บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชชนิดต่างๆ

องค์ประกอบของสตาร์ชที่ใช้ในการศึกษาเพื่อผลิตฟิล์มบริโภคได้แสดงดังตารางที่ 4.1 จากการทดลองพบว่าความชื้นของสตาร์ชทั้ง 4 ชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 9.5 – 11.8 ขณะที่ปริมาณ โปรตีน ไขมัน และเถ้ามีปริมาณน้อยมาก และเมื่อพิจารณาปริมาณของอะไมโลส พบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุดคือร้อยละ 23.34 รองลงมาคือสตาร์ชสาคู สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชข้าวเจ้า ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 17.79, 16.49 และ 14.36 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชชนิดต่างๆ

สตาร์ช	ปริมาณ (%)				
	ความชื้น	โปรตีน	เถ้า	ไขมัน	อะไมโลส
สตาร์ชสาคู (Sago starch)	11.8	0.12	0.135	0.11	17.79
สตาร์ชข้าวเจ้า (Ricc starch)	9.5	0.36	0.295	0.42	14.36
สตาร์ชมันสำปะหลัง (Tapioca starch)	10.5	0.08	0.145	0.08	16.49
สตาร์ชข้าวโพด (Corn starch)	12.7	0.25	0.115	0.51	23.34

4.2. อุณหภูมิเจลลาติไนเซชั่นของสตาร์ช

จากการศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชั่นของสตาร์ชชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชั่นของสตาร์ชสาคู สตาร์ชข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชข้าวโพด มีค่าเท่ากับ 79.67, 84.71, 84.11 และ 77.62 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาเบื้องต้นโดยการนำสตาร์ชชนิดต่างๆไปทำการเตรียมสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิดังกล่าว (อุณหภูมิเจลลาติไนเซชั่น) แล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม พบว่าแผ่นฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติเชิงกลไม่ดีนัก (ฟิล์มมีความแข็งแรงต่ำ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ณ อุณหภูมิดังกล่าวเป็นสภาวะที่เม็ดแป้งเริ่มเกิดการพองตัวแต่ยังไม่พองตัวหรือคลายตัวอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากสตาร์ชดังกล่าว จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิในการเตรียมฟิล์มที่เหนืออุณหภูมิเจลลาติไนเซชั่นทีละ 5 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.3) และศึกษาเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ระดับ 5 10 และ 15 นาที

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิเจลลาติไนเซชั่นของสตาร์ชชนิดต่างๆ

สตาร์ช	อุณหภูมิในการเจลลาติไนเซชั่น
สตาร์ชสาคู	79.67
สตาร์ชข้าว	84.71
สตาร์ชมันสำปะหลัง	84.11
สตาร์ชข้าวโพด	77.62

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากสตาร์ชชนิดต่างๆ

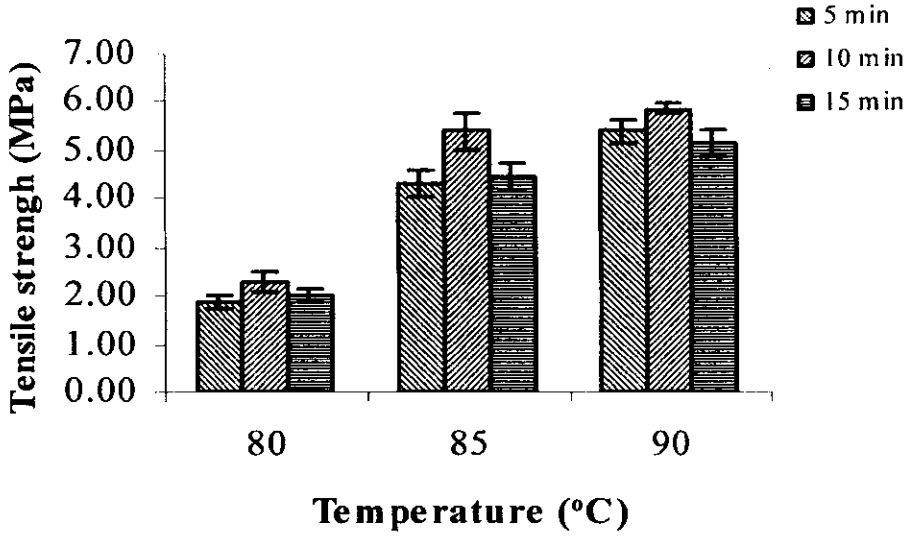
สตาร์ช	อุณหภูมิในการเจลลาติไนเซชั่น	ช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษา		
สตาร์ชสาคู	79.67	80	85	90
สตาร์ชข้าว	84.71	85	90	95
สตาร์ชมันสำปะหลัง	84.11	85	90	95
สตาร์ชข้าวโพด	77.62	85	90	95

4.3. ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชชนิดต่างๆ

4.3.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากฟิล์มสตาร์ชสาคู (Sago starch film)

4.3.1.1 ค่าการต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength, TS: MPa)

ค่าการต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength; TS) หมายถึง ความสามารถของฟิล์มที่ต้านทานแรงดึง ซึ่งกระทำที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของฟิล์มที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นทดสอบนั้นขาด (มยุรี ยุ่นฉลาด และคณะ, 2533) จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลต่อค่า TS อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้น (80- 90 องศาเซลเซียส) ซึ่งพบว่าค่า TS ของฟิล์มมีค่าต่ำสุด (1.88- 2.22 MPa) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และค่า TS มีค่าสูงขึ้น (4.32- 5.38 MPa) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและค่า TS มีค่าสูงที่สุดเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม 90 องศาเซลเซียส (5.13- 5.85 MPa) (รูปที่ 4.1) เมื่อพิจารณาผลของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่า TS พบว่า การเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจาก 5 นาทีเป็น 10 นาทีส่งผลให้ค่า TS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อไปอีก (15 นาที) ส่งผลให้ค่า TS มีแนวโน้มลดลง ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ให้ค่า TS สูงที่สุดอยู่ที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยค่า TS ที่ได้มีค่าเท่ากับ 5.85 MPa (รูปที่ 4.1)

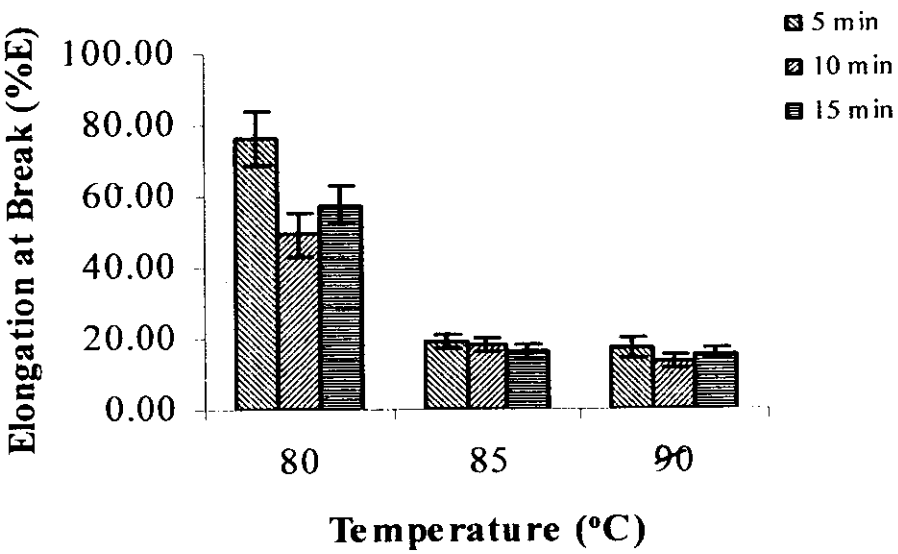


หมายเหตุ : ตัวเลขในเครื่องหมายนขลิขิตแสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย

รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชสาคูต่อค่า TS ของฟิล์ม

4.3.1.2 ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at Break; %E)

ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at Break, %E) เป็นสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) มีหน่วยเป็นร้อยละของความยาวเดิมของฟิล์มที่ทดสอบ ฟิล์มที่มีการยืดตัวสูง แสดงถึงการจัดเรียงตัวของฟิล์มมีส่วนที่เป็นผลึกต่ำ ซึ่งค่าที่วัดได้จะแปรผกผันกับค่า TS (มยุรี ยุ่นฉลาด และคณะ, 2533) ผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้น ค่า %E ของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มลดลง ขณะที่เวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มไม่มีผลต่อค่า %E อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และจากการทดลองแสดงให้เห็นค่าค่า %E ของแผ่นฟิล์มจะแปรผกผันกับค่า TS ทั้งนี้เนื่องจากเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลสูงส่งผลให้เกิดการจับตัวของพอลิเมอร์มาก ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงและเปราะ (รูปที่ 4.2)

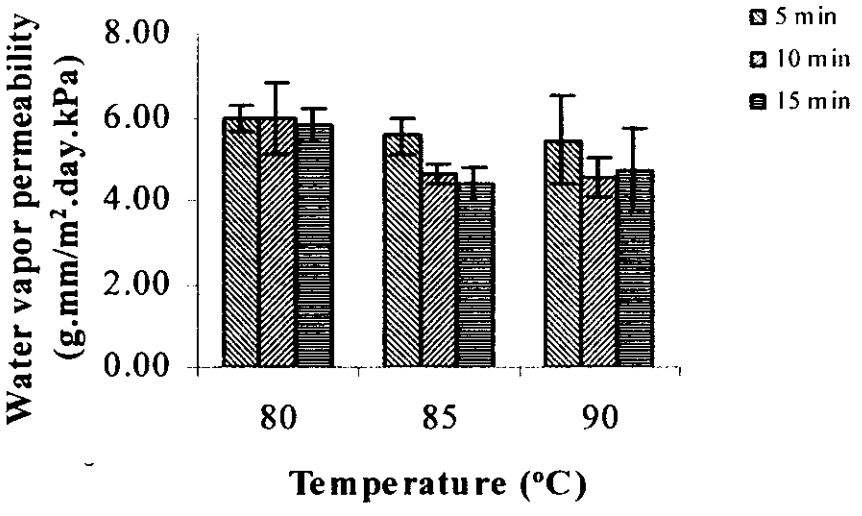


ภาพที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชสาคูต่อค่า %E ของฟิล์ม

4.3.1.3 ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP: g.mm/m^2.day.kPa)

ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม ต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มจากสตาร์ชสาคูแสดงดังรูปที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่ามีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 80 เป็น 90 องศาเซลเซียส (5.79- 5.96 g.mm/m^2.day.kPa เป็น 4.56- 5.43 g.mm/m^2.day.kPa) และเมื่อพิจารณาผลของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม ต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม พบว่า เวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของ

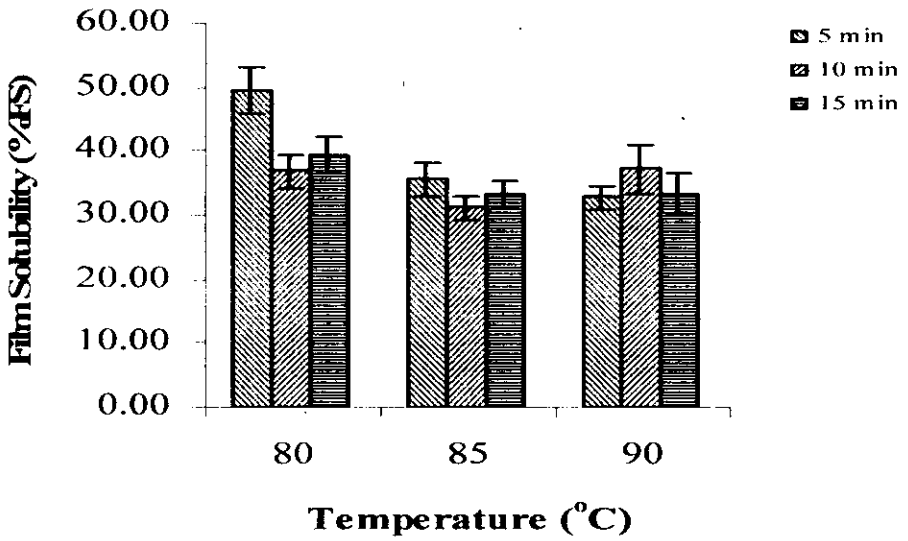
แผ่นฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 80 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (5- 15 นาที) ส่งผลให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชสาคูต่อค่า WVP ของฟิล์ม

4.3.1.4 ค่าการละลายของฟิล์ม (Film Solubility: %FS)

ค่าการละลายของฟิล์มเป็นคุณสมบัติเชิงกลที่ได้รับความสนใจ และทำการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากค่าความสามารถในการละลายของฟิล์มบริโภคได้เป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการรวมตัวกับน้ำและการเข้ากันได้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่นำไปประยุกต์ใช้ จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่าการละลายของฟิล์ม พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการละลายของฟิล์มลดลง เนื่องจากฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง เมื่อพิจารณาผลของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่าการละลายของฟิล์ม พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจาก 10 เป็น 15 นาที ค่าการละลายของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.4)

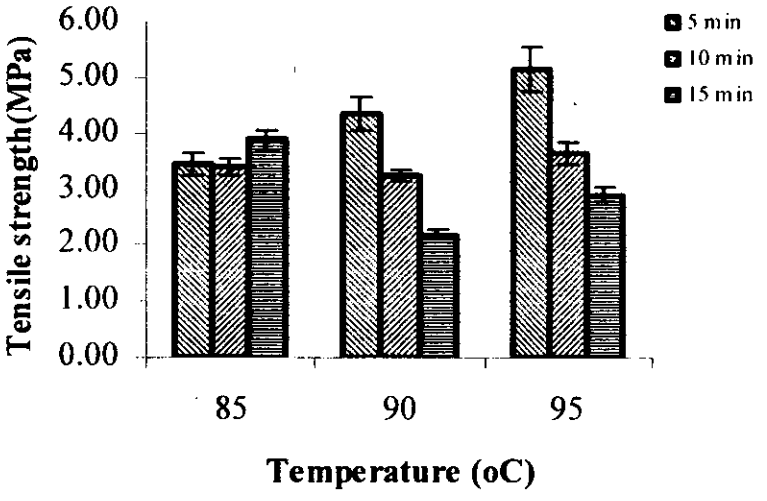


รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชสาคูต่อค่าการละลายของฟิล์ม

4.3.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชมันสำปะหลัง

4.3.2.1 ค่าการต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength, TS : MPa)

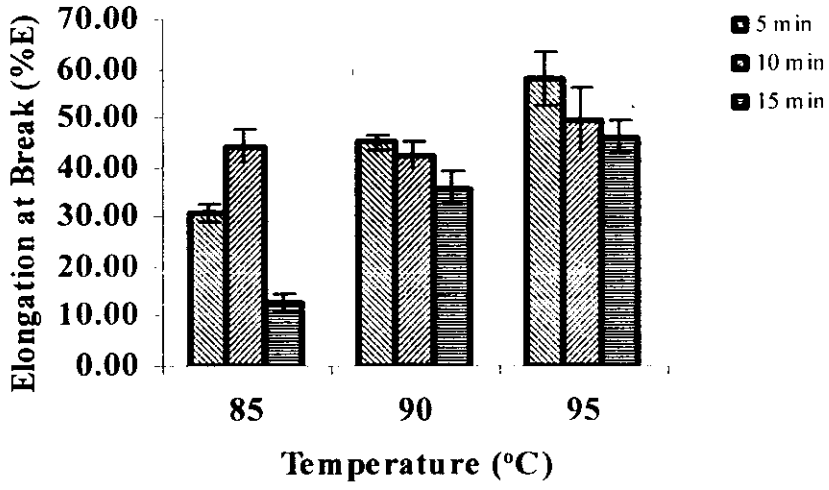
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังมีผลต่อค่า TS ของฟิล์ม โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่การเพิ่มขึ้นของเวลาในการให้ความร้อนจาก 5 นาทีเป็น 15 นาที ส่งผลให้ค่า TS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม 80 องศาเซลเซียส ขณะที่การเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลให้ค่า TS มีค่าลดลง เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม 85 และ 90 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังต่อค่า TS-ของฟิล์ม

4.3.2.2 ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at Break:% E)

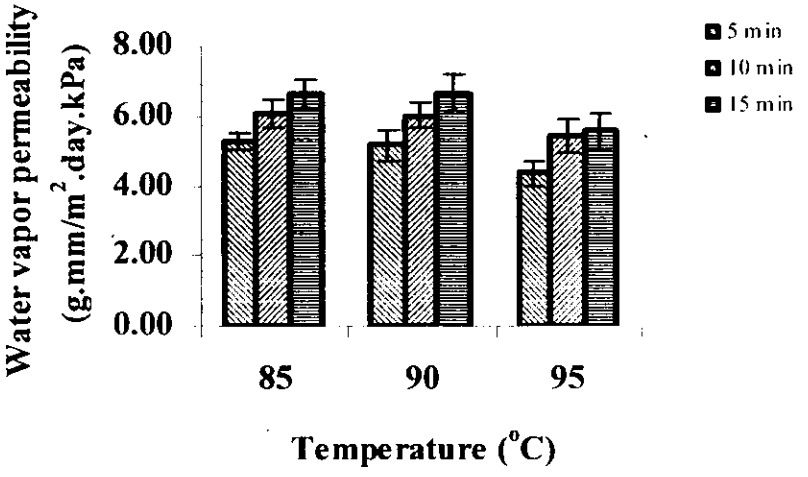
จากการทดลอง พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า %E มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า %E ของฟิล์มที่ได้จากการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 85 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 12.74- 44.35 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเป็น 95 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า %E ของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น (45.99- 57.94 %) ขณะที่การเพิ่มขึ้นของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม ส่งผลให้ค่า %E มีแนวโน้มลดลง ค่า %E ของแผ่นฟิล์มมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 12.66% เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังต่อค่า% E ของฟิล์ม

4.3.2.3 ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP: g.mm/m^2.day.kPa)

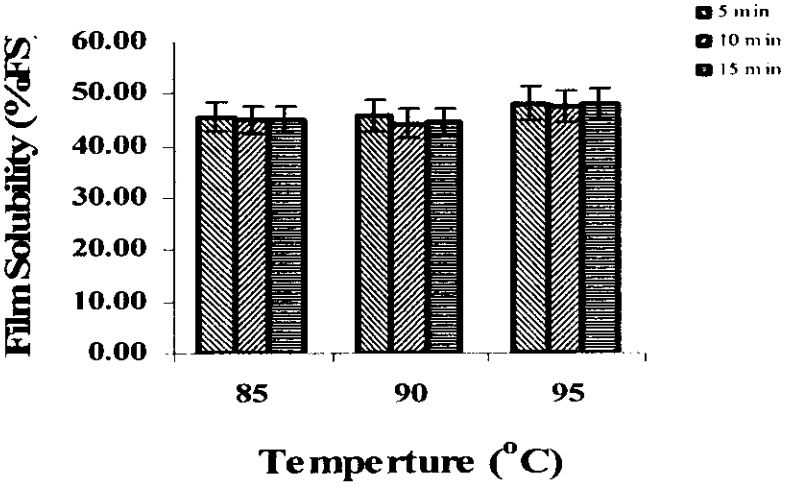
ผลของอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำแสดงดังรูปที่ 4.7 โดยพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า WVP เป็นไปในลักษณะตรงข้ามกับค่า %E นั่นคือเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าซึมผ่านของไอน้ำมีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.7) ขณะที่การเพิ่มขึ้นของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากการทดลองสภาวะการขึ้นรูปฟิล์มที่ทำให้ฟิล์มที่ได้มีค่าซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุดเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยมีค่าการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 4.35 g.mm/m^2.day.Mpa)



ภาพที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังต่อค่า WVP ของฟิล์ม

4.3.2.4 ค่าการละลายของฟิล์ม (Film Solubility, FS: %)

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังต่อค่าคุณสมบัติการละลายของฟิล์ม พบว่าการให้อุณหภูมิแก่สารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าการละลายของฟิล์มที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเป็น 95 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าการละลายของฟิล์มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อพิจารณาเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อการละลายของฟิล์ม พบว่า เวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม (5 10 และ 15 นาที) ไม่มีผลต่อค่าการละลายของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.8)

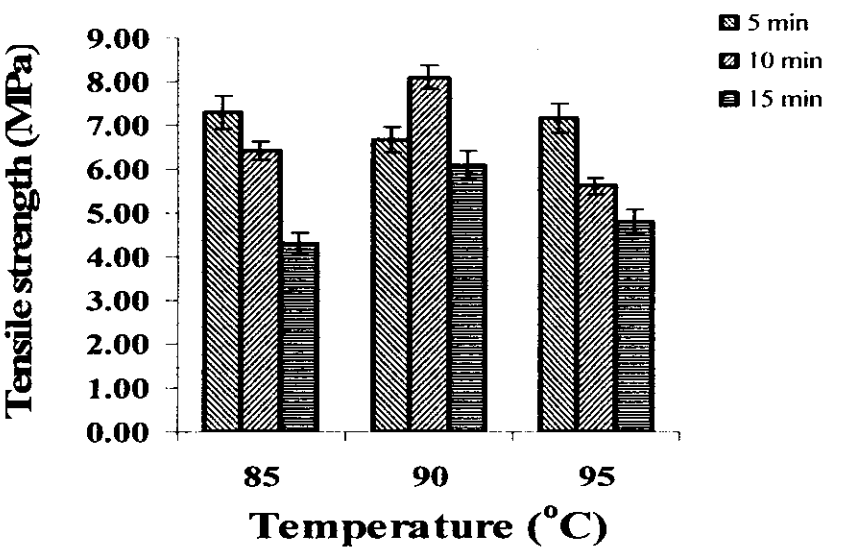


รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังต่อค่าการละลายของฟิล์ม

4.3.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชข้าวโพด

4.3.3.1 ค่าการต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength, TS: MPa)

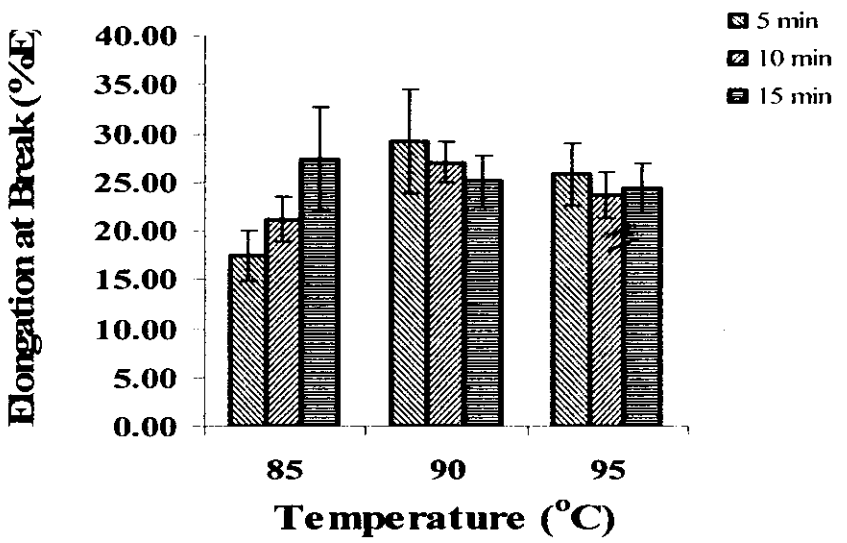
ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชข้าวโพด พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดส่งผลต่อค่า TS ของฟิล์ม โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีค่า TS อยู่ในช่วง 4.29-7.29 MPa และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเป็น 90 องศาเซลเซียส พบว่าค่า TS ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.10-8.09 MPa อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 95 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า TS ของฟิล์มมีแนวโน้มลดลงเหลือ 4.78-7.16 MPa และเมื่อพิจารณาผลของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่า TS ของฟิล์มดังกล่าว พบว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นจากจาก 5 นาที เป็น 10 และ 15 นาที ส่งผลให้ค่า TS ที่มีแนวโน้มลดลง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลาการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 นาทีค่า TS ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่การขึ้นรูปฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดที่ให้ค่า TS สูงที่สุดคือการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยให้ค่า TS เท่ากับ 8.09 MPa (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดต่อค่า TS ของฟิล์ม

4.3.3.2 ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at Break: %E)

เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า %E มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มมีค่าต่ำที่สุด (ประมาณ 17.47%) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 85 องศาเซลเซียส (เวลา 5 นาที) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนเป็น 90 องศาเซลเซียส ค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีค่าเพิ่มขึ้น (27.0- 29.20%) ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเป็น 95 องศาเซลเซียสส่งผลให้ค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีแนวโน้มลดลง (23.66-25.81%) เมื่อพิจารณาผลของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่า %E พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ระดับ 85 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5 10 และ 15 นาที ส่งผลให้ค่า %E ของฟิล์ม เพิ่มขึ้นจาก 17.47 เป็น 21.18 และ 27.37% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเตรียมฟิล์มโดยให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ระดับ 90 และ 95 องศาเซลเซียส นั้น การเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลให้ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มมีค่าลดลงจาก 25.06- 29.2% เป็น 23.66- 25.81% ตามลำดับ (รูปที่ 4.10)

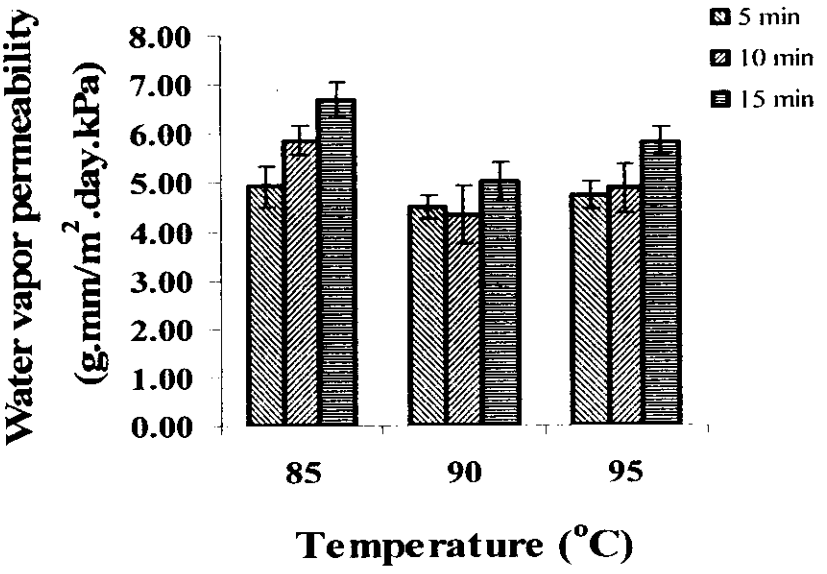


รูปที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดต่อค่า %E ของฟิล์ม

4.3.3.3 ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP: g.mm/m^2.day.MPa)

จากการศึกษาผลอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำ พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม มีผลต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิใน

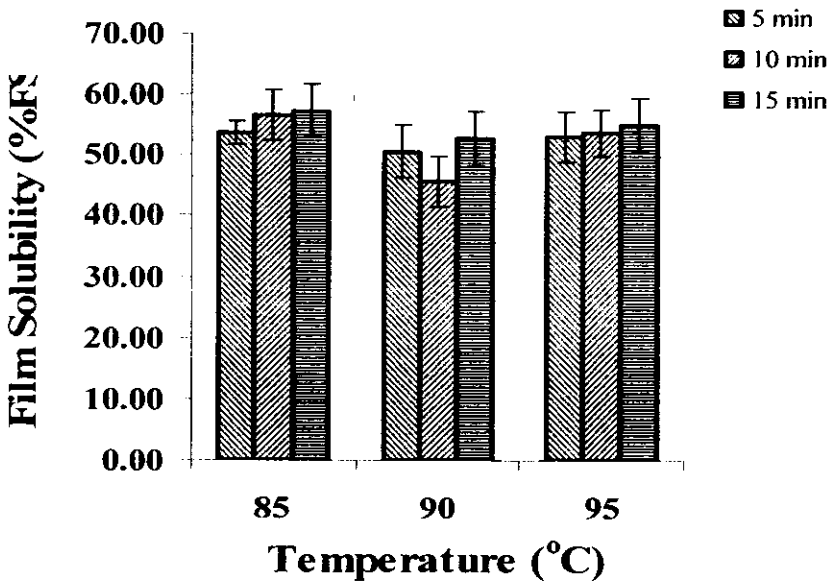
การให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลง ขณะที่การเพิ่มขึ้นของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการทดลองพบว่าสภาวะที่ทำให้ฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดที่ได้มีค่าซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุด คือ การใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยฟิล์มที่ได้มีค่า WVP เท่ากับ 4.35 g.mm/m^2.day.MPa (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดต่อค่า WVP ของฟิล์ม

4.3.3.4 ค่าการละลายของฟิล์ม (Film Solubility, FS: %)

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดจาก 85 ถึง 90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าการละลายของฟิล์มมีค่าลดลงจาก 53.66- 57.30% เป็น 45.62- 52.75% อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเป็น 95 องศาเซลเซียส ค่าการละลายของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (52.96- 55.01%) และเมื่อพิจารณาผลของเวลาในการให้ความร้อนต่อค่าการละลายของฟิล์ม พบว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นค่าการละลายของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.12) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ให้ค่าการละลายของฟิล์มที่ต่ำที่สุดคือการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยมีค่าการละลายของฟิล์มเท่ากับ 45.63% (รูปที่ 4.12)

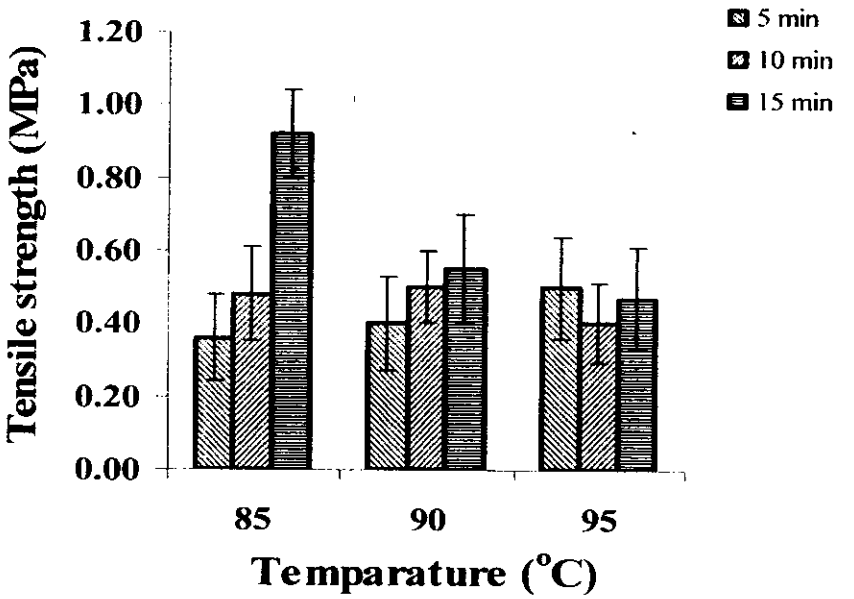


รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดต่อค่าการละลายของฟิล์ม

4.3.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชข้าวเจ้า

4.3.4.1 ค่าการต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength, TS: MPa)

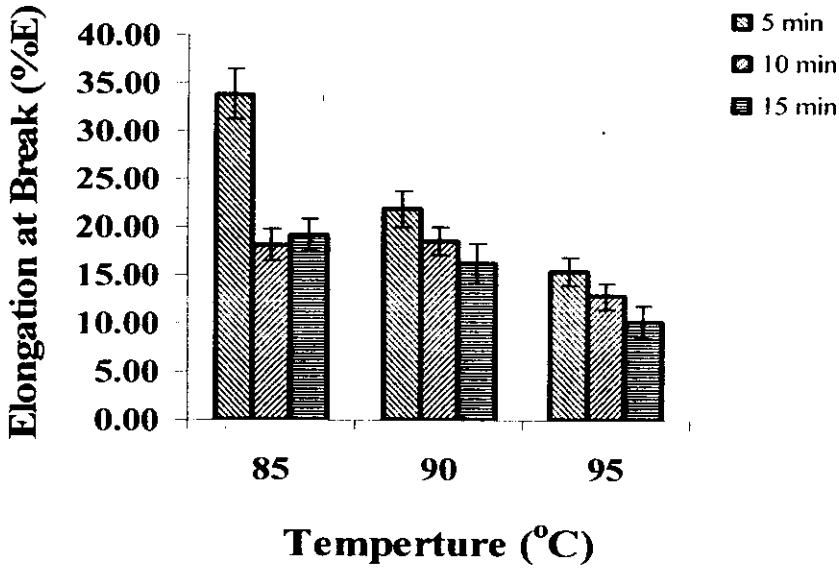
จากการทดสอบผลของอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชข้าวเจ้า พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลต่อค่า TS ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (85 ถึง 95 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ค่า TS มีแนวโน้มลดลงทุกๆเวลาของการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม โดยการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีค่า TS สูงที่สุด (0.36- 0.92 MPa) และค่า TS มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 90 และ 95 องศาเซลเซียส (0.4- 0.55 และ 0.4- 0.5 MPa ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาผลของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นค่า TS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกอุณหภูมิการทดลอง ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่า TS ของฟิล์มมีค่าสูงที่สุดเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มประมาณ 85 องศาเซลเซียสเวลา 15 นาที โดยให้ค่า TS เท่ากับ 0.92 MPa (รูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้าต่อค่า TS ของฟิล์ม

4.3.4.2 ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at Break; %E)

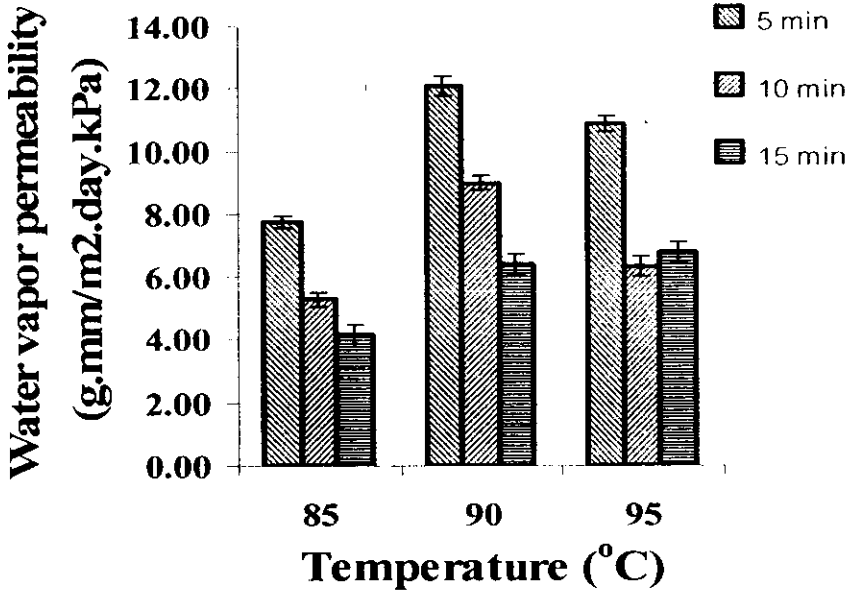
ผลการทดลองศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่า %E ของฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้าแสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า %E มีแนวโน้มลดลง ในทำนองเดียวกันการเพิ่มขึ้นของเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลต่อค่า %E ในลักษณะเดียวกันกับผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่ให้ค่า %E สูงที่สุด คือ ฟิล์มที่เตรียมโดยการใช้อุณหภูมิประมาณ 85 องสาเซลเซียส เวลา 5 นาที ขณะที่การเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีให้ค่า %E ที่สูงที่สุด (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้าต่อค่า %E ของฟิล์ม

4.3.4.3 ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP: g.mm/m^2.day.MPa)

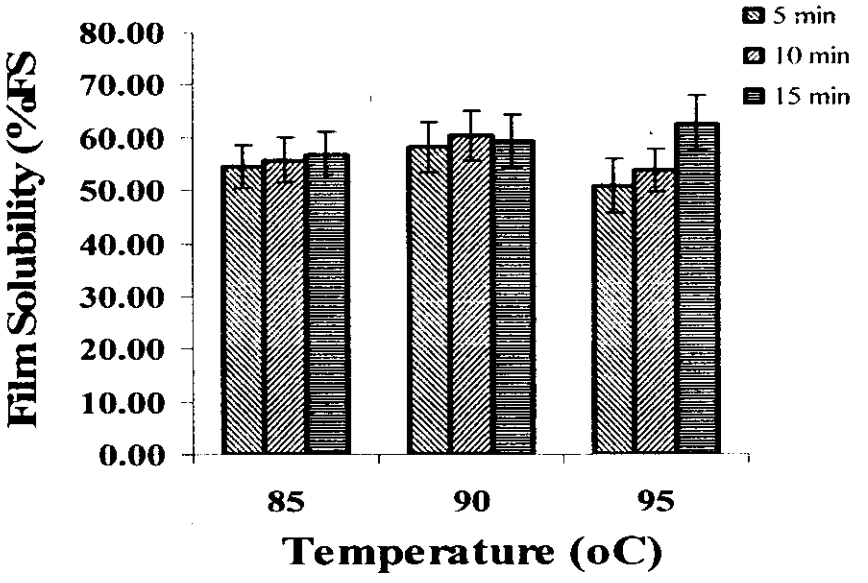
จากการศึกษาผลอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มสตาร์ชข้าวเจ้า พบว่าค่าอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มมีผลต่อค่า WVP อย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) โดยพบว่าค่า WVP มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 85 เป็น 90 และ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า WVP มีค่าเท่ากับ 4.14- 7.73, 6.38- 12.06 g.mm/m^2.day.MPa และ 6.34- 10.85 g.mm/m^2.day.MPa ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามเมื่อเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า WVP มีค่าลดลง (รูปที่ 4.15) ซึ่งจากการทดลองสภาวะที่ทำให้ฟิล์มที่ได้มีค่าซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุดคือ อุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยให้ค่า WVP เท่ากับ 4.14 g.mm/m^2.day.kPa (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้าต่อค่า WVP ของฟิล์ม

4.3.4.4 ค่าการละลายของฟิล์ม (Film Solubility,FS:%)

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มสตาร์ชข้าวเจ้าต่อค่าคุณสมบัติการละลายของฟิล์ม พบว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5 นาทีเป็น 10 นาที ส่งผลให้ค่าการละลายของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเป็น 15 นาทีส่งผลให้ค่าการละลายของฟิล์มมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มต่อค่า FS พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีค่าการละลายเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.16)



รูปที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้าต่อค่าการละลายของฟิล์ม

ผลการคัดเลือกสภาวะของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ให้คุณสมบัติทางกลและค่าความสามารถในการขวางกั้นไอน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆ ดีที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ให้คุณสมบัติของฟิล์มที่เหมาะสม

สตาร์ช	อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)
สตาร์ชสาคู	90	10
สตาร์ชมันสำปะหลัง	95	5
สตาร์ชข้าวโพด	90	10
สตาร์ชข้าวเจ้า	85	15

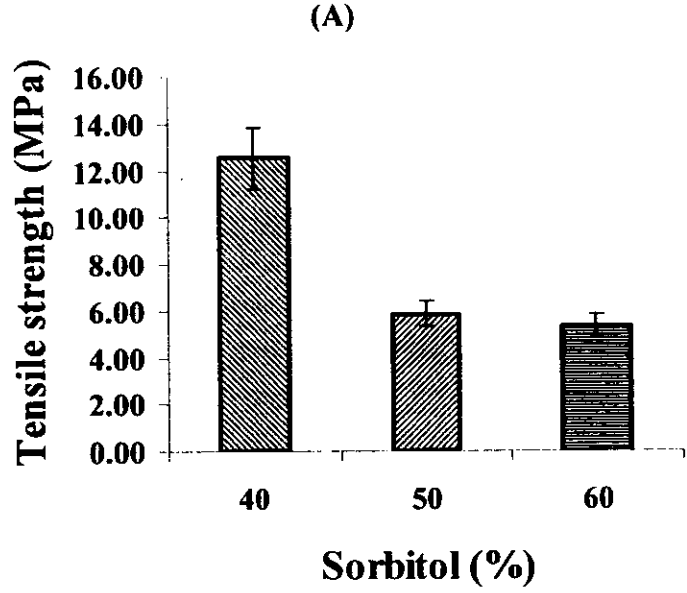
4.4. ผลของชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชนิดต่างๆ

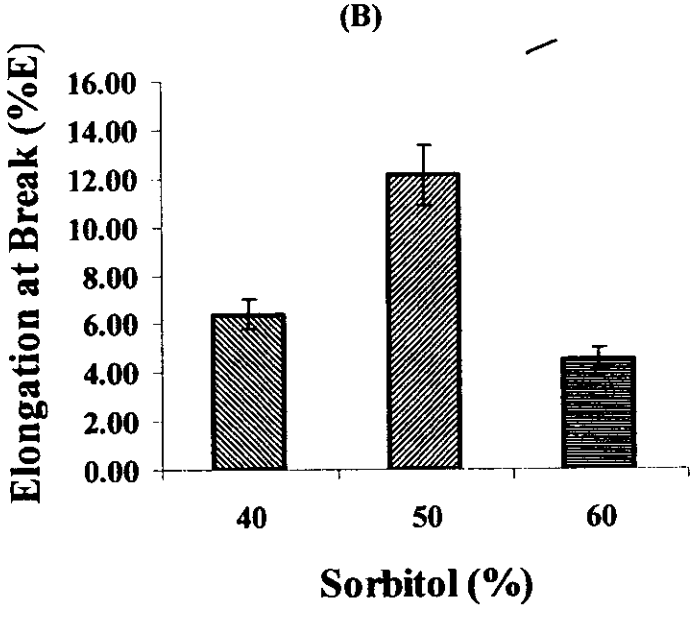
ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้ ซึ่งพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ซอร์บิทอล กลีเซอรอล และพอลิเอธิลินไกลคอล โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในข้อ 4.4 นี้เป็นสภาวะที่คัดเลือกจากการทดลองก่อนหน้านี้ (ข้อ 4.3) จากการศึกษาในเบื้องต้น พบว่าการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 40 ของพอลิเมอร์ และสูงกว่าร้อยละ 60 ของพอลิเมอร์ฟิล์มที่ได้ค่อนข้างเปราะและไม่สามารถลอกออกจากถาดที่ใช้ขึ้นรูปได้ตามลำดับ ดังนั้นระดับความเข้มข้นของซอร์บิทอลที่เลือกใช้ในการทดลองจึงอยู่ที่ความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 40, 50 และ 60 ของพอลิเมอร์ ขณะที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่เหมาะสมอยู่ที่ร้อยละ 30, 40 และ 50 ของพอลิเมอร์ ส่วนความเข้มข้นของพอลิเอธิลีนไกลคอลที่เหมาะสมอยู่ที่ร้อยละ 50, 60 และ 70 ของพอลิเมอร์

4.4.1 ผลของชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชสาคู

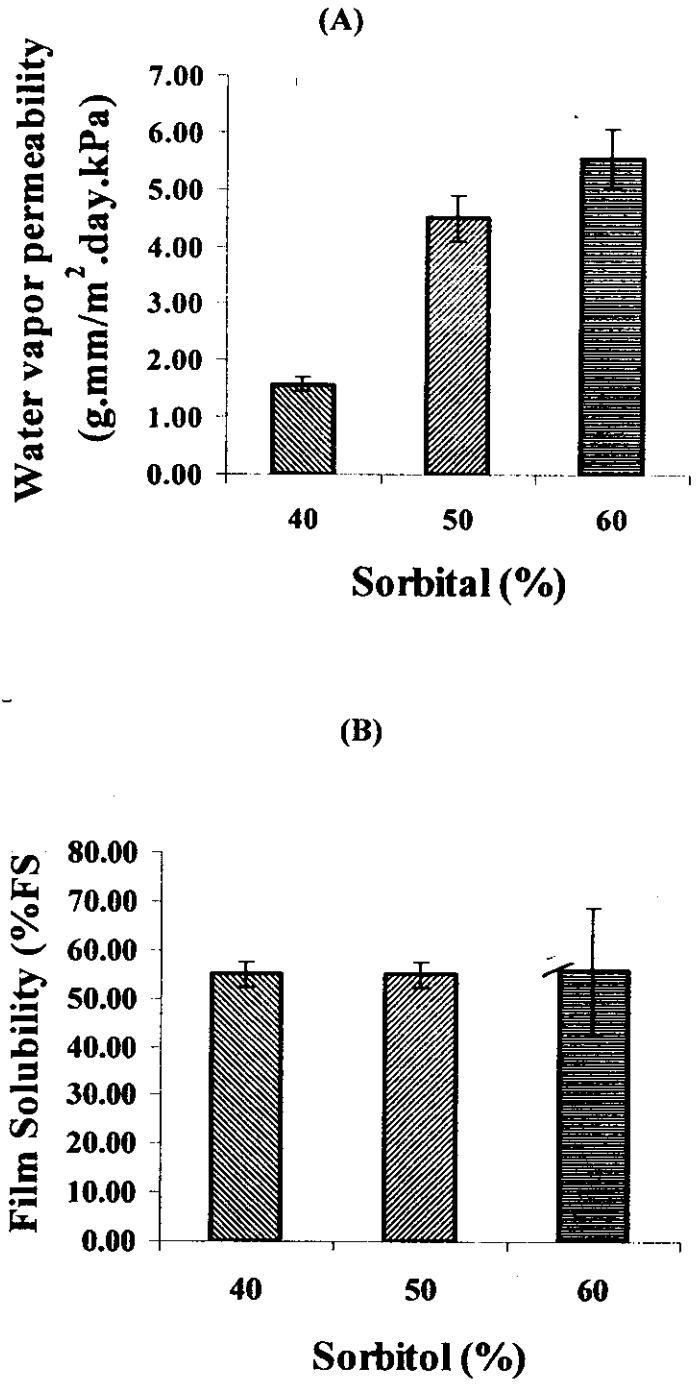
การใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ในการเตรียมฟิล์มจากสตาร์ชสาคูทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะแฉะ ไม่แห้ง และเมื่อทำการลอกฟิล์ม ฟิล์มที่ได้จะเสียและไม่คงรูปจึงไม่สามารถทำการเก็บเกี่ยวฟิล์มได้ จึงอาจกล่าวได้ว่าการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ในการเตรียมฟิล์มสตาร์ชสาคูไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตามทางนักวิจัยยังไม่ได้ทดลองลดปริมาณการเติม ซึ่งอาจจะใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มได้ เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและสามารถแทรกตัวและกระจายอยู่ระหว่างชั้นโพลิเมอร์ได้ดี รวมทั้งโมเลกุลของกลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิลประกอบอยู่ด้วยถึง 3 หมู่ ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่อะไมโลสได้ดี ทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีลักษณะที่อ่อนนิ่มมาก ไม่คงรูป จึงทำให้ไม่สามารถเก็บเกี่ยวฟิล์มได้นั่นเอง เมื่อเปลี่ยนชนิดของพลาสติไซเซอร์เป็นโพลิเอธิลินไกลคอล พบว่าการใช้พอลิเอธิลีนไกลคอลส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะขุ่น แข็งและเปราะแตกง่าย ดังนั้นนักวิจัยได้พยายามเพิ่มปริมาณพอลิเอธิลีนไกลคอลเป็นร้อยละ 70 และ 80 ของพอลิเมอร์ ฟิล์มที่ได้ยังคงเปราะและแตกจนไม่สามารถเก็บเกี่ยวฟิล์มได้ นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นบางส่วนของแผ่นฟิล์มมีลักษณะแฉะ เพราะเกิดการคายของพลาสติไซเซอร์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของโพลิเอธิลินไกลคอลเป็นโพลิเมอร์มีขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ของสตาร์ชทำได้ยากถึงแม้ว่าโพลิเอธิลินไกลคอลจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากก็ตาม ดังนั้นการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ในการขึ้นรูปฟิล์มสตาร์ชสาคู จึงทำการศึกษาได้แค่เพียงการศึกษาเฉพาะปริมาณของซอร์บิทอลต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชสาคู ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นจาก 40 50 และ 60% ของพอลิเมอร์ ส่งผลให้ค่า TS ลดลง จาก 12.5 MPa เป็น 5.31 MPa (รูปที่ 4.17A) และขณะที่ค่า WVP เพิ่มขึ้นจาก 1.57 เป็น 5.54 g.mm/m^2.day.kPa ขณะที่

ค่าการละลายของฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 54.90 เป็น 55.72 % (รูปที่ 4.18A) อย่างไรก็ตามค่า %E ของฟิล์มจากสตาร์ชสาคูมีค่าเพิ่มขึ้นโดยค่า %E เพิ่มขึ้นจาก 6.37 เป็น 12.11% เมื่อความเข้มข้นของซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นจาก 40% เป็น 50% ของพอลิเมอร์ ในทางกลับกันเมื่อความเข้มข้นของซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60% ของพอลิเมอร์ส่งผลให้ค่า %E ลดลงเป็น 4.53% (รูปที่ 4.17B)





รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อค่า TS (A) และ %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชสาคู

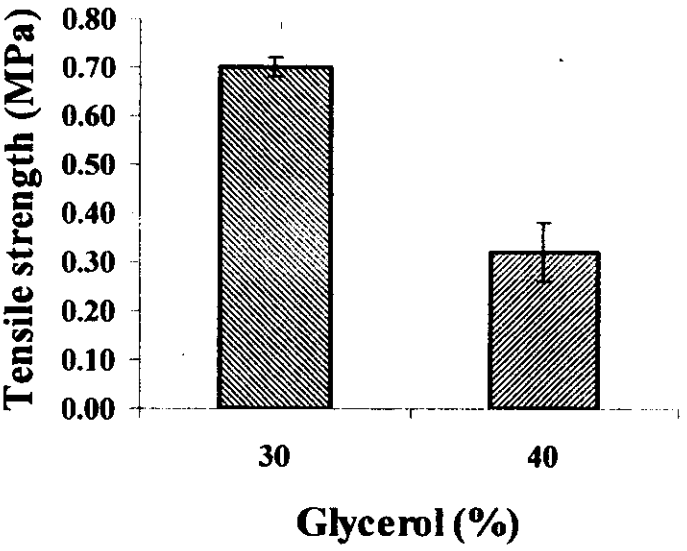


รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อค่า WVP (A) และ Film solubility (B) ของฟิล์มสตาร์ชสาคู

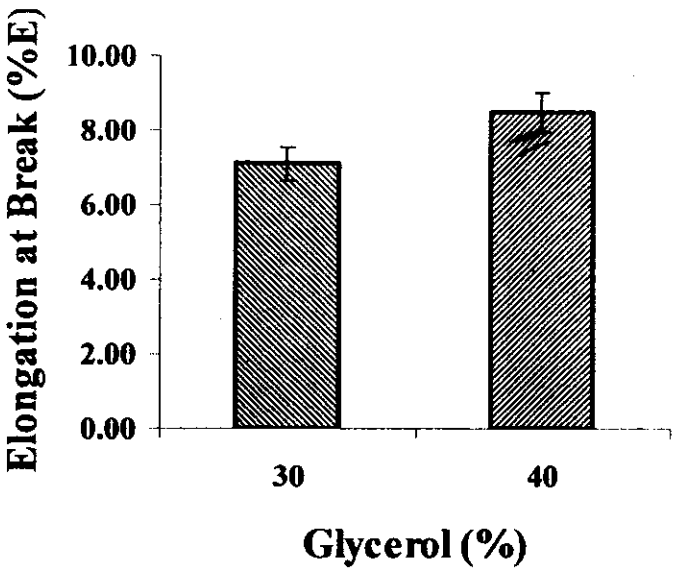
4.4.2 ผลของชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชข้าวเจ้า

ฟิล์มสตาร์ชข้าวเจ้าไม่สามารถขึ้นรูปได้เมื่อใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ฟิล์มที่ได้ไม่สามารถลอกออกเป็นแผ่นได้ทุกระดับความเข้มข้นที่ทำการศึกษา (10- 60 %) และเมื่อทำการเปลี่ยนพลาสติไซเซอร์เป็นโพลิเอธิลินไกลคอล จะให้ผลในทำนองเดียวกันกับฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชสาคู นั่นคือฟิล์มที่ได้มีลักษณะขุ่นขาว เปราะ และเกิดการคายพลาสติไซเซอร์ นอกจากนี้พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยใช้โพลิเอธิลินไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์จะมีลักษณะที่ลื่นและมีลักษณะคล้ายน้ำมันเคลือบอยู่ที่ผิวของฟิล์มซึ่งคาดว่าเป็นโพลิเอธิลินไกลคอลที่ไม่สามารถเข้าจับกับพอลิเมอร์ของสตาร์ชข้าวเจ้า ขณะที่การใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติเซอร์สามารถขึ้นรูปฟิล์ม อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณกลีเซอรอลที่สามารถใช้ได้โดยสามารถขึ้นรูปฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้าได้อยู่ในช่วงจำกัดคือ 30-40% ของพอลิเมอร์ ทั้งนี้เนื่องจากหากเติมกลีเซอรอลน้อยกว่า 30% หรือมากกว่า 40% ทำให้ฟิล์มที่ได้เปราะ และฟิล์มที่ได้เหนียวจนไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้ ตามลำดับ ดังนั้นผลการทดลองในส่วนของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ทำการศึกษาจึงมี 2 ระดับความเข้มข้นคือ 30 และ 40% ของพอลิเมอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 40% ของพอลิเมอร์ ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีค่า TS และค่า การละลายของฟิล์มลดลงจาก 0.7 MPa เป็น 0.32 MPa และ 63.94% เป็น 63.88% ตามลำดับ (รูปที่ 4.19 และ 4.20) ขณะที่ค่า %E และค่า WVP มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.05% เป็น 8.49% และ11.04 เป็น 19.09 g.mm/m^2.day.kPa ตามลำดับ (รูปที่ 4.19 และ 4.20)

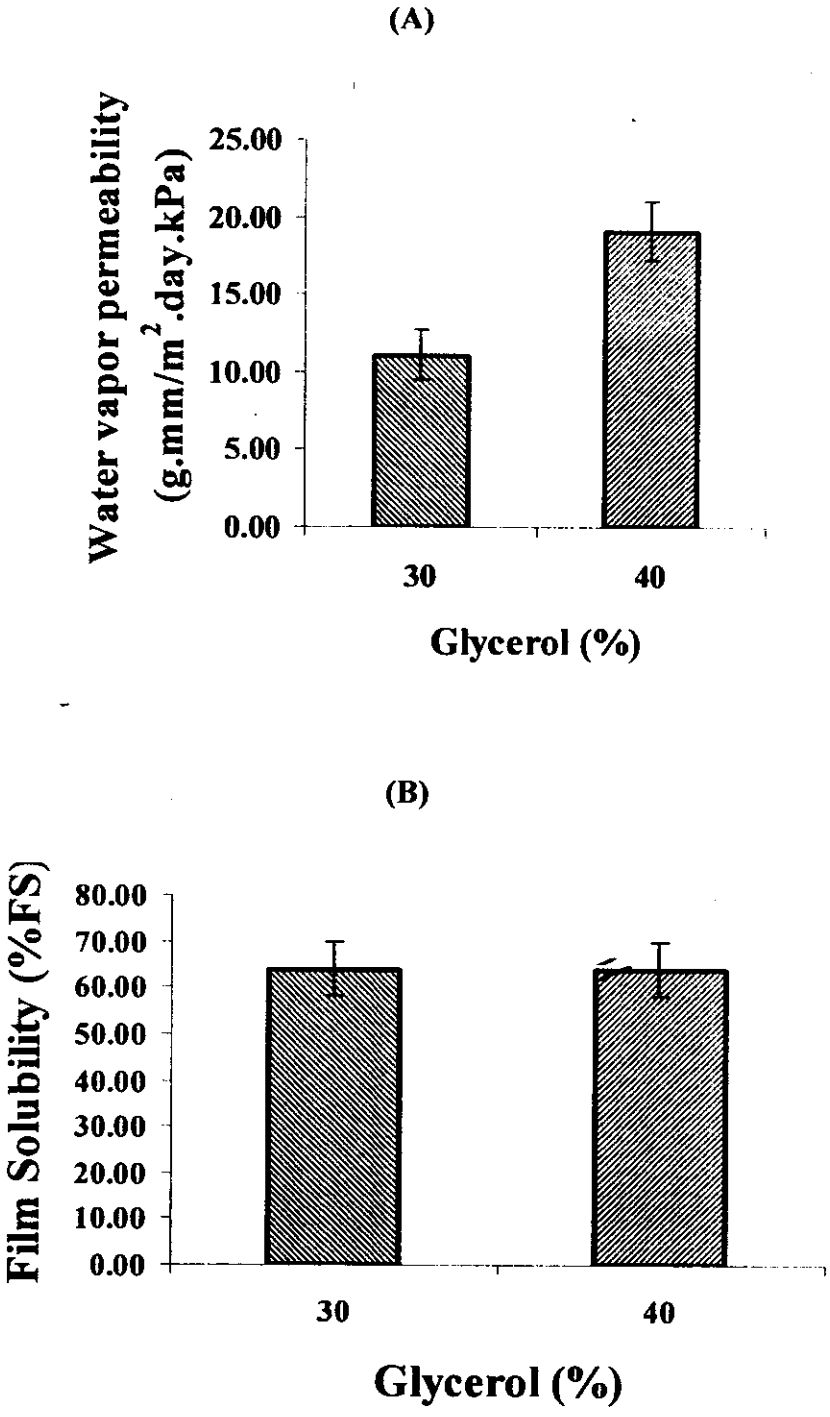
(A)



(B)



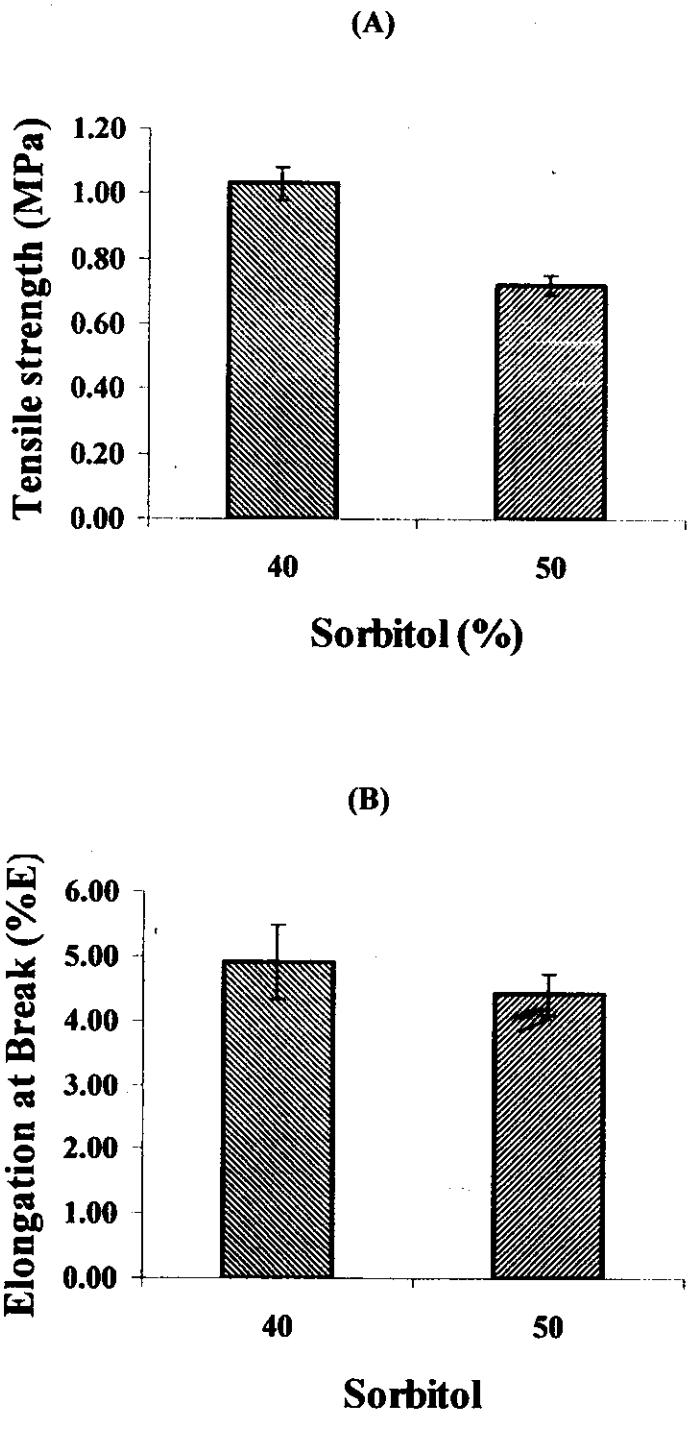
รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า TS (A) และ %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวเจ้า



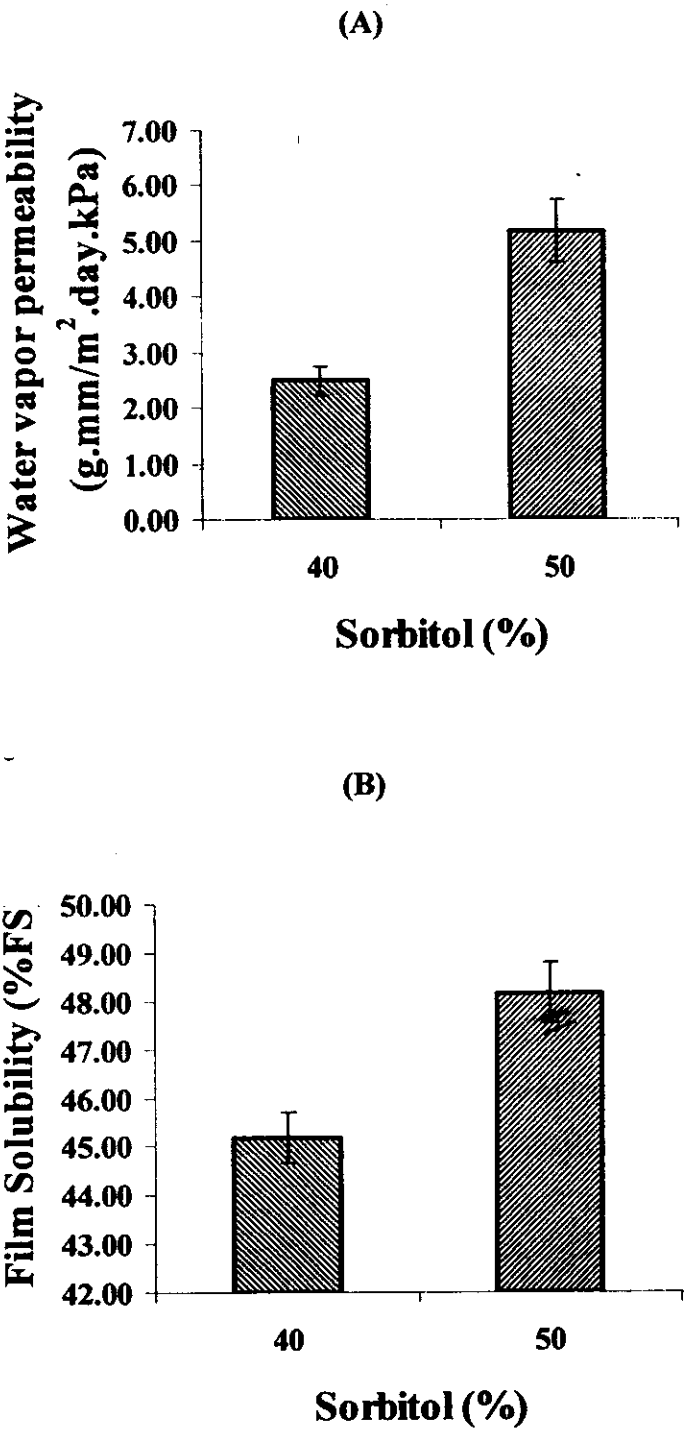
รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า WVP (A) และค่าการละลายของฟิล์ม (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวเจ้า

4.3.3 ผลของชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง

ฟิล์มบริโภคได้ที่เตรียมจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สามารถเตรียมโดยใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์เพียงชนิดเดียว เนื่องจากการใช้โพลิเอทิลินไกลคอนเป็นพลาสติไซเซอร์ทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้ มีลักษณะเปราะเนื่องจากเกิดการคายพลาสติไซเซอร์ ขณะที่ฟิล์มที่เตรียมโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะแฉะไม่สามารถเก็บเกี่ยวฟิล์มได้ ขณะที่การใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์สามารถขึ้นรูปฟิล์ม แต่พบว่าปริมาณซอร์บิทอลที่สามารถใช้ได้โดยสามารถขึ้นรูปฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังได้อยู่ในช่วงจำกัดคือ 40-50% ของพอลิเมอร์ ทั้งนี้เนื่องจากหากเติมซอร์บิทอลน้อยกว่า 40% หรือมากกว่า 50% ทำให้ฟิล์มที่ได้เปราะและฟิล์มที่ได้เหนียวจนไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้ตามลำดับ ดังนั้นผลการทดลองในส่วนของปริมาณซอร์บิทอลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ทำการศึกษาจึงมี 2 ระดับความเข้มข้นคือ 40 และ 50% ของพอลิเมอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจาก 40% เป็น 50% ของพอลิเมอร์ ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีค่า TS และค่า %E ลดลงจาก 1.03 MPa เป็น 0.72 MPa และ 4.91% เป็น 4.41% ตามลำดับ (รูปที่ 4.21) ขณะที่ค่า WVP และค่าการละลายของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.68 เป็น 5.18 g.mm/m^2.day.kPa และ 45.16% เป็น 48.17% ตามลำดับ (รูปที่ 4.22)



รูปที่ 4.21 ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อค่า TS (A) และค่า %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง

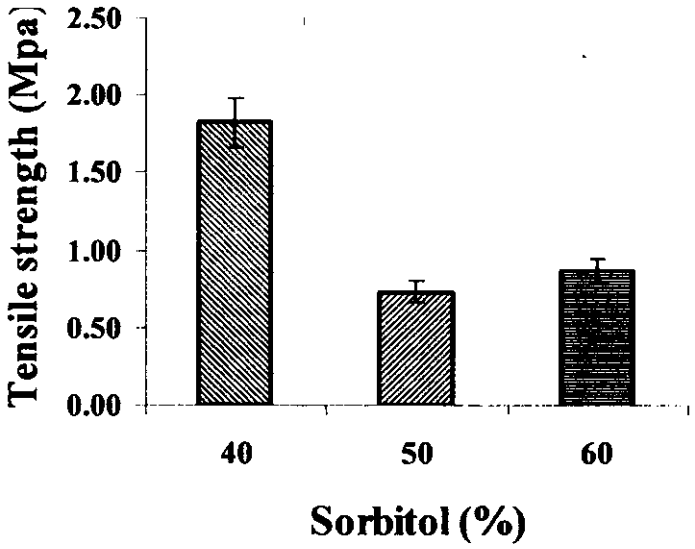


รูปที่ 4.22 ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อค่า WVP (A)และค่าการละลายของฟิล์ม(B) ของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง

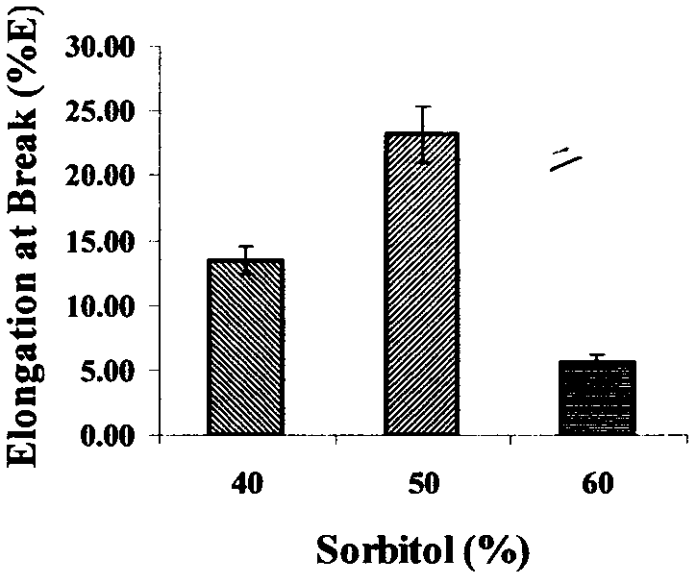
4.4.4 ผลของชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด

จากการศึกษาผลของชนิด และปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชข้าวโพดพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากพอลิเอธิลินไกลคอนเป็นพลาสติไซเซอร์ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ เนื่องจากเกิดการคายพลาสติไซเซอร์เหมือนกับสตาร์ชนิดอื่นๆ ขณะที่การใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ จากการทดลองพบว่าฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ให้ค่า TS สูงกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ซึ่งพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ให้ค่า TS อยู่ระหว่าง 0.87- 1.82 MPa (รูปที่ 4.23) ขณะที่ฟิล์มที่เตรียมจากการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ให้ค่า TS อยู่ระหว่าง 0.73-1.27 MPa (รูปที่ 4.25) นอกจากนี้พบว่าค่า WVP ค่า %E และ %FS ของฟิล์มที่เตรียมจากการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์มีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่เตรียมจากการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ (รูปที่ 4.23- 4.26) โดยผลการทดลองพบว่าค่า WVP ของฟิล์มที่เตรียมจากการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 2.24-3.46 g.mm/m^2.day.kPa (รูปที่ 4.24) ขณะที่ค่า WVP ของฟิล์มที่เตรียมจากการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 13.35- 19.74 g.mm/m^2.day.kPa (รูปที่ 4.26) ส่วนค่า %E และค่าการละลายของฟิล์มที่เตรียมจากการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 5.65-23.18% และ 54.90-55.77% ตามลำดับ (รูปที่ 4.23- 4.24) และค่า%E และค่าการละลายของฟิล์มที่เตรียมจากการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 5.72-11.19% และ 64.41-66.56% ตามลำดับ (รูปที่ 4.25- 4.26) และเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มพบว่า เมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์แต่ละชนิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TS และค่า %E ของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ค่า WVP และค่าการละลายของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น(รูปที่ 4.24 และ 25)

(A)

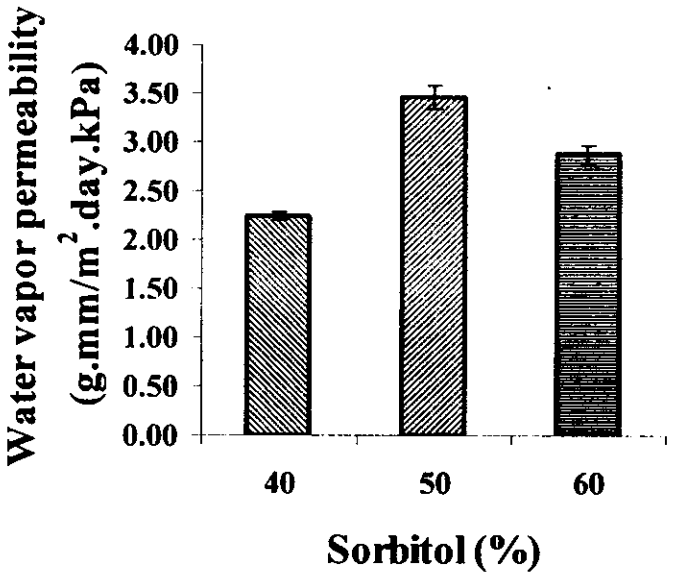


(B)

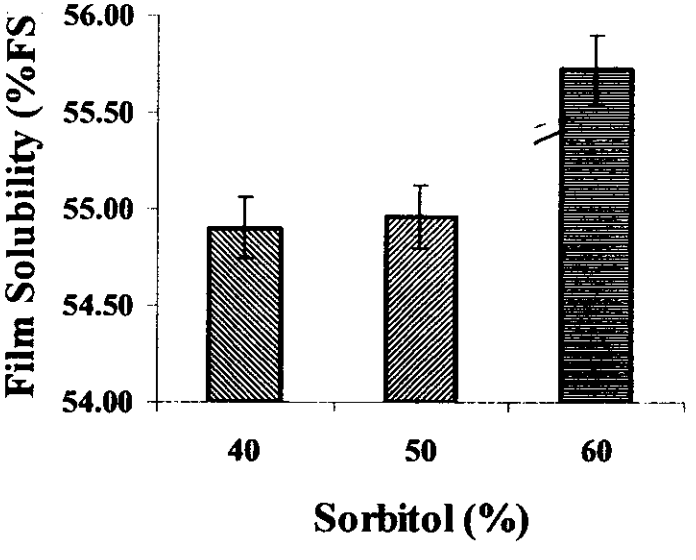


รูปที่ 4.23 ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อค่า TS (A) และ ค่า %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด

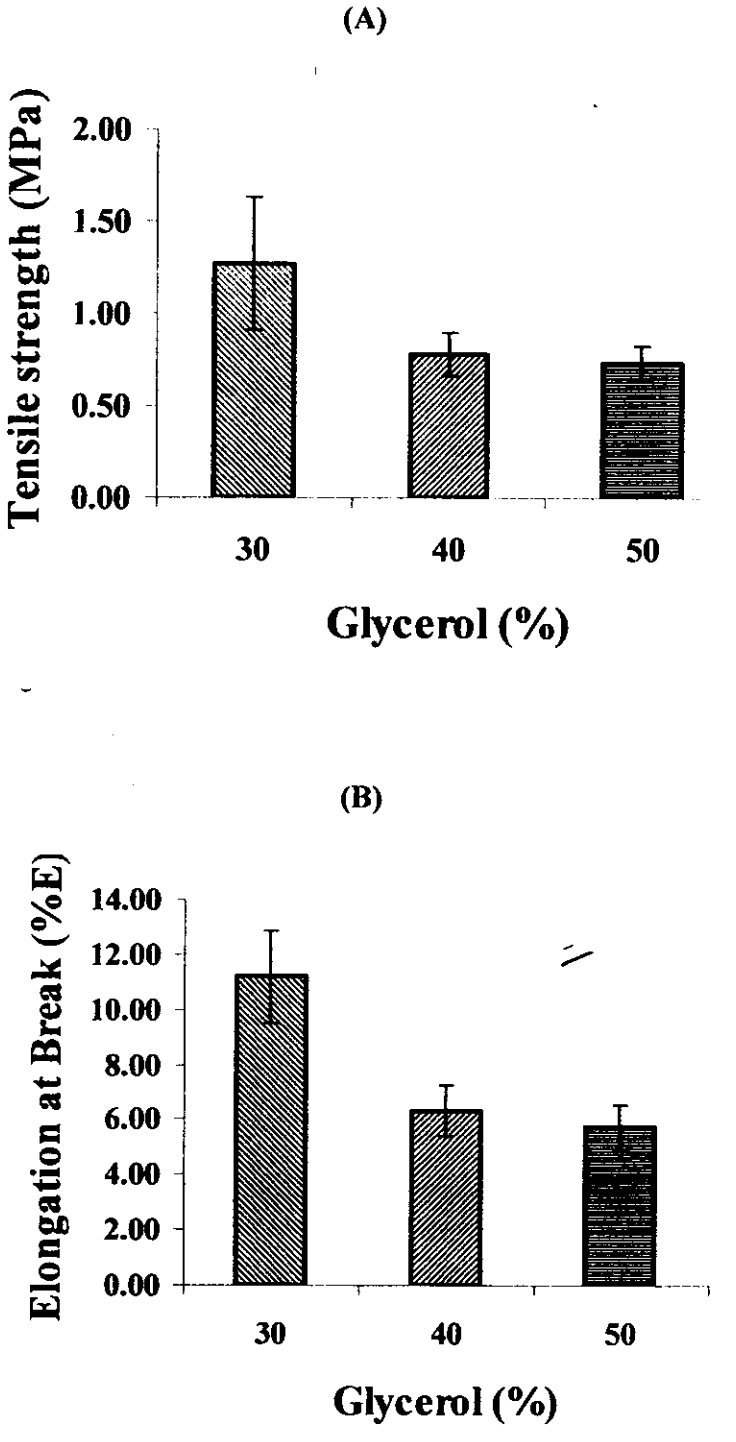
(A)



(B)

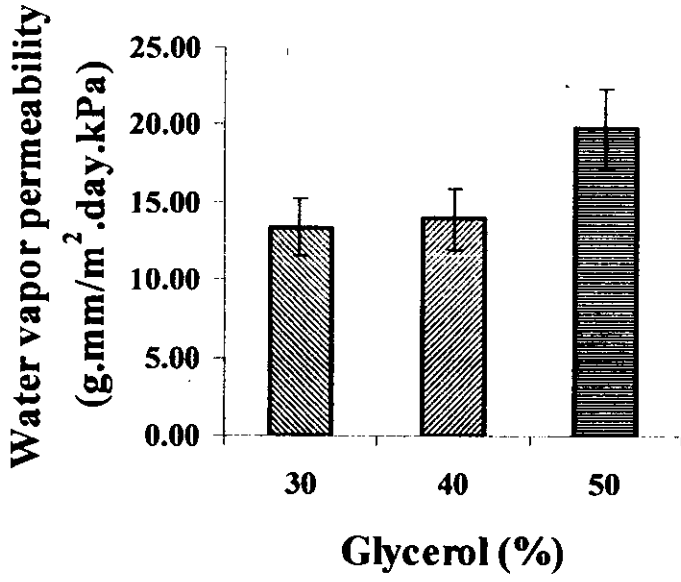


รูปที่ 4.24 ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อค่า WVP (A) และ ค่าการละลายของฟิล์ม (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด

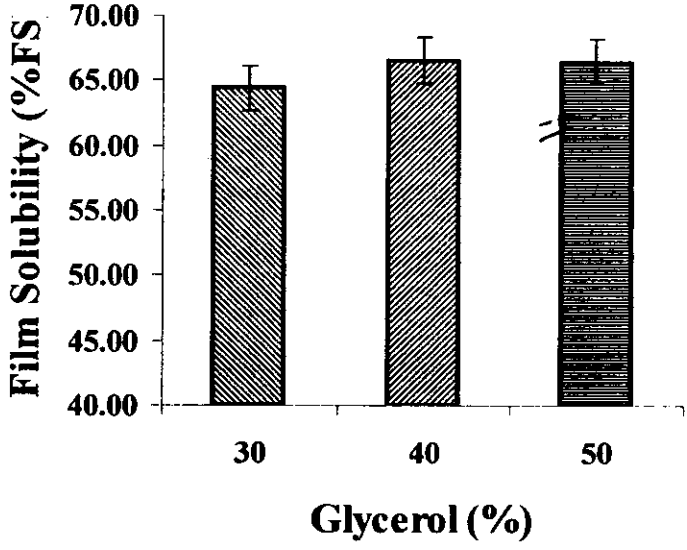


รูปที่ 4.25 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า TS (A) และ ค่า %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด

(A)



(B)



รูปที่ 4.26 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า WVP (A) และ ค่าการละลายของฟิล์ม (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด

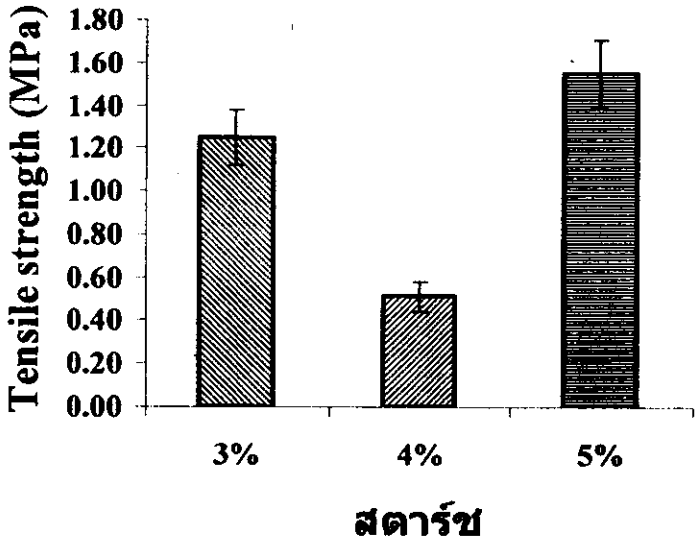
4.5 ผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชนิดต่างๆ

ในการศึกษาผลความเข้มข้นของสตาร์ชที่ใช้ในการเตรียมสารละลายฟิล์ม พบว่าความเข้มข้นของสตาร์ชจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายฟิล์มขณะขึ้นรูป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดของสารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้น การนำสารละลายฟิล์มไปไล่ฟองอากาศออกจากสารละลายจะยากขึ้น และเมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มจะทำให้การเกลี่ยสารละลายทำได้ยาก ฟิล์มที่ได้มีลักษณะแข็งเปราะ และผิวไม่เรียบ

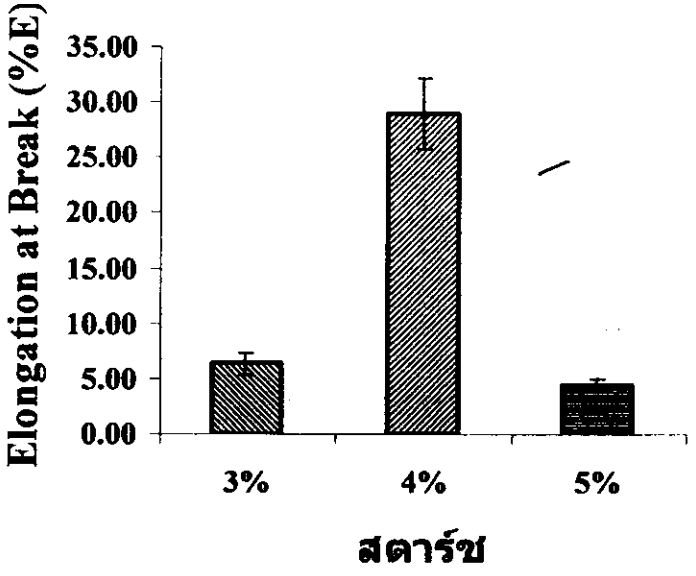
4.5.1 ผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชสาคู

สภาวะที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจาสตาร์ชสาคูคืออุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที และใช้พลาสติไซเซอร์ชนิดซอร์บิทอลในปริมาณ 40% จากนั้นทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสตาร์ชที่ระดับต่างๆ (3, 4 และ 5%) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้น จาก 3% เป็น 4% ส่งผลให้ค่า TS มีค่าลดลงอย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเป็น 5% ค่า TS มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสตาร์ช 5% ให้ค่า TS สูงสุด เท่ากับ 1.55 MPa ขณะที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3% และ 4% ให้ค่า TS เท่ากับ 1.25 และ 0.51 MPa ตามลำดับ (รูปที่ 4.27A) เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อค่า %E และ WVP และค่าการละลายของฟิล์ม พบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้นจาก 3% เป็น 4% แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 5% ค่า %E และค่า WVP มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.27B และ 4.28A) จากการทดลองการเตรียมฟิล์มโดยใช้สตาร์ชความเข้มข้นสูงทำให้ฟิล์มที่ได้มีความหนาที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งอาจส่งผลต่อผลการทดลอง เนื่องจากปริมาณของสตาร์ชที่ใช้มากเกินไป เมื่อให้ความร้อนทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับเม็ดแป้งน้อยเกินไป ทำให้เม็ดแป้งบางส่วนพองตัวไม่สมบูรณ์เมื่อนำสารละลายฟิล์มดังกล่าวมาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มทำให้ฟิล์มที่ได้มีผิวที่ไม่เรียบและเม็ดแป้งจะแทรกอยู่ระหว่างสายของโพลิเมอร์ ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของแผ่นฟิล์มส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติของไม่คงที่

(A)

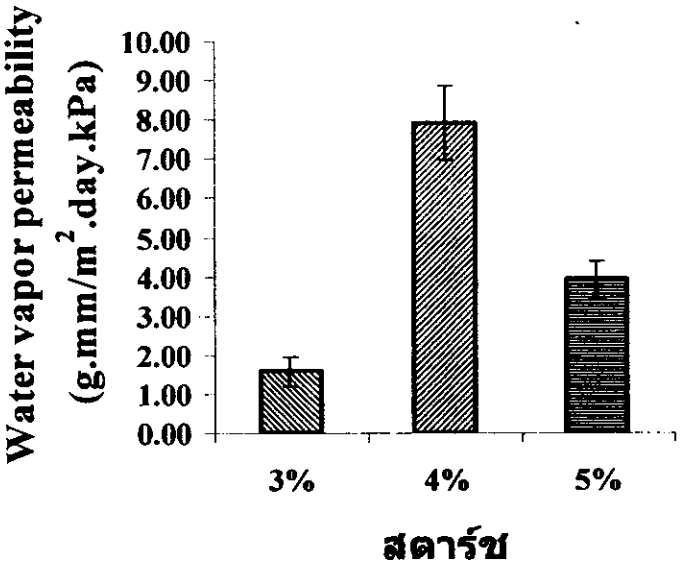


(B)

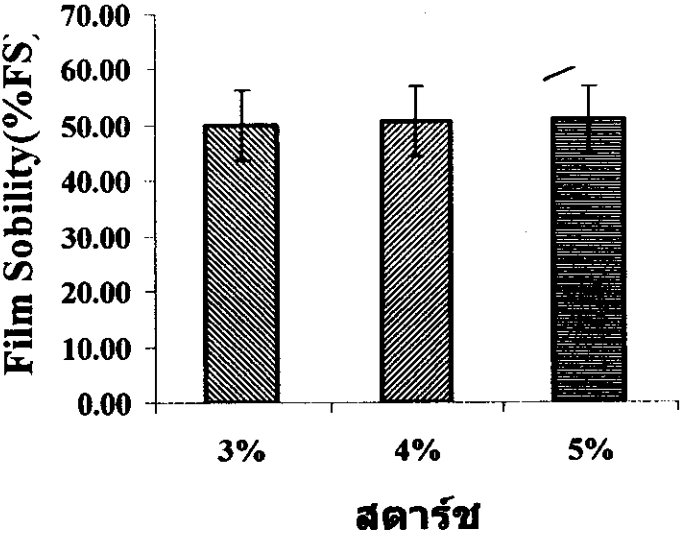


รูปที่ 4.27 ผลของผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อ TS (A) และค่า %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชสาคู

(A)



(B)

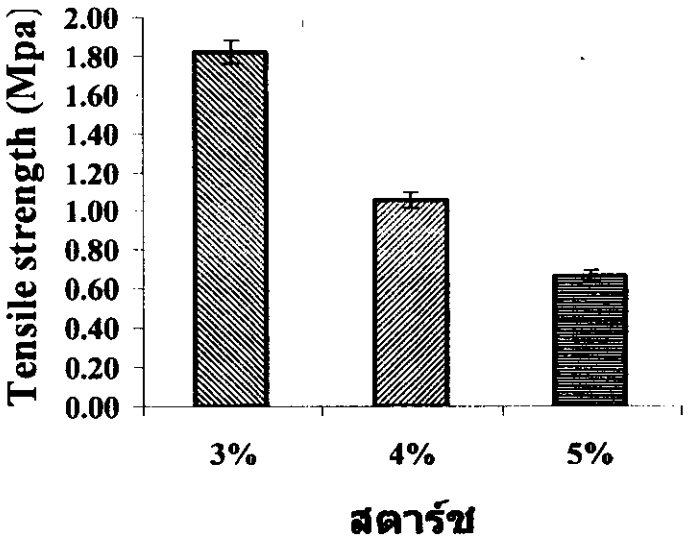


รูปที่ 4.28 ผลของผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อ WVP (A) และค่าการละลายของฟิล์ม (B) ของฟิล์มสตาร์ชสาคู

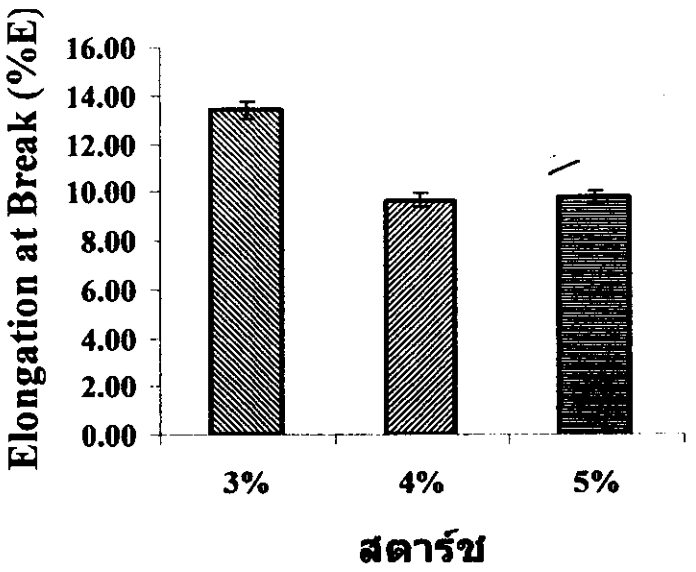
4.5.2 ผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด

ผลการทดลองของฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโพด ให้ผลในทำนองเดียวกันกับฟิล์มจากสตาร์ชสาคู นั่นคือเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ค่า TS และค่า %E จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.29) โดยสภาวะที่ให้ค่า TS สูงสุดเท่ากับ 1.82 MPa และค่า %E เท่ากับ 13.38% คือระดับความเข้มข้นของสตาร์ชเท่ากับ 3% และเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้นเป็น 5 % ค่า TS และ %E ลดลงเหลือ 0.66 MPa และ 9.74% ตามลำดับ (รูปที่ 4.29) ขณะที่ WVP และค่าการละลายของฟิล์มมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 2.24 เป็น 5.29 g.mm/m^2.day.kPa และ จาก 54.89 เป็น 54.90 % ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.30)

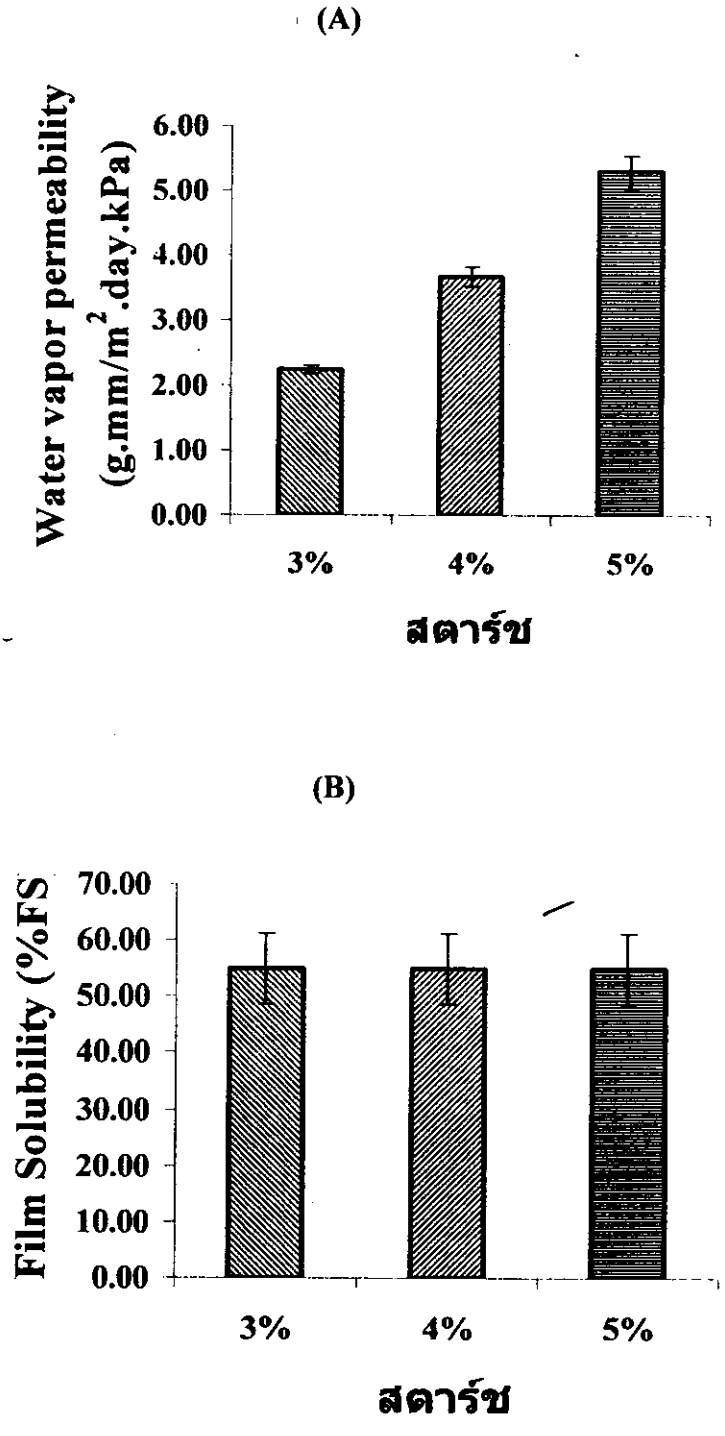
(A)



(B)



รูปที่ 4.29 ผลของผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อ TS (A) และค่า %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด



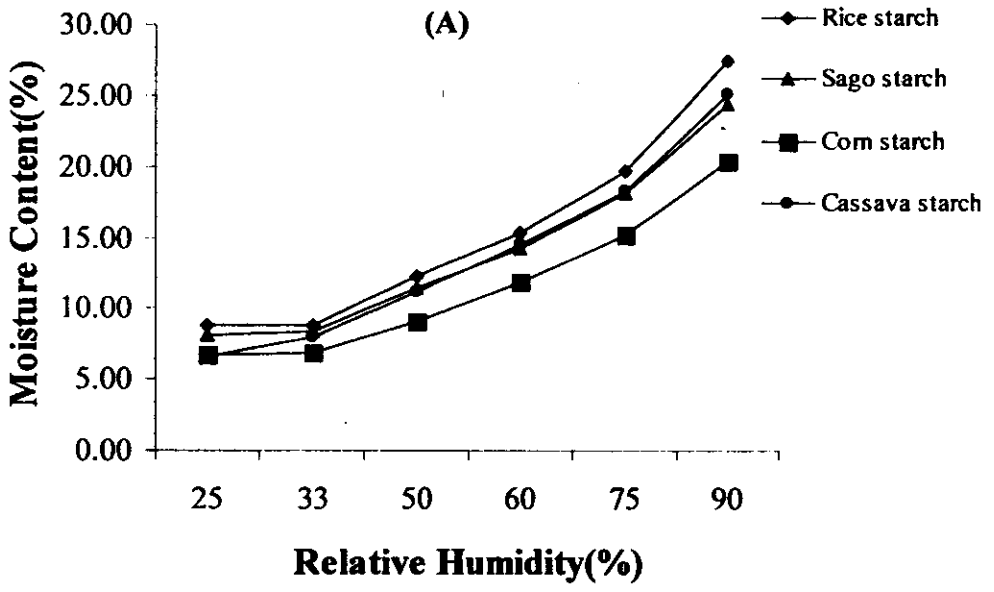
รูปที่ 4.30 ผลของผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อ TS (A) และค่า %E (B) ของฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด

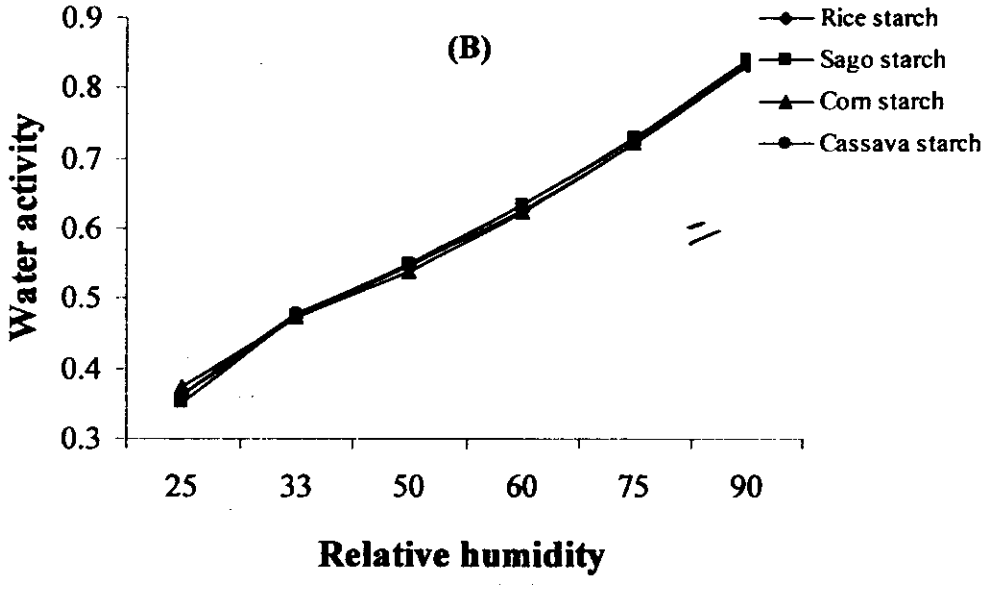
หมายเหตุ:ฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังและข้าวเจ้าไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มที่ระดับความเข้มข้น 4% และ 5% ได้ ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มที่เตรียมได้จะมีความแข็งและเปราะ จึงไม่สามารถเก็บเกี่ยวฟิล์มได้ จึงไม่มีผลการทดลอง

4.6 การดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ (Sorption isotherm) ต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชชนิดต่างๆ

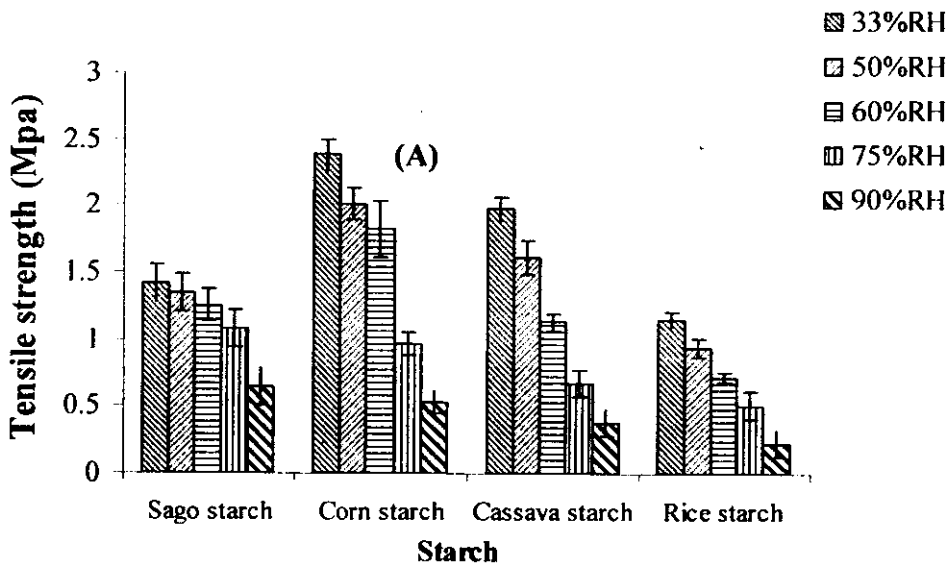
จากการศึกษาผลของการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชชนิดต่างๆ พบว่าการเก็บรักษาฟิล์มไว้ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันส่งผลปริมาณความชื้นของฟิล์ม โดยพบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของฟิล์มเพิ่มขึ้นทุกฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชที่ทำการศึกษา เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นของฟิล์มแต่ละชนิดที่ทำการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ พบว่าฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นต่ำกว่าฟิล์มจากสตาร์ชสาคู ฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลัง และฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้าตามลำดับ (รูปที่ 4.31A) ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาผลของการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ต่อค่า water activity (a_w) พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า a_w ของฟิล์มแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าฟิล์มจากสตาร์ชแต่ละชนิดมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า a_w ที่ไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.31B)

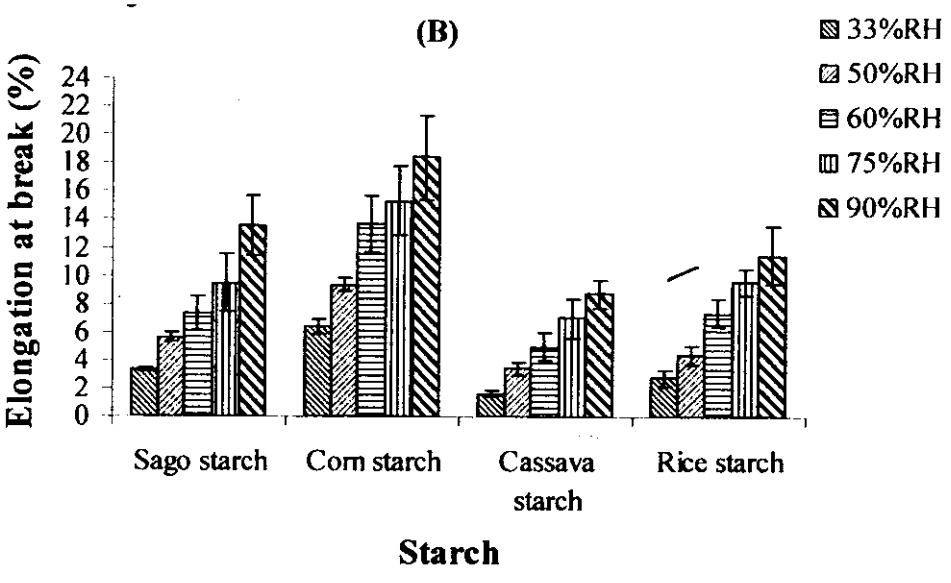
เมื่อพิจารณาผลของการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ ต่อคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชชนิดต่างๆ พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม โดยพบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Tensile strength (TS) มีค่าลดลงทุกฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชที่ทำการศึกษา (รูปที่ 4.32A) ขณะที่ค่า Elongation at break (%E) มีค่าเพิ่มขึ้นทุกฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชที่ทำการศึกษา (รูปที่ 4.32B)





รูปที่ 4.31 ผลของการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ต่อปริมาณความชื้น (A) และค่า water activity (a_w) ของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชชนิดต่างๆ





รูปที่ 4.32 ผลของการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ต่อค่า TS (A) และค่า %E ของฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ชชนิดต่างๆ

4.7 การนำฟิล์มบริโภคได้จากแป้งไปใช้ประโยชน์

4.7.1 การใช้ประโยชน์จากฟิล์มจากสตาร์ชชนิดต่างๆ

4.7.1.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงของตะเข็บเมื่อขึ้นรูปเป็นถุงใช้ในการบรรจุ

จากการเตรียมแผ่นฟิล์มจากสตาร์ชชนิด เพื่อนำมาผลิตเป็นถุงและนำมาปิดผนึกที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบความแข็งของตะเข็บของฟิล์มจากสตาร์ชชนิดต่างๆ พบว่าซองที่ทำจากสตาร์ชข้าวโพดมีความแข็งแรงของตะเข็บสูงที่สุด ถัดมาเป็นถุงที่ทำจากสตาร์ชสาคู สตาร์ชมันสำปะหลัง และ สตาร์ชข้าวเจ้า ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.72 0.64 0.58 และ 0.53 นิวตัน/มิลลิเมตร) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ซึ่งความแข็งของตะเข็บของถุงที่ผลิตจากฟิล์มสตาร์ชข้าวโพด และสตาร์ชสาคูอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่มีความหนา 0.06 และ 0.07 มิลลิเมตร โดยค่าแรงดึงสูงสุดของตะเข็บ กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 0.62 และ 0.72 นิวตัน/มิลลิเมตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2534) อย่างไรก็ตามความแข็งของตะเข็บที่ผลิตจากฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชข้าวเจ้ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานดังกล่าวเล็กน้อย (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาการรั่วซึมของตะเข็ม (บรรจุน้ำมันมะกอกที่มีสีโอลีโอเรซินจากขมิ้นร้อยละ 1 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร) พบว่าไม่มีการรั่วซึมของสารตัวอย่างดังกล่าว (ตารางที่ 4.2)

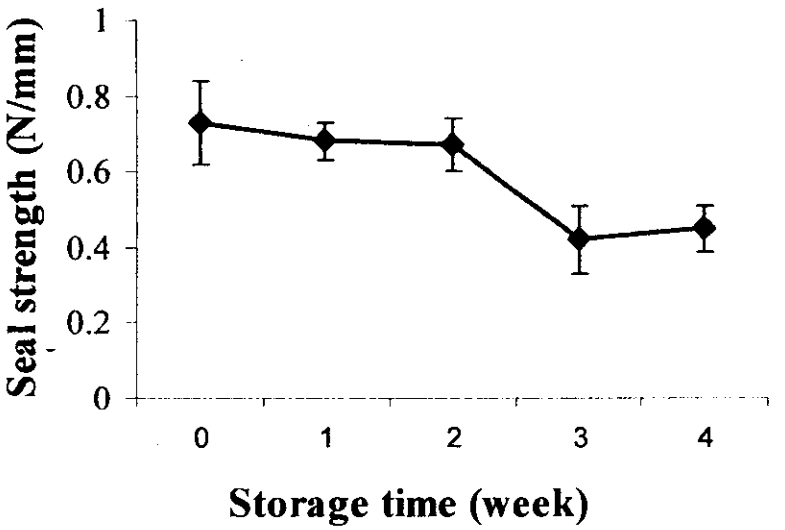
ตารางที่ 4.2 ความแข็งแรงของตะเข็บและการรั่วซึมของของถุงที่ผลิตจากสตาร์ชชนิดต่างๆ

ชนิดของฟิล์ม	ความแข็งของตะเข็บ (นิวตัน/มิลลิเมตร)	ลักษณะการรั่วซึม
ฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพด	0.78	ไม่รั่วซึม
ฟิล์มจากสตาร์ชสาคู	0.73	ไม่รั่วซึม
ฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลัง	0.58	ไม่รั่วซึม
ฟิล์มจากสตาร์ชข้าวเจ้า	0.53	ไม่รั่วซึม

4.7.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของถุงและผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ

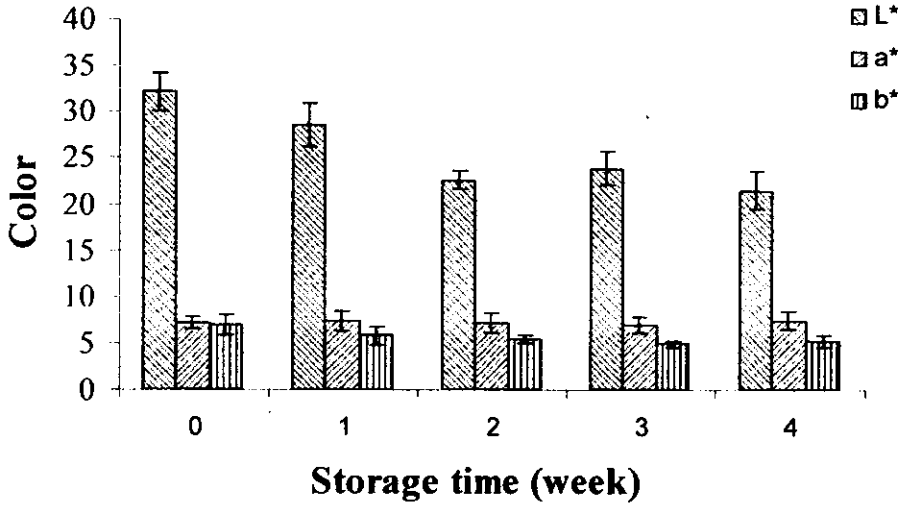
ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของถุงและผลิตภัณฑ์นั้น ได้ทำการคัดเลือกฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดมาทำการศึกษา เนื่องจากให้คุณสมบัติของฟิล์มที่ดีที่สุดทั้งคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการป้องการการซึมผ่านรวมถึงความแข็งแรงของตะเข็บหลังจากการปิดผนึก โดยนำฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดมาทำเป็นถุง แล้วบรรจุเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณ 5±2 กรัม แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของถุงจากสตาร์ชข้าวโพด นั่นคือถุงยังคงรูป มีความเหนียวและทนต่อการบีบรีดเครื่องปรุง (ไม่แตกขณะทำการรีดเครื่องปรุงออกจากถุง)

เมื่อพิจารณาความแข็งของตะเข็บระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือนพบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงของตะเข็บมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาค่าความแข็งแรงของตะเข็บมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่าค่าความแข็งแรงของตะเข็บลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.33)

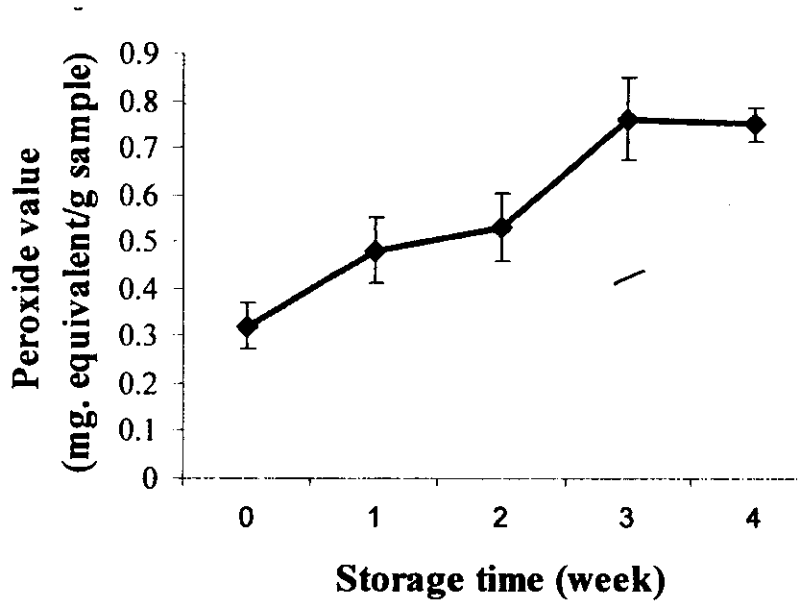


รูปที่ 4.33 ความแข็งแรงของตะเข็บของถุงที่บรรจุผลิตเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำที่ผลิตจากฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านสี ของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำที่บรรจุในถุงซึ่งผลิตจากฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่า L* ของเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำมีค่าลดลง โดยพบว่าค่า L* ของเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำลดลงจาก 32.14 เป็น 21.46 เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 เป็นสัปดาห์ที่ 4 (รูปที่ 4.34) ขณะที่ค่า a* และ b* มีค่าลดลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (รูปที่ 4.34) และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันโดยวัดความหืนในรูปของค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นค่าเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.32 เป็น 0.48 0.53 0.76 และ 0.75 มิลลิกรัมสมมูล/กรัมตัวอย่างเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 เป็นอาทิตย์ที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ (รูปที่ 4.35)



รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L* a* และ b*) ของเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำบรรจุถุงที่ผลิตจากฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษา4 สัปดาห์



รูปที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำบรรจุถุงที่ผลิตจากฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

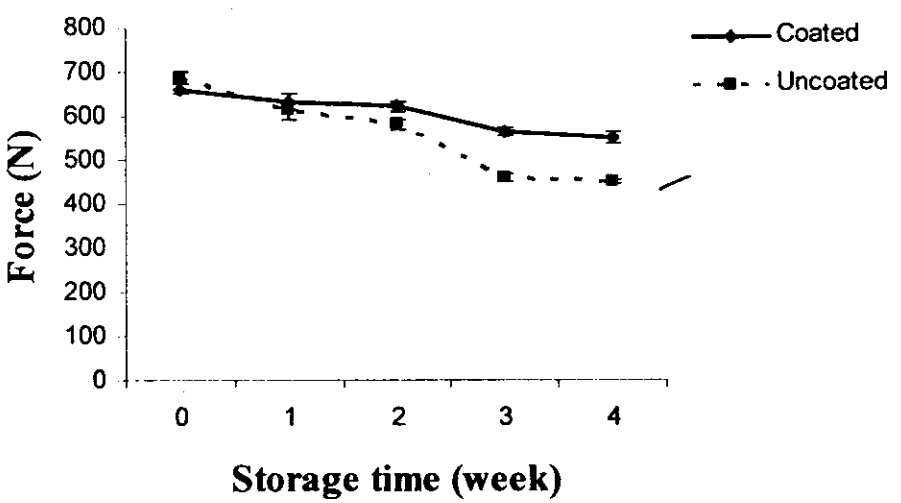
4.7.1.3 ผลการทดสอบการละลายของถุง

จากผลการทดสอบการละลายของถุงซึ่งผลิตจากฟิล์มสตาร์ชข้าวโพดที่บรรจุเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำ โดยการนำถุงดังกล่าวใส่ลงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 85- 90 องศาเซลเซียส พบว่าเริ่มต้น ถุงเกิดการดูดน้ำและเริ่มเสียรูปร่าง และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 นาทีถุงเกิดการหลุดเป็นชิ้นเล็กๆและเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำกระจายผสมกับน้ำ อย่างไรก็ตามพบว่าหากทำ

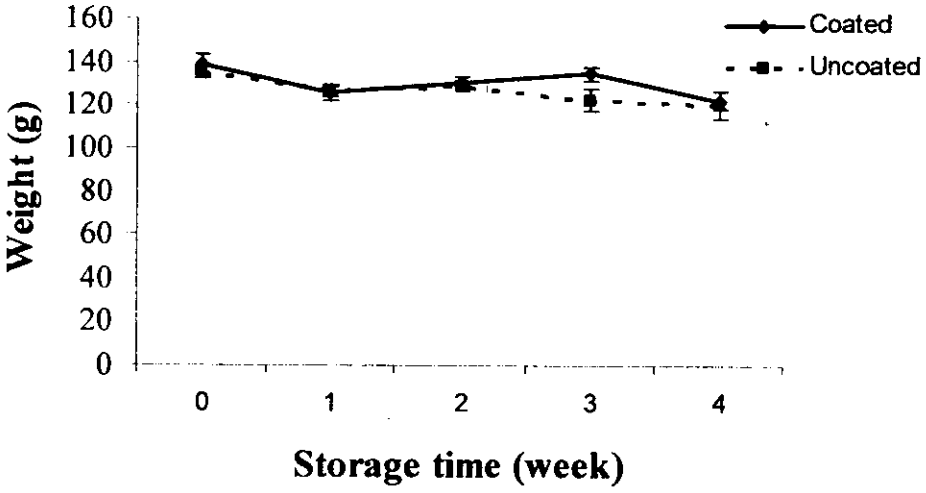
การกวนผสมพบว่าถุงดังกล่าวจะสลายตัวภายในเวลา 3 นาที ซึ่งเร็วกว่าเวลาที่ใช้ในการต้มเส้นบะหมี่ (3- 5 นาที) ดังนั้น จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงถึงความสามารถของการใช้ถุงจากสตาร์ชข้าวโพดสำหรับบรรจุเครื่องปรุงรสบะหมี่รสต้มยำสำหรับบะหมี่สำเร็จรูปได้ โดยผู้บริโภคจะได้รับความสะดวกรวดเร็ว และลดการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทสังเคราะห์ได้ด้วย

4.7.1.4 การใช้สารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดสำหรับเคลือบผลไม้ (สาลี่)

จากการศึกษานำสารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดเคลือบผลสาลี่เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเคลือบผิว แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าผลสาลี่ที่ผ่านการเคลือบผิวสามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดีกว่าผลสาลี่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายฟิล์มตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 4.36) ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาพบว่าผลสาลี่ที่ผ่านการเคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักน้อยกว่าผลสาลี่ที่ไม่เคลือบผิวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 4.37)

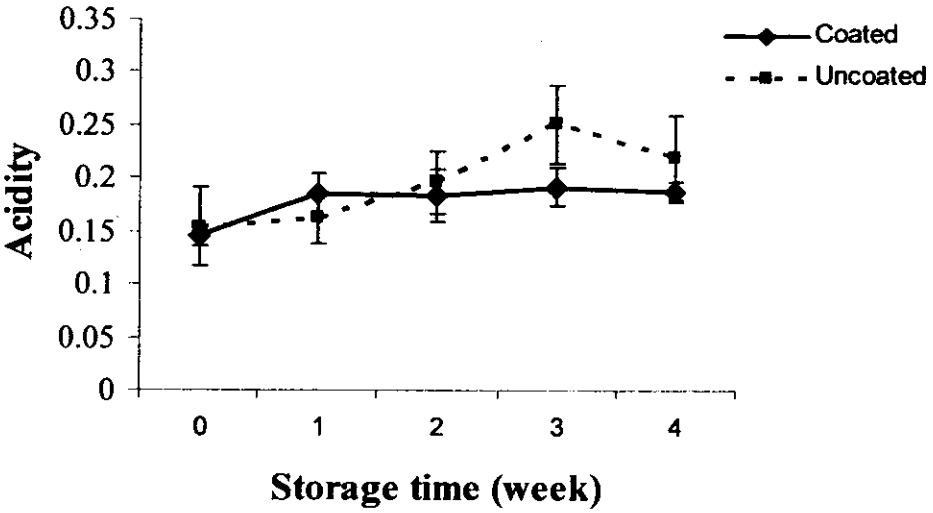


รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลสาลี่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดและไม่เคลือบผิวระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์



รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลสาลี่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายฟิล์มจากสตาร์ช ข้าวโพดและไม่เคลือบผิวระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี (ค่ากรด) และลักษณะปรากฏของผลสาลี่ระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกันระหว่างผลสาลี่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายฟิล์มและสาลี่ที่ไม่เคลือบผิว พบว่าค่ากรดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่ม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่ากรดของผลสาลี่ระหว่างสาลี่ที่ผ่านการเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว พบว่าค่ากรดของผลสาลี่ที่ไม่เคลือบมีค่าสูงกว่าผลสาลี่ที่ผ่านการเคลือบเล็กน้อย (รูปที่ 4.38) และเมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏด้านสีและความสมบูรณ์ของผล พบว่าผลสาลี่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงสีและความสมบูรณ์ของผลน้อยกว่าผลสาลี่ที่ไม่เคลือบ



รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดของผลสาลี่ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายฟิล์มจากสตาร์ช ข้าวโพดและไม่เคลือบผิวระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์