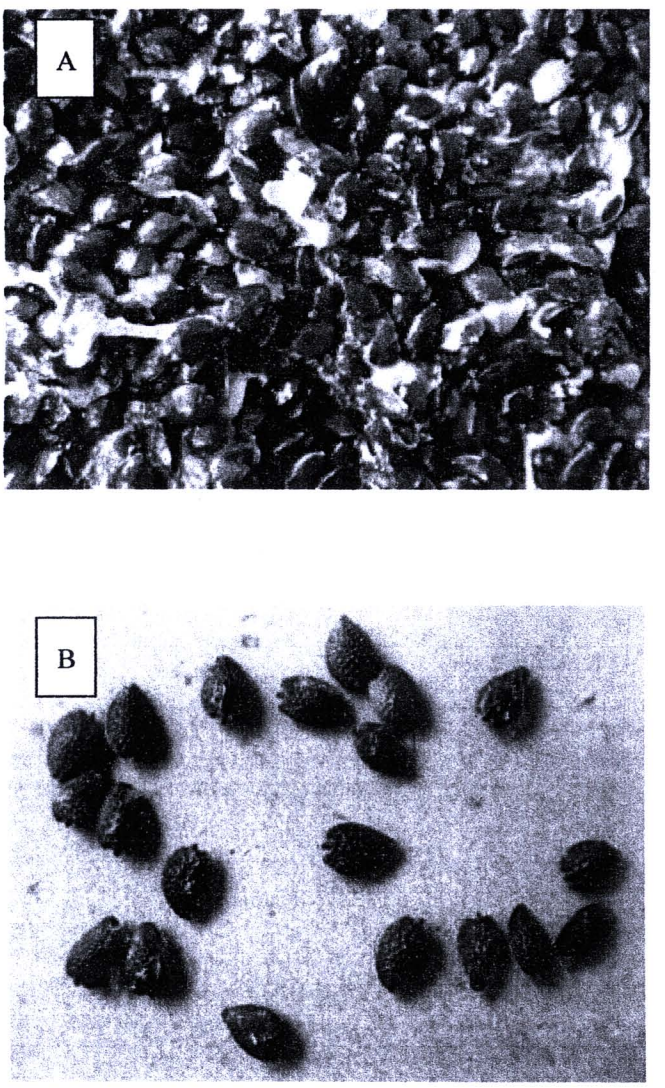
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมวัตถุดิบเมล็ดเสาวรส

ลักษณะเมล็ดเสาวรสที่เตรียมสำหรับการหีบน้ำมัน



รูป 3 เมล็ดเสาวรสก่อนทำให้แห้ง (A) และหลังทำให้แห้ง (B)

ในขั้นตอนการเตรียมพบว่าเมล็ดเสาวรสสดที่แยกออกมาจากผลเสาวรสมีสีดำ ผิวเรียบ มีเส้นใยหุ้มเมล็ดค่อนข้างมากดังรูป 3(A) จึงต้องมีการทำความสะอาดหลาย ๆ ครั้งจนเหลือเส้นใยน้อยที่สุดก่อนนำไปอบแห้ง เมล็ดเสาวรสที่ผ่านการทำให้แห้งจะมีลักษณะผิวขรุขระเล็กน้อย สีน้ำตาลถึงดำดังรูป 3(B)

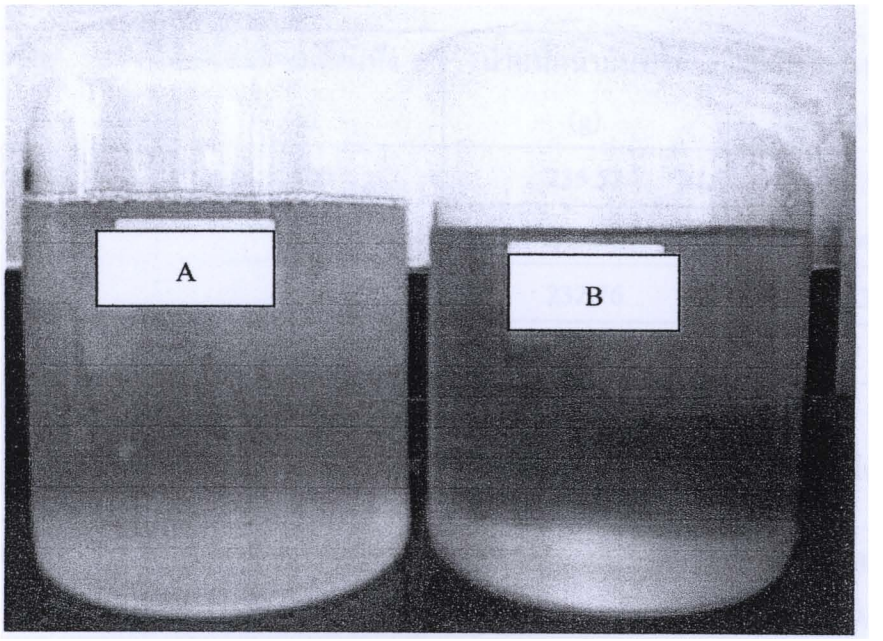
4.2 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสโดยใช้เครื่องหีบชนิดอัดเกลียวและชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก

จากการสกัดน้ำมันเมล็ดเสาวรสโดยใช้เครื่องหีบทั้งสองชนิด พบว่าน้ำมันที่ได้มีลักษณะแตกต่างกันดังแสดงในตาราง 5 และรูป 4 น้ำมันที่ได้จากเครื่องหีบชนิดอัดเกลียวมีลักษณะใส สีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นเฉพาะตัวของเสาวรสค่อนข้างแรง และมีกากของเมล็ดเสาวรสหลุดออกมากับน้ำมันที่หีบได้เป็นตะกอนสีน้ำตาลนอนก้นอยู่ในน้ำมัน ในขณะที่น้ำมันที่ได้จากเครื่องหีบชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิกมีลักษณะใส สีเหลืองอ่อนกว่า กลิ่นอ่อนกว่าน้ำมันจากเครื่องหีบชนิดอัดเกลียว และแทบไม่มีตะกอนของกากเมล็ดเสาวรส หลังจากได้น้ำมันเมล็ดเสาวรสแล้วได้ทำการฟอกสีและกลิ่นของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้ด้วยถ่านกัมมันต์ก่อนจะนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่สกัดได้มีสีและกลิ่นที่อาจเป็นปัจจัยรบกวนในการตั้งตำรับ รวมถึงมีตะกอนที่เป็นสิ่งเจือปน น้ำมันที่ผ่านการฟอกด้วยถ่านกัมมันต์มีสีและกลิ่นลดลง และมีความใสบริสุทธิ์มากขึ้นดังรูป 5

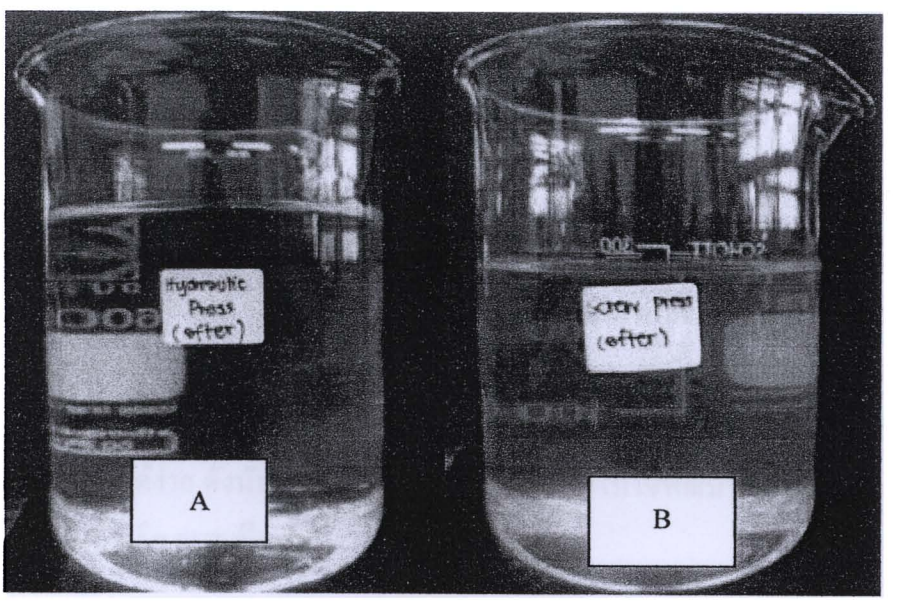
การสกัดน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสโดยใช้เครื่องมือทั้งสองชนิดให้ปริมาณน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่แตกต่างกัน โดยเครื่องหีบชนิดอัดเกลียวให้น้ำมันปริมาณมากกว่าเครื่องหีบชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก ดังเห็นได้จากค่าร้อยละของน้ำมันที่ได้ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 23.7 และ 15.3 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 6 และ 7 ตามลำดับ

ตาราง 5 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสที่สกัดได้จากเครื่องหีบชนิดอัดเกลียวและชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก

ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดเสาวรส	ชนิดเครื่องมือที่ใช้หีบน้ำมัน	
	ชนิดอัดเกลียว	ชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก
สี	ใส สีเหลืองอมส้ม	ใส สีเหลือง
กลิ่น	กลิ่นเมล็ดเสาวรสค่อนข้างแรง	กลิ่นเมล็ดเสาวรสอ่อนๆ
ตะกอน	มีตะกอนที่เป็นส่วนของเมล็ดเสาวรสค่อนข้างมาก	มีตะกอนที่เป็นส่วนของเมล็ดเสาวรสน้อยมาก



รูป 4 น้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดโดยเครื่องหีบชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก (A) และจากการสกัดโดยเครื่องหีบชนิดอัดเกลียว (B) หลังจากการทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วแยกมาเฉพาะส่วนน้ำมัน



รูป 5 น้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดโดยเครื่องหีบชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก (A) และจากการสกัดโดยเครื่องหีบชนิดอัดเกลียว (B) หลังจากการฟอกสีและกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์

ตาราง 6 ปริมาณน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดโดยเครื่องหีบชนิดอัดเกลียว

การหีบ	น้ำหนักเมล็ดแห้ง (g)	น้ำหนักน้ำมันที่ได้ (g)	ร้อยละของน้ำมันที่ได้ (%W/W)
ครั้งที่ 1	1,000	235.52	23.6
ครั้งที่ 2	1,000	243.80	24.4
ครั้งที่ 3	1,000	232.76	23.2
เฉลี่ย ± SD (n = 3)			23.7 ± 0.6

ตาราง 7 ปริมาณน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดโดยเครื่องหีบชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก

การหีบ	น้ำหนักเมล็ดแห้ง (g)	น้ำหนักน้ำมันที่ได้ (g)	ร้อยละของน้ำมันที่ได้ (%W/W)
ครั้งที่ 1	1,000	156.06	15.6
ครั้งที่ 2	1,000	151.47	15.1
ครั้งที่ 3	1,000	152.39	15.2
เฉลี่ย ± SD (n = 3)			15.3 ± 0.3

4.3 สมบัติเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดเสาวรส

ค่าคงที่ของสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการหีบโดยใช้เครื่องหีบชนิดอัดเกลียวและอัดด้วยแรงไฮโดรลิกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในตาราง 8 ค่าคงที่ต่าง ๆ ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพิสูจน์เอกลักษณ์ รวมไปถึงการควบคุมคุณภาพของน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสได้ เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่วิเคราะห์ได้มีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่น้ำมันเมล็ดเสาวรสประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่มาก การที่ค่าไอโอดีนสูงแสดงว่าน้ำมันเมล็ดเสาวรสมีแนวโน้มที่จะหืนได้ง่าย ดังนั้นในการเก็บรักษาหรือการนำไปใช้พัฒนาตำรับควรต้องเติมสารกันหืน เช่นวิตามินอี หรือ BHT เป็นต้น

ตาราง 8 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเมล็ดเสาวรส

สมบัติของน้ำมันเมล็ดเสาวรส	ชนิดเครื่องมือที่ใช้หีบน้ำมัน	
	ชนิดอัดเกลียว	ชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก
ค่าดัชนีหักเหแสง (Refractive index)	1.4730 ± 0.0005	1.4724 ±0.0007
ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	0.9200 ± 0.0016	0.9180 ± 0.0023
ค่าความหนืด (Viscosity) cP	92.2 ± 0.1	82.2 ± 0.1
ค่าของกรด (Acid value)	0.339 ± 0.006	0.0827 ± 0.0108
ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification value)	183.07 ± 4.38	190.63 ± 1.98
ค่าไอโอดีน (Iodine value)	131.22 ± 5.04	132.31 ± 0.90

*n = 3

ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของกรดไขมันพบว่ากรดไขมันที่พบในปริมาณมากที่สุดในน้ำมันที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธีคือ กรดลิโนเลอิก รองลงมาคือ กรดโอเลอิก กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันชนิดอื่น ๆ ดังค่าในตาราง 9 ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้มีประโยชน์ในการช่วยบำรุงผิวหนังโดยทำหน้าที่เป็นสารเคลือบผิว ช่วยรักษาความชุ่มชื้นและเพิ่มความยืดหยุ่นของผิวหนัง โดยกรดไขมันที่พบในสัดส่วนมากที่สุดในน้ำมันที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธี คือ กรดลิโนเลอิกเป็นกรดไขมันจำเป็นหรือเรียกว่า วิตามินเอฟ เป็นองค์ประกอบสำคัญของเซราไมด์ในผิวหนัง มีประโยชน์ในการบำรุงผิว โดยเฉพาะผิวที่แห้งมากจะฟื้นฟูได้ดี ส่วนกรดไขมันชนิดอื่น ๆ ทำหน้าที่เป็นสารเคลือบผิว ทำให้เกิดฟิล์มบางคลุมผิว จึงช่วยรักษาความชุ่มชื้น เพิ่มความยืดหยุ่นของผิวหนัง ช่วยป้องกันการระเหยของน้ำออกจากผิวหนัง [(2)] จากการที่น้ำมันจากเมล็ดเสาวรสอุดมไปด้วยกรดไขมันที่มีประโยชน์ในบำรุงผิวและชะลอริ้วรอยเหล่านี้

แสดงให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ดเสาวรสมีศักยภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อการชะลอริ้วรอยได้

ตาราง 9 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเสาวรส

Fatty acids	ร้อยละของกรดไขมัน	
	ชนิดอัดเกลียว	ชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก
Myristic acid	0.05	0.05
Palmitic acid	9.84	10.06
Palmitoleic acid	0.13	0.14
Stearic acid	1.94	2.02
Oleic acid	12.67	12.76
Linoleic acid	74.52	74.17
Linolenic acid	0.46	0.42
Arachidic acid	0.10	0.10
Behenic acid	0.05	0.05
Lignoceric acid	0.05	0.04
อื่นๆ	2.10	2.20

4.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันเมล็ดเสาวรส

วิตามินอีและแคโรทีนอยด์มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการทำลายผิวจากแสงแดด ให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนังและลดริ้วรอยเหี่ยวย่น[33] การวิเคราะห์โดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรีพบว่าน้ำมันที่ได้จากเครื่องชนิดอัดเกลียวมีปริมาณวิตามินอีและแคโรทีนอยด์เท่ากับ 645.73 mg/100 g และ 1.602 ppm ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าในน้ำมันที่ได้จากเครื่องชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิกที่มีค่า 582.42 mg/100 g และ 0.279 ppm ตามลำดับ ดังผลในตารางที่ 10 และจากการที่น้ำมันที่สกัดได้จากเครื่องหีบชนิดอัดเกลียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารมีสีในปริมาณที่มากกว่าอาจเป็นเหตุให้สีของน้ำมันเหลืองเข้มกว่าน้ำมันที่สกัดจากเครื่องชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก

ตาราง 10 ปริมาณวิตามินอีและแคโรทีนอยด์ในน้ำมันเมล็ดเสาวรส

ปริมาณ	ชนิดเครื่องมือที่ใช้หีบน้ำมัน	
	ชนิดอัดเกลียว	ชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก
วิตามินอี (mg/100g)	645.73 ± 83.39	582.42 ± 8.67
แคโรทีนอยด์ (ppm)	1.602 ± 0.012	0.279 ± 0.004

จากการที่น้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดโดยใช้เครื่องมือชนิดอัดเกลียวมีปริมาณวิตามินอีและแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันจากเครื่องชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก ทำให้สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าน้ำมันจากเครื่องชนิดอัดเกลียวน่าจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า นอกจากนี้จากการใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดสีและกลิ่นน้ำมันที่สกัดทั้ง 2 วิธี อาจมีผลดูดซับปริมาณวิตามินอีได้ อย่างไรก็ตามต้องทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไปเพื่อยืนยันสมมติฐาน

4.5 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

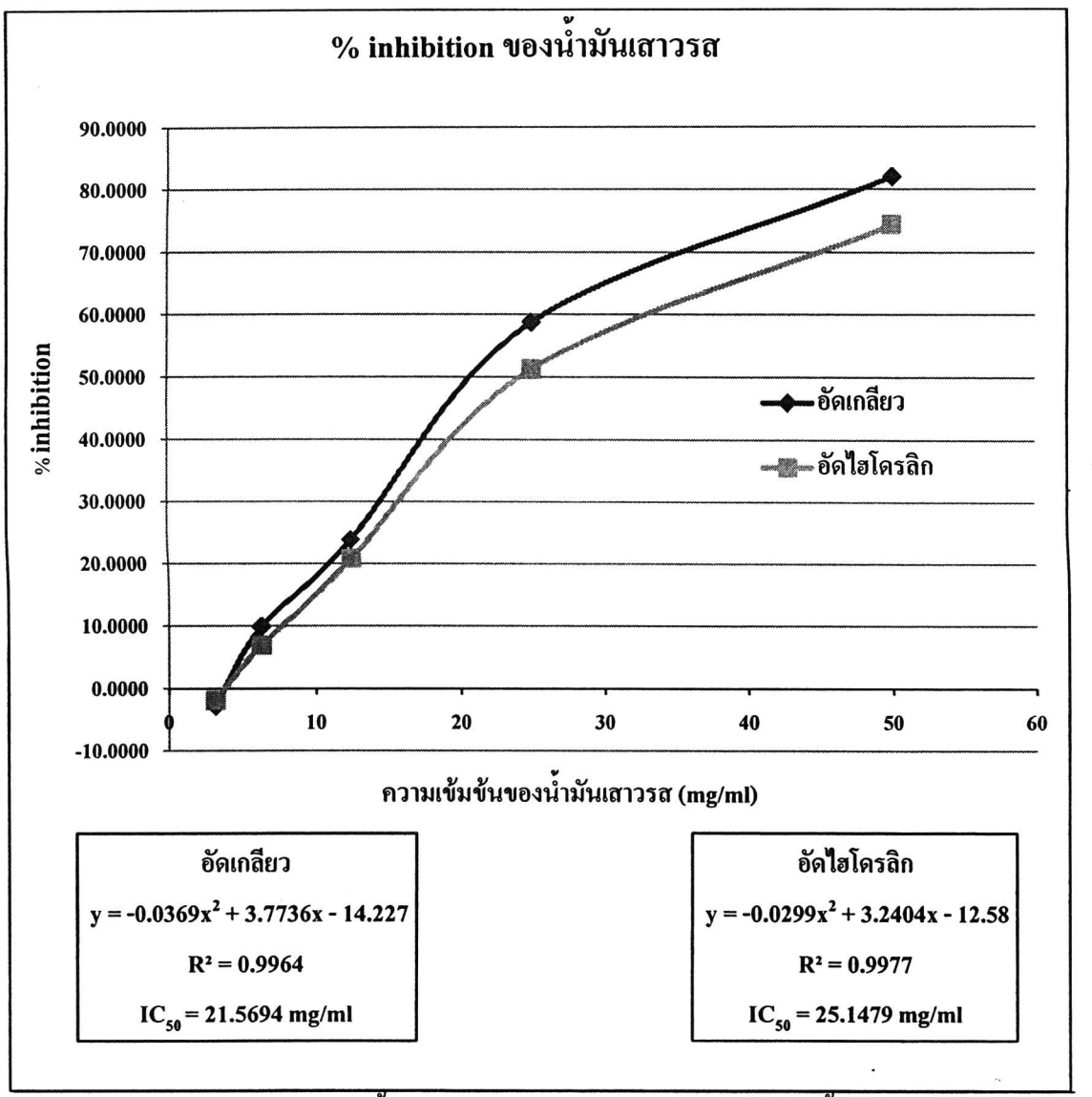
การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดเสาวรส ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธี DPPH (DPPH radical scavenging method)[23,24,25] และ FRAP (Ferric reducing antioxidant power method)[16,18,27] เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ขั้นตอนไม่ซับซ้อน ใช้เวลาไม่มาก และมีงานวิจัยที่ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมากมายที่ได้เลือกใช้สองวิธีข้างต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยใช้เครื่องหีบชนิดอัดเกลียวและอัดด้วยแรงไฮโดรลิก งานวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสองวิธีเพื่อยืนยันผลการทดลอง

4.5.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

การทดลองหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ได้ทำการหาค่า IC_{50} ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มข้นที่ใช้ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ 50% ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ยิ่งค่า IC_{50} น้อยแสดงว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดี การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดเสาวรสโดยวิธี DPPH ให้ผลดังรูปที่ 6 โดยพบว่าค่า IC_{50} ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องหีบชนิดอัดเกลียวมีค่าเท่ากับ 21.56±0.13 mg/mL ในขณะที่ค่า IC_{50} ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องหีบชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิกมีค่า เท่ากับ 25.14±0.05 mg/mL จากการที่ค่า IC_{50} ของน้ำมันที่สกัดได้จากเครื่องหีบชนิดอัดเกลียวมีค่าน้อยกว่าน้ำมันที่ได้จากเครื่องหีบชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก แสดงให้

เห็นว่าน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องชนิดอัดเกลียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดโดยใช้เครื่องชนิดอัดไฮโดรลิก

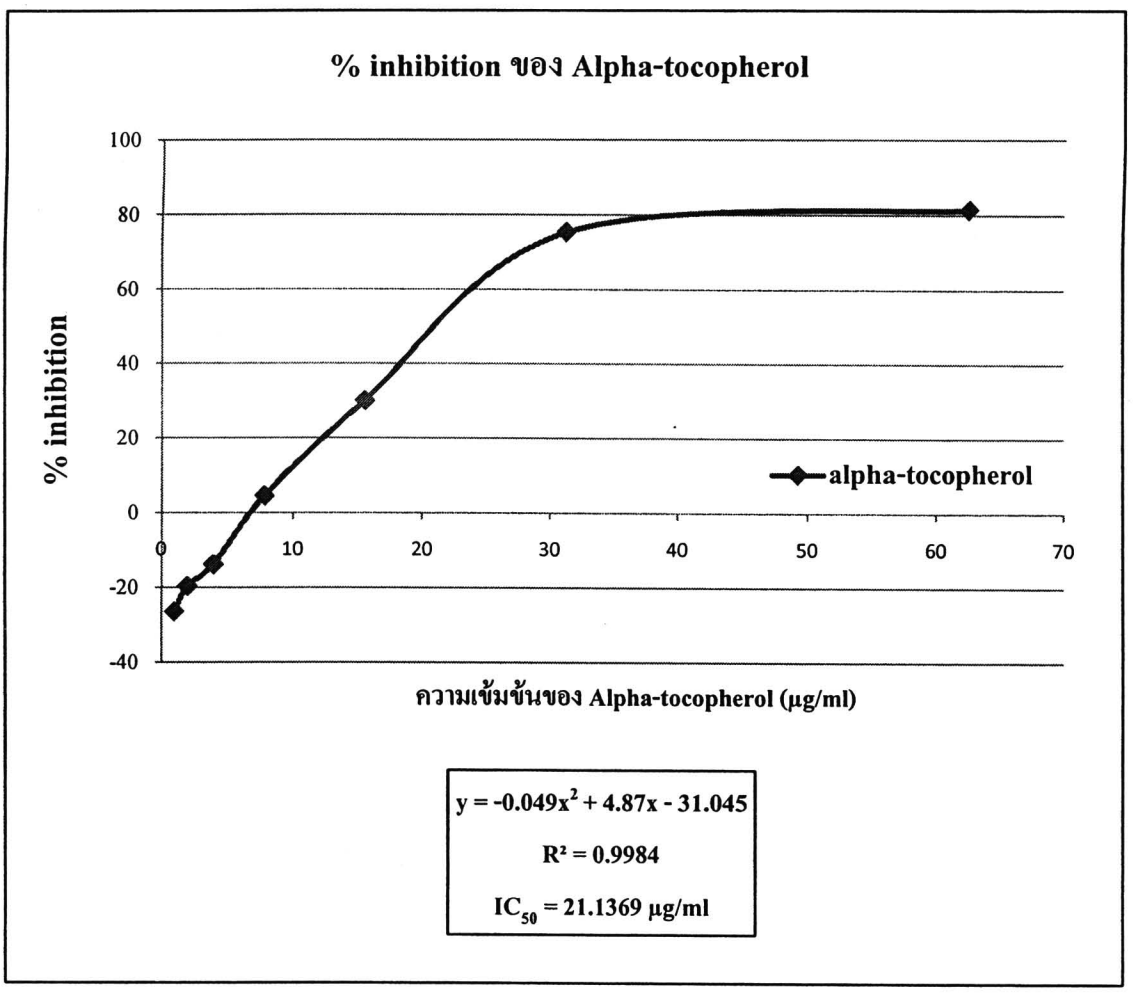
เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดเสาวรสทั้งสองชนิดกับสารมาตรฐาน คือ Alpha-tocopherol พบว่าน้ำมันเมล็ดเสาวรสมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่า Alpha-tocopherol มากประมาณ 1000 เท่า โดยค่า IC_{50} ของ Alpha-tocopherol มีค่า 21.13±0.08 µg/mL ดังแสดงในรูป 7 ในขณะที่ค่า IC_{50} ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องหีบชนิดอัดเกลียวและอัดด้วยแรงไฮโดรลิกมีค่าเท่ากับ 21.56±0.13 mg/mL และ 25.14±0.05 mg/mL ตามลำดับดังในรูป 8



รูป 6 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% inhibition) ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่สกัดได้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยวิธี DPPH

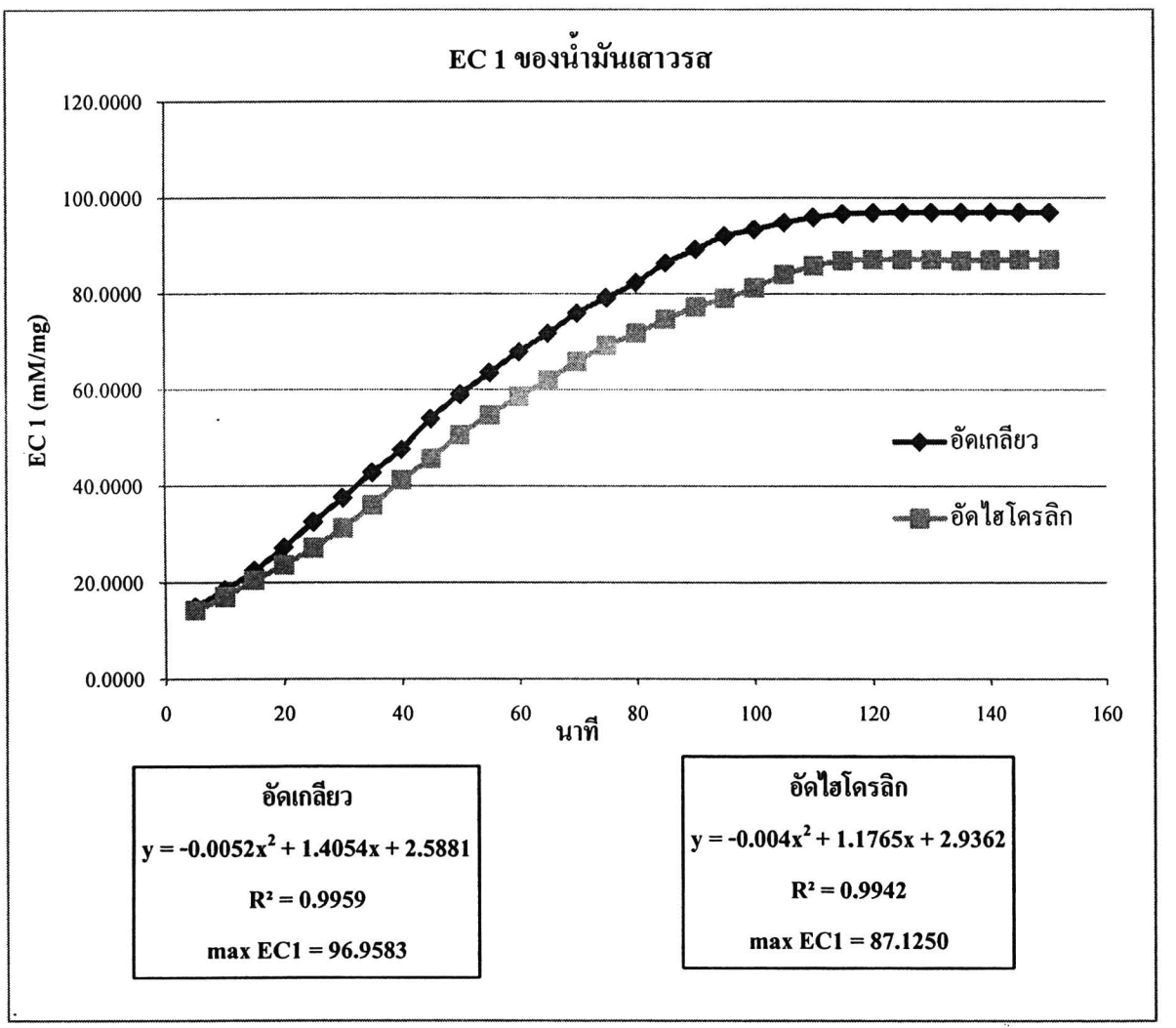
4.5.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดเสาวรสโดยวิธี FRAP ได้ทำการหาค่า EC1 ซึ่งเป็นค่าความเข้มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ ferric-TPTZ ได้เทียบเท่ากับ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1 mM ค่า EC1 เป็นค่าที่บ่งชี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ยิ่งมีค่า EC1 มากแสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี จากการทดลองพบว่าการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดเสาวรสโดยวิธี FRAP ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับวิธี DPPH คือ น้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องชนิดอัดเกลียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการสกัดโดยใช้เครื่องชนิดอัดไฮโดรลิก โดยมีค่า EC1 เท่ากับ 96.96±0.04 mM/mg และ 87.13±0.14 mM/mg ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 8



รูป 7 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% inhibition) ของ Alpha-tocopherol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยวิธี DPPH

จากผลการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่สกัดได้จากเครื่องมือทั้งสองชนิดโดยใช้วิธี DPPH และ FRAP สรุปได้ว่าน้ำมันที่ได้จากการหีบด้วยเครื่องชนิดอัดเกลียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าน้ำมันที่ได้จากการหีบด้วยเครื่องชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก ซึ่งสามารถอธิบายได้จากองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระคือวิตามินอีและแคโรทีนอยด์ [29,48,49,50,51,52] โดยจากการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอีและแคโรทีนอยด์ในน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่สกัดได้พบว่าน้ำมันที่ได้จากการหีบโดยใช้เครื่องชนิดอัดเกลียวมีปริมาณวิตามินอีและแคโรทีนอยด์มากกว่าในน้ำมันที่ได้เครื่องชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก จึงทำให้น้ำมันที่ได้จากการหีบโดยใช้เครื่องชนิดอัดเกลียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าดังที่ปรากฏในผลการทดลอง



รูป 8 ความสามารถในการรีดิวซ์ ferric-TPTZ ได้เทียบเท่ากับ $FeSO_4.7H_2O$ 1 mM (EC1) ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่สกัดได้

จากข้อมูลสมบัติของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ได้จากการหีบโดยใช้เครื่องชนิดอัดเกลียวและอัดด้วยแรงไฮโดรลิกมีสมบัติทางกายภาพและเคมี รวมถึงปริมาณกรดไขมันที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำมันที่สกัดได้พบว่าการหีบโดยใช้เครื่องชนิดอัดเกลียวให้ร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้มากกว่าเครื่องชนิดอัดไฮโดรลิก อีกทั้งมีปริมาณวิตามินอีและแคโรทีนอยด์มากกว่าจึงทำให้น้ำมันที่ได้จากการหีบโดยใช้เครื่องชนิดอัดเกลียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าน้ำมันที่ได้จากการอัดด้วยแรงไฮโดรลิก จึงกล่าวได้ว่าการหีบน้ำมันโดยการใช้เครื่องชนิดอัดเกลียวเป็นวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องชนิดอัดด้วยแรงไฮโดรลิก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้น้ำมันที่สกัดโดยใช้เครื่องหีบชนิดอัดเกลียวนำมาพัฒนาตำรับโลชันชะลอริ้วรอยจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสต่อไป

4.6 การหาค่า HLB ของน้ำมันเมล็ดเสาวรส

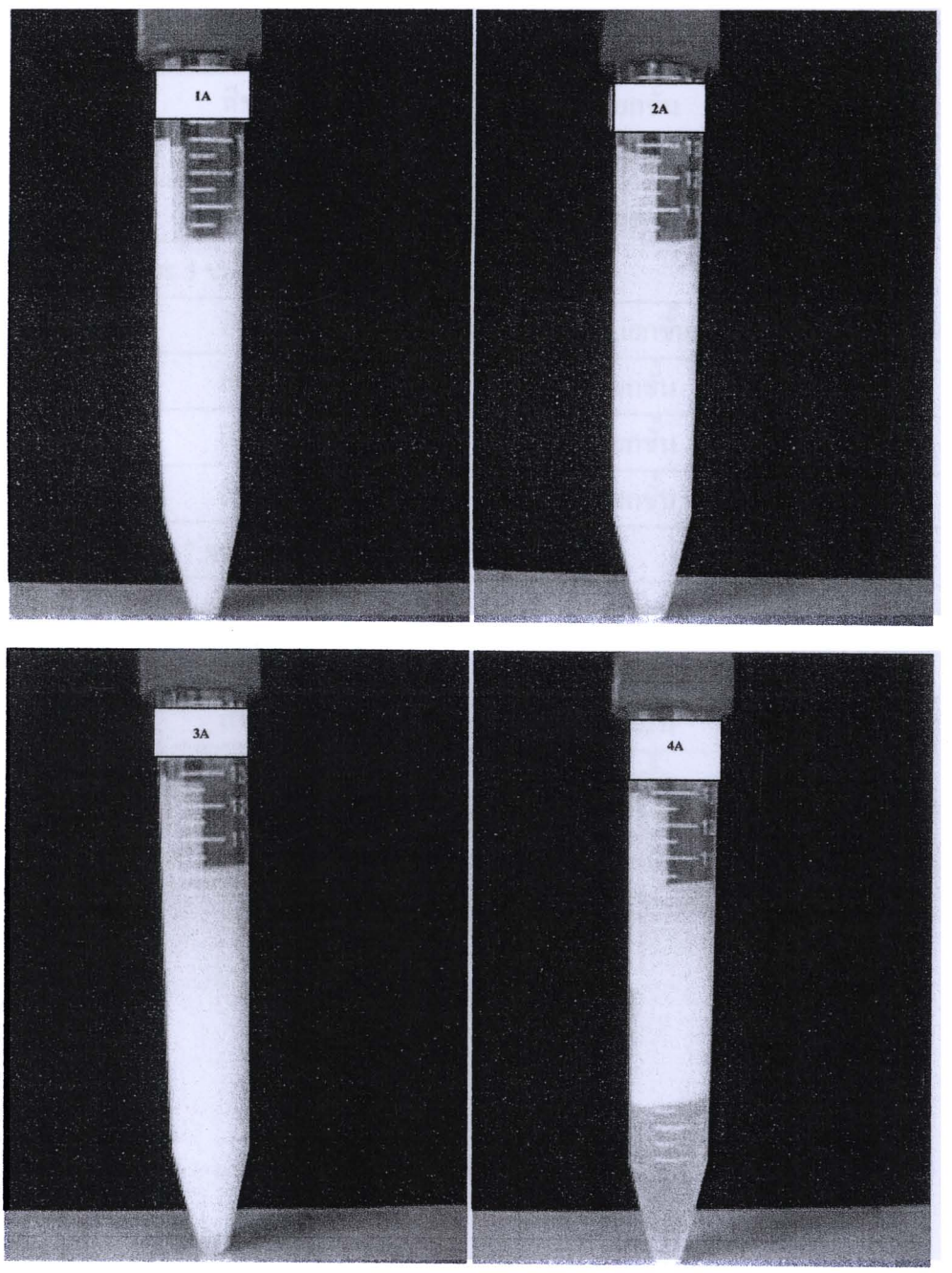
การหาค่า HLB ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาค่า HLB ของน้ำมันสำหรับการเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เริ่มต้นจากการหาค่า HLB ของ mineral oil เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่า HLB ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสต่อไป การเตรียมอิมัลชันของ mineral oil กับน้ำโดยใช้ตัวทำอิมัลชันผสมที่มี HLB ต่าง ๆ กันได้ผลดังตาราง 11 และรูป 9 พบว่าตำรับที่เตรียมด้วยตัวทำอิมัลชันผสมที่มี HLB เท่ากับ 10.0 เป็นตำรับเดียวที่มีความคงตัวดี ไม่แยกชั้นหลังปั่นเหวี่ยง ดังนั้นค่า HLB ของ mineral oil ที่ใช้ในการศึกษานี้ควรจะมีค่าประมาณ 10.0 ค่าที่ได้นี้จะนำไปใช้หาค่า HLB ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสต่อไป

ตาราง 11 ลักษณะของอิมัลชันของ mineral oil กับน้ำที่เตรียมด้วยตัวทำอิมัลชันที่มีค่า HLB ต่าง ๆ

HLB ของตัวทำอิมัลชัน	ลักษณะของอิมัลชัน	การแยกชั้นหลังปั่นเหวี่ยง	การนำไฟฟ้า
10.0	สีขาว เนื้อเนียน	ไม่แยกชั้น	นำไฟฟ้า
12.0	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้นเล็กน้อย	-
14.0	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
16.0	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-

การทดลองหาค่า HLB ของน้ำมันจากเมล็ดเสาวรสให้ผลดังตาราง 12 และรูป 10 - 12 พบว่ามีอิมัลชันของน้ำมันเมล็ดเสาวรส mineral oil และน้ำเพียง 2 ตำรับที่มีความคงตัวดี ไม่แยกชั้นหลังการปั่นเหวี่ยง นั่นคือตำรับที่มีตัวทำอิมัลชันผสมในความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 7 ที่มีค่า HLB เท่ากับ 10 และได้อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำตามที่ต้องการ แสดงว่า HLB เท่ากับ 10.0 เป็นค่า HLB ที่

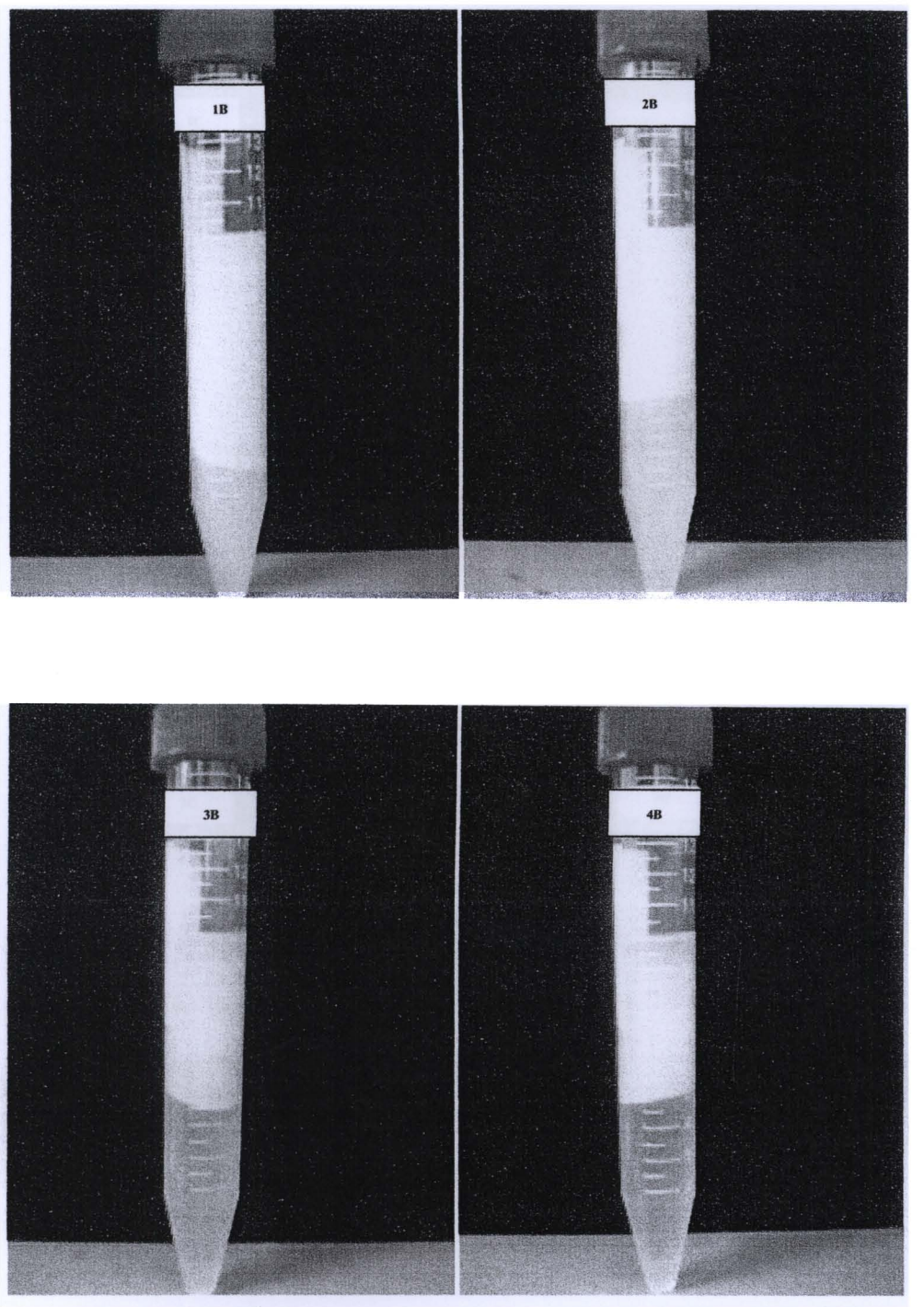
พอเหมาะสำหรับน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันเมล็ดเสาวรสและ mineral oil และจากการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบค่า HLB ของ mineral oil ว่ามีค่าเท่ากับ 10.0 จึงสามารถคำนวณหาค่า HLB ของน้ำมันเมล็ดเสาวรสได้ว่ามีค่าเท่ากับ 10.0 โดยค่า HLB มีความสำคัญต่อการเลือกใช้ตัวทำอิมัลชันให้มีชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมโลชันจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสต่อไป



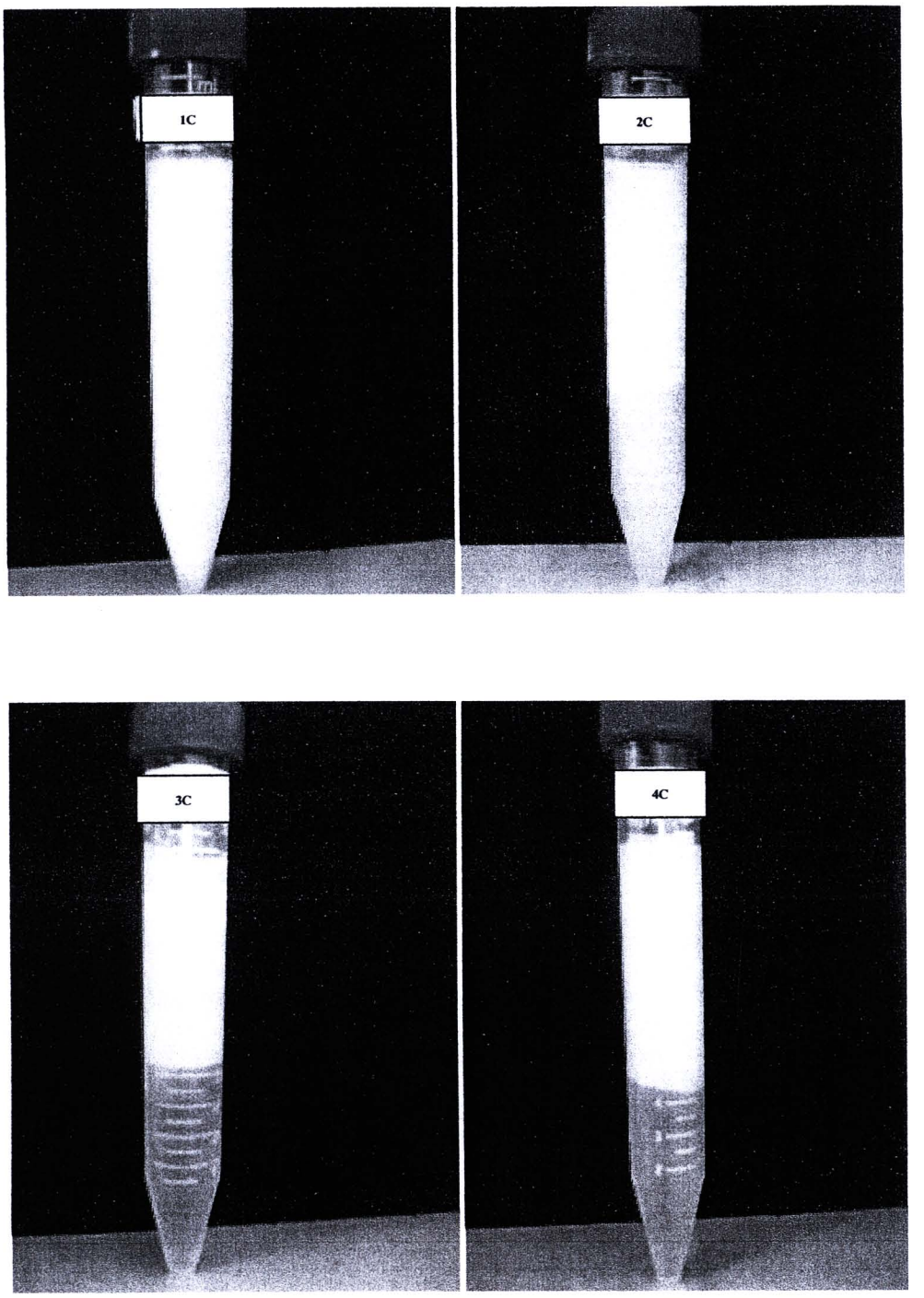
รูป 9 อิมัลชันของ mineral oil กับน้ำที่เตรียมด้วยตัวทำอิมัลชันผสมที่มีค่า HLB เท่ากับ 10 (1A), 12 (2A), 14 (3A) และ 16 (4A)

ตาราง 12 ลักษณะของอิมัลชันของน้ำมันเมล็ดเสาวรสและ mineral oil กับน้ำที่เตรียมด้วยตัวทำอิมัลชันที่ความเข้มข้นต่างๆ และมีค่า HLB ต่าง ๆ

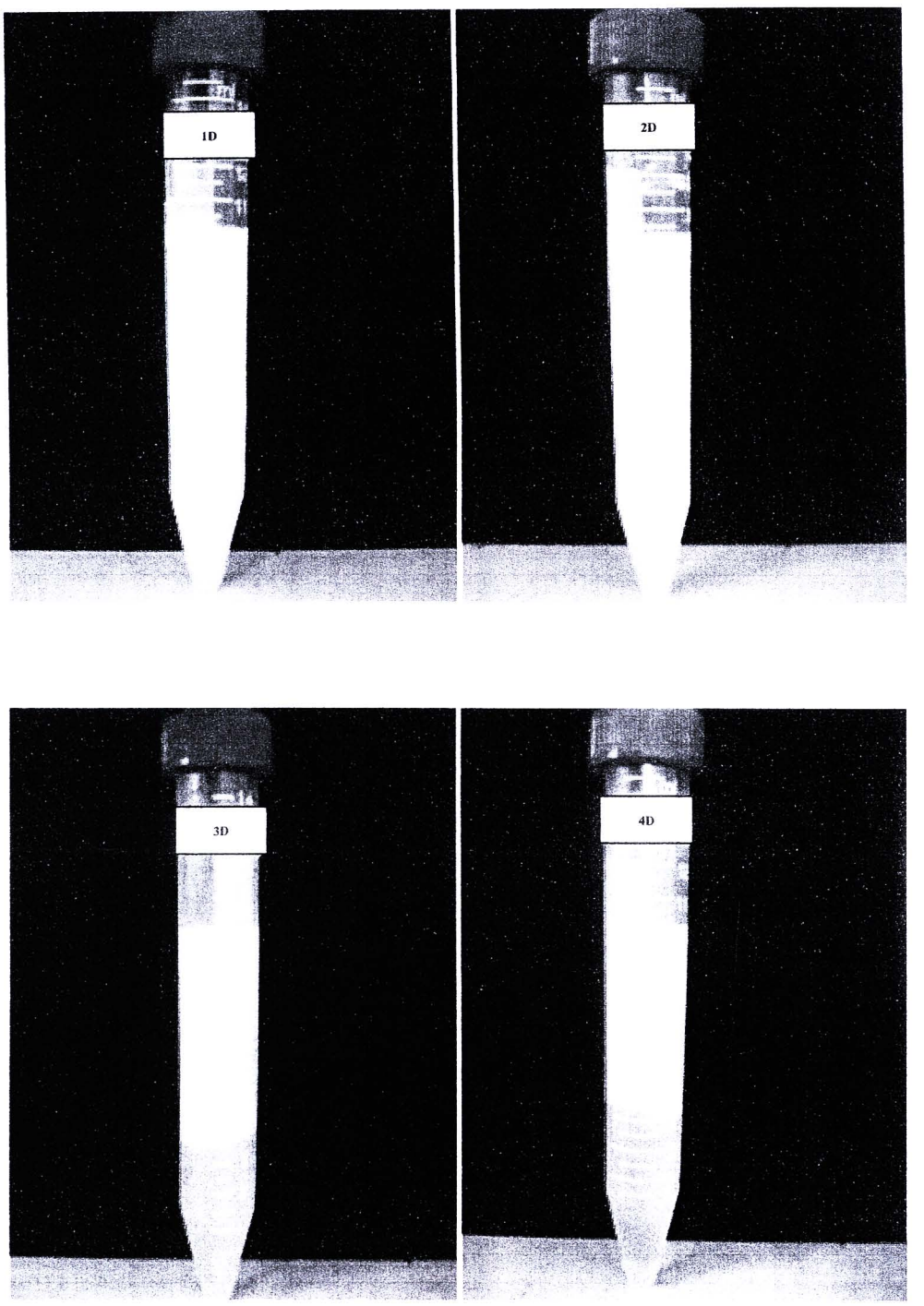
HLB	ลักษณะของอิมัลชัน	การแยกชั้นหลังการปั่นเหวี่ยง	การนำไฟฟ้า
ตัวทำอิมัลชัน ร้อยละ 3 ของตำรับ			
10	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
12	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
14	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
16	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
ตัวทำอิมัลชัน ร้อยละ 5 ของตำรับ			
10	สีขาว เนื้อเนียน	ไม่แยกชั้น	นำไฟฟ้า
12	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
14	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
16	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
ตัวทำอิมัลชัน ร้อยละ 7 ของตำรับ			
10	สีขาว เนื้อเนียน	ไม่แยกชั้น	นำไฟฟ้า
12	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
14	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-
16	สีขาว เนื้อเนียน	แยกชั้น	-



รูป 10 อิมัลชันของน้ำมันเมล็ดเสาวรสและ mineral oil กับน้ำที่เตรียมด้วยตัวทำอิมัลชันผสมที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ของตำรับและมีค่า HLBเท่ากับ 10 (1B), 12 (2B), 14 (3B) และ 16 (4B)



รูป 11 อิมัลชันของน้ำมันเมล็ดเสาวรสและ mineral oil กับน้ำที่เตรียมด้วยตัวทำอิมัลชันผสมที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ของตำรับและมีค่า HLBเท่ากับ 10 (1C), 12 (2C), 14 (3C) และ 16 (4C)



รูป 12 อิมัลชันของน้ำมันเมล็ดเสาวรสและ mineral oil กับน้ำที่เตรียมด้วยตัวทำอิมัลชันผสมที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 ของตำรับและมีค่า HLBเท่ากับ 10 (1D), 12 (2D), 14 (3D) และ 16 (4D)

4.7 การพัฒนาสูตรตำรับโลชันบำรุงผิวชะลอริ้วรอยจากน้ำมันเมล็ดเสาวรส

4.7.1 เตรียมตำรับโลชันและพัฒนาสูตรตำรับโลชัน

จากการพัฒนาตำรับโลชันตามสูตรดังตารางที่ 3 จะได้โลชันที่มีน้ำมันเมล็ดเสาวรสเป็นส่วนประกอบปริมาณร้อยละ 10 ของตำรับ จำนวน 5 ตำรับ ในแต่ละตำรับผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาสูตรย่อยโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของส่วนประกอบจนได้ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีคุณลักษณะดีที่สุดของแต่ละสูตรตำรับ โลชันที่ได้ทุกตำรับมีลักษณะเป็นไปตามที่ต้องการคือเป็นโลชันชนิดน้ำมันในน้ำ มีสีขาว เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีฟอง ความหนืดเหมาะสมที่สามารถแขวนลอยเม็ดกลมเล็กจากสารสกัดขมิ้นชันได้ จากผลการทดลองพบว่าโลชันที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 6.83 ถึง 7.90 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์สำหรับผิวหนังคือ 5.0 ถึง 8.0 ซึ่งครอบคลุมช่วงความเป็นกรด-ด่างของผิวหนังคือ 5.5 ถึง 6.5 [23, 53] ส่วนความรู้สึกหลังใช้พบว่าโลชันทุกสูตรแล้วแล้วให้ความรู้สึกชุ่มชื้น ไม่มันจนเกินไป ไม่เหนอะหนะ ไม่เกิดเป็นปื้นขาว ดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 ลักษณะทางกายภาพและความรู้สึกหลังใช้โลชันตำรับต่างๆหลังเตรียมเสร็จทันที

หัวข้อที่ใช้ประเมิน	สูตร A	สูตร B	สูตร C	สูตร D	สูตร E
ลักษณะทางกายภาพ					
ความเป็นเนื้อเดียว	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน
สี	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว
ความหนืด	+++	+++	+++	+++	++++
pH	6.90	7.90	6.83	5.87	7.18
การแยกชั้นหลังการปั่นเหวี่ยง	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
ความรู้สึกหลังใช้					
ความเหนอะหนะ	+	+	+	+	+
การแผ่กระจายบนผิว	++++	++++	++++	++++	++++
ความมัน	+	+	+	+	+
การเกิดปื้นขาว	+	++	+	+	+

หมายเหตุ สัญลักษณ์การประเมิน + หมายถึง น้อยมาก
++ หมายถึง น้อย
+++ หมายถึง ปานกลาง
++++ หมายถึง มาก

4.7.2 ทดสอบความคงตัวที่สภาวะต่าง ๆ ของตำรับ

หลังจากการเตรียมโลชันทั้ง 5 สูตรและประเมินลักษณะทางกายภาพและความรู้สึกหลังใช้ของตำรับโลชันแล้วจึงนำตำรับทั้งหมดไปทดสอบความคงตัวทั้งในสภาวะเร่งและระยะยาวเป็นเวลา 3 เดือน เพื่อเลือกตำรับที่ดีที่สุดไปศึกษาต่อไป ผลการทดสอบความคงสภาพแสดงในตาราง 14 และรูป 14-18 โดยก่อนการทดสอบความคงตัวผู้วิจัยได้ทำการการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับให้ใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างของผิวหนังมากที่สุดคือ 5.5 ถึง 6.5 ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.03 ถึง 6.56 ดังแสดงในตาราง 14

จากตาราง 14 เมื่อพิจารณาความเป็นเนื้อเดียวและสีของตำรับหลังผ่านการทดสอบความคงสภาพพบว่าโลชันตำรับ B, D และ E มีความคงตัวทางกายภาพ โดยที่โลชันที่ผ่านการทดสอบความคงตัวในทุกสภาวะยังคงเป็นเนื้อเดียวกัน และมีสีคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่โลชันตำรับ A มีสีเปลี่ยนแปลงเป็นสีขาวออกเหลืองเมื่อผ่านการทดสอบที่สภาวะเร่ง และที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 3 เดือน แม้ว่าจะไม่สามารถสังเกตเห็นถึงการแยกชั้นของตำรับ A ได้อย่างชัดเจน แต่สามารถสันนิษฐานได้ว่าการที่สีของตำรับเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอาจเนื่องมาจากการแยกตัวของวัฏภาคน้ำมันซึ่งบ่งชี้ถึงความไม่คงสภาพของตำรับ ส่วนตำรับ C พบว่าการทดสอบที่สภาวะเร่ง และที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 3 เดือน โลชันมีการแยกชั้นของวัฏภาคน้ำมันออกมาอยู่ที่ผิวของตำรับอย่างชัดเจน และตำรับเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 19 แสดงถึงความไม่คงสภาพของตำรับเมื่อพิจารณาถึงค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับนั้น การทดสอบความคงสภาพของทุกตำรับให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือที่สภาวะอุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 4°C ค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกตำรับมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเพียงเล็กน้อยโดยมีค่าตั้งแต่ 5.90 ถึง 6.49 ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์สำหรับผิวหนังคือ 5.0 ถึง 8.0 ในขณะที่อุณหภูมิ 45°C และที่สภาวะเร่งค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกตำรับมีแนวโน้มลดลงอยู่ในช่วง 4.63 ถึง 5.94 ซึ่งค่อนไปทางกรด และมีค่าบางช่วงที่ไม่เหมาะสำหรับการเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับผิวหนังคือค่าตั้งแต่ 5.0 ลงไป การที่ตำรับที่สภาวะดังกล่าวมีค่าความเป็นกรดอาจสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเมล็ดเสาวรสสลายตัวกลายเป็นกรดไขมันอิสระ หรือจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันเกิดเป็นเพอร์ออกไซด์ [23,54] จากรายงานการวิจัยของ Assuncao[55] พบว่า

น้ำมันเมล็ดเสาวรสเกิดการออกซิเดชันได้เร็วทำให้ได้ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ อาจเนื่องจากมีกรดลิโนเลอิกเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่มาก นอกจากนี้ยังเกิดการสลายตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของไขมันได้เป็นกรดอีกด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันเมล็ดเสาวรสจะเริ่มเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดหลังการเก็บประมาณ 60 วัน ดังนั้นในการทดสอบความคงตัวของโลชันจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสในสภาวะที่มีความร้อนเป็นปัจจัยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันและทดสอบเป็นเวลานาน 90 วัน จึงทำให้ตำรับมีค่าความเป็นกรดที่สูงขึ้นได้

เมื่อนำโลชันทุกตำรับที่เตรียมได้ไปวัดค่าความหนืดก่อนทดสอบความคงสภาพ และหลังทดสอบความคงสภาพเป็นเวลา 1 เดือน, 2 เดือน และ 3 เดือนตามลำดับ ได้ผลดังตาราง 15 และรูป 20-24 นอกจากนี้ในการวัดความหนืดทำให้ได้ข้อมูลที่นำมาสร้าง rheogram ดังรูป 13 ซึ่งทำให้ทราบพฤติกรรมการไหลของโลชันได้อีกด้วย

Rheogram ของโลชันดังรูป 13 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้น (shear stress) และ อัตราเฉือน (shear rate) ของตำรับต่างๆ จาก rheogram ทำให้ทราบว่าโลชันทุกตำรับมีพฤติกรรมการไหลแบบ non-newtonian หรือ shear thining นั่นคือความหนืดของตำรับมีค่าไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับอัตราเฉือน และเป็นการไหลแบบ non-newtonian ชนิด pseudoplastic คือเมื่อให้แรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ของเหลวที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนี้จะเกิดการไหล แต่อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่ใช้ ในกรณีนี้เมื่อให้แรงกระทำ มากขึ้น ตำรับโลชันจะมีความหนืดลดลง นอกจากนี้จาก rheogram ยังพบพฤติกรรมการไหลที่สำคัญอีกประการ คือมี hysteresis loop คือเมื่อลดแรงกระทำลง ความหนืดของตำรับจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนกลับสู่ค่าเดิม แต่อัตราการเพิ่มขึ้นนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆไม่เท่ากับอัตราลดลงเมื่อถูกแรงกระทำในตอนแรก ดังนั้นจะเห็นเส้นกราฟขาลงจะอยู่เหนือเส้นกราฟขาขึ้นโดยไม่ทับกัน สาเหตุเนื่องมาจากโครงสร้างที่เปลี่ยนรูปไปขณะถูกแรงกระทำไม่สามารถกลับคืนได้ทันทีเมื่อมีแรงกระทำน้อยลง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Thixotropy ซึ่งเป็นลักษณะที่พึงปรารถนาในเภสัชภัณฑ์รูปแบบอิมัลชัน [56,57]

ตาราง 14 ลักษณะทางกายภาพของโลชันตำรับต่างๆหลังทดสอบความคงตัวที่สภาวะต่าง ๆ

หัวข้อที่ใช้ประเมิน	ก่อนทดสอบความคงตัว	สภาวะที่ใช้ทดสอบความคงตัว			
		อุณหภูมิห้อง	4°C	40°C	สภาวะเร่ง
ความเป็นเนื้อเดียว					
ตำรับ A	เป็นเนื้อเดียวกัน	NC	NC	NC	NC
ตำรับ B	เป็นเนื้อเดียวกัน	NC	NC	NC	NC
ตำรับ C	เป็นเนื้อเดียวกัน	NC	NC	แยกชั้น	แยกชั้น
ตำรับ D	เป็นเนื้อเดียวกัน	NC	NC	NC	NC
ตำรับ E	เป็นเนื้อเดียวกัน	NC	NC	NC	NC
สี					
ตำรับ A	ขาว	NC	NC	ขาวออกเหลือง	ขาวออกเหลือง
ตำรับ B	ขาว	NC	NC	NC	NC
ตำรับ C	ขาว	NC	NC	สีเหลือง	สีเหลือง
ตำรับ D	ขาว	NC	NC	NC	NC
ตำรับ E	ขาว	NC	NC	NC	NC
pH					
ตำรับ A	6.15	6.09	6.17	4.63	5.56
ตำรับ B	6.09	6.07	6.13	4.94	5.46
ตำรับ C	6.56	6.45	6.49	-	-
ตำรับ D	6.03	5.90	5.98	5.00	5.67
ตำรับ E	6.35	6.30	6.34	5.06	5.94

หมายเหตุ สัญลักษณ์การประเมิน - หมายถึง ไม่ได้ทำการประเมิน

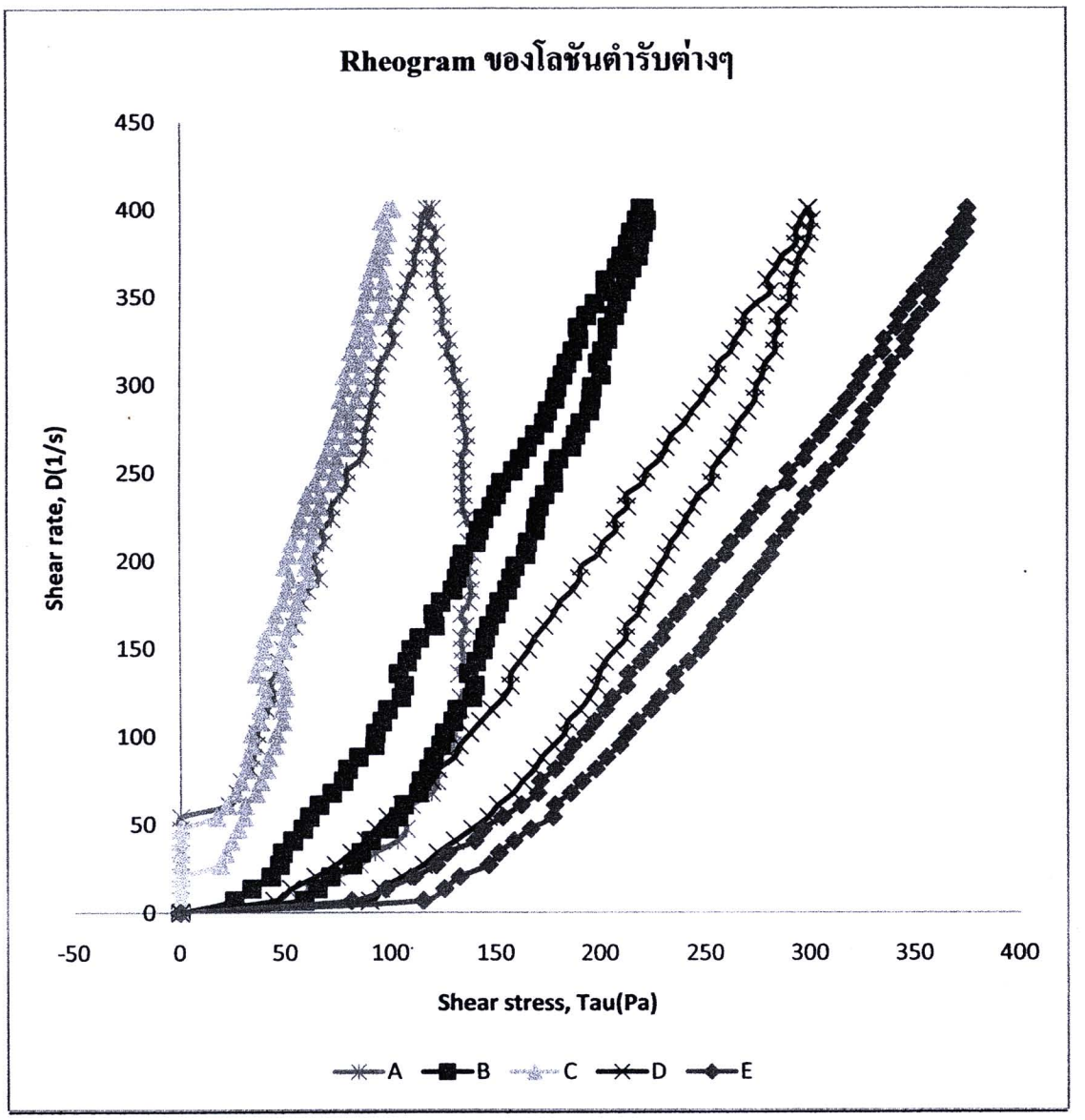
\+ หมายถึง น้อยมาก

++ หมายถึง น้อย

+++ หมายถึง ปานกลาง

++++ หมายถึง มาก

NC หมายถึง ไม่เปลี่ยนแปลง

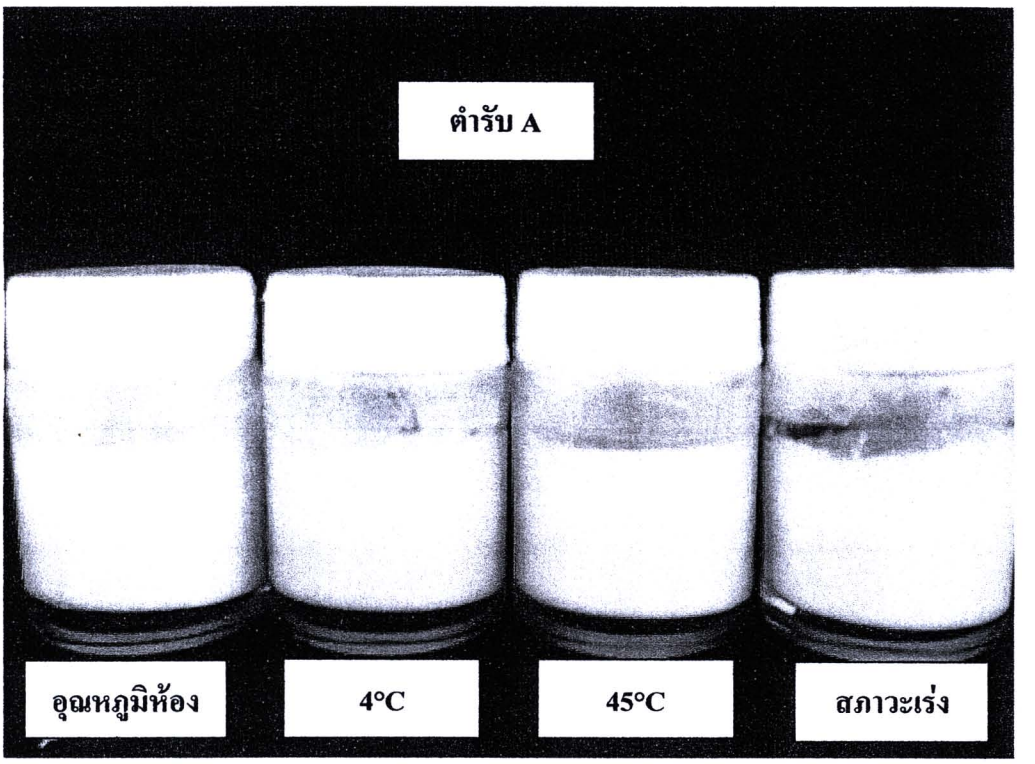


รูป 13 ลักษณะ rheogram ของโลชันตำรับ A-E ก่อนการทดสอบความคงตัว

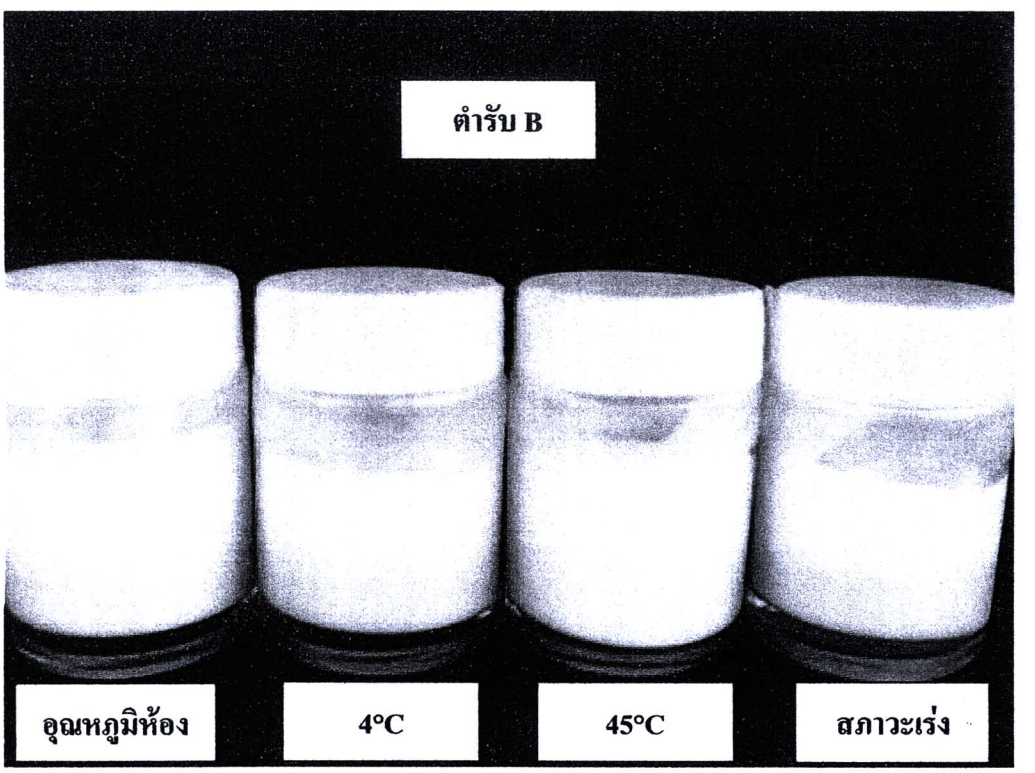
จากผลการวัดค่าความหนืดตารางที่ 15 และรูปที่ 20-24 ทำให้สามารถประเมินความคงสภาพของตำรับที่ผ่านการทดสอบความคงตัวที่สภาวะเร่งและระยะยาวได้ พบว่าตำรับ A, B และ C มีค่าความหนืดของที่สภาวะอุณหภูมิห้องและ 4°C ในแต่ละเดือนที่ทดสอบความคงตัวค่อนข้างคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย แต่ที่สภาวะ 40°C และที่สภาวะเร่งค่าความหนืดของตำรับลดลงจากก่อนทดสอบความคงตัวมากเป็นลำดับในแต่ละเดือน โดยเฉพาะตำรับ C ที่ค่าความหนืดลดลงมากตั้งแต่เดือนแรก และเริ่มเสียสภาพจนแยกชั้นในเดือนต่อมา ทำให้ไม่สามารถวัดความหนืดต่อไป แสดงให้เห็นว่าโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรส ตำรับ A, B และ C มีแนวโน้มความคงตัวที่ไม่ดี

ในขณะที่ตำรับ D และ E มีความคงตัวค่อนข้างดี สังเกตจากทั้งสองตำรับค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยที่สภาวะอุณหภูมิห้องและ 4°C รวมไปถึงที่สภาวะเร่ง ส่วนที่สภาวะ 40°C ค่าความหนืดของทั้ง 2 ตำรับมีแนวโน้มลดลงแต่ก็ไม่ต่างไปจากเดิมมากนักและไม่ทำให้ลักษณะภายนอกโดยรวมเปลี่ยนแปลง การลดลงของค่าความหนืดของโลชันทุกตำรับอาจเกิดอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงทำให้สารต่างๆที่เป็นองค์ประกอบเสียสภาพ ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากความเปลี่ยนแปลงของน้ำมันเมล็ดเสาวรสดังที่กล่าวไปแล้วทำให้ตำรับมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลลดความหนืดของตำรับในที่สุด

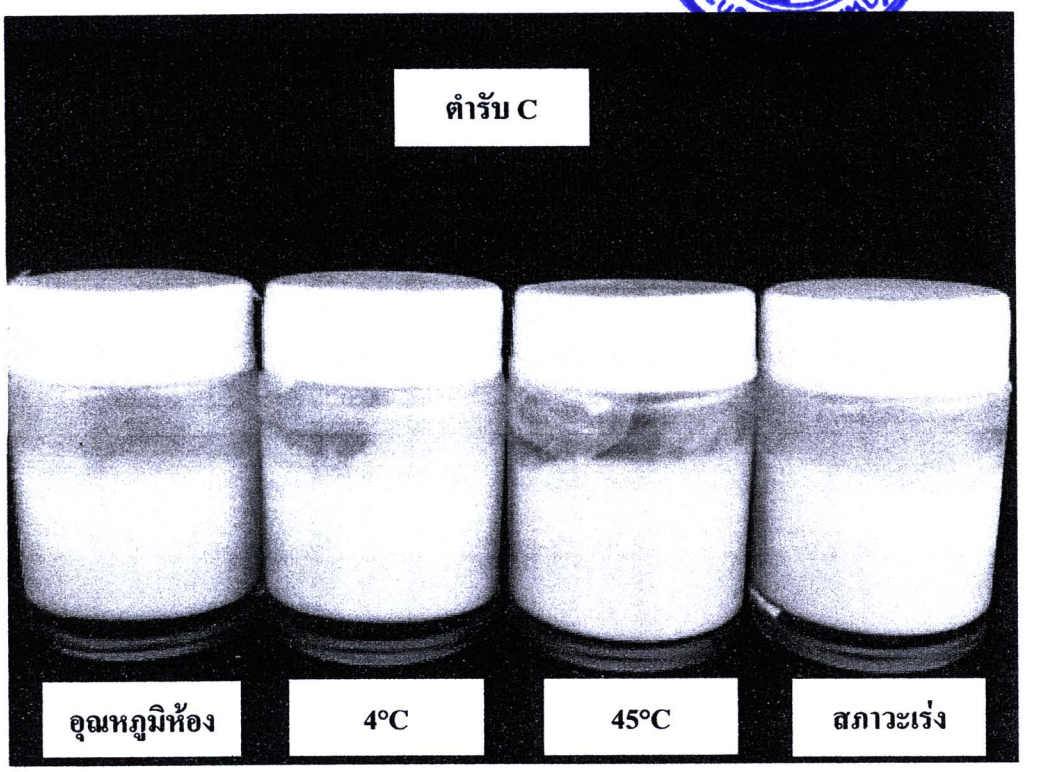
จากผลการทดสอบความคงตัวทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการประเมินจากลักษณะภายนอกได้แก่ความเป็นเนื้อเดียว สี รวมไปถึง pH และความหนืดของตำรับสามารถสรุปได้ว่า ตำรับโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่มีแนวโน้มคงตัวดีได้แก่ สูตร D และ E ซึ่งเหมาะแก่การนำไปศึกษาและพัฒนาต่อไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากโลชันตำรับ E มีลักษณะที่ค่อนข้างหนืดคล้ายครีม จึงอาจเป็นปัญหาในการบรรจุและการใช้ในรูปแบบผลิตภัณฑ์โลชัน หากมีการปรับปรุงสูตร E เพื่อลดความหนืดของตำรับลงอีกเล็กน้อยจะทำให้ได้ตำรับที่มีคุณลักษณะดีได้ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาทางผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกสูตร D ซึ่งมีลักษณะภายนอกที่มีคุณสมบัติตามต้องการทุกประการ และมีความคงตัวดีไปศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป



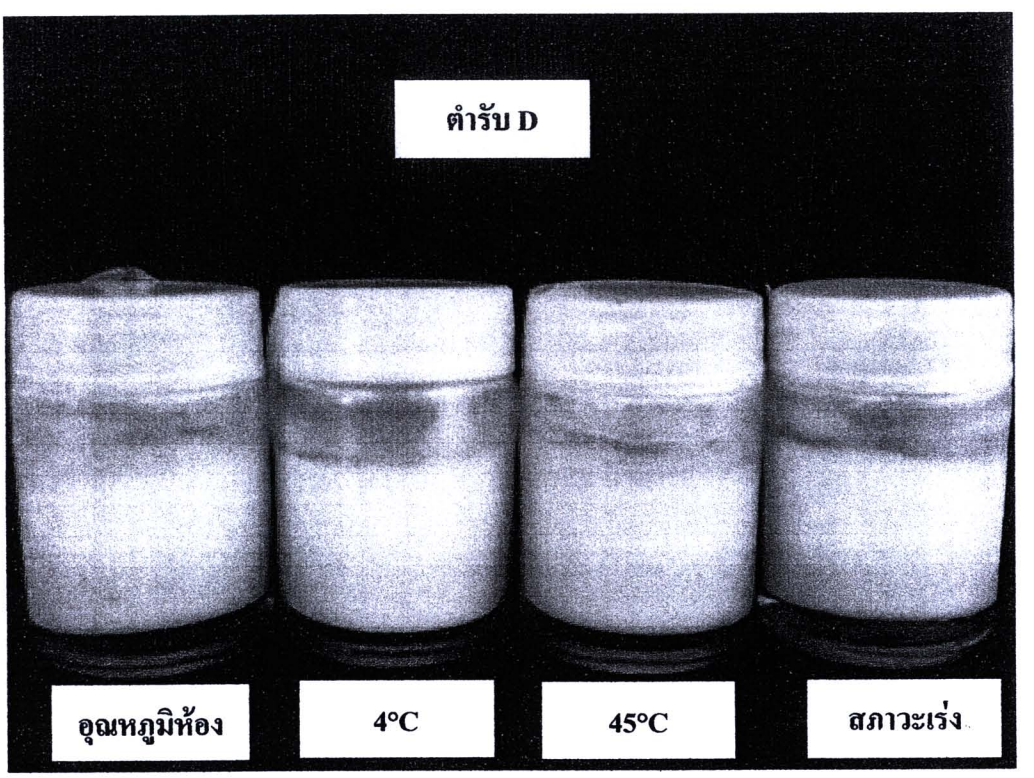
รูป 14 โลชันตำรับ A หลังการทดสอบความคงตัวที่สภาวะต่าง ๆ



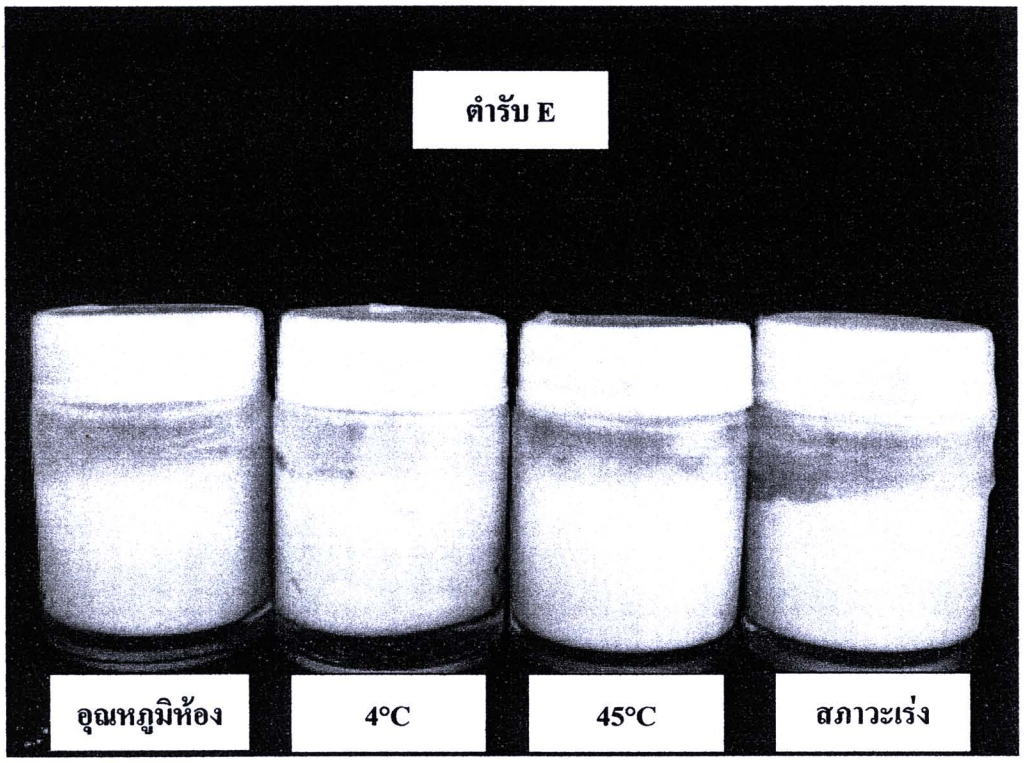
รูป 15 โลชันตำรับ B หลังการทดสอบความคงตัวที่สภาวะต่าง ๆ



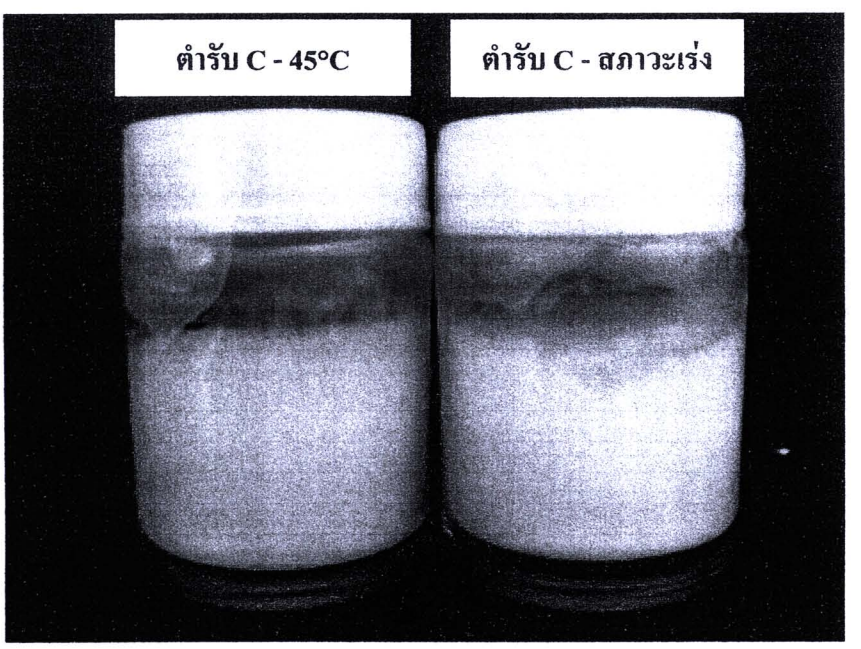
รูป 16 โลชันตำรับ C หลังการทดสอบความคงตัวที่สภาวะต่าง ๆ



รูป 17 โลชันตำรับ D หลังการทดสอบความคงตัวที่สภาวะต่าง ๆ



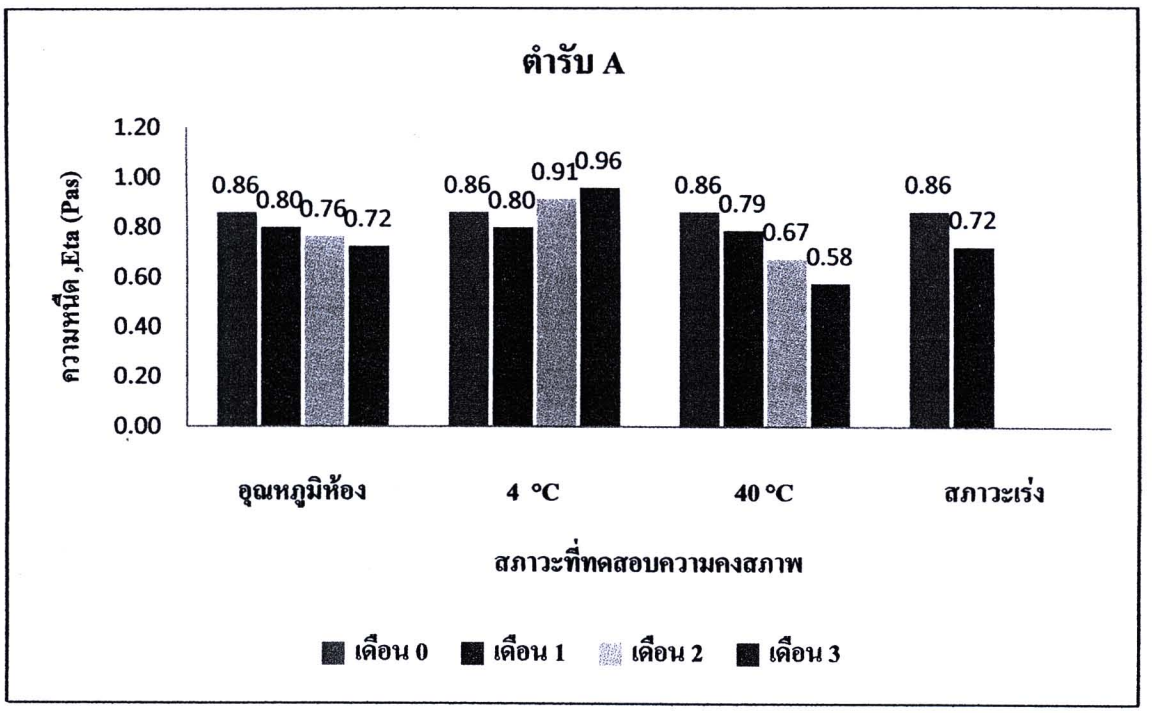
รูป 18 โลชันตำรับ E หลังการทดสอบความคงตัวที่สภาวะต่าง ๆ



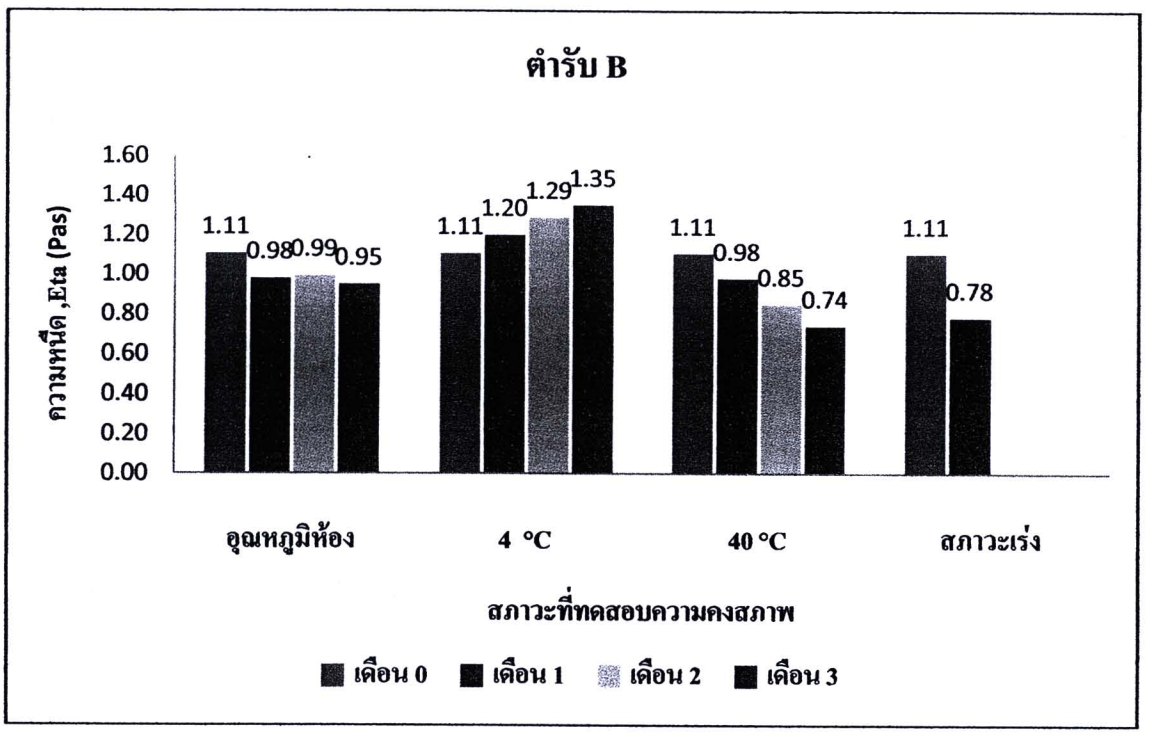
รูป 19 โลชันตำรับ C ที่เสียสภาพหลังจากทดสอบความคงตัวที่ 45°C เป็นเวลา 3 เดือนและที่สภาวะเร่ง

ตาราง 15 ความหนืดเฉลี่ยของโลชันตำรับ A-E ที่ผ่านการทดสอบความคงสภาพที่สภาวะต่าง ๆ

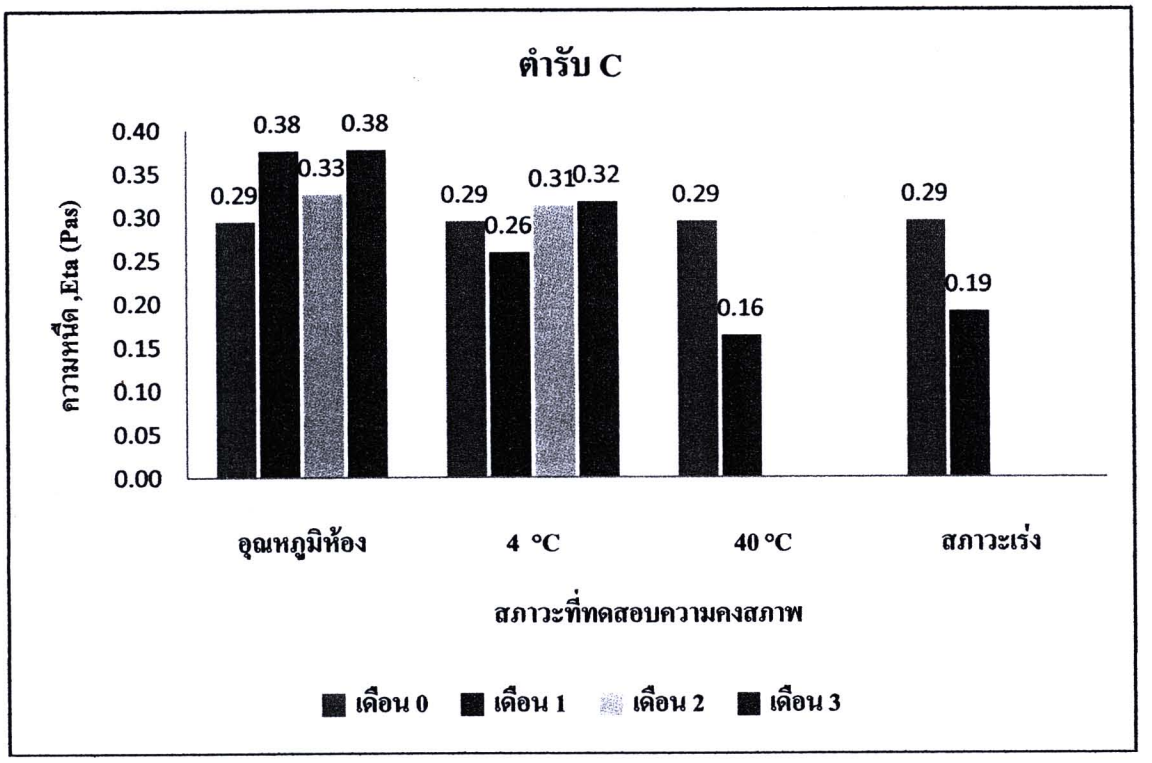
สภาวะที่ใช้ทดสอบความคงตัว	ความหนืด			
	ก่อนทดสอบความคงตัว	หลังทดสอบความคงตัว		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ตำรับ A				
อุณหภูมิห้อง	0.86±0.14	0.80±0.06	0.76±0.01	0.72±0.22
4 °C	0.86±0.14	0.80±0.04	0.91±0.04	0.96±0.05
40 °C	0.86±0.14	0.79±0.05	0.67±0.03	0.58±0.05
สภาวะเร่ง	0.86±0.14	0.72±0.12	-	-
ตำรับ B				
อุณหภูมิห้อง	1.11±0.03	0.98±0.06	0.99±0.08	0.95±0.01
4 °C	1.11±0.03	1.20±0.05	1.29±0.05	1.35±0.02
40 °C	1.11±0.03	0.98±0.02	0.85±0.13	0.74±0.03
สภาวะเร่ง	1.11±0.03	0.78±0.04	-	-
ตำรับ C				
อุณหภูมิห้อง	0.29±0.07	0.38±0.03	0.33±0.01	0.38±0.02
4 °C	0.29±0.07	0.26±0.01	0.31±0.01	0.32±0.01
40 °C	0.29±0.07	0.16±0.01	-	-
สภาวะเร่ง	0.29±0.07	0.19±0.03	-	-
ตำรับ D				
อุณหภูมิห้อง	1.33±0.16	1.23±0.09	1.13±0.05	0.97±0.04
4 °C	1.33±0.16	1.41±0.01	1.46±0.02	1.48±0.05
40 °C	1.33±0.16	1.23±0.02	1.02±0.19	0.99±0.01
สภาวะเร่ง	1.33±0.16	1.30±0.04	-	-
ตำรับ E				
อุณหภูมิห้อง	2.02±0.04	2.27±0.18	2.21±0.03	2.01±0.03
4 °C	2.02±0.04	2.17±0.25	2.20±0.06	2.19±0.08
40 °C	2.02±0.04	1.64±0.04	1.68±0.04	1.63±0.01
สภาวะเร่ง	2.02±0.04	1.92±0.02	-	-



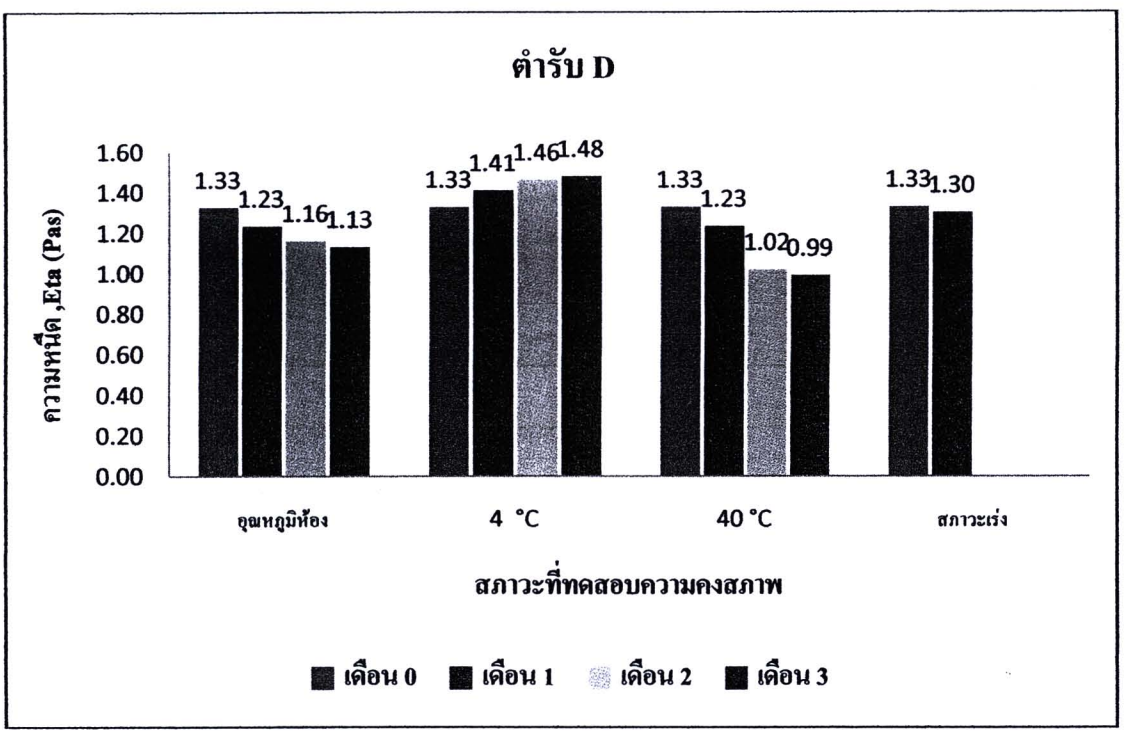
รูป 20 ความหนืดของโลชันตำรับ A ที่ผ่านการทดสอบความคงสภาพที่สภาวะต่าง ๆ



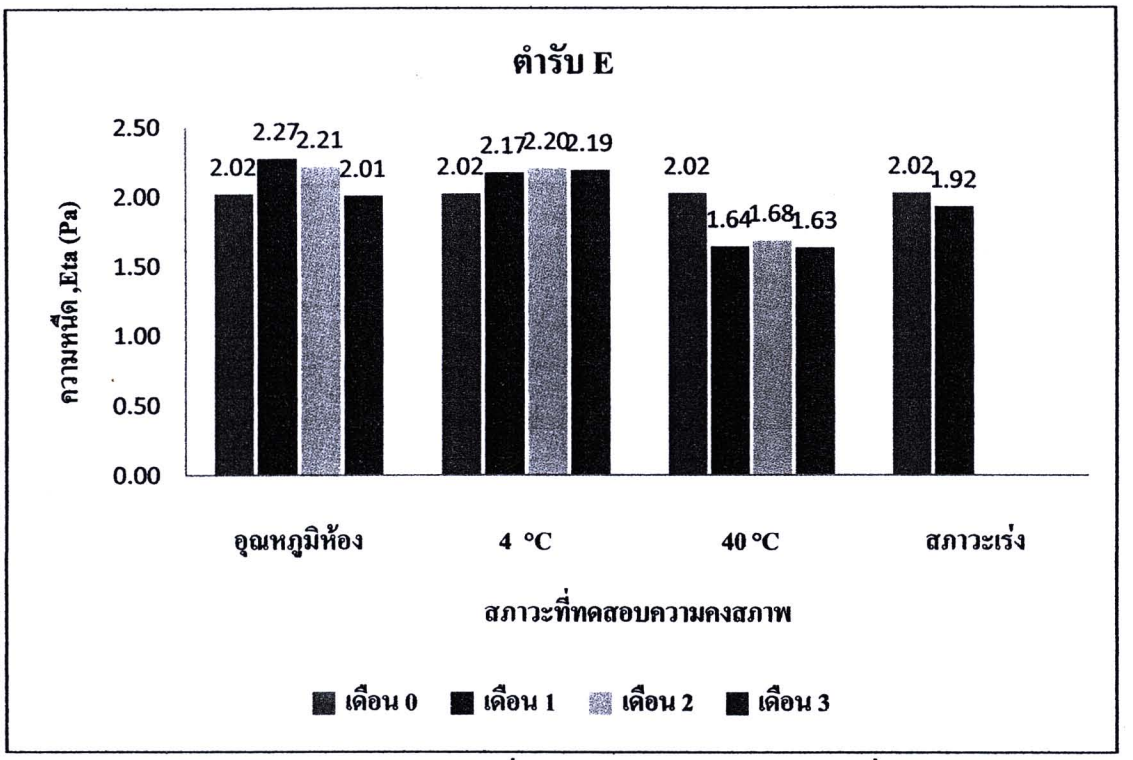
รูป 21 ความหนืดของโลชันตำรับ B ที่ผ่านการทดสอบความคงสภาพที่สภาวะต่าง ๆ



รูป 22 ความหนืดของโลชันตำรับ C ที่ผ่านการทดสอบความคงสภาพที่สภาวะต่าง ๆ



รูป 23 ความหนืดของโลชันตำรับ D ที่ผ่านการทดสอบความคงสภาพที่สภาวะต่าง ๆ

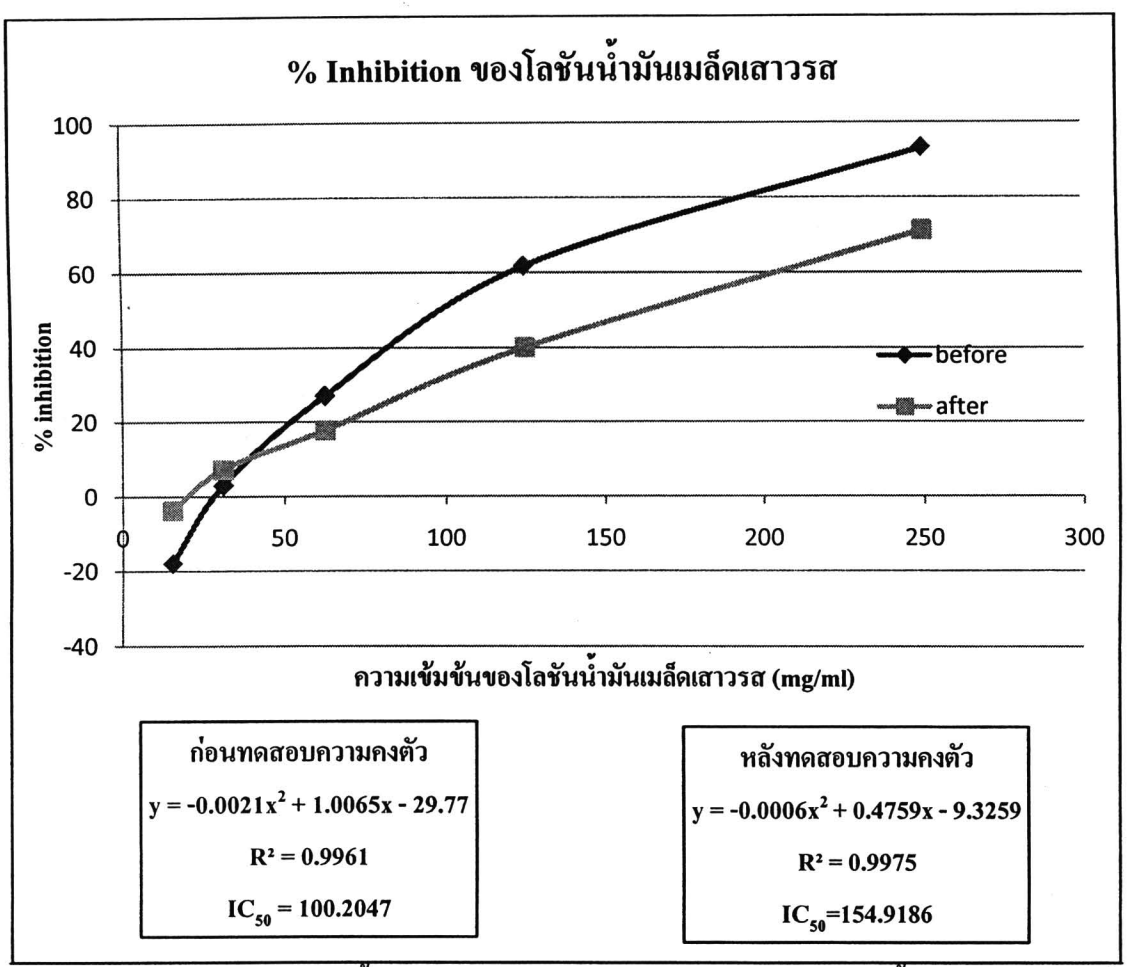


รูป 24 ความหนืดของโลชันตำรับ E ที่ผ่านการทดสอบความคงสภาพที่สภาวะต่าง ๆ

4.7.3 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโลชันตำรับที่คัดเลือกแล้วหลังทดสอบความคงตัวเทียบกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระก่อนทดสอบความคงตัว โดยใช้วิธี DPPH

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโลชันตำรับ D ก่อนและหลังการทดสอบความคงตัวได้ผลดังรูปที่ 25 พบว่าก่อนการทดสอบความคงตัวโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสมีค่า IC_{50} เท่ากับ 100.20 ± 0.15 mg/mL แต่หลังจากการทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน ค่า IC_{50} ของโลชันตำรับเดียวกันนี้เพิ่มขึ้นเป็น 154.92 ± 0.07 mg/mL แสดงว่าเมื่อผ่านการทดสอบความคงตัวโลชันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง สาเหตุหลักน่าจะมาจากวิตามินอีและแคโรทีนอยด์ที่เป็นสารหลักในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณลดลงเนื่องจากความไม่คงสภาพ จากรายงานของ Bramly [48] พบว่าวิตามินอีในน้ำมันชนิดต่างมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเก็บในสภาวะต่าง ๆ ที่ระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากการเก็บน้ำมันนานขึ้นจะทำให้ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันมีความเข้มข้นมากขึ้นซึ่งส่งผลเสียต่อความคงตัวของวิตามินอี ที่มีอยู่ในน้ำมัน [58] แต่จะสามารถป้องกันได้โดยการเก็บน้ำมันหรือผลิตภัณฑ์จากน้ำมันไว้ในที่เย็นและพ้นแสง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องความคงสภาพของน้ำมันเมล็ดเสาวรสภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ต่อไป เพื่อเป็นข้อมูลในพัฒนาผลิตภัณฑ์ กำหนดอายุผลิตภัณฑ์หรือกำหนดข้อแนะนำในการเก็บรักษาต่อไป



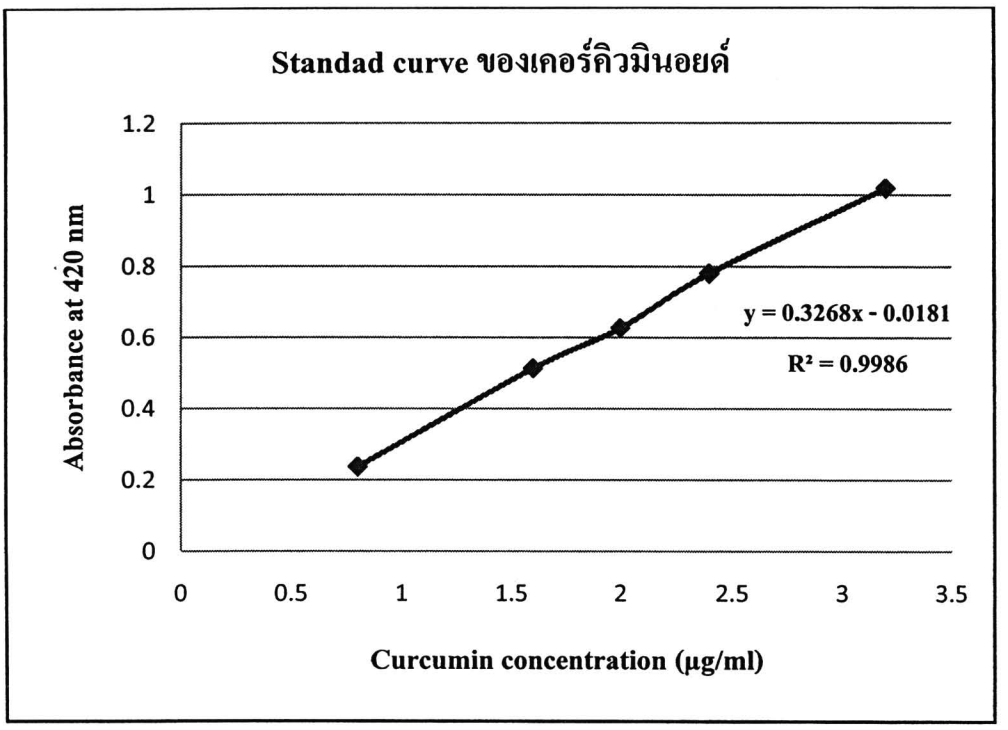
รูป 25 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% inhibition) ของโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ก่อนและหลังการทดสอบความคงตัว

4.8 การพัฒนาเม็ดกลมเล็กจากสารสกัดขมิ้นชัน

4.8.1 เตรียมสารสกัดจากขมิ้นชัน

จากการเตรียมเหง้าขมิ้นชันโดยการล้างทำความสะอาด อบให้แห้ง และบดเป็นผงจะได้ผงขมิ้นชันที่มีสีเหลืองส้ม ผงมีขนาดปานกลาง ก่อนนำผงขมิ้นชันที่ได้ไปทำการสกัดได้ทำการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบโดยการหาปริมาณเคอร์คิวมินอยด์รวม วัตถุดิบที่เป็นผงขมิ้นชันจะผ่านมาตรฐานก็ต่อเมื่อมีปริมาณเคอร์คิวมินอยด์รวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก[12,59] เมื่อคำนวณเป็นเคอร์คิวมินผลการวิเคราะห์ในตาราง 16 และรูป 26 พบว่าผงขมิ้นชันที่เตรียมขึ้นมีปริมาณเคอร์คิวมินอยด์เท่ากับร้อยละ 5.19±0.02 โดยน้ำหนักซึ่งมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานของเคอร์คิวมินอยด์

ที่กำหนดไว้คือร้อยละ 5.0 สรุปได้ว่าผงขมิ้นชันในงานวิจัยนี้เป็นวัตถุดิบที่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐานของขมิ้นชัน



รูป 26 กราฟมาตรฐานของเคอร์คิวมินอยด์

ตาราง 16 ผลการหาปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ ในผงขมิ้นชันแห้ง

ครั้งที่	น้ำหนักผงแห้งที่ใช้ (mg)	ค่า Absorbance	ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ (mg)	ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ (ร้อยละ)
1	300.0	0.389	15.5829	5.19
2	300.1	0.391	15.6339	5.21
3	300.0	0.387	15.5064	5.17
เฉลี่ย ± SD (n=3)			15.5744±0.06	5.19±0.02

เมื่อสกัดผงมิ้นชันแห้งด้วยเอทานอล (absolute) ด้วยวิธี continuous extraction ทำให้ได้สารสกัดขมิ้นชันที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด มีสีน้ำตาลอมแดง มีกลิ่นขมิ้นชัน สารสกัดที่ได้คิดเป็นร้อยละ 19.52 ของผงขมิ้นชันแห้งดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 ผลการสกัดผงสกัดขมิ้นชันแห้งด้วยเอทานอล (absolute)

รายการ	ปริมาณ
ผงขมิ้นชันแห้งที่ใช้ในการสกัด	250 g
ปริมาณสารที่สกัดเข้มข้น	48.8 g
ร้อยละของสารสกัดขมิ้นชัน	19.52

หลังจากได้สารสกัดขมิ้นชันแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ โดยทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ ในผงขมิ้นชันได้ผลดังตาราง 18 คือปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ในสารสกัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 20.02±0.01 โดยน้ำหนัก

ตาราง 18 ผลการหาปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ ในสารสกัดจากขมิ้นชันเข้มข้น

ครั้งที่	น้ำหนักผงแห้งที่ใช้ (mg)	ค่า Absorbance	ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ (mg)	ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ (ร้อยละ)
1	30.1	0.140	6.0289	20.03
2	30.0	0.139	6.0060	20.02
3	30.2	0.140	6.0442	20.01
เฉลี่ย ± SD (n=3)			6.0264±0.02	20.02±0.01

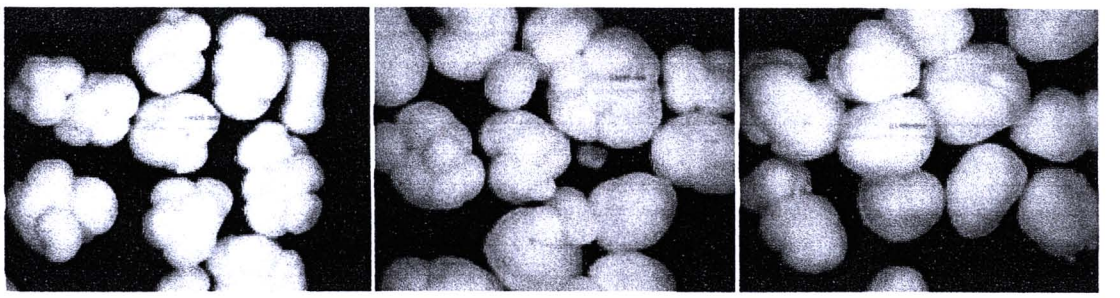
4.8.2 พัฒนาสูตรเม็ดกลมเล็กจากสารสกัดขมิ้นชัน

การพัฒนาเม็ดกลมเล็กจากสูตรในตาราง 4 ทำให้ได้เม็ดกลมเล็กที่มีลักษณะดังในตาราง 19

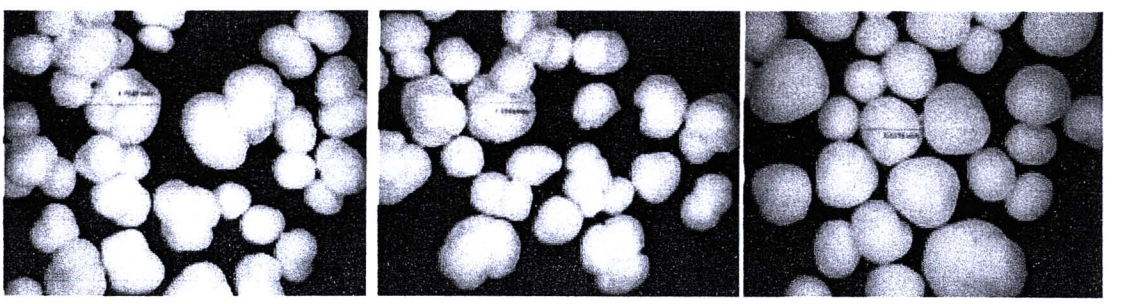
จากการพัฒนาเม็ดกลมเล็กในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการเตรียมเพลเลตโดยเลือกเทคนิคการอัดให้เป็นเส้นและทำให้กลม เป็นการนำส่วนผสมมาอัดเป็นเส้นแล้วนำไปใส่บนจานหมุนที่มีร่องเพื่อให้ร่องตัดเส้นให้สั้นลง และกลิ้งบนจานหมุนจนกลม[37] โดยการพัฒนาเริ่มจากเม็ดกลมเล็กเปล่าที่ยังไม่มีสารสำคัญ ในสูตรที่ 1 ที่มีน้ำเป็นส่วนผสมที่ช่วยในการยึดเกาะ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเม็ดกลมเล็กคือแรงปั่นที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที ทำให้ได้เม็ดกลมเล็กที่มีขนาดพอเหมาะ มีรูปร่างกลม แต่เมื่อนำไปทดลองผสมในโลชันเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงจนเม็ดกลมเล็กเริ่มอ่อนตัวแล้วนำมาทดสอบการแตกตัวของเม็ดกลมเล็กเมื่อออกแรงกดขณะทาโลชันพบว่า เม็ดกลมเล็กแตกตัวได้ดี แต่ส่วนที่แตกตัวแล้วมีลักษณะหยาบให้ความรู้สึกไม่ดีเมื่อทาบนผิวหนัง

ตาราง 19 ลักษณะของเม็ดกลมเล็กแต่ละสูตรที่พัฒนาได้

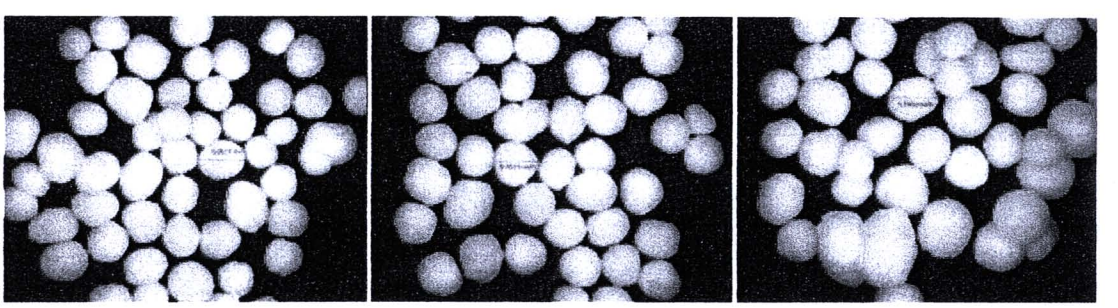
สภาวะ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
200 rpm			
1 min	เม็ดกลมมีขนาดใหญ่และมีการจับตัวกัน	แกรนูลยังไม่มีการขึ้นรูปเป็นเม็ดกลม	แกรนูลยังไม่มีการขึ้นรูปเป็นเม็ดกลม
2 min	เม็ดกลมมีขนาดใหญ่และมีการจับตัวกัน	แกรนูลยังไม่มีการขึ้นรูปเป็นเม็ดกลม	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล
3 min	เม็ดกลมมีขนาดใหญ่และรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่	แกรนูลยังไม่มีการขึ้นรูปเป็นเม็ดกลม	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล
300 rpm			
1 min	เม็ดกลมมีขนาดใหญ่และมีการจับตัวกัน	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	แกรนูลยังไม่มีการขึ้นรูปเป็นเม็ดกลม
2 min	เม็ดกลมมีขนาดใหญ่และมีการจับตัวกัน	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล
3 min	เม็ดกลมมีขนาดใหญ่และรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล
400 rpm			
1 min	เม็ดกลมเขนาดพอเหมาะ แต่ยังไม่ค่อยกลม	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	บางส่วนเป็นเม็ดกลมเ บางส่วนยังเป็นแกรนูล
2 min	เม็ดกลมขนาดพอเหมาะ แต่ยังไม่ค่อยกลม	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล
3 min	เม็ดกลมขนาดพอเหมาะ เริ่มจับตัวเป็นก้อนใหญ่	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล
500 rpm			
1 min	เม็ดกลมขนาดพอเหมาะ มีรูปร่างกลม	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	เม็ดกลมเล็กขนาดพอเหมาะ มีรูปร่างกลม
2 min	เม็ดกลมขนาดพอเหมาะ กลมแต่เริ่มจับตัวกัน	บางส่วนเป็นเม็ดกลม บางส่วนยังเป็นแกรนูล	เม็ดกลมขนาดพอเหมาะแต่ขนาดไม่สม่ำเสมอ
3 min	เม็ดกลมขนาดพอเหมาะ เริ่มจับตัวเป็นก้อนใหญ่	เม็ดกลมขนาดพอเหมาะแต่ขนาดไม่สม่ำเสมอ	เม็ดกลม เริ่มมีขนาดใหญ่ขึ้น



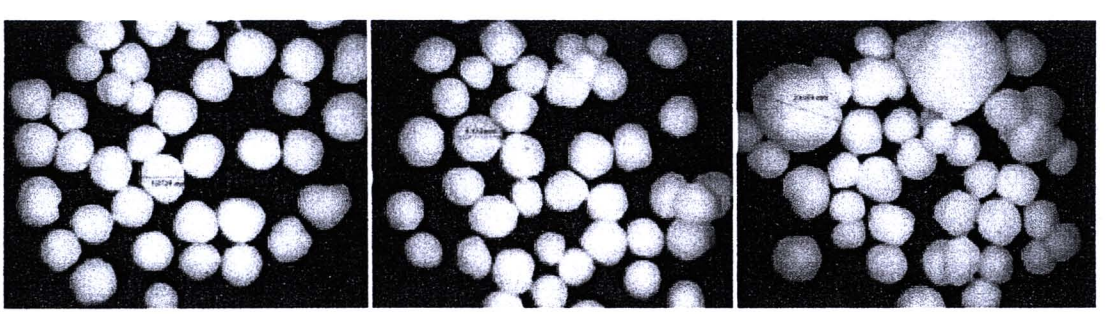
สูตร 1 (200 rpm, 1 min) สูตร 1 (200 rpm, 2 min) สูตร 1 (200 rpm, 3 min)



สูตร 1 (300 rpm, 1 min) สูตร 1 (300 rpm, 2 min) สูตร 1 (300 rpm, 3 min)

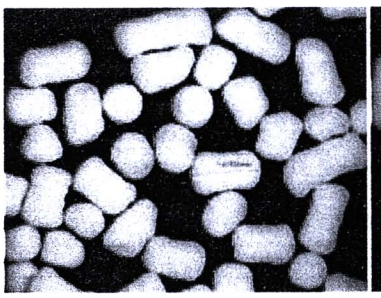


สูตร 1 (400 rpm, 1 min) สูตร 1 (400 rpm, 2 min) สูตร 1 (400 rpm, 3 min)

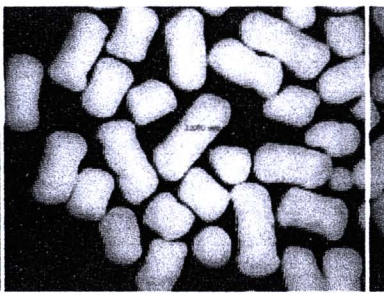


สูตร 1 (500 rpm, 1 min) สูตร 1 (500 rpm, 2 min) สูตร 1 (500 rpm, 3 min)

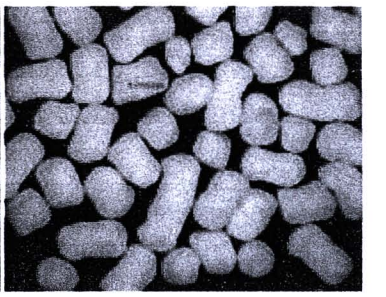
รูป 27 ลักษณะของเม็ดกลมเล็กสูตรที่ 1 ที่เตรียมที่สภาวะและระยะเวลาต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 60 เท่า



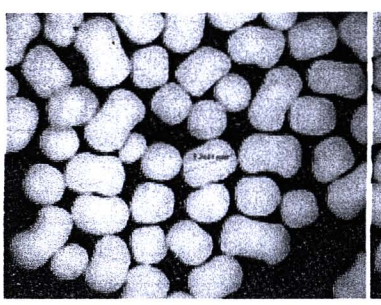
สูตร 2 (200 rpm, 1 min)



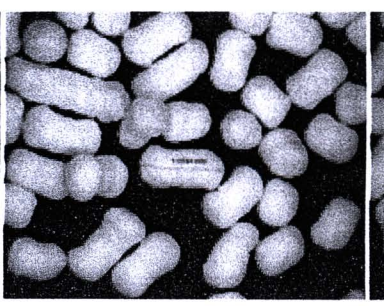
สูตร 2 (200 rpm, 2 min)



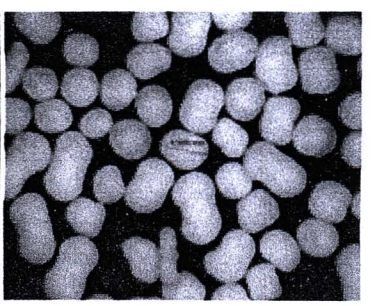
สูตร 2 (200 rpm, 3 min)



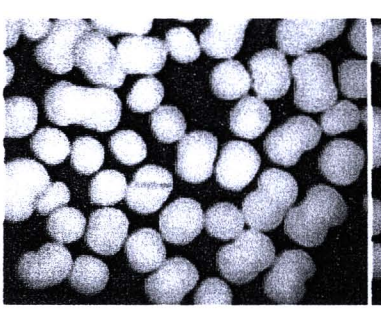
สูตร 2 (300 rpm, 1 min)



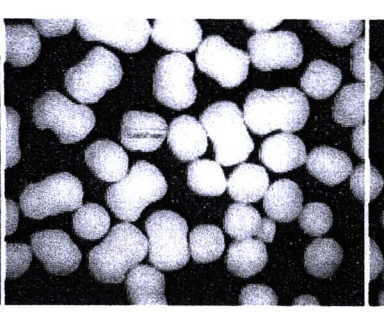
สูตร 2 (300 rpm, 2 min)



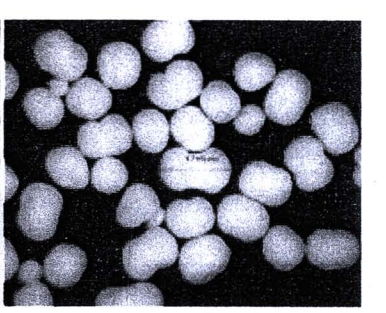
สูตร 2 (300 rpm, 3 min)



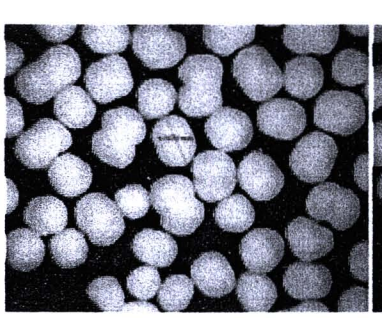
สูตร 2 (400 rpm, 1 min)



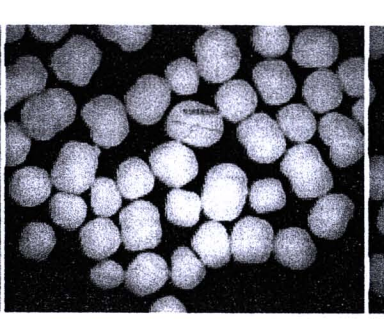
สูตร 2 (400 rpm, 2 min)



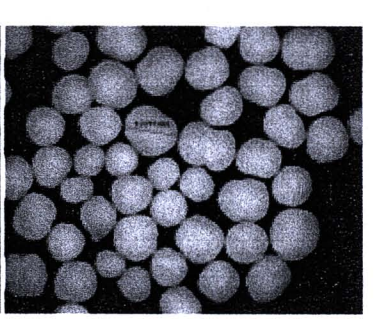
สูตร 2 (400 rpm, 3 min)



สูตร 2 (500 rpm, 1 min)

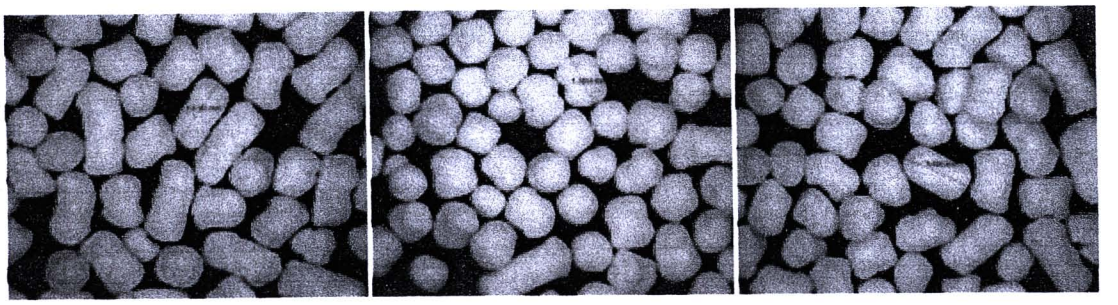


สูตร 2 (500 rpm, 2 min)

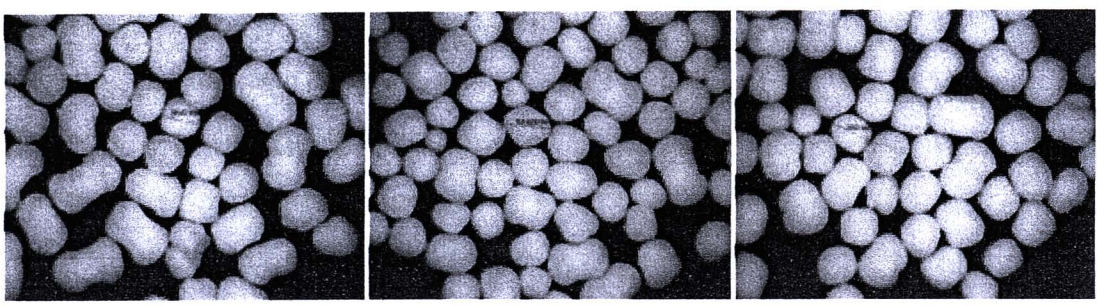


สูตร 2 (500 rpm, 3 min)

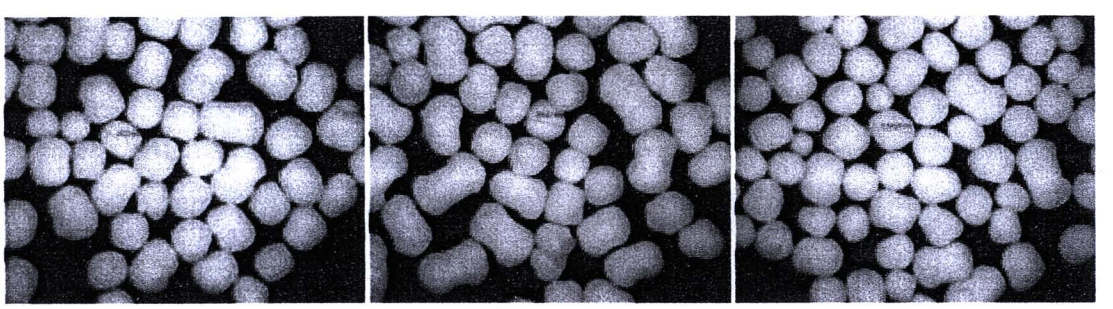
รูป 28 ลักษณะของเม็ดกลมเล็กสูตรที่ 2 ที่เตรียมที่สภาวะและระยะเวลาต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 60 เท่า



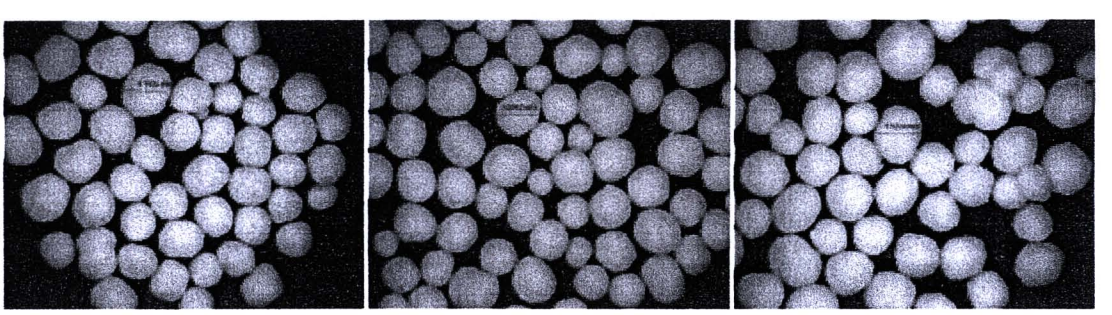
สูตร 3 (200 rpm, 1 min) สูตร 3 (200 rpm, 2 min) สูตร 3 (200 rpm, 3 min)



สูตร 3 (300 rpm, 1 min) สูตร 3 (300 rpm, 2 min) สูตร 3 (300 rpm, 3 min)



สูตร 3 (400 rpm, 1 min) สูตร 3 (400 rpm, 2 min) สูตร 3 (400 rpm, 3 min)



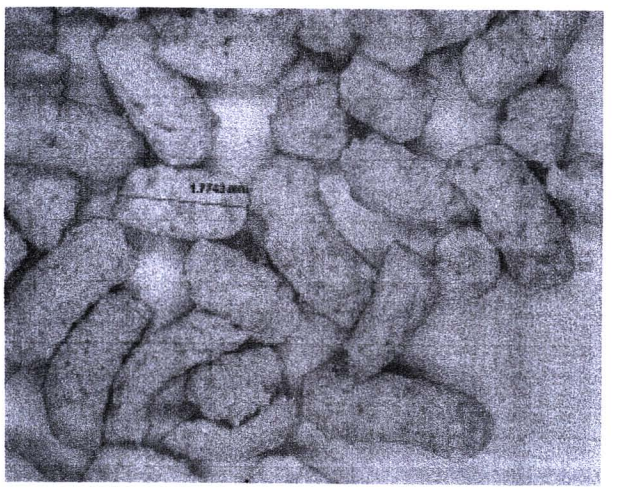
สูตร 3 (500 rpm, 1 min) สูตร 3 (500 rpm, 2 min) สูตร 3 (500 rpm, 3 min)

รูป 29 ลักษณะของเม็ดกลมเล็กสูตรที่ 3 ที่เตรียมที่สภาวะและระยะเวลาต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 60 เท่า

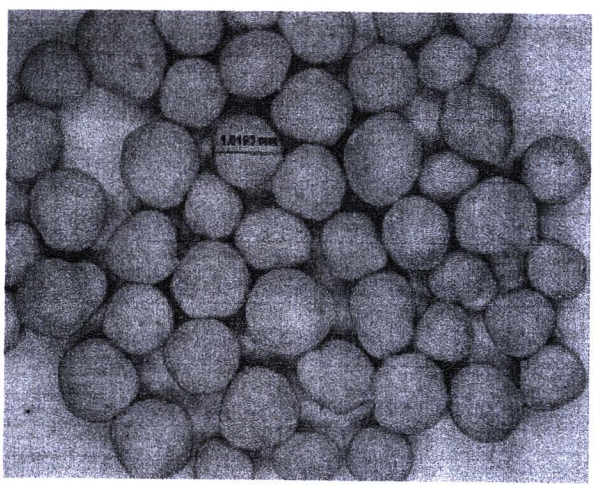
ส่วนสูตรที่ 2 ที่มี HPMC 1% เป็นสารช่วยยึดเกาะทำให้ได้แกรนูลเปียกที่มีลักษณะเหนียว ขึ้นรูปเป็นเม็ดกลมเล็กยาก สังเกตได้จากที่สภาวะต่าง ๆ แกรนูลสูตรที่ 2 ยังกลายเป็นเม็ดกลมเล็กได้อย่างไม่สมบูรณ์ บางส่วนยังคงสภาพเป็นแกรนูล ในขณะที่บางส่วนกลายเป็นเม็ดกลมเล็กที่รูปร่างไม่กลม ยกเว้นที่การปั่นที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ได้เม็ดกลมเล็กที่มีรูปร่างกลมทั้งหมด แต่มีขนาดไม่สม่ำเสมอกัน เมื่อนำไปทดสอบการแตกตัวของเม็ดกลมเล็กเมื่อออกแรงกดขณะทาโลชันพบว่า เม็ดกลมเล็กสามารถแตกตัวได้ดี แต่ส่วนที่แตกมีลักษณะเหนียว และละลายไปกับโลชันเพื่อซึมเข้าสู่ผิวยากจึงต้องใช้เวลาและแรงกดมาก จากนั้นจึงพัฒนาสูตรที่ 3 ที่เป็นการรวมข้อดีข้อเสียของทั้งสองสูตรที่ผ่านมาโดยการนำน้ำ และ HPMC 1% มาเป็นสารช่วยยึดเกาะในปริมาณที่เหมาะสม พบว่าแกรนูลสามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดกลมเล็กง่าย โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมเม็ดกลมเล็กคือ แรงปั่นที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จะได้เม็ดกลมเล็กที่มีรูปร่างกลม ขนาดพอเหมาะและค่อนข้างสม่ำเสมอจึงเหมาะแก่การนำไปพัฒนาเติมสารสำคัญต่อไปในการเตรียมเม็ดกลมเล็กต้องมีการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปของเม็ดกลมเล็กได้แก่ชนิดและปริมาณสารเพิ่มปริมาณและสารช่วยยึดเกาะ แรงและระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงซึ่งมีความสำคัญมากและแตกต่างกันไปในแกรนูลแต่ละสูตรตำรับ เช่น ในกรณีสูตรที่ 3 แรงปั่นเหวี่ยงที่เหมาะสมได้แก่ 500 รอบต่อนาที แรงปั่นที่ความเร็วรอบต่ำกว่านี้เม็ดกลมเล็กจะมีการรวมตัวกันเนื่องจากความเร็วในการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเม็ดกลมเล็กออกจากกันน้อยเกินไป หรือมีแรงเหวี่ยงไม่มากพอที่จะตัดแกรนูลให้เป็นเส้นสั้นลงจึงไม่สามารถกลิ้งเป็นเม็ดกลมได้ และที่ระยะเวลาที่เหมาะสมในการปั่นเหวี่ยงส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 1 นาที หากใช้เวลาปั่นเหวี่ยงนานขึ้น เม็ดกลมเล็กที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจะถูกเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปรวมตัวกันอยู่ที่บริเวณขอบของจานหมุนและทำให้รวมตัวกันเป็นก้อนในที่สุด เนื่องจากที่ผิวของเม็ดกลมเล็กแต่ละเม็ดมีสารยึดเกาะกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอจึงเกิดการยึดเกาะระหว่างเม็ดกลมเล็ก เม็ดกลมเล็กที่ได้จึงมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันและกลิ้งบนจานหมุนเป็นเม็ดกลมขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ

เมื่อได้สูตรเม็ดกลมเล็กและสภาวะการเตรียมที่เหมาะสมแล้วจึงพัฒนาสูตรเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันโดยมีส่วนประกอบคือ สารสกัดขมิ้นชัน, Tween 20 ทำหน้าที่เป็นสารช่วยเปียกในการผสมสารสกัดขมิ้นชันเข้ากับส่วนผสมอื่นที่เป็นผง วิตามินอี น้ำมันซิลิโคนและน้ำมันโจโจบาเพื่อเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและช่วยบำรุงผิว แกรนูลที่เตรียมได้มีสีเหลือง มีความเหนียวพอเหมาะดังรูปที่ 30 เมื่อนำไปกลิ้งบนจานหมุนที่แรงเหวี่ยง 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จะได้เม็ดกลมเล็กที่มีรูปร่างกลม ขนาดพอเหมาะ และค่อนข้างสม่ำเสมอดังรูปที่ 31 โดยหลังจากการคัดขนาดโดยการนำไปผ่านแร่งเบอร์ 16 และ 18 ซึ่งมีขนาดรูเปิดเท่ากับ 1.19 และ 1.00 mm ตามลำดับแล้วคัดเฉพาะเม็ดกลมเล็กที่ค้างอยู่บนแร่งเบอร์ 18 เมื่อนำเม็ดกลมเล็กไปผสมในโลชันเพื่อทดสอบ

การแตกตัวของเม็ดกลมเล็กเมื่อทาโลชันพบว่าเม็ดกลมเล็กสามารถแตกตัวได้ดี และส่วนที่แตกตัวสามารถซึมเข้าสู่ผิวได้ดี อย่างไรก็ตามเม็ดกลมเล็กจากสารสกัดขมิ้นชันทำให้ผิวส่วนที่ทากลายเป็นสีเหลืองเล็กน้อย จึงควรผสมเม็ดกลมเล็กในโลชันในปริมาณที่เหมาะสมไม่มากเกินไป หรืออาจลดความเข้มข้นของสารสกัดขมิ้นชันที่ผสมในเม็ดกลมเล็กลง นอกจากนี้พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปสารสำคัญของสารสกัดขมิ้นชันบางส่วนจะค่อยๆถูกปลดปล่อยออกมาในเนื้อโลชัน แต่สีและขนาดของเม็ดกลมเล็กไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อแก้ปัญหานี้ เช่น การเคลือบเม็ดกลมเล็กด้วยพอลิเมอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้เม็ดกลมเล็กสามารถดูดน้ำจากตำรับเพื่อให้ตัวมันอ่อนตัวและต้องสามารถป้องกันไม่ให้สีละลายออกมาจากเม็ดกลมเล็กได้



รูป 30 ลักษณะแกรนูลที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากขมิ้นชันก่อนนำไปเตรียมเป็นเม็ดกลมเล็กที่กำลังขยาย 60 เท่า



รูป 31 ลักษณะเม็ดกลมเล็กจากสารสกัดขมิ้นชันที่กำลังขยาย 60 เท่า

4.8.3 วิเคราะห์ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ในเม็ดกลมเล็กจากสารสกัดขมิ้นชัน

เม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันที่เตรียมได้มีปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ ร้อยละ 15.35±0.86 ซึ่งเมื่อเทียบกับสารสกัดเข้มข้นพบว่าปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ ลดลงร้อยละ 23.35±0.82 ดังตาราง 20 ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวเมื่อโดนแสงในตอนเตรียม จึงควรควบคุมสภาวะการเตรียมและการเก็บเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันให้เหมาะสม คือ หลีกเลี่ยงแสงที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เคอร์คิวมินอยด์สลายตัว

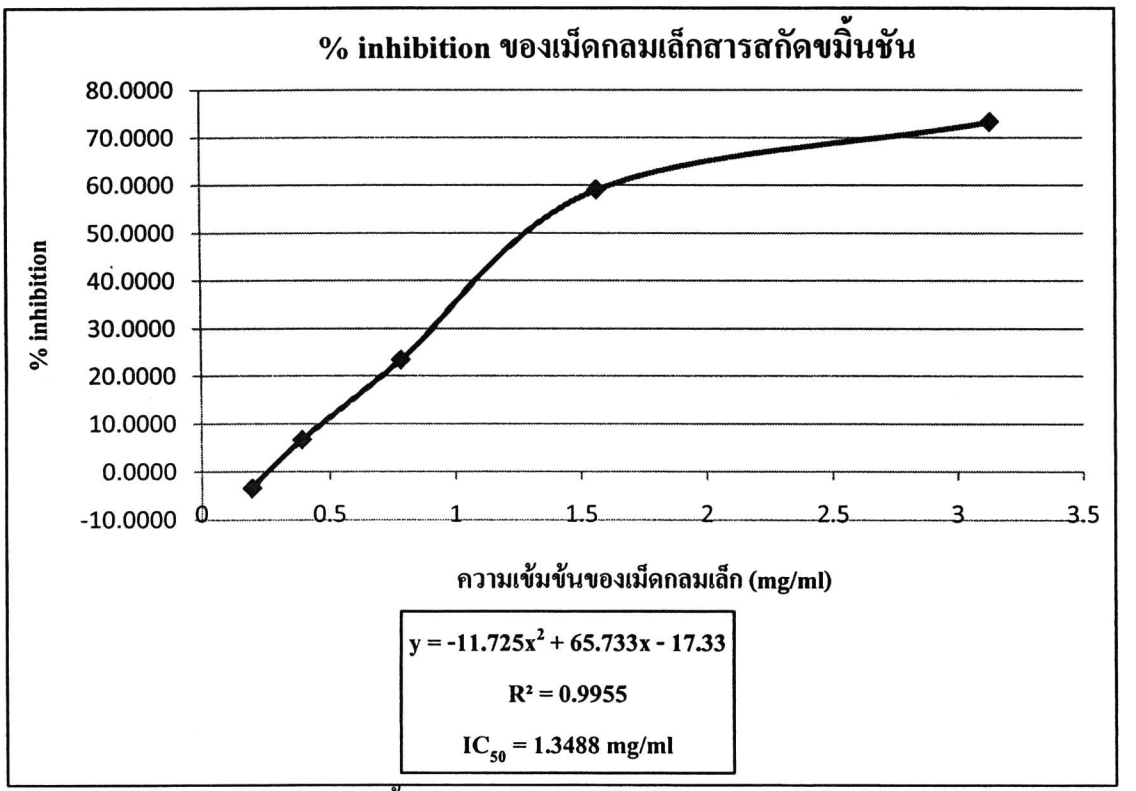
ตาราง 20 ผลการหาปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ ในเม็ดกลมเล็กสารสกัดจากขมิ้นชัน

ครั้งที่	น้ำหนักเม็ดกลมเล็ก (mg)	เทียบเป็นปริมาณสารสกัด (mg)	ค่า Absorbance	ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ (mg)	ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ (ร้อยละ)	ปริมาณเคอร์คิวมินอยด์ที่หายไป (ร้อยละ)
1	576.2	30.02	0.101	4.5525	15.16	24.25
2	579.5	30.19	0.104	4.6749	15.48	22.65
3	578.4	30.13	0.103	4.6366	15.39	23.13
	เฉลี่ย ± SD (n=3)			4.6213±0.06	15.35±0.86	23.35±0.82

4.8.4 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันและโลชันหลังผสมเม็ดกลมเล็กโดยใช้วิธี DPPH

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันโดยวิธี DPPH ได้ค่า IC_{50} เท่ากับ 1.35 ±0.13 mg/mL ดังแสดงในรูป 32 เมื่อเทียบกับ IC_{50} ของสารมาตรฐานคือ Alpha-tocopherol ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.13±0.08 µg/mL พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเม็ดกลมเล็กน้อยกว่าประมาณ 64 เท่า แต่เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดเสาวรสและโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 21.57±0.13 mg/mL และ 100.20 ± 0.15 mg/mL ตามลำดับแล้ว เม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าน้ำมันเมล็ดเสาวรสและโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสมาก ดังนั้นการนำเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันไปผสมในโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสน่าจะช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตำรับได้ จึงทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโลชันหลังจากผสมเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันในปริมาณร้อยละ 0.25 พบว่าได้ค่า IC_{50} เท่ากับ 70.24±0.13 mg/mL ดังแสดงในรูป 33

ซึ่งมีค่าลดลงจากก่อนผสมเม็ดกลมเล็กที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 100.20 ± 0.15 mg/mL แสดงว่าเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันช่วยเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสได้

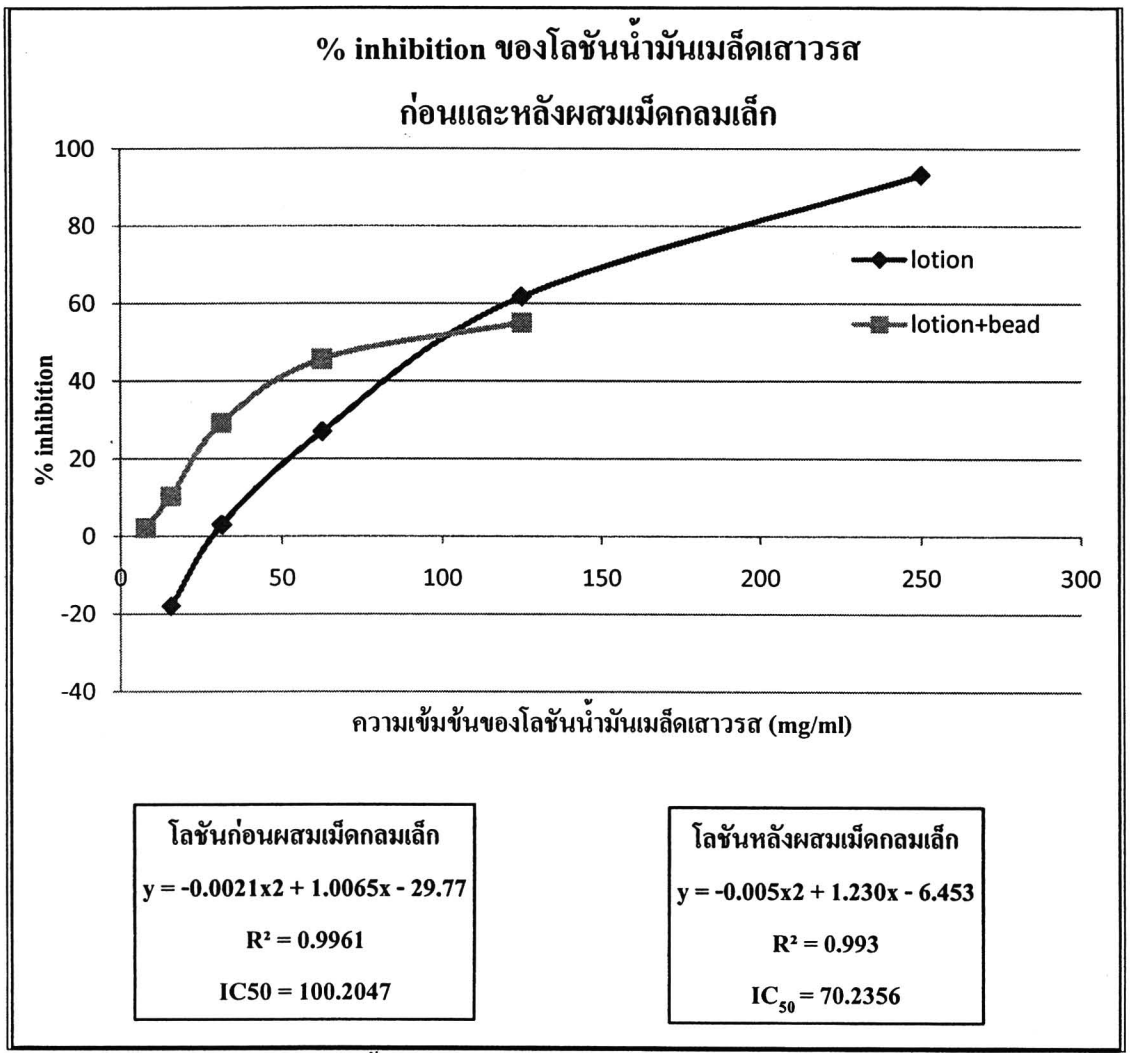


รูป 32 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% inhibition) ของเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันโดยวิธี DPPH

4.9 ประเมินการระคายเคือง ประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัคร

4.9.1 การทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังในอาสาสมัคร

น้ำมันเมล็ดเสาวรสและขมิ้นชัน เป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่มีประวัติการใช้มาอย่างยาวนาน โดยในปัจจุบันมีการนำน้ำมันเมล็ดเสาวรสมาใช้เป็นน้ำมันนวดสำหรับการทำสปาอย่างแพร่หลาย รวมถึงใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เพื่อผิวหนังหลากหลายชนิดจึงมีความน่าเชื่อถือเรื่องความปลอดภัยต่อผิวหนังมนุษย์ เช่นเดียวกับส่วนประกอบต่างๆในตำรับ ผู้วิจัยพยายามเลือกใช้สารที่มีข้อมูลเรื่องความปลอดภัยในการใช้ อย่างไรก็ตามอาจมีองค์ประกอบบางชนิดที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองผิวหนังในอาสาสมัครบางราย เช่นสารลดแรงตึงผิวบางชนิด จึงอาจทำให้ผิวหนังเกิดผื่นแพ้ อาจมีอาการบวม แดง หรือคันในบริเวณผิวหนังที่ทดสอบใช้ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังในมนุษย์



รูป 33 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% inhibition) ของโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสก่อนและหลังผสมเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันโดยวิธี DPPH

จากการทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังของตำรับที่จะนำไปทดสอบประสิทธิภาพและความพึงพอใจในอาสาสมัครอันได้แก่โลชันที่วางขายในท้องตลาดที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะกอกและสารสกัดขมิ้นชัน โลชันพื้นแบบไม่มีน้ำมันเมล็ดเสาวรส และตำรับที่พัฒนาขึ้นได้แก่โลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ผสมและไม่ผสมเม็ดกลมเล็กขมิ้นชัน โดยทำการทดสอบในอาสาสมัครจำนวน 20 คน ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 21 พบว่าหลังจากทาผลิตภัณฑ์บนผิวหนังอาสาสมัครแล้วปิดผ้าก๊อซทิ้งไว้เป็นเวลาต่างๆพบว่าไม่มีโลชันตำรับใดเลยที่ทำให้ผิวหนังอาสาสมัครบวมแดง ระคายเคืองหรือเกิดอาการไม่พึงประสงค์อื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าในเบื้องต้นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่พัฒนาขึ้นน่าจะมีความปลอดภัยในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โลชันบำรุงผิวต่อไป

ตาราง 21 คะแนนการประเมินการเกิดอาการบวมแดง และระคายเคืองต่อผิวหนังในอาสาสมัครหลังใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่เวลาต่างๆ

ตำรับ	คะแนนเฉลี่ยอาการบวมแดงของผิวหนังอาสาสมัครหลังปิดผ้าก๊อซเป็นเวลา			
	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
โลชันที่วางขายในท้องตลาด	0	0	0	0
โลชันพื้นแบบไม่มีน้ำมันเมล็ดเสาวรส	0	0	0	0
โลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ไม่ผสมเม็ดกลมเล็ก	0	0	0	0
โลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ผสมเม็ดกลมเล็ก	0	0	0	0

ประเมินผลการเกิดการบวมหรือแดงตามค่าระดับคะแนนดังนี้คือ

0 = ไม่เกิดอาการบวมแดง 3 = เกิดอาการบวมแดงปานกลางถึงมาก

1 = เกิดอาการบวมแดงน้อยมาก 4 = เกิดอาการบวมแดงรุนแรง

2 = เกิดอาการบวมแดงชัดเจน *n=20

4.9.2 การทดสอบความชุ่มชื้นของผิวหนัง

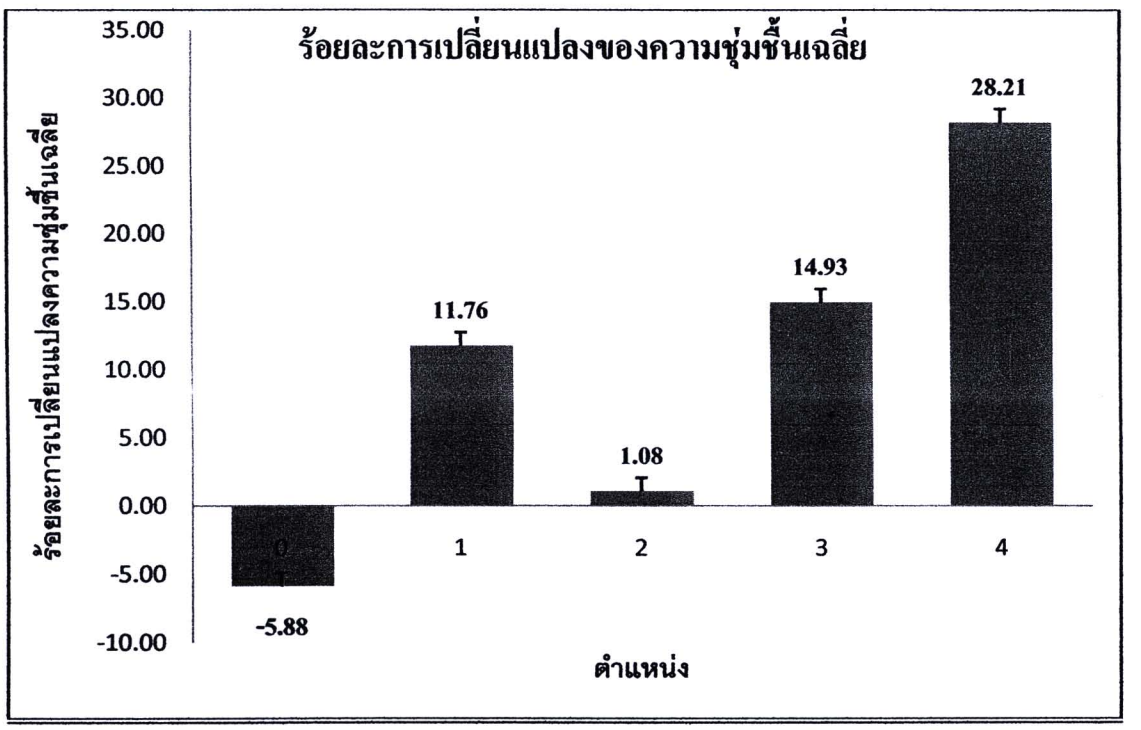
จากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเสาวรสพบว่าประกอบไปด้วยกรดไขมันจำเป็นหลายชนิด ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้มีประโยชน์ในการช่วยบำรุงผิวหนังโดยทำหน้าที่เป็นสารเคลือบผิวคล้ายไขผิว ช่วยรักษาความชุ่มชื้นและเพิ่มความยืดหยุ่นของผิวหนัง[2] ดังนั้นหลังจากพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสจึงมีการทดสอบประสิทธิภาพในการช่วยรักษาความชุ่มชื้นของผิวหนังในอาสาสมัคร ผลการทดลองแสดงในตาราง 22 และรูป 34 พบว่าหลังใช้โลชันครบ 1 เดือน ความชุ่มชื้นเฉลี่ยของผิวหนังตำแหน่งที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์ทุกตำรับเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผิวหนังบริเวณที่ไม่มีการใช้ผลิตภัณฑ์ความชุ่มชื้นเฉลี่ยลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโลชันที่พัฒนาขึ้นกับโลชันที่วางขายในท้องตลาดโดยชนิดที่เลือกมาทดสอบในการศึกษานี้เป็นโลชันที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะกอกและสารสกัดจากขมิ้นชัน ผลการทดสอบพบว่าตำรับโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสชนิดที่ไม่ผสมเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันสามารถเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนังอาสาสมัครได้มากกว่าการไม่ทาโลชันและตำรับโลชันพื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และการเพิ่มความชุ่มชื้นนี้เทียบเท่ากับตำรับโลชันในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่โลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสชนิดที่ผสมเม็ดกลมเล็กสารสกัดขมิ้นชันเพิ่มความชุ่มชื้นแก่ผิวหนังอาสาสมัครได้มากกว่าการไม่ทาโลชันและตำรับโลชันพื้น โลชันในท้องตลาดและโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสชนิด

ไม่ผสมเม็ดกลมเล็กอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สรุปได้ว่าโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสทั้งชนิดที่มีและไม่มีเม็ดกลมเล็กขมิ้นชันส่งผลดีต่อความชุ่มชื้นของผิวหนังจึงมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บำรุงผิวต่อไป

ตาราง 22 ค่าความชุ่มชื้นของผิวหนังอาสาสมัครก่อนและหลังใช้โลชันเป็นเวลา 1 เดือน

เวลาที่วัด	ค่าความชุ่มชื้นของผิวหนังอาสาสมัครเฉลี่ย				
	ตำแหน่ง 0	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4
ก่อนใช้โลชัน	29.86 ±8.97	34.50±8.61	39.51 ±8.63	36.1 ±8.62	33.57±8.95
หลังใช้โลชัน	28.10±7.79	38.55 ±5.6	39.93±7.3	41.50 ±6.06	43.04 ±6.13

*n=20



รูป 34 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความชุ่มชื้นเฉลี่ยของผิวหนังอาสาสมัครหลังการทดสอบเป็นเวลา 1 เดือน

หมายเหตุ ตำแหน่งที่ 0 คือ บริเวณที่ไม่ทาผลิตภัณฑ์ใด ๆ

ตำแหน่งที่ 1 คือ บริเวณที่ทาโลชันชะลอริ้วรอยที่มีวางขายในท้องตลาด

ตำแหน่งที่ 2 คือ บริเวณที่ทาโลชันพื้นแบบไม่มีน้ำมันเมล็ดเสาวรส

ตำแหน่งที่ 3 คือ บริเวณที่ทาโลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ไม่ผสมเม็ดกลมเล็ก

ตำแหน่งที่ 4 คือ บริเวณที่ทาโลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสผสมเม็ดกลมเล็ก

4.9.3 การทดสอบริ้วรอย

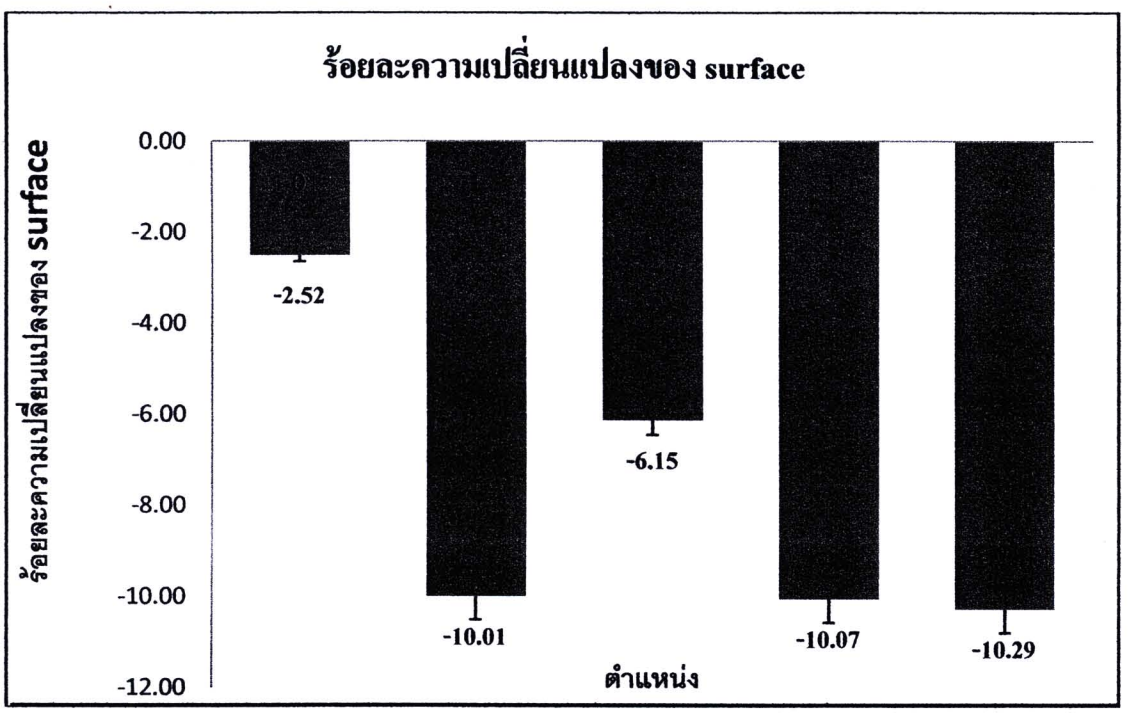
จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าน้ำมันเมล็ดเสาวรสมีส่วนประกอบที่มีประโยชน์ต่อผิวพรรณได้แก่กรดไขมันหลากหลายชนิดและสารต้านอนุมูลอิสระประสิทธิภาพสูงคือวิตามินอีและแคโรทีนอยด์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนผสมของน้ำมันเมล็ดเสาวรสมีแนวโน้มที่จะมีความสามารถที่ดีในการชะลอริ้วรอย ในการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการชะลอริ้วรอยทำโดยการวัดลักษณะของผิวหนังก่อนและหลังการใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1 เดือนได้ผลดังตัวอย่างผิวของอาสาสมัครในรูป 37 โดยคำนวณออกมาเป็นค่า surface ซึ่งเป็นค่าพื้นที่ของผิวหนังของบริเวณที่วัดว่าสามารถดึงยืดออกมาได้เป็นพื้นที่เท่าไหร่ ถ้ามีพื้นที่มากแสดงว่าดึงยืดออกมาได้มากนั่นคือ ผิวหนังมีริ้วรอยเหี่ยวย่นมาก ดังนั้นหากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบมีประสิทธิภาพในการลดริ้วรอย หลังใช้ผลิตภัณฑ์ผิวบริเวณเดิมควรมีค่า surface น้อยลง ผลการทดลองโดยประเมินจากค่า surface แสดงในตาราง 23 และรูป 35 จากภาพรวมพบว่าโลชันทุกตำรับมีผลทำให้ค่า surface ของผิวหนังลดลงได้มากกว่าการไม่ทาผลิตภัณฑ์ใดๆเลย จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า โลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ผสมและไม่ผสมเม็ดกลมเล็กมีผลลด surface ได้ดีกว่าการไม่ใช้โลชันและโลชันพื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และลด surface ได้เทียบเท่าโลชันในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และเมื่อเทียบผลระหว่างโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ผสมและไม่ผสมเม็ดกลมเล็กพบว่าโลชันชนิดผสมเม็ดกลมเล็กให้ผลลด surface ได้มากกว่าชนิดไม่ผสมเม็ดกลมเล็กเล็กน้อย แต่หากวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผลการลด surface ของโลชันทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพการชะลอริ้วรอยของผลิตภัณฑ์สามารถประเมินได้จากค่า volume ของผิวหนังบริเวณทดสอบก่อนและหลังใช้ผลิตภัณฑ์ โดยค่า volume เป็นการคำนวณริ้วรอยของผิวหนังในรูปปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเติมร่องผิว ผิวที่มีร่องหรือริ้วรอยมากต้องใช้น้ำในปริมาณมากในการเติมร่องผิวนั่นคือวัดค่า volume มาก ดังนั้นหากผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพในการลดริ้วรอยที่ดีหลังจากการใช้ผลิตภัณฑ์จะต้องวัดค่า volume ได้ลดลงจากเดิม ในงานวิจัยนี้สามารถวัดค่า volme เฉลี่ยของผิวอาสาสมัครได้ดังตาราง 24 และรูป 36 ผลิตภัณฑ์โลชันทุกตำรับสามารถลดค่า volume ของผิวได้ดีกว่าการไม่ใช้โลชัน เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบผลในทำนองเดียวกับการประเมินจากค่า surface คือโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ผสมและไม่ผสมเม็ดกลมเล็กมีผลลดค่า volume ได้ดีกว่าการไม่ใช้โลชันและโลชันพื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และลด volume ได้เทียบเท่าโลชันในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และเมื่อเทียบผลระหว่างโลชันน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ผสมและไม่ผสมเม็ดกลมเล็กพบว่าโลชันชนิดผสมเม็ดกลมเล็กให้ผลลด volume ได้มากกว่าชนิดไม่ผสมเม็ดกลมเล็ก แต่หากวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผลการลด volume ของโลชันทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตาราง 23 ค่า surface ของผิวหนังอาสาสมัครก่อนและหลังใช้โลชันเป็นเวลา 1 เดือน

เวลาที่วัด	ค่า surface เฉลี่ยของผิวหนัง				
	ตำแหน่ง 0	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4
ก่อนใช้โลชัน	5.51±0.55	5.46±0.44	5.51±0.42	5.72±0.42	5.88±0.45
หลังใช้โลชัน	5.37±0.55	4.91±0.48	5.17±0.38	5.15±0.45	5.27±0.61

*n=20

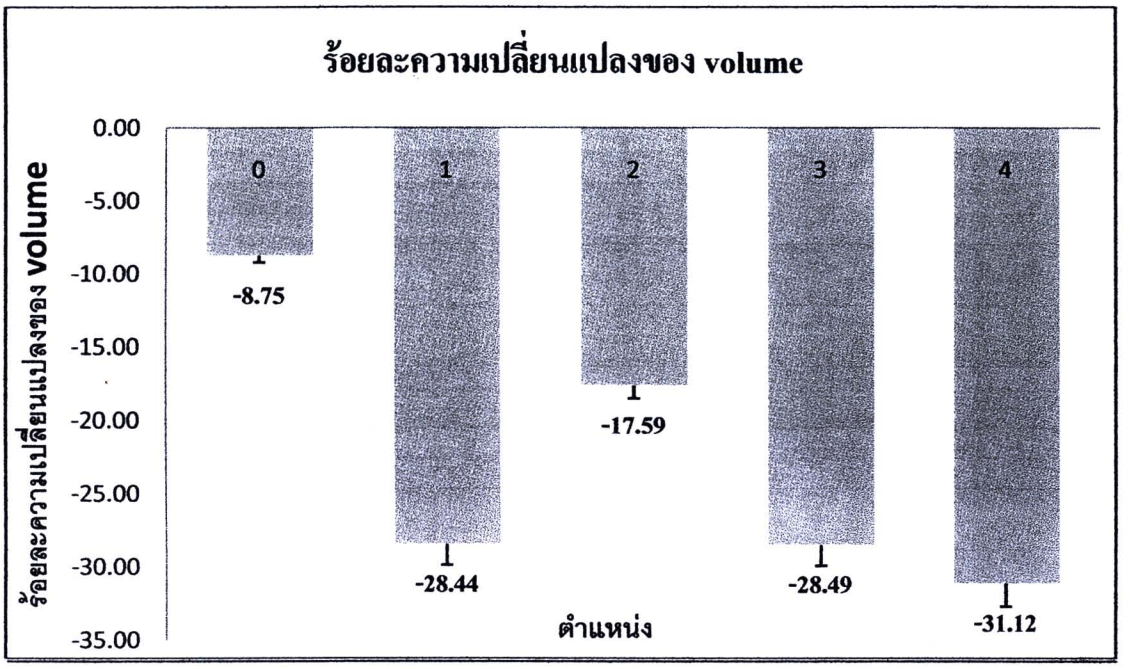


รูป 35 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า surface เฉลี่ยของผิวหนังอาสาสมัคร หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 เดือน

ตาราง 24 ค่า volume ของผิวหนังอาสาสมัครก่อนและหลังใช้โลชันเป็นเวลา 1 เดือน

เวลาที่วัด	ค่า volume เฉลี่ย				
	ตำแหน่ง 0	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4
ก่อนใช้โลชัน	61.95±7.88	65.44±8.40	59.83±9.82	63.49±9.69	59.90±8.69
หลังใช้โลชัน	56.63±7.19	46.83±7.75	49.30±10.92	45.40±7.86	41.26±5.51

*n=20



รูป 36 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า volume เฉลี่ยของผิวหนังอาสาสมัครจำนวน 20 คน หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 เดือน

หมายเหตุ ตำแหน่งที่ 0 คือ บริเวณที่ไม่ทาผลิตภัณฑ์ใด ๆ

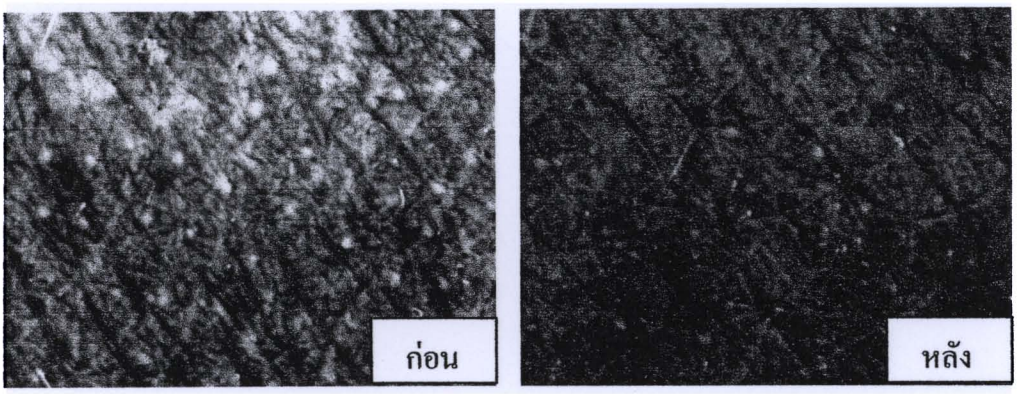
ตำแหน่งที่ 1 คือ บริเวณที่ทาโลชันชะลอริ้วรอยที่มีวางขายในท้องตลาด

ตำแหน่งที่ 2 คือ บริเวณที่ทาโลชันพื้นแบบไม่มีน้ำมันเมล็ดเสาวรส

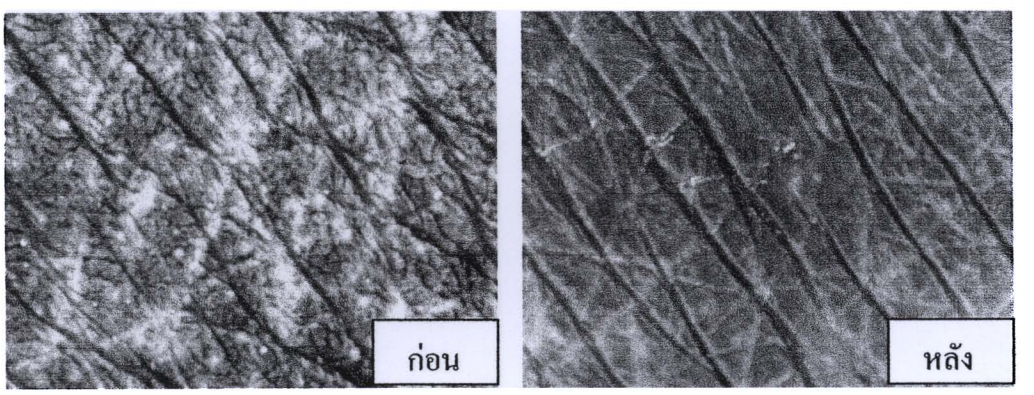
ตำแหน่งที่ 3 คือ บริเวณที่ทาโลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ไม่ผสมเม็ดกลมเล็ก

ตำแหน่งที่ 4 คือ บริเวณที่ทาโลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสผสมเม็ดกลมเล็ก

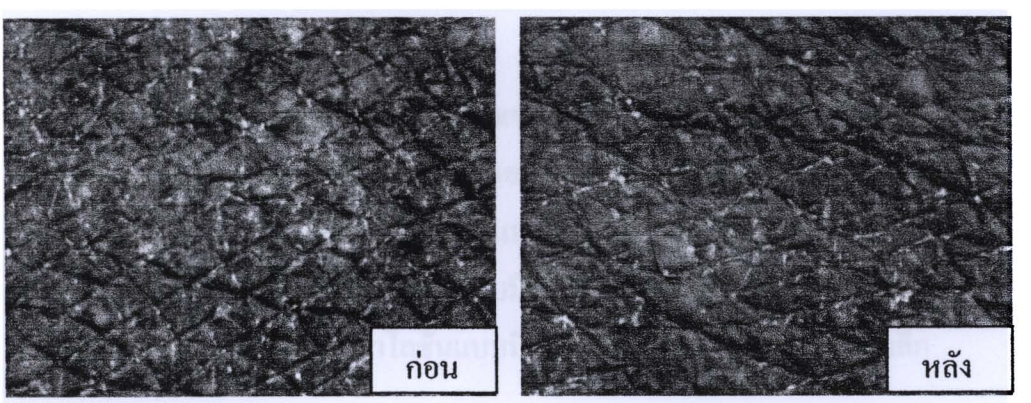
ตำแหน่งที่ 0



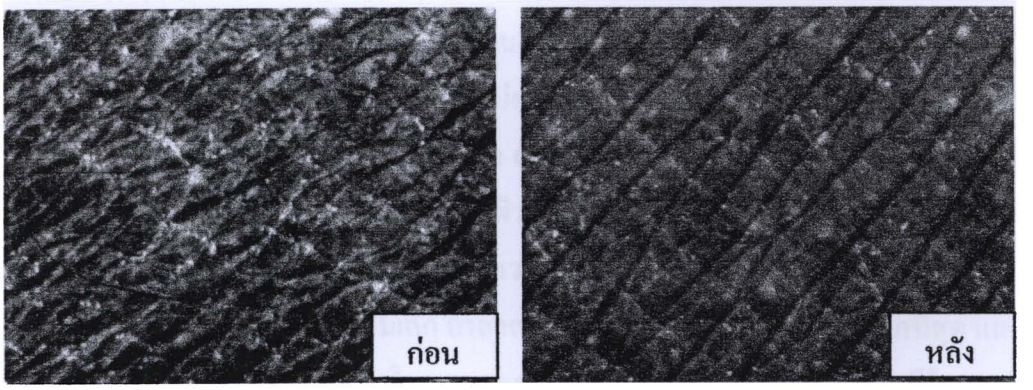
ตำแหน่งที่ 1



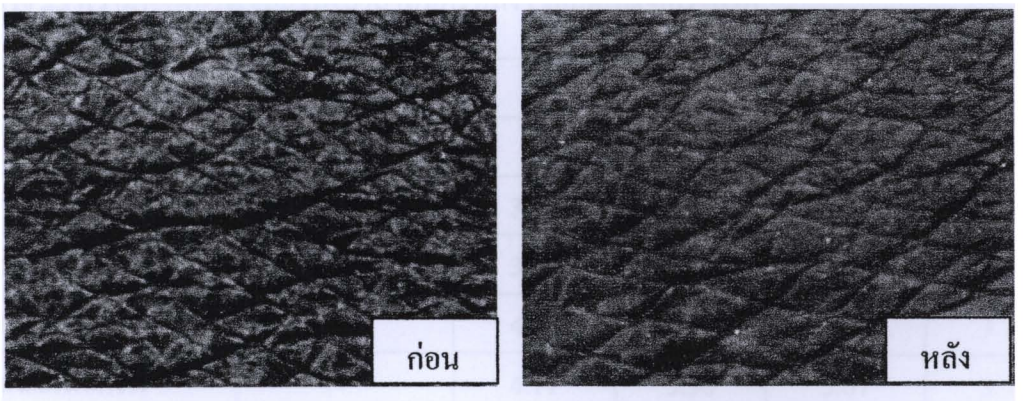
ตำแหน่งที่ 2



ตำแหน่งที่ 3



ตำแหน่งที่ 4



รูป 37 สภาพผิวในแต่ละบริเวณของอาสาสมัครก่อนทำการทดสอบ
และหลังใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1 เดือน

หมายเหตุ ตำแหน่งที่ 0 คือ บริเวณที่ไม่ทาผลิตภัณฑ์ใด ๆ
ตำแหน่งที่ 1 คือ บริเวณที่ทาโลชันชะลอริ้วรอยที่มีวางขายในท้องตลาด
ตำแหน่งที่ 2 คือ บริเวณที่ทาโลชันพื้นแบบไม่มีน้ำมันเมล็ดเสาวรส
ตำแหน่งที่ 3 คือ บริเวณที่ทาโลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ไม่ผสมเม็ดกลมเล็ก
ตำแหน่งที่ 4 คือ บริเวณที่ทาโลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสผสมเม็ดกลมเล็ก

4.9.4 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์

จากผลการประเมินความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หลังใช้ผลิตภัณฑ์ครั้งแรกดังตาราง 25 และ ความพึงพอใจหลังใช้ผลิตภัณฑ์ครบ 1 เดือนดังตาราง 26 พบว่าอาสาสมัครมีความพึงพอใจทั้งตำรับโลชันจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ผสมและไม่ผสมเม็ดกลมเล็กขมิ้นชันในระดับพึงพอใจมากในทุกหัวข้อการประเมินได้แก่ สี กลิ่น ความหนืด ลักษณะเนื้อครีม การซึมซาบลงสู่ผิว ความชุ่มชื้น ความนุ่มนวล การลดลงของริ้วรอยของบริเวณผิวที่ทา และความพึงพอใจโดยรวม เช่นเดียวกันกับโลชันในท้องตลาดและโลชันพื้น ในส่วนของความรู้สึกต่อการผสมเม็ดกลมเล็กในตำรับ ลักษณะเม็ดกลมเล็กและการแตกของเม็ดกลมเล็ก อาสาสมัครมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าโลชันจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสโดยเฉพาะชนิดที่ผสมเม็ดกลมเล็กมีศักยภาพดีในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ตาราง 25 ความพึงพอใจเฉลี่ยของอาสาสมัครหลังใช้ผลิตภัณฑ์ครั้งแรก

หัวข้อประเมิน	ตำรับที่			
	1	2	3	4
สี	3.94	3.89	3.44	4.11
กลิ่น	3.89	3.72	3.78	3.89
ความหนืด	4.06	3.33	3.28	3.78
ลักษณะเนื้อครีม	4.11	3.50	3.67	3.78
การซึมซาบลงสู่ผิว	3.94	3.00	3.22	3.83
ความรู้สึกต่อการผสมเม็ดกลมเล็กในตำรับ				4.28
ลักษณะของเม็ดกลมเล็กในตำรับ				4.28
การแตกของเม็ดกลมเล็กขณะใช้				4.28

ตาราง 26 ความพึงพอใจเฉลี่ยของอาสาสมัครหลังใช้ผลิตภัณฑ์ 1 เดือน

หัวข้อประเมิน	ตำรับที่			
	1	2	3	4
ความชุ่มชื้นของบริเวณผิวที่ทา	3.05	3.27	3.36	3.74
ความนุ่มนวลของบริเวณผิวที่ทา	2.84	3.42	3.37	4.00
การลดลงของริ้วรอยของบริเวณผิวที่ทา	3.16	3.44	3.58	4.00
ความพึงพอใจโดยรวม	3.11	3.33	3.42	3.79

หมายเหตุ ตำรับที่ 1 โลชันที่มีวางขายในท้องตลาดที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะกอกผสมสารสกัดจากขมิ้นชัน

ตำรับที่ 2 โลชันพื้นแบบไม่มีน้ำมันเมล็ดเสาวรส

ตำรับที่ 3 โลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่ไม่ผสมเม็ดกลมเล็กขมิ้นชัน

ตำรับที่ 4 โลชันแบบมีน้ำมันเมล็ดเสาวรสผสมเม็ดกลมเล็กขมิ้นชัน

หมายเหตุ คะแนน 0-1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

คะแนน 1-2 หมายถึง พึงพอใจน้อย

คะแนน 2-3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

คะแนน 3-4 หมายถึง พึงพอใจมาก

คะแนน 4-5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด