150
	Modified Halsey	60.8449	1.8853	-	-	-	0.6923	0.1399
	Modified Oswin	2.4484	0.3970	-	-	-	0.8034	0.1118
	GAB	-	-	2.6193	3.7244	26.9800	0.7733	0.1301

เมื่อ M_0 คือ GAB monolayer moisture (กรัมของน้ำ/100 กรัมของฟิล์มแห้ง)

และ A, B, Y และ k คือ ค่าคงที่

R^2_{adj} คือ Adjusted coefficient of determination, RMSE คือ Root mean squares error

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่ของสมการทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอรืปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 4:1 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R ² _{adj}	RMSE
		A	B	C	M ₀	K		
5	Modified Henderson	0.0043	1.7311	-	-	-	0.9500	0.0564
	Modified Smith	3.6442	18.2950	-	-	-	0.8812	0.1445
	Modified Halsey	118.4249	1.8586	-	-	-	0.6884	0.1407
	Modified Oswin	2.8298	0.4014	-	-	-	0.8088	0.1125
	GAB	-	-	3.8757	3.4944	40.2154	0.7486	0.1264
25	Modified Henderson	0.0068	1.6940	-	-	-	0.9475	0.0578
	Modified Smith	3.4643	14.5055	-	-	-	0.8918	0.1423
	Modified Halsey	78.5093	1.8440	-	-	-	0.6863	0.1412
	Modified Oswin	2.6297	0.4067	-	-	-	0.7976	0.1134
	GAB	-	-	3.2922	3.5019	40.3049	0.7107	0.1356

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R^2_{adj}	RMSE
		A	B	C	M_0	K		
45	Modified Henderson	0.0101	1.6622	-	-	-	0.9452	0.0590
	Modified Smith	3.3143	11.8416	-	-	-	0.8827	0.1336
	Modified Halsey	54.8094	1.8313	-	-	-	0.6844	0.1417
	Modified Oswin	2.4663	0.4114	-	-	-	0.7948	0.1142
	GAB			2.8546	3.5084	40.3833	0.7338	0.1301

เมื่อ M_0 คือ GAB monolayer moisture (กรัมของน้ำ/100 กรัมของฟิล์มแห้ง)

และ A, B, Y และ k คือ ค่าคงที่

R^2_{adj} คือ Adjusted coefficient of determination, RMSE คือ Root mean squares error

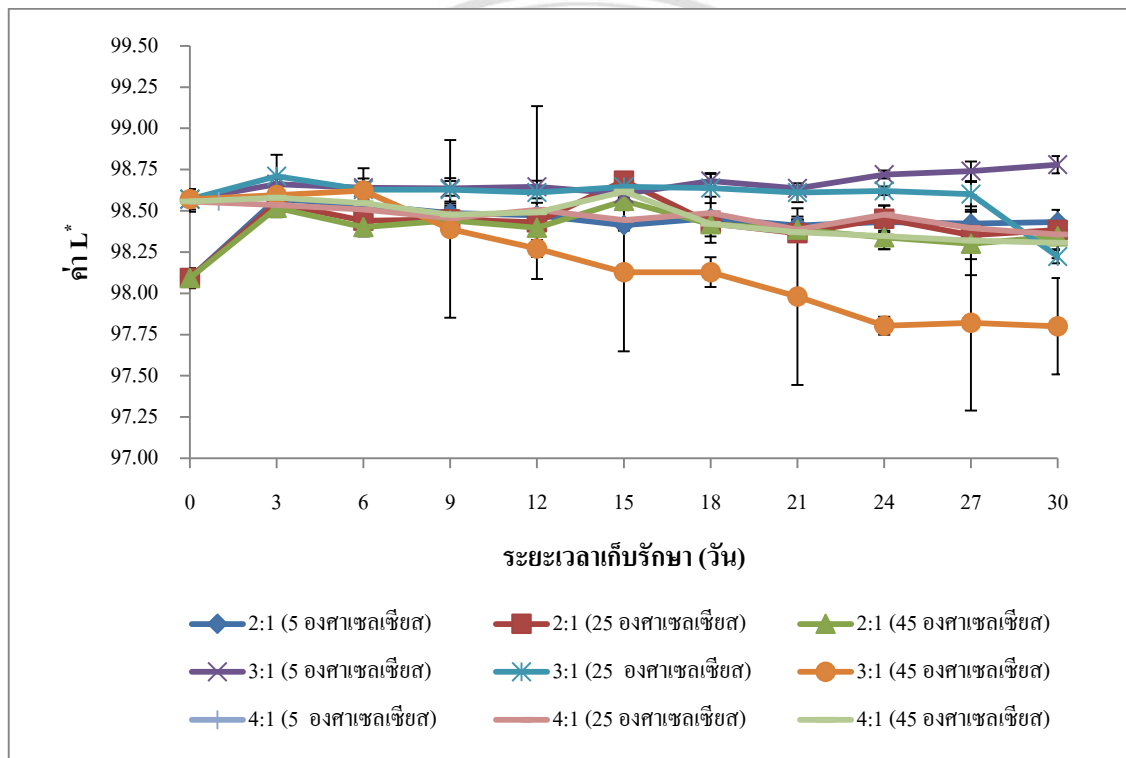
จากตารางที่ 4.9-4.11 แสดงค่าคงที่ของสมการทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ ของฟิล์มที่ใช้ปริมาณ แป้งเหลืองที่ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 โดย น้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้น ของฟิล์มที่สภาวะอุณหภูมิและค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่างๆ เป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์ Henderson เนื่องจากมีค่า R^2_{adj} สูงที่สุด และมีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ต่ำที่สุด

4.6 การเปลี่ยนแปลงของฟิล์มแป้งระหว่างการเก็บรักษา

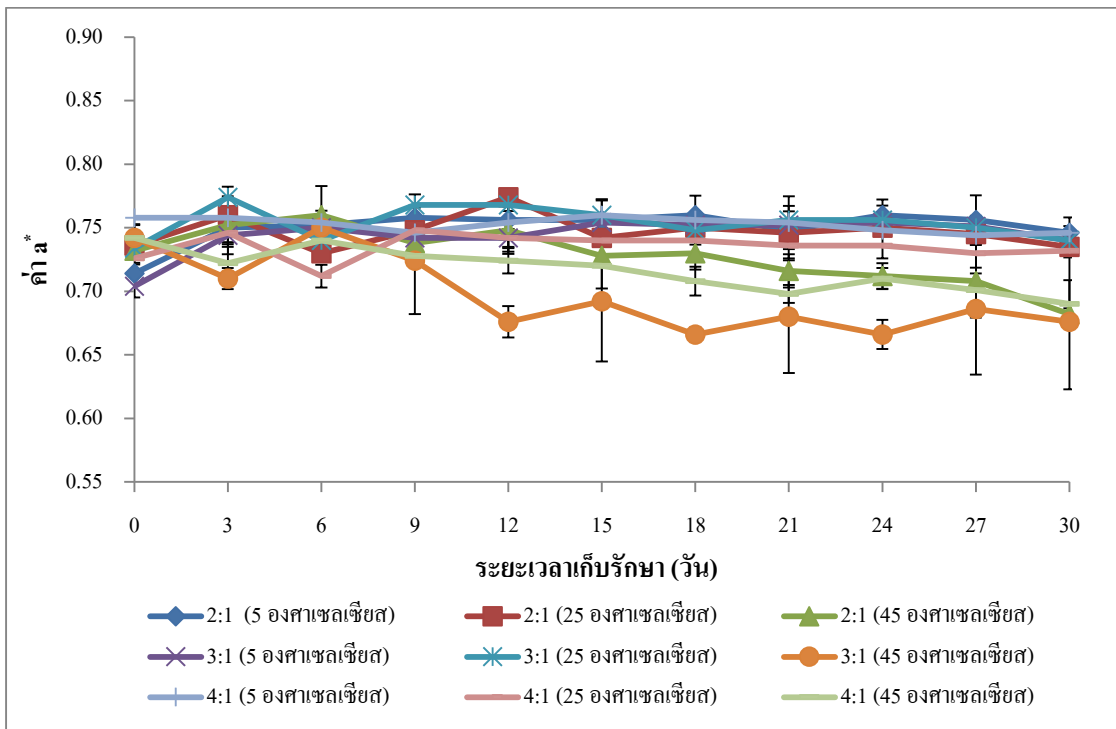
นำฟิล์มที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากการทดลองตอนที่ 4.4 นั่นคือ ฟิล์มที่ใช้ปริมาณแป้ง ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับ น้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มแป้งระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์ม ทุกๆ 3 วัน ได้ผลดังนี้

ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) แสดงผลดังภาพที่ 4.13-4.16 พบว่า ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการ เก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าความสว่าง ($+L^*$) ของฟิล์มที่เติมพลาสติกไซเซออร์ ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือง) และอัตราส่วนน้ำหนักของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 มีแนวโน้มลดลงในทุกๆ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา และ ฟิล์มที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า ความสว่าง ($+L^*$) ลดลงมากที่สุด และค่าโทนสีแดง ($+a^*$) มีแนวโน้มลดลง โดยฟิล์มที่อัตราส่วน น้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 เก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส มี แนวโน้มการลดลงของค่าโทนสีแดง ($+a^*$) น้อยกว่าฟิล์มที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และฟิล์ม ที่อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าโทนสีแดง ($+a^*$) ลดลงมากที่สุด ส่วนค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) พบว่า ค่า โทนสีเหลือง ($+b^*$) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส ของ ฟิล์มที่เติมอัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 มีแนวโน้มของค่าลดลง ส่วน ค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของฟิล์มที่เติมอัตราส่วนน้ำหนัก

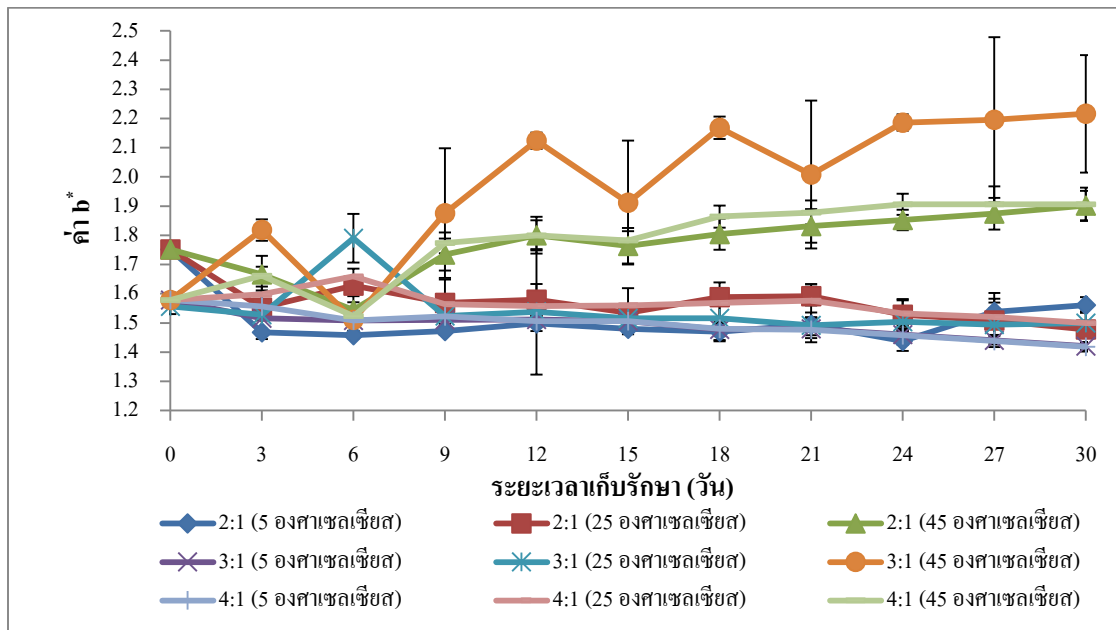
กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้ฟิล์มมีการสูญเสียน้ำส่งผลให้โครงสร้างของฟิล์มแข็งและแน่นขึ้น และยังทำให้ฟิล์มเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นเนื่องจากความร้อน ดังนั้นค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) จึงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเหตุผลดังกล่าวนี้ ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ขณะที่ค่าความสว่าง ($+L^*$) มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น (ดังเหตุผลที่อธิบายในหัวข้อ 4.2)



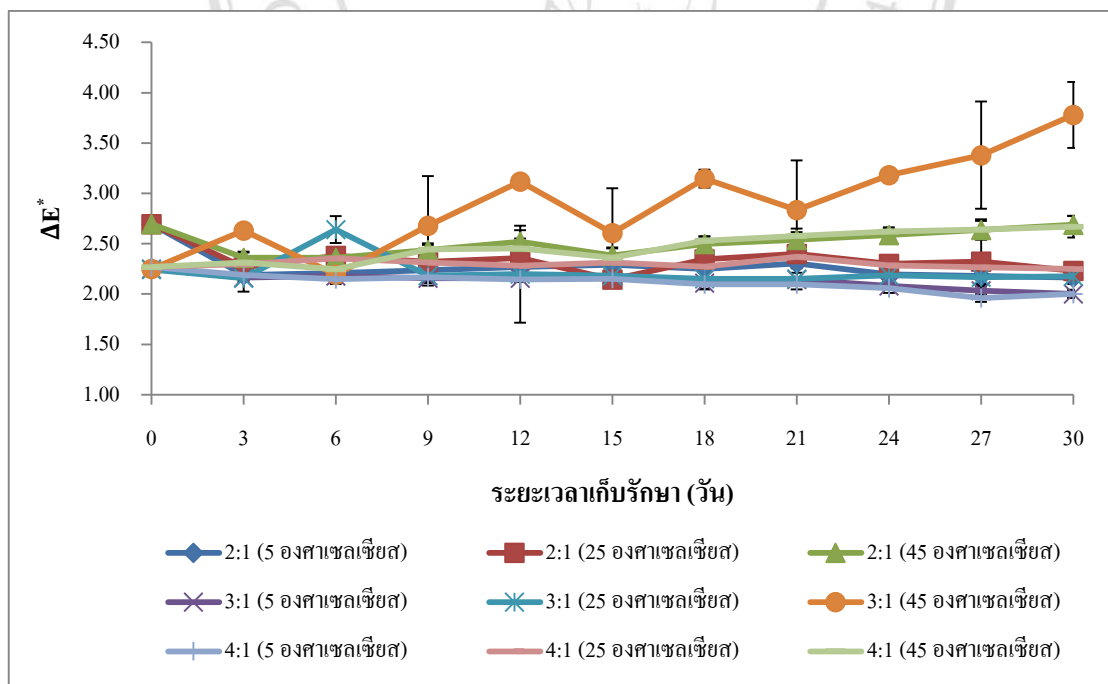
ภาพที่ 4.13 ค่า L^* ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอรอลปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.14 ค่า a^* ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส

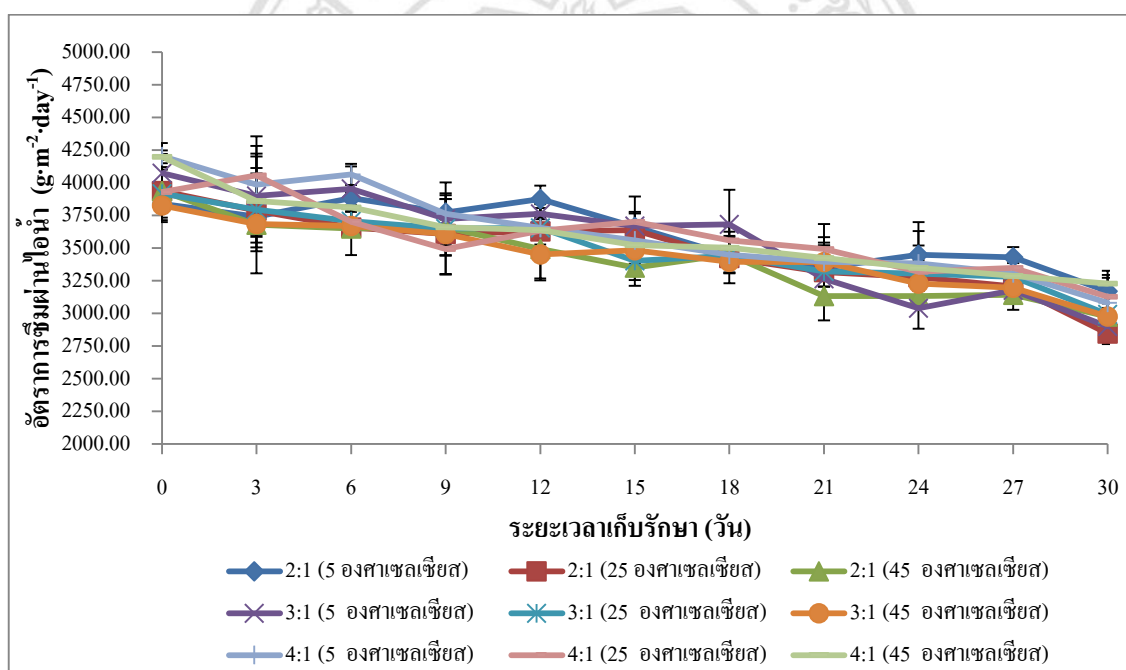


ภาพที่ 4.15 ค่า b^* ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร์ ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.16 ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณของแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส

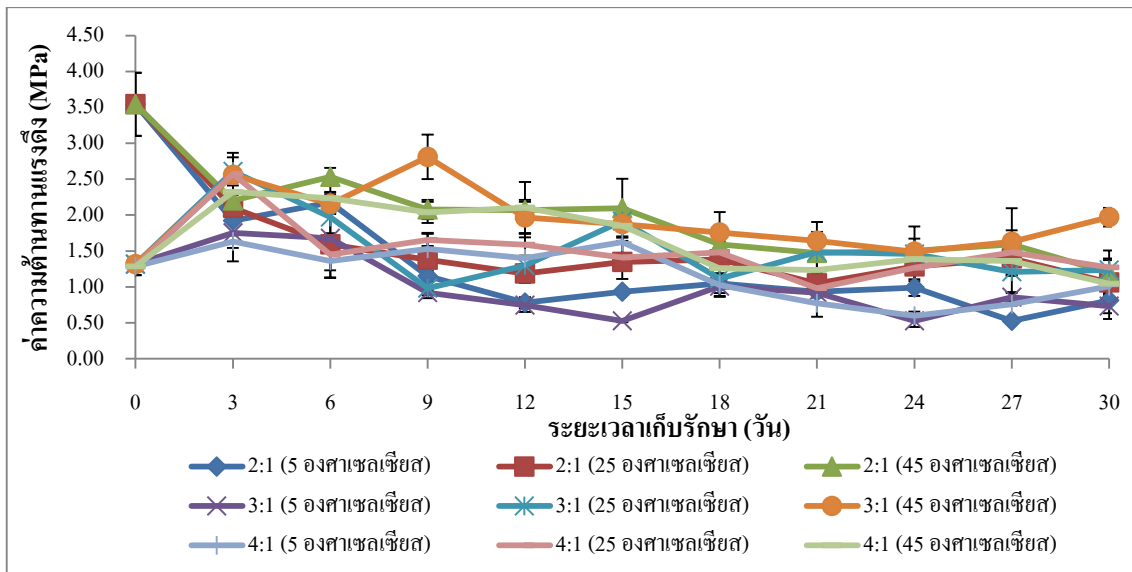
เมื่อวิเคราะห์ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์ม พบว่า ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มที่เติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) ที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา ดังภาพที่ 4.17-4.19 จะพบได้ว่าค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่เติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาเช่นกัน



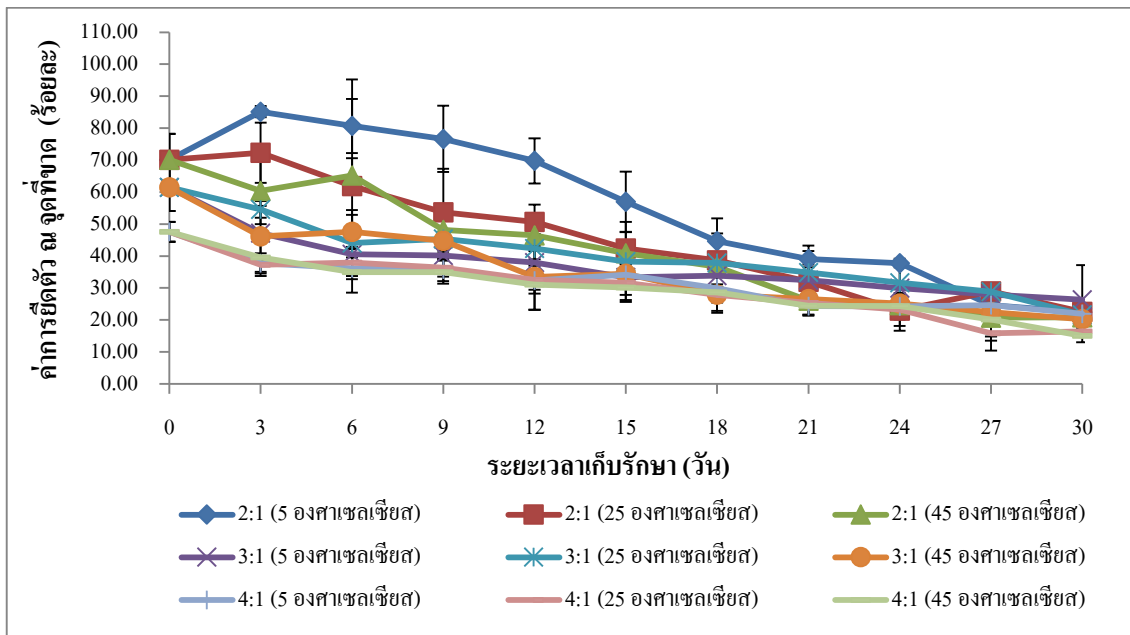
ภาพที่ 4.17 ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (water vapor transition rate, WVTR) ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ค่าความต้านทานแรงดึง (แสดงดังภาพที่ 4.18) และค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์ม (แสดงดังภาพที่ 4.19) ที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดลงต่ำกว่าฟิล์มที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 และ

25 องศาเซลเซียส สำหรับค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มพบว่า ฟิล์มที่เติมอัตราส่วนกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส มีค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดสูงกว่าฟิล์มที่อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 3:1 และ 4:1 ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงวันที่ 24 วัน และในระหว่างวันที่ 27-30 พบว่า ค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มทั้ง 3 อัตราส่วนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)



ภาพที่ 4.18 ค่าความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอรันปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.19 ค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาด (ร้อยละ) (elongation at break) ของฟิล์มแข็งที่ใช้ปริมาณแบ็งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติม พลาสติกไซเซออร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแบ็งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1, 3:1 และ 4:1 ที่สภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับ Butler *et al.*, (1996) ที่ได้รายงานว่า ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำจะมีค่าลดลง เมื่อเก็บรักษาฟิล์มไคโตซานในช่วง 2 สัปดาห์แรกที่เก็บรักษา และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตซานจะลดลงตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาฟิล์ม ขณะที่ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มไคโตซานก็จะมีค่าลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ Javier *et al.* (2009) ได้รายงาน ว่า ฟิล์มบริโกลด์ได้จากเวย์โปรตีน ไอโซเลตที่เก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 ที่อุณหภูมิห้อง จะมีค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์จะแข็งแรงมากขึ้นและมีความยืดหยุ่นลดลงอีกด้วย อย่างไรก็ตามฟิล์มทุกตัวอย่างเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน พบว่า ที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดมีค่าลดลงโดยไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาด ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลง

แปลงค่าดังกล่าวอาจเนื่องมาจากปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นจะไปลดแรงยึดเกาะกันระหว่างสายพอลิเมอร์ภายในโครงสร้างของฟิล์ม จึงทำให้สายพอลิเมอร์ในฟิล์มสามารถยึดตัวได้มากขึ้น อีกทั้งกลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการชอบน้ำจึงสามารถยึดเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของน้ำได้ดี ส่งผลให้มีปริมาณน้ำภายในแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ส่วนที่เป็นออสซิลและผลึกในฟิล์มมีการยึดตัวได้ดีขึ้น และการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลยังมีผลทำให้อุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชันของฟิล์มมีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลง และค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดมีค่าเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ Enrione *et al.* (2010) ได้รายงานว่า อุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชันของของสตาร์ชจากข้าวโพดและข้าวจะมีค่าลดลงจากอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 60 และ 40 องศาเซลเซียส เมื่อเติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ นอกจากนี้ กลีเซอรอลยังช่วยลดการเกิดผลึกภายในโครงสร้างของฟิล์มได้ โดยอุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชันที่มีค่าลดลง จะทำให้ความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลงและการยึดตัว ณ จุดที่ขาดมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความเป็นผลึกของฟิล์มจะเกิดได้มากขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาฟิล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาด และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าลดลง (García *et al.*, 2000; Rindlaw-Westling *et al.*, 1998; Mali *et al.*, 2006) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการวัดค่าการเกิดผลึกและอุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชันของฟิล์มแป่งที่ผลิตได้ แต่ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาด และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่มีค่าลดลง และสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Mali *et al.* (2006) ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาของฟิล์มสตาร์ชจากข้าวโพด มันสำปะหลัง และมันเทศ พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่ไม่เติมกลีเซอรอลจะมีค่าอุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชันสูงกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล และเมื่อทำการเก็บรักษาฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า อุณหภูมิการเกิดกลาสทรานซิชันของฟิล์มทั้งที่เติมและไม่เติมกลีเซอรอลจะมีค่าลดลง และการเกิดผลึกของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่ไม่เติมกลีเซอรอลจะมีการเกิดผลึกในโครงสร้างของฟิล์มมากกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล และการเกิดผลึกของฟิล์มยังส่งผลทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ รวมถึงค่าความต้านทานแรงดึงและการยึดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มมีค่าลดลงอีกด้วย

4.7 การนำฟิล์มแข็งที่ผลิตได้มาประยุกต์ใช้โดยการนำมาห่อสตรอเบอร์รีสด และทำการศึกษาคุณภาพสตรอเบอร์รีที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มแข็ง

นำฟิล์มที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากการทดลองตอนที่ 4.4 ได้แก่ ฟิล์มแข็งที่ใช้ปริมาณแข็งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแข็งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 มาเติมสาร โพลีเอทิลีนซีเมซอร์เบท 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม แล้วนำฟิล์มที่ผลิตได้มาวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.12 ฟิล์มที่เติมโพลีเอทิลีนซีเมซอร์เบททั้ง 3 ระดับ มีค่าความสว่าง ($+L^*$) และค่าโทนสีแดง ($+a^*$) ลดลง และค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ที่เพิ่มขึ้นนี้ยังสัมพันธ์กับค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของโพลีเอทิลีนซีเมซอร์เบทที่มีปริมาณมากขึ้น (Cagri *et al.*, 2001; Li shen *et al.*, 2001) (ดังผลในตารางที่ 4.12) นอกจากนี้เมื่อปริมาณของโพลีเอทิลีนซีเมซอร์เบทเพิ่มขึ้น โพลีเอทิลีนซีเมซอร์เบทสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของแข็งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์แบบร่างแหส่งผลให้แสงส่องผ่านฟิล์มได้ยากหรือฟิล์มมีความทึบแสงมากขึ้น

ตารางที่ 4.12 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของฟิล์มแข็งที่ใช้ปริมาณของแข็งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแข็งเหลือทิ้ง) และอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่ไม่เติมและเติมโพลีเอทิลีนซีเมซอร์เบท

ค่าสีและค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด	ปริมาณโพลีเอทิลีนซีเมซอร์เบท (ร้อยละ)			
	0 (Control)	10	20	30
L^*	98.25±0.03 ^a	98.11±0.04 ^b	97.93±0.04 ^c	97.92±0.05 ^c
a^*	0.73±0.00 ^a	0.67±0.00 ^b	0.62±0.02 ^c	0.57±0.02 ^d
b^*	2.40±0.00 ^d	2.73±0.01 ^c	3.08±0.05 ^b	3.27±0.10 ^a
ΔE^*	1.48±0.03 ^d	1.85±0.03 ^c	2.20±0.06 ^b	2.46±0.10 ^a

หมายเหตุ: ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มที่แสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงลดลงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณของโพแทสเซียมซอร์เบทเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากโพแทสเซียมซอร์เบทสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของแป้งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์แบบร่างแหช่วยให้ฟิล์มแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น และยังช่วยให้โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นเกิดการผสมผสานเข้ากันเป็นอย่างดีส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลงและค่าการยืดตัว ณ จุดที่ขาดของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น

สำหรับค่าการละลายน้ำและอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม (แสดงผลดังตารางที่ 4.13) ผลการทดลองพบว่า ค่าการละลายน้ำของฟิล์มลดต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณ โพแทสเซียมซอร์เบทสูงขึ้นจากร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม ซึ่งการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทจะช่วยเพิ่มความมีขี้วให้ฟิล์ม ทำให้ฟิล์มสามารถดูดซึมน้ำได้ดีควรจะส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าสูงขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้ฟิล์มมีค่าการละลายลดต่ำลงเนื่องจากปริมาณ โพแทสเซียมซอร์เบทที่สูงขึ้นจะละลายในสารละลายฟิล์มได้น้อย หรือมีโพแทสเซียมซอร์เบทในรูปของแข็งอยู่ในสารละลายฟิล์ม เมื่อไปทำการกรองเพื่อหาค่าการละลาย จึงพบว่าผลึกของโพแทสเซียมซอร์เบทอาจจะอุดรูของกระดาษกรอง จึงทำให้สารละลายฟิล์มไหลผ่านกระดาษกรองได้น้อยลง จึงส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าลดลงได้

ขณะที่ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม เนื่องจากการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทช่วยเพิ่มความมีขี้วให้ฟิล์ม ทำให้ฟิล์มสามารถดูดซึมน้ำได้ดีจึงส่งผลให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำเพิ่ม แต่อย่างไรก็ตามที่ปริมาณโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์มฟิล์มจะมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติของฟิล์มแป้งที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และ อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่ไม่เติมและเติมโพแทสเซียมซอร์เบท

คุณสมบัติของ ฟิล์มแป้ง	ปริมาณโพแทสเซียมซอร์เบท (ร้อยละ)			
	0 (Control)	10	20	30
ความต้านทานแรงดึง (MPa)	1.53±0.15 ^a	1.26±0.14 ^{ab}	1.05±0.09 ^{bc}	0.98±0.13 ^c
การยึดตัว ณ จุดที่ขาด (ร้อยละ)	63.61±0.96 ^b	65.56±2.96 ^{ab}	73.01±2.61 ^a	62.04±7.59 ^b
การละลายน้ำ (ร้อยละ)	13.07±0.98 ^a	11.32±0.87 ^{ab}	12.15±0.83 ^a	10.81±1.09 ^c
อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g·m ⁻² ·day ⁻¹)	3869.70±10.52 ^b	4065.73±80.93 ^a	4120.13±35.51 ^a	4203.28±102.54 ^a

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากผลการศึกษารายงานวิจัยนี้จึงนำฟิล์มที่ผลิตได้ (จากปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมพลาสติกไซเซอร ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1) มาทำการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม มาประยุกต์ใช้เพื่อห่อสตอร์เบอริสคที่บรรจุอยู่บนถาด โฟม เพราะฟิล์มที่ได้สามารถยึดตัวได้ดีโดยมีค่าการยึดตัว ณ จุดที่ขาดสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย (ร้อยละ) เท่ากับ 73.01 จากนั้นจะทำการศึกษาคูณภาพของสตอร์เบอริสคที่ห่อฟิล์มดังกล่าวระหว่างที่ทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นระยะเวลา 9 วัน แสดงดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 การประยุกต์ใช้ฟิล์มจากแป้งเหลือทิ้งโดยการนำมาห่อสตอเบอรี่สด เพื่อศึกษาคุณภาพของสตอเบอรี่ระหว่างการเก็บรักษาเมื่อห่อด้วยฟิล์มแป้งที่ผลิตได้ โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นระยะเวลา 9 วัน

สตอเบอรี่เป็นผลไม้ชนิด non-climateric ซึ่งต้องเก็บเกี่ยวในขณะสุก หรือใกล้สุก ผลจะมีสีเขียวในระยะแรก และจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีขาว และเมื่อผลแก่จะเปลี่ยนเป็นสีแดง โดยการเก็บเกี่ยวเมื่อผลสตอเบอรี่มีความสุกหรือมีสีแดงประมาณร้อยละ 75 ของทั้งผลและยังคงมีความแข็งก่อนถึงมือผู้บริโภค (คนัย, 2540) ถ้าสามารถรักษาคุณภาพของสตอเบอรี่ให้สดก่อนถึงมือผู้บริโภคน่าจะเป็นการช่วยลดความเสียหายและเพิ่มมูลค่าให้กับสตอเบอรี่ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและทดลองนำเอาสตอเบอรี่สดมาห่อด้วยฟิล์มที่ผลิตจากปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ และเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 (ที่ได้จากหัวข้อ 4.7) มาเติมและไม่เติมโพแทสเซียมซอร์เบท แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นระยะเวลา 9 วัน จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์คุณภาพของสตอเบอรี่ทุกๆ 3 วัน โดยวิเคราะห์จากค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ น้ำหนักที่สูญเสียไป ความแน่นเนื้อ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของสตอเบอรี่ โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับสตอเบอรี่สดที่ไม่ห่อฟิล์มที่มีสภาวะการเก็บรักษาเหมือนกัน

ผลการศึกษาพบว่า ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของสตอเบอรี่สดที่เก็บรักษาโดย 1. ไม่ห่อฟิล์ม 2. ห่อฟิล์ม (อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1) และ 3. ห่อฟิล์ม (อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และมีการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับ

น้ำหนักของสารละลายฟิล์ม) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของสตอร์เบอร์รี่ที่ไม่ห่อฟิล์ม ที่ห่อฟิล์ม (อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1) และที่ห่อฟิล์ม (อัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่มีการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ ค่าความสว่าง ($+L^*$) และค่าโทนสีเหลือง ($+b^*$) มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าโทนสีแดง ($+a^*$) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาวันที่ 3 และ 6 และค่าโทนสีแดง ($+a^*$) จะมีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) สรุปผลดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของสตอร์เบอร์รี่สดที่เก็บรักษาด้วยการไม่ห่อฟิล์ม (control) การห่อฟิล์มอัตราส่วนกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 (films) และการห่อฟิล์มอัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่มีการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม (films+ks)

ค่าสี	สตอร์เบอร์รี่สดที่ไม่ห่อฟิล์ม ^{ns}	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
		0	3	6	9
L^*	control	43.73±1.77 ^a	33.31±3.44 ^c	31.97±2.60 ^c	37.93±1.95 ^b
	films	43.73±1.77 ^a	36.67±2.25 ^b	32.37±2.93 ^c	36.58±1.38 ^b
	films+ks	43.73±1.77 ^a	35.75±4.10 ^b	34.29±4.93 ^b	38.70±3.04 ^b
a^*	control	29.07±2.03 ^c	36.30±2.29 ^a	33.85±3.60 ^b	24.49±2.12 ^c
	films	29.07±2.03 ^b	33.75±2.66 ^a	33.68±2.47 ^a	25.13±5.57 ^c
	films+ks	29.07±2.03 ^c	34.82±2.28 ^a	33.82±4.22 ^a	24.12±4.45 ^c
b^*	control	16±3.04 ^a	15.30±3.91 ^a	13.93±4.77 ^a	8.36±2.87 ^b
	films	16±3.04 ^a	15.05±3.20 ^a	15.41±2.95 ^a	8.36±3.18 ^b
	films+ks	16±3.04 ^a	14.89±4.10 ^a	14.34±4.64 ^a	9.10±2.91 ^b

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

นอกจากนี้ผลของปริมาณสารประกอบฟินอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ น้ำหนักที่สูญเสียไป ความแน่นเนื้อ จุลินทรีย์ทั้งหมดของสตอร์เบอร์รี่สดที่ทำการเก็บรักษาด้วยการไม่ห่อฟิล์ม (control) การห่อฟิล์มอัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และการห่อฟิล์มอัตราส่วนน้ำหนักกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่มีการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20

20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม แสดงผลในตารางที่ 4.14 พบว่า การเปลี่ยนแปลง ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 และจะลดลงเมื่อ เก็บรักษาวันที่ 6 และ 9 โดยสตรอบเอร์รี่ที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มที่ผลิตจากการใช้อัตราส่วนน้ำหนักของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และเติมโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนัก ของสารละลายฟิล์ม จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอล (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 326.12 มิลลิกรัมของ gallic acid ต่อ 100 กรัมของสตรอบเอร์รี่สด) ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66 มิลลิกรัม ของ Trolox/กรัมของสตรอบเอร์รี่สด) ซึ่งค่าดังกล่าวสูงกว่าสตรอบเอร์รี่ที่ไม่ได้ห่อฟิล์มและห่อฟิล์ม อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.14 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มี ค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 9 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของสตรอบเอร์รี่ที่ ไม่ได้ห่อฟิล์มมีค่าสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 14.67 องศาบริกซ์ สตรอบเอร์รี่ที่ห่อฟิล์มที่อัตราส่วนของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และสตรอบเอร์รี่ที่ห่อฟิล์มที่อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อ ซอร์บิทอล 2:1 และเติม โพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลาย ฟิล์ม มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เฉลี่ยเท่ากับ 12.67 และ 11.67 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของสตรอบเอร์รี่จะสอดคล้องกับน้ำหนักของสตรอบเอร์รี่ที่สูญเสียไป โดยน้ำหนักที่สูญเสียไปของสตรอบเอร์รี่ที่ไม่ได้ห่อฟิล์มและห่อฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนน้ำหนักของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 49.99 และ 26.31 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่า สตรอบเอร์รี่ที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่เติม โพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม ซึ่งมีค่าน้ำหนักที่ สูญเสียไปเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 24.50

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 9 วัน พบว่า ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยของสตรอบเอร์รี่ที่ไม่ได้ห่อ ฟิล์ม ที่ห่อด้วยฟิล์มอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่ห่อด้วยฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนของ กลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และเติมปริมาณ โพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับ น้ำหนักของสารละลายฟิล์ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22, 0.25 และ 0.27 นิวตัน ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ย ดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (แสดงดังตารางที่ 4.15)

ตารางที่ 4.15 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ น้ำหนักที่สูญเสียไป ความแน่นเนื้อ จุลินทรีย์ทั้งหมดของสตรอเบอรี่สดที่เก็บรักษาด้วยการไม่ห่อฟิล์ม (control) การห่อฟิล์มอัตราส่วนน้ำหนักรสโรลต่อซอร์บิทอล 2:1 (films) และการห่อฟิล์มอัตราส่วนน้ำหนักรสโรลต่อซอร์บิทอล 2:1 ที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม (films+ks)

การวิเคราะห์	สตรอเบอรี่ สดที่ห่อและ ไม่ห่อฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
		0	3	6	9
ปริมาณสารประกอบ ฟีนอล (mg gallic acid / 100 กรัมของสตรอเบอรี่สด)	control	250.76±6.69 ^d	427.76±11.83 ^{Ba}	392.37±28.20 ^{Bb}	302.05±8.04 ^{nsc}
	films	250.76±6.69 ^d	480.04±18.17 ^{ABa}	399.87±2.77 ^{Bb}	323.02±2.12 ^{nsc}
	films+ks	250.76±6.69 ^d	509.95±12.92 ^{Aa}	442.74±40.28 ^{Ab}	326.12±4.52 ^{nsc}
ปริมาณสารต้าน ออกซิเดชัน (mg Trolox / กรัมของ สตรอเบอรี่สด)	control	2.96±0.51 ^b	4.17±0.17 ^{nsa}	2.99±0.16 ^{Cb}	1.74±0.10 ^{Bc}
	films	2.96±0.51 ^c	3.89±0.54 ^{nsa}	3.34±0.18 ^{Ba}	2.05±0.10 ^{Bd}
	films+ks	2.96±0.51 ^c	4.02±0.31 ^{nsa}	3.65±0.12 ^{Ab}	2.66±0.33 ^{Ad}
ปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)	control	9.83±0.15 ^c	12.53±0.40 ^{Ab}	13.83±0.29 ^{Aa}	14.67±0.58 ^{Aa}
	films	9.83±0.15 ^c	10.53±0.42 ^{Bc}	11.50±0.50 ^{Bb}	12.67±0.58 ^{Ba}
	films+ks	9.83±0.15 ^b	9.97±0.00 ^{Cb}	10.00±0.58 ^{Ba}	11.67±0.58 ^{Ba}
น้ำหนักที่สูญเสียไป (ร้อยละ)	control	0 ^b	13.319±1.21 ^{Ab}	32.28±8.38 ^{Aa}	49.99±10.33 ^{Aa}
	films	0 ^d	11.35±1.63 ^{ABc}	18.23±1.64 ^{ABb}	26.31±1.63 ^{Ba}
	films+ks	0 ^d	9.13±0.25 ^{Bc}	16.13±0.03 ^{Bb}	24.50±0.08 ^{Ba}
ความแน่นเนื้อ (นิวตัน, N)	control	0.34±0.04 ^a	0.25±0.05 ^{Bb}	0.24±0.06 ^{nsb}	0.22±0.03 ^{nsb}
	films	0.34±0.04 ^a	0.29±0.07 ^{Bab}	0.28±0.07 ^{nsb}	0.25±0.07 ^{nsb}
	films+ks	0.34±0.04 ^a	0.31±0.05 ^{Aab}	0.27±0.05 ^{nsb}	0.27±0.06 ^{nsb}
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	control	2.65±0.1 ^d	2.05±0.14 ^{nsc}	3.87±0.02 ^{Cb}	4.37±0.03 ^{Ba}
	films	2.65±0.1 ^d	2.04±0.10 ^{nsc}	5.81±0.03 ^{Aa}	6.07±0.08 ^{Ab}
	films+ks	2.65±0.1 ^b	2.07±0.16 ^{nsb}	4.61±0.03 ^{Ba}	4.95±0.64 ^{Ba}

หมายเหตุ: ^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

นอกจากนี้ยังพบว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดของสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาด้วยการไม่ห่อฟิล์ม ห่อด้วยฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และที่ห่อด้วยฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และเติมปริมาณ โปแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของสารละลายฟิล์มมีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยสตรอเบอรี่ที่ห่อด้วยฟิล์มที่อัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากที่สุดและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $6.07 \log \text{ cfu/g}$ ซึ่งอาจเกิดจากฟิล์มที่ใช้ในการห่อหุ้มเกิดการปนเปื้อนจึงส่งผลต่อสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาได้ แต่เมื่อวิเคราะห์ฮีสต์และรา พบว่าตัวอย่างสตรอเบอรี่ทุกตัวอย่างที่ทำการทดลองไม่พบฮีสต์และราระหว่างที่ทำการเก็บรักษาตลอดเวลา 9 วัน

จากการศึกษางานวิจัยของนักวิจัย พบว่า คุณภาพของสตรอเบอรี่อาจดูได้จากลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ สี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ น้ำหนักที่สูญเสีย ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชันของสตรอเบอรี่ ดังเช่นตัวอย่างงานวิจัยของ Shin *et al.*, (2008) ที่ได้รายงานไว้ว่า ค่าคุณภาพโดยรวมทั้งหมดของสตรอเบอรี่ ค่าความแน่นเนื้อ ค่าสี ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และปริมาณสารต้านออกซิเดชันของสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 วัน พบว่า ค่าดังกล่าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษา และ Peretto *et al.*, (2014) ได้ทำการศึกษาคูณภาพของสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มที่ผลิตจากสตรอเบอรี่ที่เติมสาร carvacrol, methyl และ cinnamate โดยทำการวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสีย ลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ สี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน และผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของสตรอเบอรี่ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า ค่าความแน่นเนื้อ และค่าความสว่าง (+L*) มีค่าลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน และการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา

ดังนั้นจากตารางที่ 4.15 ถ้าพิจารณาคูณภาพของสตรอเบอรี่จากปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน และความแน่นเนื้อของสตรอเบอรี่ระหว่างการเก็บรักษาตลอดเวลา 9 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำฟิล์มแปงที่ผลิตได้มาประยุกต์ใช้ในการห่อสตรอเบอรี่สด โดยตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาดังกล่าว สตรอเบอรี่ที่ห่อด้วยฟิล์มที่ใช้ปริมาณแปงเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่เติมพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแปงเหลือทิ้ง) โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 และเติม โปแทสเซียมซอร์เบทจะมีค่าเฉลี่ยของ

ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารต้านออกซิเดชัน ความแน่นเนื้อ สูงกว่าสตรอเบอร์รี่ที่ห่อด้วยฟิล์มที่ใช้ปริมาณแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่มีการเติมพลาสติกไฮเซอร์ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้งเหลือทิ้ง) และใช้อัตราส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอล 2:1 (ไม่เติมโพแทสเซียมซอร์เบท) และสตรอเบอร์รี่ที่ไม่ห่อด้วยฟิล์มตามลำดับ นอกจากนี้สตรอเบอร์รี่สดที่ห่อฟิล์มที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบทที่มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $4.95 \log \text{ cfu/g}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสตรอเบอร์รี่ที่ห่อฟิล์มแบบที่ไม่เติมโพแทสเซียมซอร์เบท



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved