

การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของไบเจลน้ำมันถั่วดาวอินคา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Preparation and characterization of Sacha inchi oil based bigels



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของไบเจลน้ำมันถั่วดาวอินคา |
| โดย | น.ส.ญาดา ยะก๊ับ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเคมี |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | อาจารย์ ดร.ชุตินันท์ สิริพิพัฒน์กุล |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภฎี ชาญวณิช |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

| | |
|--|---------------------------------|
| | คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| (ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล) | |
| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | ประธานกรรมการ |
| | |
| (อาจารย์ ดร.พิมพ์พร พลเพชร) | |
| | อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก |
| (อาจารย์ ดร.ชุตินันท์ สิริพิพัฒน์กุล) | |
| | อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภฎี ชาญวณิช) | |
| | กรรมการ |
| (ศาสตราจารย์ ดร.จุงใจ ปั้นประณต) | |
| | กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเมฆ ชาวโพงพาง) | |

ญาดาศา ยะกับ : การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของไบเจลน้ำมันถั่วดาวอินคา. (Preparation and characterization of Sacha inchi oil based bigels) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ชุตินันท์ สิริพิพัฒน์กุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.ศุภฎี ชาญวานิช

ไบเจลเป็นเทคโนโลยีแบบใหม่ที่มีศักยภาพมากในการนำส่งสารออกฤทธิ์สำหรับการประยุกต์ใช้ทางเครื่องสำอาง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาและกำหนดลักษณะระบบไบเจลจากน้ำมันถั่วดาวอินคาที่บรรจุสารเรตินิลปาล์มมิเตท ไบเจลถูกเตรียมโดยการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยแรงเฉือนสูง ระหว่าง ส่วนออร์กาโนเจลด้วยน้ำมันถั่วดาวอินคา และสารซิลิกาไดเมททิลซิลิเลท ส่วนไฮโดรเจลประกอบด้วยคาร์โบพอล 940 และน้ำ พารามิเตอร์ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อัตราเฉือน (1200-1500 rpm), ความเข้มข้นของเจลของไฮโดรเจล (0.3-0.5% โดยน้ำหนัก), ความเข้มข้นของสารก่อเจลในออร์กาโนเจล (6-8% โดยน้ำหนัก) และอัตราส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (10:90-50:50) ผลที่ได้แสดงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม ได้แก่ อัตราเฉือน 1500 rpm, ความเข้มข้นของเจลของไฮโดรเจล 0.5% โดยน้ำหนัก, ความเข้มข้นของสารก่อเจลในออร์กาโนเจล (6 หรือ 8% โดยน้ำหนัก) และอัตราส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล ที่ 10:90 โครงสร้างจุลภาค คุณสมบัติทางกายภาพ การเรียงตัวและการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์ ไบเจลให้การปลดปล่อยสารเรตินิลปาล์มมิเตทแบบค่อย ๆ ปลดปล่อยและมีคุณลักษณะที่ดี เป็นเวลา 3 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6170150721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD: bigels, retinyl palmitate, sacha inchi oil, hydrogel, organogel

Yada Yakob : Preparation and characterization of Sacha inchi oil based bigels. Advisor: Chutimon Satirapipathkul, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. Dusadee Charnvanich, Ph.D.

Bigels are a new technology with great potential in delivery active compounds for cosmetic application. The objective of this research was to develop and characterize bigel system from Sacha inchi oil containing retinyl palmitate. The bigel was prepared by homogenizing at high shear, the hydrogel contained a water-phase gelling agent, which is mixed with Carbopol 940 with water, while organogels were made up of Sacha inchi oil and Silica dimethyl silylate. The variable parameters studied include shear rate (1200-1500 rpm), gelling concentration of hydrogel (0.3-0.5 wt%), concentration of gelling agents in organogel (6-8 wt %) and the ratio of organogels to hydrogels (10:90-50:50). The results showed that the optimum preparation conditions are: shear rate, 1500 rpm; Carbopol 940, 0.5 wt%; Silica dimethyl silylate, 6 or 8 wt% and organogel to hydrogel, 10:90. The microstructures, physical properties, alignment and particle size were investigated by microscopy. The bigels provided a sustained release of retinyl palmitate and had good physical characteristics during for 3 months.

Field of Study: Chemical Engineering

Academic Year: 2020

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร.ชุตินิพนธ์ สติรพิพัฒน์กุล และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ดุขฎิ ขาญวานิช ที่ได้มอบความรู้ คำปรึกษา ประสบการณ์และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา รวมถึงเพิ่มเติมเนื้อหาและรายละเอียดของวิจัย ให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.พิมพ์พร พลเพชร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ คณะกรรมการสอบได้แก่ ศ.ดร.จุงใจ ปั่นประณต และ ผศ.ดร. ศรีเมฆ ชาวโพงพาง สำหรับคำแนะนำในการทำวิจัย และตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยทางเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูและคณาจารย์ทุกท่าน และผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนาม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านความรู้วิชาการต่าง ๆ รวมถึงมอบกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์นี้ลุล่วงไปจนสำเร็จ

ญาดา ยะกั๊บ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ค |
| | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ง |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 3 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 เจล (Gel) | 5 |
| 2.2 ไฮโดรเจล (Hydrogel)..... | 5 |
| 2.3 ออร์กาโนเจล (Organogel) | 6 |
| 2.4 ไบเจล (Bigel)..... | 7 |
| 2.4.1 ประเภทไบเจล | 7 |
| 2.4.1.1 ประเภทออร์กาโนเจลกระจายตัวในไฮโดรเจล (Organogel-in-hydrogel)..... | 7 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.4.1.2 | ประเภทไฮโดรเจลกระจายตัวในออร์กาโนเจล (Hydrogel-in-organogel)..... | 8 |
| 2.4.1.3 | ประเภทโครงสร้างซับซ้อน (Bi-continuous/matrix-in-matrix)..... | 9 |
| 2.5 | น้ำมันถั่วดาวอินคา (Sacha inchi oil)..... | 9 |
| 2.6 | สารก่อเจล (Gelling agent or gelator)..... | 10 |
| 2.6.1 | คาร์โบพอล 940 (Carbopol 940) | 10 |
| 2.6.2 | ซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (Silica dimethyl silylate)..... | 10 |
| 2.7 | เรตินิลปาล์มมิเตท (Retinyl Palmitate)..... | 10 |
| 2.8 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 11 |
| บทที่ 3 | วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย..... | 14 |
| 3.1 | เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... | 14 |
| 3.1.1 | เครื่องมือ..... | 14 |
| 3.1.2 | สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... | 15 |
| 3.2 | วิธีการดำเนินงานวิจัย | 16 |
| 3.2.1 | การเตรียมไฮโดรเจล (Hydrogels, HG) | 16 |
| 3.2.2 | การเตรียมออร์กาโนเจล (Organogels, HG)..... | 16 |
| 3.2.3 | การเตรียมออร์กาโนเจลที่มีสารเรตินิลปาล์มมิเตท..... | 16 |
| 3.2.4 | การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรับไบเจล | 16 |
| 3.2.4.1 | การศึกษาอัตราเหมือนและสัดส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล | 17 |
| 3.2.4.2 | การศึกษาความเข้มข้นของสารก่อเจลคาร์โบพอล ความเข้มข้นของสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (SDMS) และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) | 17 |
| 3.2.5 | การศึกษาคุณสมบัติของตำรับไบเจล | 19 |
| 3.2.5.1 | ความเป็นกรดต่าง | 19 |
| 3.2.5.2 | ความหนืด..... | 19 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.2.5.3 | ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคภายในไบเจล..... | 19 |
| 3.2.5.4 | สมบัติการไหลและการเสียรูป | 19 |
| 3.2.5.5 | การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารในตำรับไบเจล | 20 |
| 3.2.6 | การศึกษาชนิดของไบเจล | 20 |
| 3.2.7 | การศึกษาความคงตัวของกายภาพของตำรับไบเจล | 21 |
| 3.2.7.1 | การทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่งด้วยการเก็บในที่เย็นสลับร้อน (heating-cooling cycle)..... | 21 |
| 3.2.7.2 | การทดสอบความคงตัวในสภาวะอุณหภูมิห้อง | 21 |
| 3.2.8 | การเตรียมตำรับไบเจลที่บรรจุเรตินิลปาล์มมิเตท..... | 21 |
| 3.2.9 | การศึกษาความคงตัวของกายภาพและเคมีของตำรับไบเจลที่บรรจุเรตินิลปาล์มมิเตท..... | 21 |
| 3.2.10 | การวิเคราะห์ปริมาณเรตินิลปาล์มมิเตทในไบเจลด้วยโครมาโทกราฟี ของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) | 22 |
| 3.2.11 | การศึกษาจลนศาสตร์การปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ | 23 |
| บทที่ 4 | ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง | 24 |
| 4.1 | ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล (HG) และออร์กาโนเจล (OG)..... | 24 |
| 4.2 | อิทธิพลของแรงเฉือนและสัดส่วนออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) ที่มีผลต่อ คุณสมบัติของไบเจล | 25 |
| 4.3 | อิทธิพลของปริมาณสารก่อเจลในไฮโดรเจล (HG) สารก่อเจลในออร์กาโนเจล (OG) และสัดส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) ที่มีผลต่อคุณสมบัติของไบ เจล | 28 |
| 4.4 | การวิเคราะห์สมบัติการไหลและการเสียรูป..... | 35 |
| 4.4.1 | สมบัติหยุ่นหนืด (Viscoelastic)..... | 35 |
| 4.4.2 | สมบัติทางเนื้อสัมผัส (Texture properties)..... | 50 |
| 4.5 | การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารในตำรับไบเจลด้วยวิธี FTIR..... | 56 |

| | |
|--|-----|
| 4.6 ความคงตัวทางกายภาพของตำรับไบเจล | 59 |
| 4.6.1 ความคงตัวทางกายภาพในสภาวะเร่ง..... | 59 |
| 4.6.2 ความคงตัวทางกายภาพในอุณหภูมิแวดล้อมในระยะยาว | 61 |
| 4.7 การเลือกสูตรไบเจลเพื่อใช้ในการนำส่งสารเรตินิลปาล์มมิเตท..... | 64 |
| 4.7.1 ลักษณะทางกายภาพของออร์กาโนเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท | 64 |
| 4.7.2 ลักษณะทางกายภาพของไบเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท..... | 65 |
| 4.7.3 ปริมาณสารสำคัญที่มีอยู่ในตำรับไบเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท..... | 65 |
| 4.8 ความคงตัวทางกายภาพและเคมีของตำรับไบเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท | 66 |
| 4.8.1 ความคงตัวทางกายภาพ..... | 66 |
| 4.8.2 ความคงตัวทางเคมี..... | 70 |
| 4.9 การปลดปล่อยของเรตินิลปาล์มมิเตทจากตำรับ (In vitro release studies)..... | 75 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... | 77 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 77 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 78 |
| บรรณานุกรม..... | 79 |
| ภาคผนวก..... | 82 |
| ภาคผนวก ก. ความเป็นกรดต่างและความหนืดของตำรับต่าง ๆ..... | 83 |
| ภาคผนวก ข. การทดสอบชนิดไบเจล โดยวิธี Dilution test..... | 97 |
| ภาคผนวก ค. คุณสมบัติการไหลและการเสีรูปร่างจากการวิเคราะห์ด้วย | 100 |
| ภาคผนวก ง. การทดสอบความคงตัวทางเคมีของเรตินิลปาล์มมิเตทในตำรับ | 110 |
| ภาคผนวก จ. การทดสอบการปลดปล่อยเรตินิลปาล์มมิเตทแบบภายนอกจาก ตำรับไบเจล (In vitro drug release study)..... | 112 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 118 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|---|----|
| ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารก่อเจลคาร์โบพอล ความเข้มข้นของสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (SDMS) และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลและไฮโดรเจล (O:H) ในแต่ละตำรับ (แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)..... | 18 |
| ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่อง texture analyzer..... | 20 |
| ตารางที่ 3 ค่า pH และความหนืดของไฮโดรเจล (HG) และออร์กาโนเจล (OG) ที่ปริมาณสารก่อเจลค่าต่าง ๆ..... | 25 |
| ตารางที่ 4 ขนาดของหยดเฟสภายในของไบเจลแต่ละสูตรตำรับ..... | 31 |
| ตารางที่ 5 ค่า pH และความหนืดของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ..... | 34 |
| ตารางที่ 6 แรงสูงสุดและแรงตกค้างของ HG แต่ละสูตร..... | 36 |
| ตารางที่ 7 แรงสูงสุด แรงตกค้างและค่า % Stress relaxation ของไบเจลแต่ละสูตร..... | 47 |
| ตารางที่ 8 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของ HG สูตรตำรับต่าง ๆ..... | 50 |
| ตารางที่ 9 ความแน่น (firmness) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ..... | 51 |
| ตารางที่ 10 ความเชื่อมยึดติด (cohesiveness) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ..... | 52 |
| ตารางที่ 11 ความเหนียว (stickiness) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ..... | 53 |
| ตารางที่ 12 ดัชนีความหนืด (Index of viscosity) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ..... | 54 |
| ตารางที่ 13 ค่า pH และความหนืดของไบเจลก่อนและหลังทดสอบความคงตัวในสภาวะแรง..... | 60 |
| ตารางที่ 14 ค่า pH และความหนืดของไบเจลในอุณหภูมิแวดล้อมในระยะยาว..... | 62 |
| ตารางที่ 15 ปริมาณสารสำคัญ (% Labeled amount) ที่มีอยู่ในตำรับไบเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท..... | 66 |
| ตารางที่ 16 ค่า pH และความหนืดของไบเจลและ OG ที่มีสารก่อเจล 6% และ 8% และมี RP 1% โดยน้ำหนัก หลังเตรียมเสร็จและหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C 4 สัปดาห์..... | 69 |

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1 ประเภทออร์กาโนเจลในไฮโดรเจล (Organogel-in-hydrogel) [8]..... | 8 |
| รูปที่ 2 ประเภทไฮโดรเจลในออร์กาโนเจล (Hydrogel-in-organogel) [8]..... | 8 |
| รูปที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของเรตินิลปาล์มมิเตท (Retinyl Palmitate) [18]..... | 11 |
| รูปที่ 4 HG ที่มีปริมาณคาร์โบพอล a) 0.3% b) 0.4% และ c) 0.5% โดยน้ำหนัก..... | 24 |
| รูปที่ 5 OG ที่มี SDMS a) 6% และ b) 8% โดยน้ำหนัก..... | 24 |
| รูปที่ 6 ไบเจลที่มี O:H ต่างๆ แรงเฉือน 1200 rpm (ด้านบน)..... | 26 |
| รูปที่ 7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโดยใช้กำลังขยาย 100 เท่า (เลนส์ใกล้ตา 10x, เลนส์ใกล้วัตถุ 10x) ยกเว้นภาพของ O:H ที่ 20:80, 1200 rpm และ O:H ที่ 30:70 ที่ 1200 และ 1500 rpm ใช้กำลังขยาย 40 เท่า (เลนส์ใกล้ตา 10x, เลนส์ใกล้วัตถุ 4x)..... | 27 |
| รูปที่ 8 ไบเจลมี SDMS ใน OG 6% โดยน้ำหนัก และคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG..... | 29 |
| รูปที่ 9 ไบเจลที่มี SDMS ใน OG 8% โดยน้ำหนัก และคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG..... | 30 |
| รูปที่ 10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า ของไบเจลที่มี SDMS ใน OG 6% โดยน้ำหนัก และคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG..... | 32 |
| รูปที่ 11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า ของไบเจลที่มี SDMS ใน OG 8% โดยน้ำหนักและคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG..... | 33 |
| รูปที่ 12 กราฟ Stress relaxation ของ HG ทั้ง 3 สูตร..... | 36 |
| รูปที่ 13 % Stress relaxation ของ HG ทั้ง 3 สูตร..... | 37 |
| รูปที่ 14 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน O:H..... | 38 |
| รูปที่ 15 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน O:H..... | 38 |
| รูปที่ 16 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน O:H..... | 39 |
| รูปที่ 17 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์คาร์โบพอล..... | 40 |
| รูปที่ 18 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์คาร์โบพอล..... | 41 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 19 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์คาร์โบพอล | 41 |
| รูปที่ 20 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน %SDMS | 43 |
| รูปที่ 21 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน %SDMS | 44 |
| รูปที่ 22 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน %SDMS | 45 |
| รูปที่ 23 %Stress relaxation ของไบเจลสูตรต่าง ๆ | 49 |
| รูปที่ 24 Texture profiles ของ HG ทั้ง 3 สูตร | 50 |
| รูปที่ 25 FTIR spectra ของ HG OGและไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ | 56 |
| รูปที่ 26 FTIR spectra ของ HG และไบเจลที่มีคาร์โบพอล 0.5% และมี SDMS ที่ O:H ต่าง ๆ | 57 |
| รูปที่ 27 FTIR spectra ของ OG ที่ความเข้มข้นของสารก่อเจล SDMS 6% และ 8% โดยน้ำหนัก . | 58 |
| รูปที่ 28 FTIR spectra ของน้ำมันถั่วดาวอินคา [25] | 58 |
| รูปที่ 29 OG ที่มี SDMS a) 6% และ b) 8% โดยน้ำหนัก โดยบรรจุ RP เท่ากันที่ 1% โดยน้ำหนัก | 64 |
| รูปที่ 30 ไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ ที่บรรจุ RP 1% โดยน้ำหนัก | 65 |
| รูปที่ 31 ไบเจลที่บรรจุ RP 1 % โดยน้ำหนัก และ OG ที่มีสารก่อเจล 6% โดยน้ำหนัก หลังเตรียม เสร็จและหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ | 67 |
| รูปที่ 32 ไบเจลที่บรรจุ RP 1 % โดยน้ำหนัก และ OG ที่มีสารก่อเจล 8% โดยน้ำหนัก หลังเตรียม เสร็จและหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ | 67 |
| รูปที่ 33 OG ที่มีสารก่อเจล 6% และ 8% ที่บรรจุ RP 1 % โดยน้ำหนักหลังเตรียมเสร็จและหลังจาก เก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ | 68 |
| รูปที่ 34 เปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลือของไบเจลทั้ง 4 สูตร หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (n = 3)..... | 71 |
| รูปที่ 35 เปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลือของไบเจลทั้ง 4 สูตร หลังเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์..... | 72 |
| รูปที่ 36 เปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 6% 10:90 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็น ระยะเวลา 4 สัปดาห์..... | 73 |
| รูปที่ 37 เปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 6% 15:85 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็น ระยะเวลา 4 สัปดาห์..... | 73 |

- รูปที่ 38 เปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 8% 10:90 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็น
ระยะเวลา 4 สัปดาห์..... 74
- รูปที่ 39 เปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 8% 15:85 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็น
ระยะเวลา 4 สัปดาห์..... 74
- รูปที่ 40 การปลดปล่อยของไบเจลที่บรรจุเรตินิลปาล์มมิเตท เรตินิลปาล์มมิเตทในน้ำมันถั่วดาวอินคา
และสารละลายเรตินิลปาล์มมิเตท เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง..... 76



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิตามินเอและอนุพันธ์ของวิตามินเอหรือในชื่อของเรตินอยด์ (Retinoid) คือกลุ่มของสารที่ละลายในไขมันรวมถึง เรตินอล (retinol), เรตินาล (retinal), เรตินิลอะซิเตท (retinyl acetate), เรตินิลลิโนเลอเต (retinyl linoleate) และ เรตินิลปาล์มมิเตท (retinyl palmitate) [1]

เรตินอยด์ (Retinoid) มีผลกระทบต่อผิวหนัง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและองค์ประกอบที่ผิวหนัง และการเพิ่มจำนวนของเซลล์ ด้วยเหตุนี้เรตินอยด์จึงมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่เด่นชัดต่อเซลล์ผิวที่สำคัญเช่น คีราติโนไซต์ (keratinocytes), ไฟโบรบลาสต์ (dermal fibroblasts), เมลาโนไซต์ (melanocytes), ซีโบไซต์ (sebocytes) และมีศักยภาพสูงในการเป็นยารักษาโรคผิวหนัง

ในส่วนของคีราติโนไซต์ เรตินอยด์ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนที่ผิวหนัง และยังทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและองค์ประกอบที่ผิวหนัง อย่างไรก็ตามผลของเรตินอยด์ที่สังเกตเกิดขึ้นในการทดลองไม่ได้เกิดขึ้นในร่างกาย ไฟโบรบลาสต์เป็นเซลล์เป้าหมายที่สำคัญของเรตินอยด์และถูกกระตุ้นให้สร้างโปรตีนเมทริกซ์นอกเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผิวหนังได้รับความเสียหายจากการกระทบกระเทือนจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation) หรือกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) เรตินอยด์ควบคุมการสร้างเม็ดสีและสามารถลดรอยดำในสัตว์และมนุษย์ [2] แต่การรักษาโดยใช้เรตินอยด์อาจนำไปสู่การระคายเคืองผิวหนังรวมถึงความแห้งกร้าน ลอก ผื่นแดง และอาการคัน แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเรตินอยด์ลง [3] ซึ่งเรตินิลปาล์มมิเตท (retinyl palmitate) เป็นที่นิยมนำมาใช้เนื่องจากให้ผลที่ระคายเคืองต่อผิวน้อยกว่ามีความคงตัวทางออกซิเดชัน (oxidation) และทางความร้อนที่ดีกว่าเรตินอยด์ [4] เนื่องจากปัญหาการระคายเคืองต่อผิวหนังเมื่อใช้งานจึงเกิดการคิดระบบนำส่งยาเพื่อให้ความปลอดภัยในการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยการควบคุมการปลดปล่อยยาแบบช้า ๆ เพื่อลดปัญหาการระคายเคือง

ระบบนำส่งยาทางผิวหนังเป็นเรื่องน่าสนใจเนื่องจากประโยชน์ในการเอาชนะจุดด้อยของการนำส่งยาแบบอื่น ๆ เนื่องจากลักษณะที่ไม่สามารถผ่านได้ของผิวหนัง การออกแบบการนำส่งยาที่เหมาะสมที่จะสามารถผ่านผิวหนังจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถควบคุมการปลดปล่อยยา

ได้และสามารถทดแทนการให้ยาแบบฉีดและรับประทาน จึงมีการนำเจลมาใช้เพื่อนำส่งยาผ่านผิวหนัง ซึ่งเจลมีลักษณะเป็นกึ่งของแข็ง (semisolid) ซึ่งมีเฟสตัวทำละลายภายนอกทั้งที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยถูกตรึงโดยโครงร่างสามมิติ (3-dimensional network) เจลมีการใช้งานที่หลากหลายทั้งในด้านอาหาร, เครื่องสำอาง, เทคโนโลยีชีวภาพ และ เกษษศาสตร์

โดยปกติแล้วเจลสามารถแยกความแตกต่างได้ตามเฟสของของเหลวเช่นออร์กาโนเจล (organogel) หรืออิลีโอเจล (oleogel) ประกอบไปด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ และไฮโดรเจล (hydrogels) มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เจลชนิดอื่นสำหรับใช้บริเวณผิวหนังเช่น อิมัลเจล (emulgel), ไบเจล (bigel) และ แอโรเจล (aerogel)

ตัวทำละลายที่ใช้ในออร์กาโนเจล (organogel) ได้แก่ เบนซีน (benzene), เฮกเซน (hexane) และน้ำมันบริโกลด์ได้เช่น น้ำมันข้าวโพด, น้ำมันอัลมอนต์, น้ำมันตับปลาและน้ำมันมะกอก ซึ่งน้ำมันบริโกลด์ได้มีประโยชน์เมื่อนำใช้ทาช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นของผิว, ต่อต้านริ้วรอย, ต้านการอักเสบและคุณสมบัติช่วยให้ผ่อนคลาย [5]

โดยในน้ำมันถั่วดาวอินคา ภายในเมล็ดอุดมไปด้วยน้ำมัน (35-60%) และโปรตีน (27%) น้ำมันดังกล่าวอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 93% ของทั้งหมด ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และ กรดโอเลอิก (Oleic acid) ซึ่งปริมาณสูงมากกว่าน้ำมันชนิดอื่น [6]

ไบเจลมีลักษณะกึ่งของแข็ง (semisolid) เกิดจากการรวมกันของเจลแบบน้ำ (ไฮโดรเจล) และเจลน้ำมัน (ออร์กาโนเจล) ไบเจลมีลักษณะที่ดีของเจลทั้งสองระบบรวมกันเช่น ให้สัมผัสที่เย็น, การเพิ่มความชุ่มชื้นของชั้นผิวสตราตัมคอร์เนียม (stratum corneum), แผ่กระจายได้ง่าย, ทำให้ผิวนุ่มและการล้างด้วยน้ำได้เมื่อใช้ทาบนผิว ช่วยเพิ่มการซึมผ่านของยาและช่วยให้อัตราการปลดปล่อยยาดีขึ้น

ไบเจลเป็นส่วนผสมที่มีความเสถียรของออร์กาโนเจลและไฮโดรเจลที่ปราศจากสารลดแรงตึงผิวหรือสารทำอิมัลชัน เตรียมโดยการผสมเจลแบบน้ำและน้ำมันเข้ากันด้วยอัตราการเฉือนหรือความเร็วใบพัดที่สูง เนื่องจากไม่มีสารลดแรงตึงผิว (surfactant) หรือสารทำอิมัลชัน (emulsifier) ในปริมาณที่มากนักจึงแตกต่างจากครีมและอิมัลเจล (emulgel) ในแง่ของส่วนประกอบจึงไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง [5]

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาระบบไบเจลจากน้ำมันถั่วดาวอินคา (sacha inchi oil) และสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (silica dimethyl silylate) ในออร์กาโนเจล และในส่วนของไฮโดรเจลใช้สารก่อเจลคาร์โบพอล 940 (Carbopol 940) สำหรับนำส่งสารเรตินิลปาล์มมิเตท (retinyl palmitate) โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียม ได้แก่ อัตราเฉือนหรือความเร็วรอบของใบพัด, ความเข้มข้นของสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลทและสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล โดยดูความคงตัวทางกายภาพของตำรับไบเจล, ความคงตัวทางกายภาพและทางเคมีของตำรับไบเจลโดยใช้สารเรตินิลปาล์มมิเตท และการปลดปล่อยสารเรตินิลปาล์มมิเตทจากตำรับไบเจล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบไบเจลจากน้ำมันถั่วดาวอินคาที่บรรจุสารเรตินิลปาล์มมิเตท
- 1.2.2 ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติไบเจลจากน้ำมันถั่วดาวอินคา ได้แก่ อัตราเฉือน, ความเข้มข้นของสารก่อเจลในไฮโดรเจล, ความเข้มข้นของสารก่อเจลในออร์กาโนเจล และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล
- 1.2.3 ศึกษาความคงตัวทางกายภาพและทางเคมีของตำรับไบเจลที่บรรจุสารเรตินิลปาล์มมิเตท
- 1.2.4 ศึกษาการปลดปล่อยสารเรตินิลปาล์มมิเตทจากตำรับไบเจล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมตำรับไบเจลโดยในไฮโดรเจลประกอบไปด้วยตัวทำละลายคือน้ำปราศจากไอออนและคาร์โบพอล 940 เป็นสารก่อเจล สำหรับออร์กาโนเจลมีน้ำมันถั่วดาวอินคาเป็นตัวทำละลายและซิลิกาไดเมทิลซิลิเลทเป็นสารก่อเจล โดยเตรียมที่อุณหภูมิห้อง
- 1.3.2 การศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของไบเจล มีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ อัตราเฉือนของใบพัด ความเข้มข้นของสารก่อเจลในไฮโดรเจล ความเข้มข้นของสารก่อเจลในออร์กาโนเจล และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล
 - 1.3.2.1 อัตราเฉือน คือ 1200 และ 1500 รอบต่อนาที
 - 1.3.2.2 ความเข้มข้นของคาร์โบพอล 940 ในไฮโดรเจล คือร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5

โดยน้ำหนัก

- 1.3.2.3 ความเข้มข้นของซิลิกาไดเมทิลซิลิเลทในออร์กาโนเจล คือร้อยละ 6 และ 8 โดยน้ำหนัก
- 1.3.2.4 สัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล คือ 10:90 15:85 20:80 30:40 40:60 และ 50:50
- 1.3.3 เตรียมตัวรับไบเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
- 1.3.4 การศึกษาคุณสมบัติของไบเจล
- 1.3.4.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของไบเจลโดยดูลักษณะของเนื้อเจล สี และความหนืด
- 1.3.4.2 การวิเคราะห์การจัดเรียงตัวและขนาดอนุภาคภายในไบเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
- 1.3.4.3 ทดสอบความคงตัวของไบเจลที่สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 3 เดือน
- 1.3.4.4 ทดสอบความคงตัวของไบเจลในสภาวะเร่งด้วยการเก็บในที่เย็นสลับร้อน (heating-cooling cycle) ทั้งหมด 6 รอบ
- 1.3.4.5 การศึกษาสมบัติการไหลและการเปลี่ยนรูปทรง (Rheological properties) วิเคราะห์คุณสมบัติหยุ่นหนืด (viscoelasticity) และคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส (texture properties) โดยใช้ Texture analyzer
- 1.3.4.6 การศึกษาปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างเจลเฟสน้ำและน้ำมัน ด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) โหมด ATR
- 1.3.4.7 การศึกษาการปลดปล่อยของเรตินิลปาล์มมิเตทจากตัวรับไบเจล ศึกษาด้วยวิธีไดอะไลซิส (Dialysis) และวิเคราะห์ปริมาณเรตินิลปาล์มมิเตทที่ปลดปล่อยผ่านถุงไดอะไลซิสมายังตัวกลาง ด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ตัวรับไบเจลที่เตรียมจากน้ำมันถั่วดาวอินคา ที่มีคุณสมบัติทางเครื่องสำอางที่ดีได้
- 1.4.2 ได้ข้อมูลพื้นฐานเพื่อพัฒนาตัวรับไบเจลจากน้ำมันถั่วดาวอินคาและใช้เป็นระบบนำส่งสารเรตินิลปาล์มมิเตท

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เจล (Gel)

เจลเป็นตัวพามีประโยชน์สำหรับการนำส่งยาเฉพาะที่หรือสำหรับการออกฤทธิ์ของยาเฉพาะที่บนผิวหนังเช่นในกรณีของเคล็ดขัดยอกหรือความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก เจลมีลักษณะเป็นรูปแบบกึ่งของแข็ง (semisolid) แบ่งได้ตามตัวทำละลายภายนอกคือ แบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือ แบบชอบน้ำ (hydrophilic) และถูกตรึงโดยโครงร่างสามมิติ (3-dimensional network) เจลเป็นวัสดุพิเศษที่มีทั้งความแข็ง (rigid) และความยืดหยุ่น (elastic) และมีการใช้งานที่หลากหลายในเครื่องสำอาง, ยา, วัสดุชีวภาพและเทคโนโลยีอาหาร

ยิ่งไปกว่านั้นเจลส่วนใหญ่จะประกอบด้วยตัวทำละลายของเหลวโดยมีองค์ประกอบส่วนน้อยเป็นเมทริกซ์ที่เป็นของแข็ง โดยทั่วไปสารก่อเจลเช่นคาโบเมอร์ (carbomer) หรือกัมธรรมชาติ เช่น แชนแทนกัม จะกระจายตัวในน้ำเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับครีมและซีฟิ่ง, เจลเนื่องจากมีปริมาณน้ำสูงทำให้มีการละลายของยามากขึ้นและช่วยในการนำส่งยาผ่านทางถุงเล็กๆ (vesicle)

นอกจากนี้เจลยังสามารถให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนังได้โดยการรักษาน้ำจำนวนมากผ่านผิวหนังและให้ความสะดวกในการขนส่งยา โดยปกติแล้วเจลอาจแตกต่างกันออกเป็นสองประเภทที่แตกต่างกันตามลักษณะของเฟสของเหลว ตัวอย่างเช่น ออร์กาโนเจล (organogel) หรือโอลีโอเจล (oleogel) มีตัวทำละลายอินทรีย์และไฮโดรเจล (hydrogel) ประกอบไปด้วยน้ำ [7]

2.2 ไฮโดรเจล (Hydrogel)

เจลที่ประกอบด้วยตัวกลางการแพร่กระจาย ที่มีสารก่อเจลที่ชอบน้ำรู้จักกันในชื่อไฮโดรเจล ไฮโดรเจลเป็นเครือข่ายโพลิเมอร์แบบสามมิติซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำจำนวนมาก ไฮโดรเจลสามารถเกิดขึ้นผ่านการเชื่อมโยงทางเคมีและทางกายภาพซึ่งให้โครงสร้างและความคงตัวทางกายภาพ โดยทางกายภาพได้แก่ การตกผลึก, แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals interaction) และพันธะไฮโดรเจน ไฮโดรเจลที่เกิดจากการเชื่อมโยงทางกายภาพสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ (reversible hydrogels) ส่วนไฮโดรเจลทางเคมี (chemical) เรียกว่าแบบเปลี่ยนกลับไม่ได้ (permanent) จะถูกสร้างขึ้นผ่านการเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์

การปลดปล่อยยาจากไฮโดรเจลสามารถเกิดขึ้นได้จากกลไกต่าง ๆ ได้แก่ การแพร่และการกระตุ้นทางเคมี การแพร่กระจายถูกควบคุมโดยการเคลื่อนที่ผ่านเนื้อ (polymer matrix) ของไฮโดรเจล เจลที่ถูกกระตุ้นด้วยทางเคมีจะเกิดจากปัจจัยเช่น pH, อุณหภูมิ หรือการกระทำของเอนไซม์ กลไกประเภทนี้สามารถใช้สำหรับการปล่อยยาสำหรับเนื้อเยื่อเฉพาะที่ การปลดปล่อยยาผ่านการแพร่เป็นเรื่องธรรมดาสำหรับยาเฉพาะที่ ในขณะที่การปลดปล่อยยาโดยการกระตุ้นทางเคมีถูกประยุกต์ใช้ในการส่งยาทางปากมากกว่า [7]

2.3 ออร์กาโนเจล (Organogel)

เจลที่มีน้ำมันหรือของเหลวที่ไม่มีขั้วเป็นสื่อกลางในการแพร่กระจายรู้จักกันในชื่อออร์กาโนเจล โดยออร์กาโนเจลถูกกำหนดให้เป็นของเหลวอินทรีย์ที่กักอยู่ในโครงสร้างสามมิติแบบทนความร้อน

ออร์กาโนเจลเป็นระบบที่มีลักษณะกึ่งของแข็ง (Semisolid) โดยอาศัยสารก่อเจลในเฟสน้ำมัน (organogelator) และตัวทำละลายไม่มีขั้ว มีส่วนประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือโพลิเมอร์ที่ละลายในน้ำมัน ซึ่งก่อให้เกิดโครงข่ายแบบสามมิติ (3-dimensional network) การก่อตัวของออร์กาโนเจลมีลักษณะคล้ายกับของไฮโดรเจล มีปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรงเช่นแรงแวนเดอร์วาลส์หรือพันธะไฮโดรเจน

ตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิดเช่นเบนซีนและเฮกเซนน้ำมันบริโภาคได้เช่นน้ำมันอัลมอนด์, น้ำมันตับปลาและน้ำมันมะกอก (ในรูปของเหลว) และไข (wax) ในการพัฒนาตัวนำส่งยาผ่านผิวหนังของสารประกอบลิพอฟิลิก (lipophilic) และออร์กาโนเจลมีความน่าสนใจเนื่องจากสารก่อเจลเฟสน้ำมันสามารถสร้างโครงข่ายสามมิติและดักจับน้ำมันจำนวนมากได้แม้จะใช้เพียงความเข้มข้นต่ำ (<10% wt)

ออร์กาโนเจลสามารถเพิ่มการซึมผ่านของยาผ่านชั้นผิวหนังสตราตัมคอร์เนียม (stratum corneum) หรือผิวหนังชั้นนอกสุดเนื่องจากธรรมชาติของลิพอฟิลิก ส่วนประกอบเช่นสารลดแรงตึงผิวและฟอสโฟลิพิด (phospholipids) จะดูดซึมเข้าสู่ชั้นผิวหนัง stratum corneum และเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับเนื้อเยื่อทำให้การซึมผ่านของยาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ น้ำมันที่ใช้ในออร์กาโนเจลมีความปลอดภัยสำหรับการกำหนดระบบการจัดส่งยาของสารประกอบลิพอฟิลิก [7]

2.4 ไบเจล (Bigel)

ไบเจลเกิดจากการรวมกันเจลสองระบบคือไฮโดรเจล (hydrogel) ออร์กาโนเจล (organogel) ซึ่งมีลักษณะมีกึ่งของแข็ง (semisolid) และมีจุดเด่นของเจลทั้งสองระบบเช่น ผลสัมฤทธิ์ที่เย็น, การเพิ่มความชุ่มชื้นของชั้นผิวสตราตัมคอร์เนียม (stratum corneum), แพร่กระจายได้ง่าย, ทำให้ผิวชุ่มและการล้างด้วยน้ำได้เมื่อใช้กับผิว [5]

เนื่องจากไบเจลมีคุณสมบัติและข้อดีของออร์กาโนเจลและไฮโดรเจลที่รวมกันพวกเขาอาจใช้เป็นตัวนำส่งยาเฉพาะที่บนผิวหนังในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง ซึ่งแตกต่างจากระบบหลายเฟสอื่น ๆ เนื่องจากไบเจลไม่ต้องเติมอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) หรือสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อให้เกิดความคงตัวทางกายภาพจึงช่วยลดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้ [5, 7]

ข้อดีที่สำคัญของไบเจลคือความเสถียรที่ได้รับการปรับปรุงเมื่อเทียบกับอิมัลชัน (น้ำในน้ำมัน และน้ำมันในน้ำ), ครีม, อิมัลเจล, ไฮโดรเจลและออร์กาโนเจล ซึ่งมีการนำมาใช้สำหรับการใช้งานด้านเภสัชกรรมหรือเครื่องสำอาง การเพิ่มความคงตัวทางเคมีและกายภาพของไบเจลเกิดจากการก่อตัวของโครงข่ายตัวของคอลลอยด์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการตรึงเฟสเคลื่อนที่ในโครงข่ายสามมิติ (3-dimensional network) [8] ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องส่วนประกอบทั้งสองเฟสไม่แยกออกจากกันและยังคงเสถียร [9]

ไบเจลสามารถนำส่งได้ทั้งยาที่ชอบน้ำและน้ำมัน เนื่องจากการรวมกันของทั้งเจลสองประเภทมีผลเสริมฤทธิ์กันซึ่งส่งผลให้การซึมผ่านของยาดีขึ้นเนื่องจากสัดส่วนของทั้งน้ำและตัวยาสามารถซึมผ่านผิวหนังได้อย่างง่ายดายและสามารถเป็นทางเลือกสำหรับการส่งยาเฉพาะที่หรือผ่านทางผิวหนัง ไบเจลสามารถควบคุมการส่งมอบสารออกฤทธิ์ได้ [10-13]

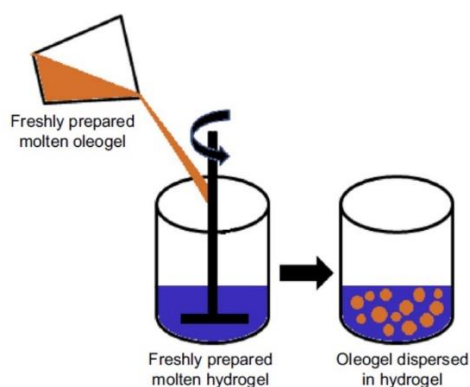
2.4.1 ประเภทไบเจล

ประเภทของไบเจลสามารถแบ่งแยกได้ทั้งหมด 3 ประเภท โดยแบ่งตามการกระจายตัวของเฟสภายในของไบเจล [14]

2.4.1.1 ประเภทออร์กาโนเจลกระจายตัวในไฮโดรเจล (Organogel-in-hydrogel)

ไบเจลประเภทออร์กาโนเจลกระจายตัวในไฮโดรเจลเป็นงานวิจัยที่ได้รับความสนใจมากที่สุด โดยกำหนดให้เป็นระบบที่ประกอบด้วยออร์กาโนเจลเป็นเฟสภายในหรือส่วนที่กระจายตัว (internal or dispersed phase) และไฮโดรเจลเป็นเฟสภายนอกหรือส่วนต่อเนื่อง (external or continuous phase) โดยจากงานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัยของไบเจลโดยพิจารณาจากประเภทของสารก่อเจลของ

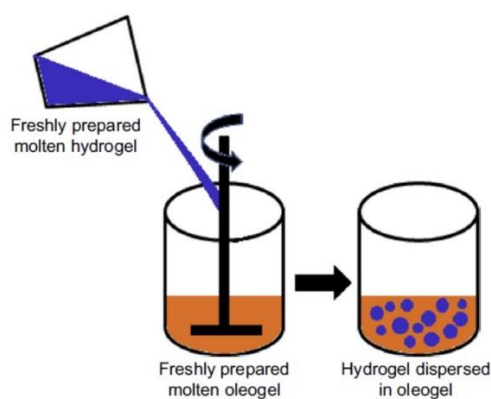
ไฮโดรเจลที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการกระจายตัวของไฮโดรเจลที่ได้แตกต่างกันออกไปเช่นเดียวกับฝั่งของออร์กาโนเจล



รูปที่ 1 ประเภทออร์กาโนเจลในไฮโดรเจล (Organogel-in-hydrogel) [8]

2.4.1.2 ประเภทไฮโดรเจลกระจายตัวในออร์กาโนเจล (Hydrogel-in-organogel)

ไบเจลประเภทไฮโดรเจลกระจายตัวในออร์กาโนเจล เป็นระบบที่ไฮโดรเจลเป็นเฟสภายในหรือส่วนที่กระจายตัว (internal or dispersed phase) และออร์กาโนเจลเป็นเฟสภายนอกหรือส่วนต่อเนื่อง (external or continuous phase)



รูปที่ 2 ประเภทไฮโดรเจลในออร์กาโนเจล (Hydrogel-in-organogel) [8]

2.4.1.3 ประเภทโครงสร้างซับซ้อน (Bi-continuous/matrix-in-matrix)

ไบเจลประเภทนี้ถือได้ว่าเป็นระบบที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนซึ่งเป็นการยากที่จะระบุส่วนที่กระจายตัวและส่วนต่อเนื่อง โดย bi-continuous เกิดขึ้นเมื่อการก่อเจลเกิดขึ้นในสัดส่วนที่สูงของสัดส่วนไฮโดรเจลหรือออร์กาโนเจล ที่มีการกระจายตัวในเฟสสัดส่วนที่ต่ำกว่าของออร์กาโนเจลหรือไฮโดรเจลตามลำดับ ไบเจลแบบซับซ้อนเกิดขึ้นโดยการเพิ่มออร์กาโนเจลหรือไฮโดรเจลลงในน้ำมันในน้ำ (oil in-water) หรือ น้ำในน้ำมัน (water in- oil) ซึ่งเป็นโครงสร้างของอิมัลชัน [8, 14]

2.5 น้ำมันถั่วดาวอินคา (Sacha inchi oil)

ถั่วดาวอินคา (Sacha inchi) ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Plukenetia volubilis* L. มีชื่อสามัญที่รู้จักทั่วไปเช่น sacha peanut, mountain peanut, inca-peanut และ perennial plant เป็นวงศ์ยางพารา (Euphorbiaceae) ต้นกำเนิดมาจากป่าฝนอเมริกาในเปรู ขณะนี้กำลังได้รับการเพาะปลูกในเชิงพาณิชย์ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย มีรายงานว่า ถั่วดาวอินคา มีกรดไขมันจำเป็นเช่นโอเมก้า 3, 6 และ 9 ซึ่งไม่พบในน้ำมันพืชชนิดอื่น น้ำมันถั่วดาวอินคาประกอบด้วยโอเมก้า 3 หรือ กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) ประมาณ 45%-53%, โอเมก้า 6 หรือกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) 34% -39% และโอเมก้า 9 ประมาณ 6%-10% ของปริมาณไขมัน นอกจากนี้ น้ำมันถั่วดาวอินคายังมีโปรตีนสูงและอุดมไปด้วย วิตามินอี (alpha-tocopherols), เบต้า-ซิโตสเตอรอล (beta-sitosterol), สติกมาสเตอร์อล (stigmasterol) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) [15]

น้ำมันถั่วดาวอินคากำลังได้รับการยอมรับในระดับสากลสำหรับคุณสมบัติที่ดีต่อสุขภาพและสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง ถูกลงทะเบียนภายใต้ชื่อ INCI คือ *Plukenetia Volubilis Seed Oil* โดยน้ำมันทำหน้าที่เป็นสารไขมันที่เคลือบบนร่องผิวชั้นบนสุด (emollient) ช่วยทำให้ผิวนุ่มและเรียบเนียน, สารที่ดูดความชุ่มชื้นให้แก่ผิว (humectants) และช่วยป้องกันผิว [16]

2.6 สารก่อเจล (Gelling agent or gelator)

2.6.1 คาร์โบพอล 940 (Carbopol 940)

คาร์โบพอล (Carbopol) เป็นโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำและตัวทำละลายแบบมีขี้ผึ้งได้ ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด, เพิ่มความคงตัวที่มีประสิทธิภาพสำหรับสารแขวนลอยหรืออิมัลชันและมีความคงตัวที่อุณหภูมิที่สูงซึ่งจะไม่ทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลง ประโยชน์ส่วนใหญ่ของคาร์โบพอลเป็นผลมาจากธรรมชาติที่ชอบน้ำของตัวโพลิเมอร์

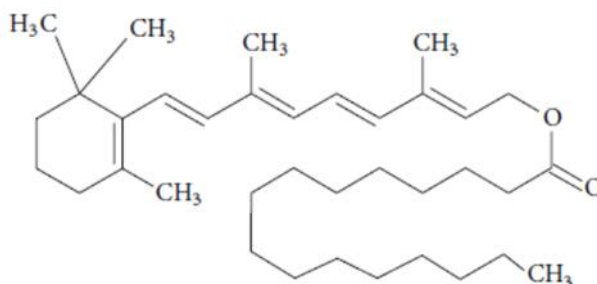
คาร์โบพอลอนุภาคเดี่ยวจะเปียกอย่างรวดเร็วเมื่อใส่ลงไปในน้ำ เช่นเดียวกับผงละเอียดหลาย ๆ ชนิดของโพลิเมอร์ และมักจะจับตัวเป็นก้อนเมื่อเติมตัวทำละลายอย่างไม่เหมาะสม พื้นผิวของผงที่จับรวมกันเป็นก้อนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปียกของอนุภาคโพลิเมอร์ภายใน ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องในการกระจายเช่นพื้นผิวที่เป็นเม็ด, ความหนืดลดลงหรือเกิดอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำซึ่งมีลักษณะคล้ายกับดวงตาของปลา ในการเตรียมจึงควรค่อยๆ โพรยผงคาร์โบพอลลงไปขณะผสมเพื่อหลีกเลี่ยงการจับตัวเป็นก้อน เมื่อกระจายตัวในน้ำจะให้ลักษณะเป็นเนื้อเจลใส [17]

2.6.2 ซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (Silica dimethyl silylate)

ซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (Silica dimethyl silylate) หรือ รู้จักในชื่อของซิลิกาฟุม (hydrophobic fumed silica) มีชื่อทางการค้า คือ Aerosil R974 เป็นสารก่อเจลประเภทไม่ชอบน้ำหรือเป็นสารก่อก้อนที่ละลายในตัวทำละลายไม่มีขี้ผึ้ง มีลักษณะเป็นผงสีขาวและมีน้ำหนักที่เบา ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืดและเพิ่มความคงตัวที่มีประสิทธิภาพ

2.7 เรตินิลปาล์มมิเตท (Retinyl Palmitate)

เรตินิลปาล์มมิเตท (Retinyl Palmitate) เป็นอนุพันธ์ของวิตามินเอหรือเรตินอยด์ (Retinoid) ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายในไขมัน [1] โดยเรตินอยด์ (Retinoid) มีผลกระทบต่อผิวหนัง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและองค์ประกอบที่ผิวหนัง และการเพิ่มจำนวนของเซลล์ ด้วยเหตุนี้เรตินอยด์จึงมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่เด่นชัดต่อเซลล์ผิว มีผลในการช่วยลดริ้วรอยและรอยดำบนผิวหนังเมื่อผิวเกิดความเสียหายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation) หรือกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) [2] แต่ผลเสียที่เกิดขึ้นของเรตินอยด์ได้แก่ ผิวแห้งกร้าน ลอกเกิดผื่นแดงและอาการคันบนผิวหนังได้ จึงใช้อนุพันธ์ของวิตามินเอซึ่งก็คือเรตินิลปาล์มมิเตทแทนเพื่อลดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และยังมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันและทางความร้อนที่ต่ำกว่าเรตินอยด์ [4]



รูปที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของเรตินิลปาล์มมิเตท (Retinyl Palmitate) [18]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2014 Oliveira และคณะ [18] ศึกษาลักษณะโครงสร้างและประเมินค่าความปลอดภัย และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของระบบผลึกเหลว (liquid crystalline systems (LCS)) ทั้งที่มีและไม่มีเรตินิลปาล์มมิเตท (Retinyl Palmitate (RP)) ปริมาณที่ใส่ไปจำนวน 1% โดยน้ำหนัก ใน LCS ประกอบไปด้วยสารลดแรงตึงผิว polyether functional siloxane (PFS) และซิลิกอนไกลคอลโพลีเมอร์ (silicon glycol copolymer (SGC)) เป็นเฟสน้ำมัน โดยประเมินความปลอดภัยโดยใช้การแตกตัวของเซลล์เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte Hemolysis) ผลการทดลองพบว่าการรวมกันของ RP ใน LCS ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ยา พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเซลล์เม็ดเลือดแดงมีค่า 4.69 ± 0.54 % แต่เมื่อนำ RP รวมเข้าไปอยู่ใน LCS เซลล์เม็ดเลือดแดงลดเหลือ $1.23\% \pm 0.69$ และ $1.49 \pm 0.35\%$ ซึ่งแสดงว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว PFS ช่วยให้การใช้ RP มีความปลอดภัยและช่วยลดการระคายเคืองในการใช้งานได้

ในปี 2014 Singh และคณะ [12] ศึกษาการพัฒนาไบเจลเพื่อนำส่งยาเมโทรนิดาโซล (Metronidazole) โดยเตรียมจากซอร์บิแทน โมโนสเตียเรท (sorbitan monostearate) กับน้ำมันงา ในออร์กาโนเจล และใช้คาร์โบพอล 934 ในไฮโดรเจล เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วการผสม 500 rpm สัดส่วนของออร์กาโนเจลที่ใช้ได้แก่ 11.11, 20, 27.27 และ 33.33 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ไบเจลที่ได้มีสีเหลืองเล็กน้อยและมีผิวเรียบ พบว่าเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เรืองแสง (Fluorescence microscope) เป็นการยืนยันโครงสร้างแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water) ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของอิมัลชันเจล ขนาดของหยดน้ำมันในไบเจลที่วัดได้คือ 10-35 ไมโครเมตร ขนาดและจำนวนหยดน้ำมันในไบเจล, ความหนืดและความคงตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของออร์กาโนเจลในไบเจล และยังพบว่าไบเจลแสดงพฤติกรรมไหลแบบเชียร์ทินนิง (Shear thinning) การศึกษาโดยใช้ stress relaxation เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของไบเจลที่แสดงลักษณะความหนืดและยืดหยุ่น

(Viscoelasticity) จากการวิเคราะห์ Differential scanning calorimetry (DSC) พบว่าค่าเอนทัลปี (enthalpy) และเอนโทรปี (entropy) ของไบเจลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของออร์กาโนเจลในไบเจล หลังจากทดสอบความคงตัวโดยสภาวะเร่ง (freeze-thaw method) โดยเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทั้งหมด 5 รอบ พบว่าไบเจลมีความคงตัวดี และในการทดสอบความคงตัวระยะยาวหลังจากเก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียสพบว่าไบเจลยังมีความคงตัวดีอยู่ การปลดปล่อยยาเมื่อเพิ่มสัดส่วนของออร์กาโนเจลทำให้การปลดปล่อยยาช้าลงซึ่งเป็นการปลดปล่อยแบบควบคุม

ในปี 2015 Wakhet และคณะ [19] เตรียมไบเจลโดยใช้วุ้นเจตาลินในไฮโดรเจลและกรดสเตียริก (Stearic acid) กับน้ำมันถั่วเหลืองในออร์กาโนเจล ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ไบเจลที่ได้มีเนื้อเนียนและมีสีขาว (milky white) เนื่องมาจากการกระจายแสงระหว่างเฟสภายในและภายนอก จากการวิเคราะห์โดยใช้ FTIR spectra พบว่าไม่เกิด peak ใหม่ขึ้นมาซึ่งแสดงถึงไม่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ในปี 2016 Lupi และคณะ [20] พัฒนาระบบไบเจล โดยในไฮโดรเจลเตรียมโดยใช้เพกทินที่มีเมทอกซิลต่ำ (low-methoxyl pectin) และออร์กาโนเจลเตรียมโดยใช้น้ำมันมะกอก ส่วนสารก่อเจลเป็นการผสมกันระหว่างกลีเซอรอล สเตียเรท (glyceryl stearate) และโพลีโคซานอล (policosanol) เตรียมไบเจลโดยเทออร์กาโนเจลลงในไฮโดรเจล ที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วในการผสมที่ 1200 rpm เป็นเวลา 8-12 นาที แบบจำลองของไบเจลได้มาจากการเพิ่มปริมาณของออร์กาโนเจลผสมกับไฮโดรเจลและการศึกษาลักษณะทางจุลภาคเป็นหลักฐานแสดงพฤติกรรมของออร์กาโนเจลในไฮโดรเจล (organogel-in-hydrogel) เมื่อใส่ออร์กาโนเจลในปริมาณที่มากจะพบว่าเกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้นโดยสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์

ในปี 2017 Andonova และคณะ [21] ได้พัฒนาไบเจลโดยใช้คาร์โบพอล (Carbopol) ในไฮโดรเจลและซอร์บิทัน โมโนสเตียเรท (Sorbitan monostearate) ในน้ำมันอัลมอนด์เป็นออร์กาโนเจล ผสมออร์กาโนเจลที่ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นผสมเข้ากับไฮโดรเจลที่อุณหภูมิห้องใช้ความเร็วรอบ 500 rpm โดยใช้สัดส่วนของไฮโดรเจลต่อออร์กาโนเจลเป็น 80/20, 70/30 และ 60/40 (w/w) ประเมินความคงตัว ความหนืด การแพร่กระจาย การกระจายตัวของเฟสภายใน จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน 80/20 และ 70/30 มีความคงตัว และมีความหนืดและความสามารถในการแพร่กระจายที่ดี ส่วนสูตรที่ใช้อัตราส่วน 60/40 ไม่มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน เนื่องจากเกิดการแยกชั้นเป็นของเหลวไหลออกมา

ในปี 2018 Paul และคณะ [22] พัฒนาระบบไบเจลโดยใช้กรดสเตียริก (stearic acid) และน้ำมันรำข้าวในออร์กาโนเจล และกัมเมล็ดมะขามหรือทามารินกัม (tamarind gum) กับสารละลายไฮโดรเอทานอลิก (hydroethanolic solution) ในไฮโดรเจล โดยทำทั้งตำรับไฮโดรเจลในออร์กาโนเจล (hydrogel-in-oleogel) และออร์กาโนเจลในไฮโดรเจล (oleogel-in hydrogel) โดยดูการปลดปล่อยตัวยาออกซิฟลอกซาซิน (moxifloxacin) พบว่าในตำรับแบบออร์กาโนเจลในไฮโดรเจลมีอัตราการปลดปล่อยสูงกว่าแบบไฮโดรเจลในออร์กาโนเจล ซึ่งเป็นไปตามโมเดลของ Korsmeyer-Peppas คือค่าคงที่การแพร่ของยาในตำรับจะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มทามารินกัมไฮโดรเจล เนื่องจากตัวยาระบายได้ในน้ำดังนั้นการเพิ่มปริมาณฝังไฮโดรเจลจึงเป็นการเพิ่มความคล่องตัวในการแพร่กระจายของยา

ในปี 2018 Sompromma [23] พัฒนาระบบไบเจลสำหรับนำส่งเรตินิลปาล์มมิเตท โดยใช้ไขมันแร่เป็นตัวทำละลายในออร์กาโนเจล และใช้คาร์โบพอล 940 เป็นสารก่อเจลในไฮโดรเจล จากการทดสอบความคงตัวของเรตินิลปาล์มมิเตท พบว่าเรตินิลปาล์มมิเตทในไบเจลให้ผลความคงตัวของเคมีที่ใกล้เคียงกับตำรับน้ำมันแร่ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมและปลดปล่อยในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตำรับเรตินิลปาล์มมิเตทในตัวทำละลายกลางที่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต pH 7.4 กับเอทานอลในสัดส่วน 60:40 รูปแบบการปลดปล่อยของเรตินิลปาล์มมิเตทแสดงการปลดปล่อยแบบทยอย ซึ่งกลไกในการปลดปล่อยถูกควบคุมด้วยการแพร่และการคลายตัวของเมตริกซ์ไบเจล ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามแบบจำลอง Korsmeyer-Peppas

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เครื่องมือ

| เครื่องมือ | รุ่น | ผู้ผลิต |
|--|-------------------------------|---|
| 1 เครื่องชั่งวิเคราะห์ 2 ตำแหน่ง | STX2202 | OHAUS,สหรัฐอเมริกา |
| 2 เครื่องชั่งวิเคราะห์ 4 ตำแหน่ง | PB303-S/FACT | Mettler Toledo, สวิตเซอร์แลนด์ |
| 3 เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาความร้อนแบบดิจิทัล (hot plate stirrer) | C MAC HS 7 | IKA, เยอรมัน |
| 4 ตู้อบความร้อน | ULM500 | Mettler Toledo, สวิตเซอร์แลนด์ |
| 5 ตู้เย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ | | |
| 6 เครื่องวัดกรดเบส (pH meter) | Docu-pH | Sartorius, Germany |
| 7 เครื่องปั่นผสมสาร (Overhead stirrer) | RW20 DZM.n | IKA, เยอรมัน |
| 8 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) | SV-10 | A&D, ญี่ปุ่น |
| 9 เครื่องเขย่าสาร (Vortex) | G560E Vortex Mixer GENIE 2 | Scientific Industries, สหรัฐอเมริกา |
| 10 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) | ECLIPSE E200 | NIKON, ญี่ปุ่น |
| 11 เครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) | TA-HD plus | Stable Microsystems, สหราชอาณาจักร |
| 12 Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) | Spectrum One | Perkin Elmer, สหรัฐอเมริกา |
| 13 UV-Vis spectrophotometer | UV-2450 | ShimadZu, ญี่ปุ่น |
| 14 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) | 1100 Series | Agilent, สหรัฐอเมริกา |
| 15 ถุงไดอะไลซิส (Dialysis membrane) | CelluSep T3 | Membrane Filtration Products, Inc., สหรัฐอเมริกา |

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

| | สารเคมี | ผู้ผลิต/จำหน่าย |
|----|---|---|
| 1 | น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water) | |
| 2 | ซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (Silica dimethyl silylate) | Evonik, สหรัฐอเมริกา |
| 3 | น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดเย็น | G-win, จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย |
| 4 | เรตินิลปาล์มมิเตท (Retinyl palmitate) ความบริสุทธิ์ 100% | บริษัท จันทร์เจ้า ลองจีวิตี้ จำกัด, ไทย |
| 5 | คาร์โบพอล 940 (Carbopol 940) | บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด, ไทย |
| 6 | สารกันเสีย Unigerm G-2 | บริษัท วันรัต (หน้าเซียน) จำกัด, ไทย |
| 7 | ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine (TEA)) ความเข้มข้น 99% โดยน้ำหนัก | บริษัท วันรัต (หน้าเซียน) จำกัด, ไทย |
| 8 | พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol (PEG)) มวลโมเลกุลเฉลี่ย 400 g/mol | บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด, ไทย |
| 10 | สีผง ละลายน้ำ (สีน้ำเงิน) BLUE SOLAR (BENERECT) | บริษัท ฮงฮวด จำกัด, ไทย |
| 11 | เอทานอล (Ethanol) ความเข้มข้น 95% โดยน้ำหนัก | LAB-SCAN Analytical Science, ไทย |
| 12 | เมทานอล (Methanol) ความเข้มข้น 95% โดยน้ำหนัก | บริษัท ซีที เคมีคอล เทรดดิง จำกัด, ไทย |
| 14 | Hydrochloric acid (HCl) | Ajax Finechem, ออสเตรเลีย |
| 15 | Monobasic potassium phosphate (KH ₂ PO ₄) | Ajax Finechem, ออสเตรเลีย |
| 16 | Potassium Chloride (KCl) | Ajax Finechem, ออสเตรเลีย |
| 17 | Sodium Chloride (NaCl) | Ajax Finechem, ออสเตรเลีย |
| 18 | Dibasic sodium phosphate (Na ₂ HPO ₄) | Daejung Chemicals & Metals, เกาหลีใต้ |

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมไฮโดรเจล (Hydrogels, HG)

เตรียมโดยนำโพลีเอธิลีนไกลคอล (PEG400) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ใส่ลงในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) ร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก (ใส่สีผงที่สามารถละลายในน้ำได้ลงไป 0.01 g/น้ำ 100 ml) นำไปปั่นที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที จนสารเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นโปรยผงสารก่อก่อเจลคาร์โบพอล 940 โดยใช้ความเข้มข้น 3 ค่าได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ ปั่นต่อไปใช้เวลา 30 นาทีจนสารเป็นเนื้อเดียวกันโดยทำที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นหยดไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine (TEA)) ลงไป สังเกตว่าเจลเป็นเนื้อใส วัดค่าความเป็นกรดต่าง อยู่ในช่วง 5.5-6.5 จึงหยุดเติม [21] ทำการหยุดสารกันเสีย unigerm-2 ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักลงไป นำไปปั่นจนต่อจนสารเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดความหนืดและวัดค่าความเป็นกรดต่าง ซ้ำอีกครั้ง

3.2.2 การเตรียมออร์กาโนเจล (Organogels, HG)

เตรียมโดยนำสารก่อก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (Silica dimethyl silylate, SDMS) ใส่ลงในน้ำมันถั่วดาวอินคา (Sacha inchi oil) นำไปปั่นจนที่ความเร็ว 500 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-40 นาที [11] สังเกตเห็นเจลเป็นเนื้อเดียวกัน โดยความเข้มข้นของสารก่อก่อเจลที่ใช้คือร้อยละ 6 และ 8 โดยน้ำหนัก ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดความหนืด

3.2.3 การเตรียมออร์กาโนเจลที่มีสารเรตินิลปาล์มมิเตท

เตรียมออร์กาโนเจล (OG) ตามขั้นตอนที่ 3.2.2 เมื่ออุณหภูมิลดลงน้อยกว่า 40 องศาเซลเซียสจึงใส่สารเรตินิลปาล์มมิเตท (RP) ลงไปร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ปั่นต่อเป็นเวลา 20 นาที สังเกตเห็นเจลเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปเก็บให้พ้นแสงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำไปวัดความหนืดและทดสอบความคงตัวทางกายภาพและทางเคมีต่อไป

3.2.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อตำรับไบเจล

ศึกษาทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราเฉือนหรือความเร็วรอบของใบพัด, ความเข้มข้นของสารก่อก่อเจลในไฮโดรเจล (HG), ความเข้มข้นของสารก่อก่อเจลในออร์กาโนเจล (OG) และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) โดยความเข้มข้นของสารก่อก่อเจลในไฮโดรเจล (HG) สารก่อก่อเจลในออร์กา

โนเจล (OG) และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) จะทำการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design)

3.2.4.1 การศึกษาอัตราเข้มนและสัดส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล

นำออร์กาโนเจล (OG) ที่มีสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (SDMS) ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เทใส่ในไฮโดรเจล (HG) ที่มีสารก่อเจลคาร์โบพอลร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นปั่นผสมด้วยความเร็วรอบที่ 1200 และ 1500 รอบต่อนาที สัดส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) ที่ 10:90 20:80 30:70 40:60 และ 50:50 โดยเตรียมไบเจลในปริมาณรวมที่เท่ากันทุกครั้งครั้งละ 60 กรัม เป็นเวลา 10 นาที เก็บไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำการศึกษาผลของปัจจัยทั้งสองไปพร้อมๆ กัน นำมาประเมินลักษณะภายนอกของตำรับไบเจล ดูการกระจายตัวและขนาดของอนุภาคภายใน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ การทดสอบความคงตัวโดยใช้สภาวะเร่ง heating-cooling cycle โดยนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สลับอุณหภูมิร้อน-เย็น เป็นจำนวน 6 รอบ และทดสอบชนิดของไบเจลด้วยวิธี dilution test จากนั้นเลือกความเร็วรอบและสัดส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) ที่ดีที่สุดไปใช้ศึกษาปัจจัยต่อไป โดยเลือกจากไบเจลที่มีลักษณะการกระจายตัวของเฟสภายในที่เล็กและแคบ มีการคงตัวที่ดีเมื่อทดสอบความคงตัวและเป็นไบเจลชนิดน้ำมันในน้ำ

3.2.4.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารก่อเจลคาร์โบพอล ความเข้มข้นของสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (SDMS) และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H)

ความเข้มข้นของสารก่อเจลคาร์โบพอลที่ศึกษา คือ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (SDMS) ร้อยละ 6 และ 8 โดยน้ำหนักและ นำมาปั่นกวนโดยใช้ความเร็วรอบและสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) ที่ดีที่สุดตามขั้นตอนที่ 3.2.4.1 โดยค่าที่เลือกมาคือที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาทีและสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) คือ 10:90 ถึง 20:80 โดยเพิ่มสัดส่วนอีก 1 ค่าคือ 15:85 จากนั้นปั่นเป็นระยะเวลา 10 นาที นำไปทดสอบเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3.2.4.1 จะได้ไบเจลทั้งหมด 18 สูตรนำไปศึกษาคุณสมบัติต่อไป

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารก่อเจลดคาร์โบพอล ความเข้มข้นของสารก่อเจลดซิลิกาไดเมทิลซิลิเลท (SDMS) และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลดและไฮโดรเจลด (O:H) ในแต่ละตำรับ (แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)

| สูตรไบเจลด | คาร์โบพอล 940 | SDMS | OG | HG |
|---------------|---------------|------|----|----|
| 0.3% 6% 10:90 | | | 10 | 90 |
| 0.3% 6% 15:85 | | 6 | 15 | 85 |
| 0.3% 6% 20:80 | 0.3 | | 20 | 80 |
| 0.3% 8% 10:90 | | | 10 | 90 |
| 0.3% 8% 15:85 | | 8 | 15 | 85 |
| 0.3% 8% 20:80 | | | 20 | 80 |
| 0.4% 6% 10:90 | | | 10 | 90 |
| 0.4% 6% 15:85 | | 6 | 15 | 85 |
| 0.4% 6% 20:80 | 0.4 | | 20 | 80 |
| 0.4% 8% 10:90 | | | 10 | 90 |
| 0.4% 8% 15:85 | | 8 | 15 | 85 |
| 0.4% 8% 20:80 | | | 20 | 80 |
| 0.5% 6% 10:90 | | | 10 | 90 |
| 0.5% 6% 15:85 | | 6 | 15 | 85 |
| 0.5% 6% 20:80 | | | 20 | 80 |
| 0.5% 8% 10:90 | 0.5 | | 10 | 90 |
| 0.5% 8% 15:85 | | 8 | 15 | 85 |
| 0.5% 8% 20:80 | | | 20 | 80 |

3.2.5 การศึกษาคุณสมบัติของตำรับไบเจล

3.2.5.1 ความเป็นกรดต่าง

นำไฮโดรเจลและไบเจลที่เตรียมมาวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ผลทั้งหมด 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่วัดได้

3.2.5.2 ความหนืด

วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) โดยนำไฮโดรเจล ออร์กาโนเจล และไบเจลที่เตรียมไว้โดยใช้จำนวน 10 ml เทใส่ลงภาชนะที่ใช้ในการวัด วิเคราะห์ผลทั้งหมด 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนืดที่วัดได้

3.2.5.3 ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคภายในไบเจล

ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) โดยใช้กำลังขยาย 100 เท่า เพื่อดูขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคที่กระจายอยู่ภายในไบเจล จากนั้นวัดขนาดของอนุภาคภายในไบเจล

3.2.5.4 สมบัติการไหลและการเสียรูป

ศึกษาด้วยเครื่อง texture analyzer เพื่อศึกษาพฤติกรรมหยุ่นหนืด(viscoelastic) และสมบัติทางเนื้อสัมผัสของตำรับไบเจลด้วยเครื่อง texture analyzer ใช้เทคนิค stress relaxation และ compression ที่อุณหภูมิห้อง ใช้หัววัดแบบก้นเรียบ (flat bottom probe P/25) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร ปริมาณตัวอย่าง 30 กรัมในตลับครีม ใช้ load cell 50 กิโลกรัม และศึกษาในโหมดให้แรงอัตโนมัติ (Auto force) แสดงค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบดังตารางที่ 2 [23]

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่อง texture analyzer

| การทดสอบ | Compression | Stress relaxation |
|------------------------------|-------------|-------------------|
| พารามิเตอร์ที่ทดสอบ | | |
| Trigger force (g) | 10 | 10 |
| ระยะทางกด (mm) | 5 | 5 |
| Pre test speed (mm/s) | 1 | 1 |
| Test speed (mm/s) | 0.5 | 0.5 |
| Post test speed (mm/s) | 1 | 1 |
| เวลาที่ค้างไว้ (s) | - | 60 |
| ระยะทางคืนกลับของหัววัด (cm) | 40 | 40 |

3.2.5.5 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารในตำรับไบเจล

โดยใช้วิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โหมด attenuated total reflectance (ATR) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและปฏิกิริยาเคมีที่อาจเกิดขึ้นระหว่างไฮโดรเจลและออร์กาโนเจล ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณสมบัติไบเจลได้ [24]

3.2.6 การศึกษาชนิดของไบเจล

โดยใช้วิธี dilution test ด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer GENIE 2, USA) โดยการใส่ไบเจลกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 ในหลอดทดลอง และไบเจลกับน้ำมันในอัตราส่วน 1:1 ในหลอดทดลอง เช่นเดียวกัน นำหลอดทดลองไปเขย่าเพื่อผสมสารโดยใช้เครื่อง vortex เป็นเวลาประมาณ 1 นาที สังเกตการละลายของไบเจล หากไบเจลละลายในน้ำแสดงถึงเฟสภายนอกของไบเจลเป็นเฟสน้ำจะได้ไบเจลประเภทน้ำในน้ำ และหากไบเจลละลายในน้ำมันแสดงถึงไบเจลมีเฟสนอกเป็นเฟสน้ำมันจะได้ไบเจลประเภทน้ำในน้ำมัน

3.2.7 การศึกษาความคงตัวของทางกายภาพของตำรับไบเจล

3.2.7.1 การทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่งด้วยการเก็บในที่เย็นสลับร้อน (heating-cooling cycle)

นำตำรับไบเจล มาทดสอบความคงตัวแบบเร่ง โดยนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สลับอุณหภูมิร้อน-เย็น เป็นจำนวน 6 รอบ สังเกตลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.7.2 การทดสอบความคงตัวในสภาวะอุณหภูมิห้อง

การศึกษาความคงตัวในระยะยาวของตำรับไบเจล โดยตัวอย่างถูกเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยประเมินลักษณะทางกายภาพของไบเจลทุก 1 เดือน [12]

3.2.8 การเตรียมตำรับไบเจลที่บรรจุเรตินัลปาล์มมิเตท

เลือกสูตรตำรับของไบเจลจากคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ทดสอบ โดยเลือกจากไบเจลที่มีลักษณะการกระจายตัวภายในที่เล็กและแคบซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความคงตัวที่ดีของไบเจลและสารสำคัญภายในไบเจล เลือกประเภทไบเจลเป็นน้ำมันในน้ำเพื่อใช้น้ำส่งสารเรตินัลปาล์มมิเตท (RP) ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายได้ในเฟสน้ำมัน มาใส่สารเรตินัลปาล์มมิเตท (RP) โดยทำตามขั้นตอนที่ 3.2.3 เพิ่มขั้นตอนการเติมสารสำคัญเพิ่ม 1% โดยน้ำหนักจากนั้น ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพตามข้อ 3.2.9 และหาปริมาณเรตินัลปาล์มมิเตท (RP) ในตำรับด้วยวิธี HPLC ตามข้อ 3.2.10

3.2.9 การศึกษาความคงตัวของทางกายภาพและทางเคมีของตำรับไบเจลที่บรรจุเรตินัลปาล์มมิเตท

การทดสอบความคงตัวของทางกายภาพและทางเคมีของไบเจล โดยนำไบเจลที่เตรียมได้มาบรรจุในภาชนะทึบแสง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ประเมินความคงตัวทุกสัปดาห์ โดยประเมินความเป็นกรดต่าง ค่าความหนืด และประเมินหาปริมาณเรตินัลปาล์มมิเตท (RP) ที่คงเหลืออยู่ด้วย HPLC

3.2.10 การวิเคราะห์ปริมาณเรตินิลปาล์มมิเตทในไบเจลด้วยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตท

ชั่งสารเรตินิลปาล์มมิเตท (RP) 0.012 g ใส่เมทานอลจนได้ 10 ml เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ 1200 $\mu\text{g/mL}$ ปรับความเข้มข้นโดยวิธีการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ 300 150 25.2 และ 4.8 $\mu\text{g/mL}$ โดยใช้สมการดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

โดยที่ C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตทเดิม

V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตทเดิม

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตทใหม่

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตทใหม่

กรองสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้ผ่านเมมเบรน (syringe filter) ชนิดไนลอน (nylon) ขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดด้วย HPLC และสร้างกราฟมาตรฐาน ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น

2. การวิเคราะห์ปริมาณเรตินิลปาล์มมิเตทในไบเจล

ชั่งไบเจล 0.1 g เจือจางด้วยเมทานอล 8 ml แล้วผสมกันด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลานาน 1-2 นาที เมื่อไบเจลละลายหมดนำไปกรองผ่าน filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร [23]

| | |
|---------------------------|---|
| คอลัมน์ | : Eclipse Plus C-18 (3.5 μm , 4.6 mm i.d. \times 100 mm) |
| เฟสเคลื่อนที่ | : เมทานอล:น้ำ (98:2 ปริมาตร/ปริมาตร) |
| ปริมาณของสารละลายตัวอย่าง | : 20 ไมโครลิตร |
| อัตราการไหล | : 1 มิลลิลิตรต่อนาที |
| Detector | : UV detector ที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร |
| อุณหภูมิ | : 40 องศาเซลเซียส |
| ระยะเวลา | : 10 นาที |

3.2.11 การศึกษาจลนศาสตร์การปลดปล่อยสารออกฤทธิ์

ศึกษาโดยใช้วิธีไดอะไลซิสโดยนำตัวอย่างไบเจลที่ต้องการวัดสารเรตินิลปาล์มมิเตท (RP) มาปริมาณ 2 g ใส่ในถุงไดอะไลซิส (MWCO 12,000-14,000) ที่ถูกแช่ในสารละลายตัวกลางมาแล้ว 24 ชั่วโมง โดยที่สารละลายตัวกลางคือ สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต pH 7.4 และเอทานอลในอัตราส่วน 60:40 โดยปริมาตร นำถุงไดอะไลซิสที่มัดเรียบร้อยแล้วแช่ในสารละลายตัวกลางที่มีปริมาตร 50 ml ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบที่ 100 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 และ 24 เมื่อนำตัวอย่างออกมาทุกครั้ง ครั้งละ 3 ml จะเติมสารละลายตัวกลางกลับเข้าไปเป็นปริมาตรที่ 3 ml เท่าเดิมเสมอ จากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บไปวัดค่าหาปริมาณสารเรตินิลปาล์มมิเตท (RP) ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 325 nm พล็อตกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยของเรตินิลปาล์มมิเตท (RP) และเวลาที่ผ่านไป



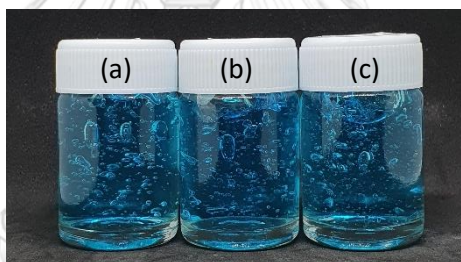
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล (HG) และออร์กาโนเจล (OG)

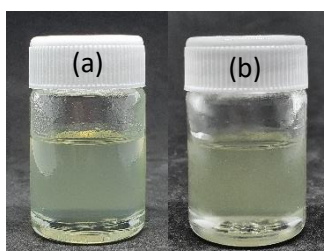
ไฮโดรเจลทั้ง 3 สูตรคือเจลที่มีปริมาณสารคาร์โบพอลร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 โดยน้ำหนัก จากรูปที่ 4 มีลักษณะเป็นเจลใส (สีฟ้าเกิดจากการใส่สีลงในขั้นตอนการเตรียม) สามารถล้างออกได้ง่าย ไม่เหนียว โดย HG ที่มีคาร์โบพอลที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักมีความเป็นเจลที่หนืดมากกว่าเจลที่มีคาร์โบพอล 0.4 และ 0.3 ตามลำดับ เจลที่ได้เมื่อวัดค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วงกรดอ่อนๆ ไม่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง (ตารางที่ 3)

OG ทั้ง 2 สูตรจากรูปที่ 5 คือเจลที่มีปริมาณ SDMS 6% และ 8% โดยน้ำหนัก มีลักษณะค่อนข้างเหลว มีสีเหลือง ใส ค่อนข้างเหนอะหนะ ล้างออกค่อนข้างยาก โดย OG ที่มี SDMS 8% มีความหนืดของเจลมากกว่าที่ 6% เล็กน้อย (ตารางที่ 3)



รูปที่ 4 HG ที่มีปริมาณคาร์โบพอล a) 0.3% b) 0.4% และ c) 0.5% โดยน้ำหนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5 OG ที่มี SDMS a) 6% และ b) 8% โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3 ค่า pH และความหนืดของไฮโดรเจล (HG) และออร์กาโนเจล (OG) ที่ปริมาณสารก่อเจลค่าต่าง ๆ

| สูตร | pH | ความหนืด (P) |
|---------|-------------|--------------|
| HG 0.3% | 5.56 ± 0.03 | 32.1 ± 0.96 |
| HG 0.4% | 5.60 ± 0.07 | 46.5 ± 1.06 |
| HG 0.5% | 6.23 ± 0.05 | 53.7 ± 1.17 |
| OG 6% | - | 2.01 ± 0.09 |
| OG 8% | - | 3.56 ± 0.04 |

4.2 อิทธิพลของแรงเฉือนและสัดส่วนออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) ที่มีผลต่อคุณสมบัติของไบเจล

ไบเจลที่เตรียมด้วย HG ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และใช้ OG ที่ 8% โดยน้ำหนัก ที่ O:H 10:90 20:80 30:70 40:60 และ 50:50 โดยใช้ความเร็วรอบของใบพัดหรือแรงเฉือน 2 ค่าคือ 1200 และ 1500 rpm พบว่าไบเจลที่ 1500 rpm ไบเจลมีลักษณะภายนอกที่เนียนมากกว่าและมีขนาดอนุภาคภายในที่เล็กกว่าที่ 1200 rpm โดยดูจากรูปที่ 7

จากรูปที่ 6 แรงเฉือน 1200 rpm O:H ที่ 20:80, 30:70 และ 40:60 และที่ 1500 rpm สัดส่วนที่ 30:70 มีลักษณะภายนอกไม่เป็นไบเจลเนื่องจากเจลมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7 ที่ค่าแรงเฉือนและสัดส่วนดังกล่าวไม่แสดงการกระจายเป็นหยดของเฟสภายในที่ชัดเจนชี้ให้เห็นว่าเจลมีลักษณะไม่เป็นไบเจลซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับลักษณะภายนอกจากรูปที่ 6 นอกจากนี้ จากรูปที่ 7 ยังสามารถกล่าวได้ว่าไบเจลที่แรงเฉือน 1500 rpm ทำให้ขนาดอนุภาคภายในมีขนาดเล็กกว่าแรงเฉือนที่ 1200 rpm

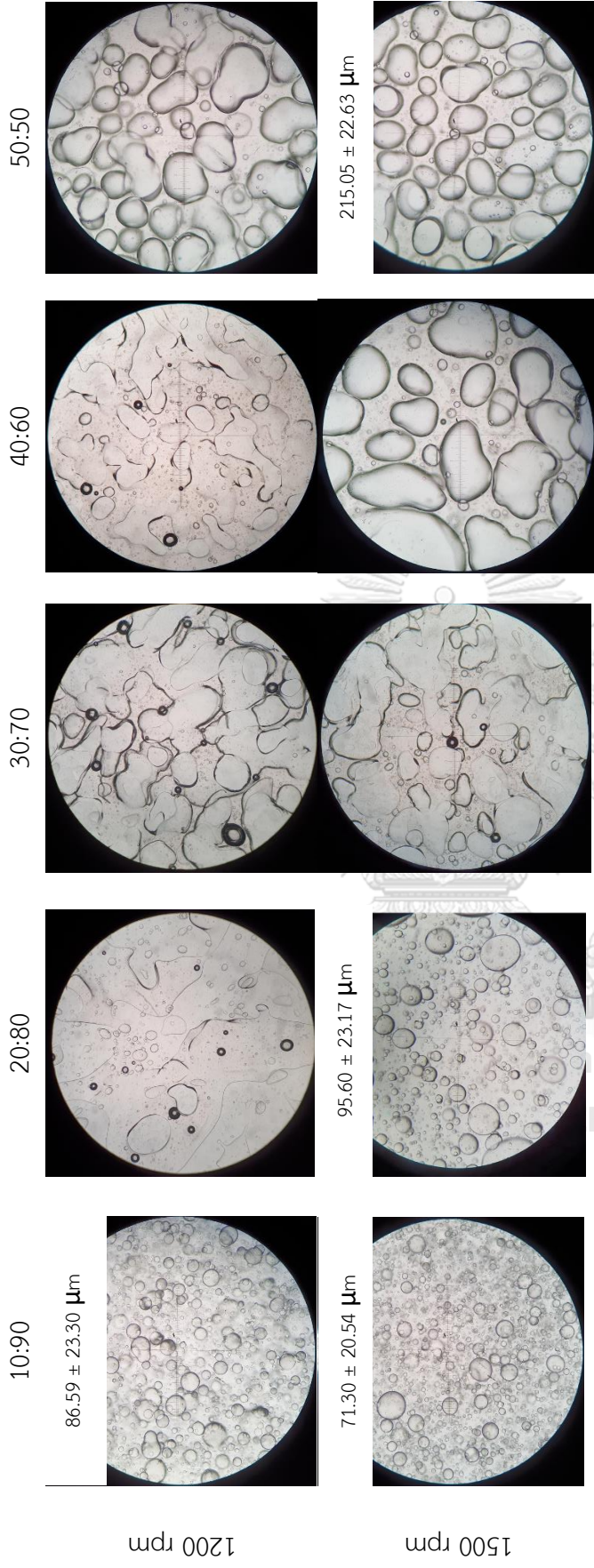
กล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงเฉือนมากขึ้นส่งผลให้เกิดเป็นไบเจลที่มีขนาดอนุภาคภายในเล็กลงและอนุภาคภายในเรียงตัวชิดกันมากขึ้น เมื่อเพิ่ม O:H ส่งผลให้ขนาดอนุภาคภายในของไบเจลมีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 6 ไบเจลที่มี O:H ต่างๆ แรงเฉือน 1200 rpm (ด้านบน)

และ 1500 rpm (ด้านล่าง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโดยใช้กำลังขยาย 100 เท่า (เลนส์ใกล้ตา 10x, เลนส์ใกล้วัตถุ 10x) ยกเว้นภาพของ O:H ที่ 20:80, 1200 rpm และ O:H ที่ 30:70 ที่ 1200 และ 1500 rpm ใช้กำลังขยาย 40 เท่า (เลนส์ใกล้ตา 10x, เลนส์ใกล้วัตถุ 4x)

เมื่อนำสูตรข้างต้นไปทดสอบชนิดของไบเจลด้วยวิธีเจือจาง (dilution test) พบว่าแรงเฉือน 1200 rpm สัดส่วน 10:90 มีลักษณะของไบเจลเป็นแบบน้ำมันในน้ำ สัดส่วน 50:50 เป็นชนิดน้ำในน้ำมัน และสูตรที่เหลือเจลไม่มีการละลายแยกอย่างชัดเจนทั้งในน้ำและน้ำมันจึงอาจกล่าวได้ว่าสูตรดังกล่าวไม่เป็นไบเจล อาจเกิดจากลักษณะของ HG และ OG เกิดการแยกชั้นกันทำให้เฟสที่มีขี้ละลายในน้ำและเฟสที่ไม่มีขี้ละลายในน้ำมัน โดยต่างแยกกันละลายทำให้ไม่เกิดการละลายอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับไบเจลที่มีลักษณะเป็นเฟสภายในและภายนอกซึ่งสามารถเกิดการละลายได้อย่างชัดเจน

ส่วนที่แรงเฉือน 1500 rpm สัดส่วน 10:90 และ 20:80 มีลักษณะเป็นชนิดน้ำมันในน้ำ เนื่องจากเจลมีการละลายในน้ำอย่างชัดเจน ที่สัดส่วน 40:60 และ 50:50 มีลักษณะเป็นน้ำในน้ำมัน เนื่องจากเจลละลายในน้ำมัน และสุดท้ายที่สัดส่วน 30:70 ไม่มีการละลายอย่างชัดเจนสูตรนี้จึงไม่เป็นไบเจล

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการไบเจลที่มีลักษณะของน้ำมันในน้ำ และควรมีขนาดอนุภาคภายในที่เล็กเพื่อใช้ในการบรรจุสารสำคัญต่อไปได้ ดังนั้นจากการทดสอบข้างต้นจึงเลือกแรงเฉือนที่ 1500 rpm และเลือก O:H ในช่วง 10:90 ถึง 20:80 ไปใช้ต่อไป

4.3 อิทธิพลของปริมาณสารก่อเจลในไฮโดรเจล (HG) สารก่อเจลในออร์กาโนเจล (OG) และ สัดส่วนของออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) ที่มีผลต่อคุณสมบัติของไบเจล

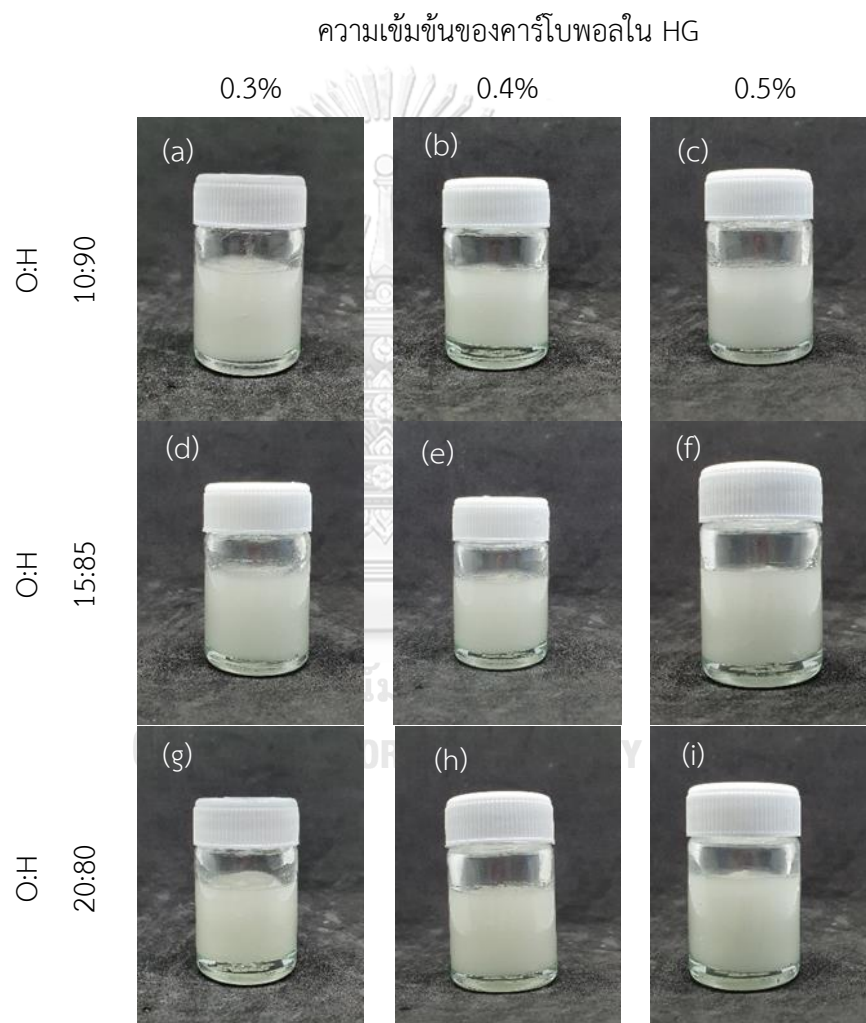
ใช้แรงเฉือนที่ 1500 rpm ในการเตรียมไบเจลโดยใช้ O:H ที่ 10:90 15:85 และ 20:80 ปริมาณสารก่อเจลใน HG (คาร์โบพอล 940) ที่ใช้คือ 0.3%, 0.4% และ 0.5% โดยน้ำหนัก ปริมาณ SDMS ที่ใช้คือ 6% และ 8% โดยน้ำหนัก ไบเจลทุกสูตรที่ได้จากการเตรียมมีสีขาวทึบ สามารถเกลี่ยบนผิวได้ ให้สัมผัสลื่น เย็น สามารถล้างออกได้ง่าย ไม่ค่อยเหนอะหนะ

จากรูปที่ 8 และ 9 เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบพอลใน HG ที่ O:H และมีสารก่อเจลใน OG เท่ากัน สังเกตได้ว่าเนื้อไบเจลมีลักษณะที่เนียนและแน่นมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดย (c) > (b) > (a), (f) > (e) > (d) และ (i) > (h) > (g) เนื่องจาก HG ที่มีปริมาณคาร์โบพอลมากกว่าจะมีลักษณะเจลที่แข็งตัวมากขึ้น ซึ่ง HG เป็นเฟสภายนอกของไบเจลจึงส่งผลให้ไบเจลแข็งตัวมากขึ้นเช่นเดียวกันอาจทำให้เกิดความคงตัวที่ดีของไบเจลมากขึ้น

เมื่อลด O:H ที่ความเข้มข้นของสารก่อเจลเดียวกัน เนื้อเจลมีลักษณะที่แน่นกว่าเดิมเล็กน้อย โดย (a) > (d) > (g), (b) > (e) > (h) และ (c) > (f) > (i) ทั้งในรูปที่ 8 และ 9 เนื่องจากการลด O:H

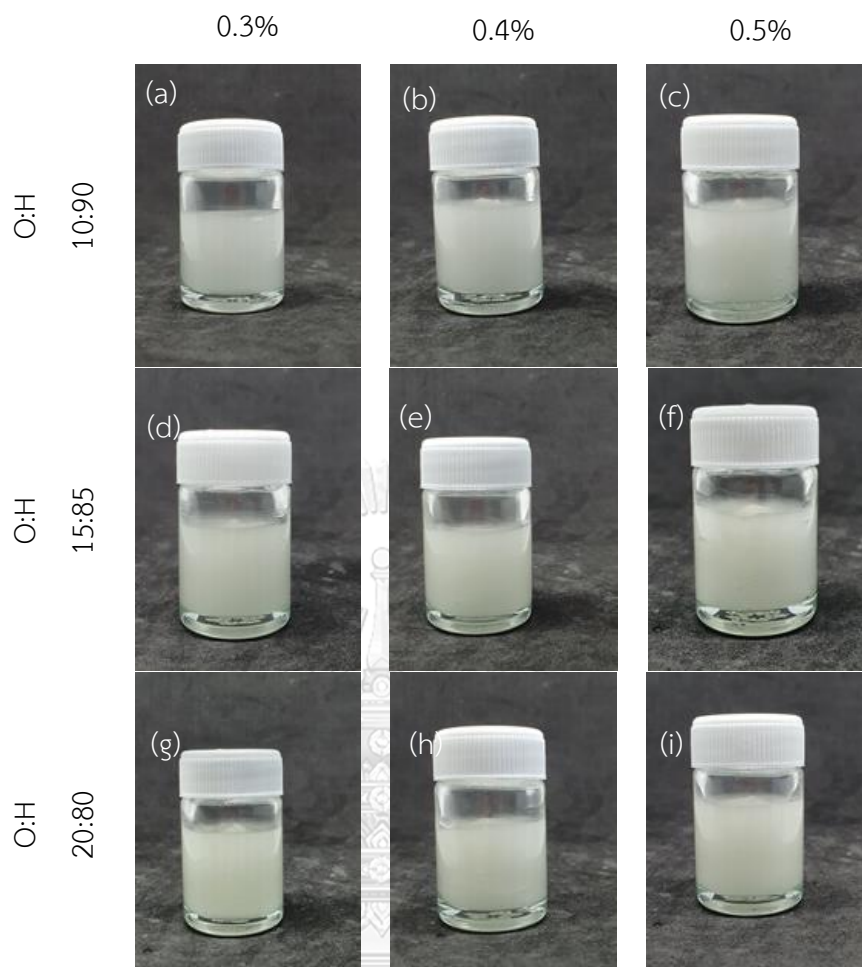
ลงทำให้สัดส่วนของ HG เพิ่มมากขึ้นซึ่ง HG มีความหนืดมากทำให้ไบเจลมีแนวโน้มหนืดขึ้นและแน่นขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของสารก่อเจล SDMS ใน OG ที่ 6% และ 8% พบว่าลักษณะของเนื้อเจลไม่ต่างกันมากนักเนื่องจากที่สารก่อเจล 6% และ 8% ของ SDMS มีค่าความหนืดต่างเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 3) ทำให้ผลของความเข้มข้นของ SDMS ส่งผลน้อยต่อเนื้อของไบเจล



รูปที่ 8 ไบเจลมี SDMS ใน OG 6% โดยน้ำหนัก และคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG

ความเข้มข้นของคาร์โบพอลใน HG



รูปที่ 9 ไบเจลที่มี SDMS ใน OG 8% โดยน้ำหนัก และคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขนาดอนุภาคของเฟสภายในของไบเจลเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (ECLIPSE E200, Nikon, Japan) ที่กำลังขยาย 100 เท่าซึ่งได้จากการวัดอนุภาคภายในทั้งหมด 100 อนุภาค พบว่ามีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ จากตารางที่ 4 เมื่อเพิ่ม O:H มากขึ้นโดยที่ให้เปอร์เซ็นต์ของสารก่อเจลใน HG (คาร์โบพอล 940) และสารก่อเจลใน OG (SDMS) คงที่ พบว่า ขนาดของหยดเฟสภายในใหญ่ขึ้น ซึ่งผลของการศึกษาล้ำคลึงกับงานวิจัยของ Singh และคณะ, 2014 [12] กล่าวว่า เมื่อเพิ่ม O:H พบว่า อนุภาคภายในไบเจลเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากการเพิ่ม O:H มากขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณของเฟสภายใน ซึ่งอาจเกิดการรวมกันเองของหยดเฟสของ OG ทำให้ขนาดอนุภาคภายในของไบเจลใหญ่ขึ้น

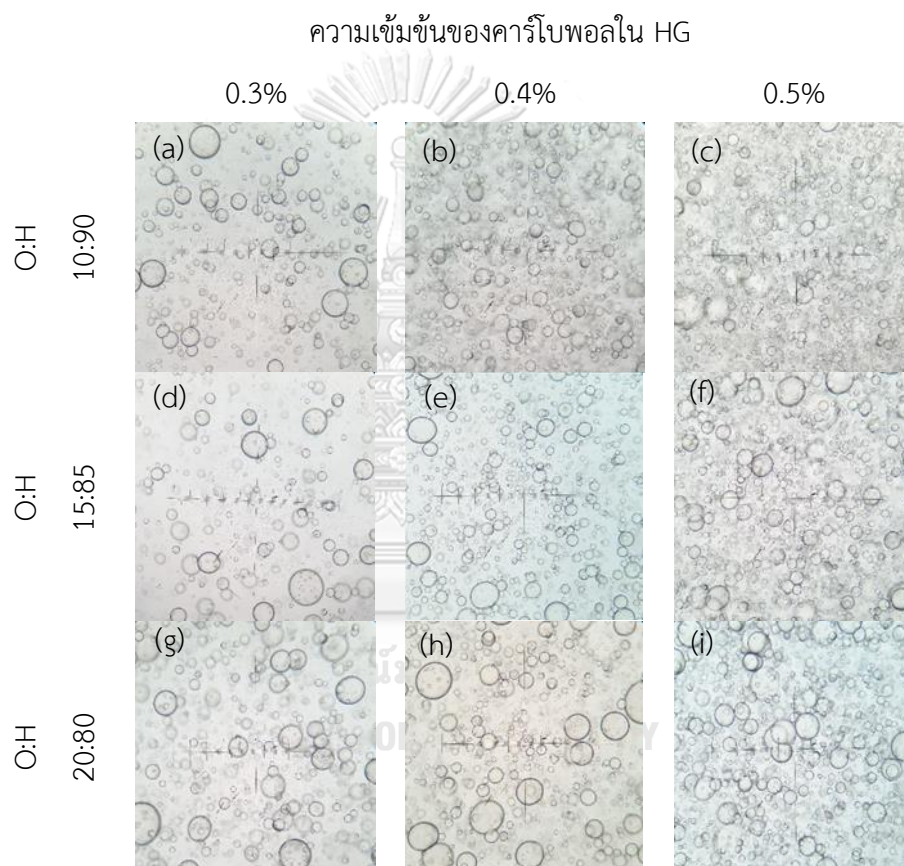
ตารางที่ 4 ขนาดของหยดเฟสภายในของไบเจลแต่ละสูตรตำรับ

| คาร์โบพอล | SDMS | O:H | ขนาดอนุภาคภายใน (μm) |
|-----------|------|-------|-----------------------------------|
| 0.3% | 6% | 10:90 | 78.00 \pm 18.86 |
| | | 15:85 | 85.90 \pm 21.79 |
| | | 20:80 | 117.85 \pm 32.69 |
| | 8% | 10:90 | 94.15 \pm 19.68 |
| | | 15:85 | 95.65 \pm 24.50 |
| | | 20:80 | 126.85 \pm 34.18 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | 63.30 \pm 17.00 |
| | | 15:85 | 92.20 \pm 23.30 |
| | | 20:80 | 115.40 \pm 29.13 |
| | 8% | 10:90 | 99.00 \pm 17.99 |
| | | 15:85 | 100.30 \pm 22.63 |
| | | 20:80 | 139.90 \pm 35.25 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | 47.84 \pm 14.20 |
| | | 15:85 | 83.55 \pm 20.69 |
| | | 20:80 | 90.45 \pm 18.64 |
| | 8% | 10:90 | 71.30 \pm 20.54 |
| | | 15:85 | 89.40 \pm 22.28 |
| | | 20:80 | 95.60 \pm 23.17 |

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อเจลใน OG มากขึ้น โดยให้ปริมาณสารก่อเจลใน HG และ O:H คงที่ พบว่า ขนาดของหยดเฟสภายในใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกัน อาจเนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของ SDMS เป็นการเพิ่มความหนืดของ OG มากขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาค OG ใน HG เป็นไปได้ยากขึ้นขนาดของอนุภาคภายในไบเจลจึงไม่ค่อยกระจายออกจากกันทำให้อนุภาคภายในมีขนาดใหญ่ขึ้น

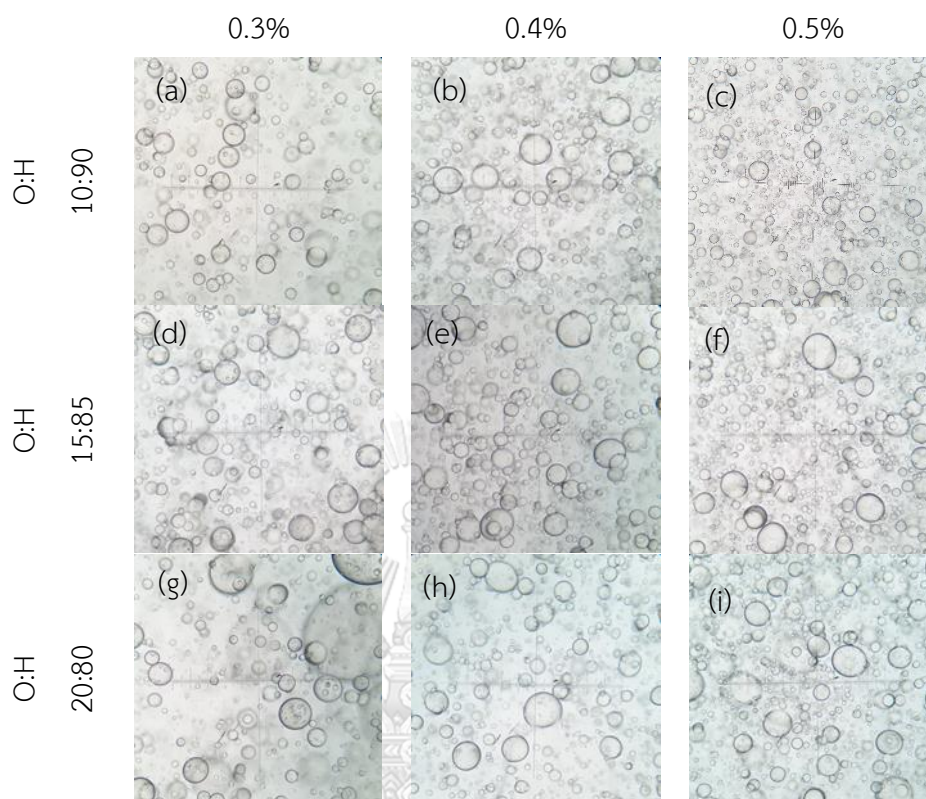
สำหรับผลของความเข้มข้นของสารก่อเจลใน HG ที่เปอร์เซ็นต์ของสารก่อเจลใน OG และ O:H คงที่ พบว่า ไม่สามารถระบุได้ว่าอนุภาคภายในเพิ่มหรือลดขนาดลงอย่างชัดเจน แต่จากรูปที่ 10

และ 11 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารก่อเจลใน HG มากขึ้นการเรียงตัวของอนุภาคภายในมีการเรียงตัวที่ชิดกันมากขึ้น อาจเกิดจากเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบพอลทำให้ไบเจลมีความหนืดเพิ่มขึ้นการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในหรือ OG จึงเคลื่อนที่ได้น้อยลงอนุภาคจึงเรียงตัวอยู่ใกล้กัน ซึ่งอาจส่งผลให้ไบเจลมีแนวโน้มความคงตัวทางกายภาพที่ดีขึ้น จากงานวิจัยของ Singh และคณะ [12] ได้กล่าวว่าการกระจายตัวที่แคบของอนุภาคภายในไบเจลอาจจะช่วยให้ความคงตัวมากขึ้น



รูปที่ 10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า ของไบเจลที่มี SDMS ใน OG 6% โดยน้ำหนัก และคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG

ความเข้มข้นของคาร์โบพอลใน HG



รูปที่ 11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า ของไบเจลที่มี SDMS ใน OG 8% โดยน้ำหนักและคาร์โบพอลความเข้มข้นต่าง ๆ ใน HG

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

จากตารางที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารก่อเจลใน HG (คาร์โบพอล) โดยให้ค่า O:H และปริมาณของสารก่อเจลใน OG คงที่ พบว่า ค่าความหนืดของไบเจลมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจาก HG เป็นเฟสภายนอกของไบเจลและมีปริมาณสัดส่วนที่มากกว่า OG ซึ่งจากตารางที่ 3 จะสังเกตได้ว่าความหนืดของ HG มีค่ามากกว่า OG อย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้ไบเจลมีแนวโน้มของความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ HG

และที่ปริมาณสารก่อเจลใน HG และ OG คงที่เมื่อเพิ่ม O:H (ตารางที่ 5) พบว่าค่าความหนืดมีค่าลดลงแสดงถึงไบเจลมีลักษณะที่เหลวขึ้นเนื่องจากการเพิ่ม O:H เป็นการเพิ่มปริมาณของ OG หรือก็คือเป็นการลดปริมาณของ HG เช่นเดียวกัน ทำให้ไบเจลมีความหนืดลดลงเล็กน้อยตามปริมาณของ HG ที่ลดลงและปริมาณ OG ที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้ไบเจลเหลวขึ้นเล็กน้อย

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารก่อเจลใน OG (ตารางที่ 5) โดยให้ปริมาณสารก่อเจลใน HG และ O:H คงที่ พบว่าค่าความหนืดของไบเจลต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากความหนืดของ OG 6% และ 8% มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 3) อาจส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของไบเจลไม่ต่างกันมากนัก

ตารางที่ 5 ค่า pH และความหนืดของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ

| คาร์โบพอล | SDMS | O:H | pH | ความหนืด (P) |
|-----------|------|-------|-----------------|-----------------|
| 0.3% | 6% | 10:90 | 6.16 ± 0.03 | 28.3 ± 0.25 |
| | | 15:85 | 5.79 ± 0.02 | 20.4 ± 0.70 |
| | | 20:80 | 6.20 ± 0.01 | 18.4 ± 0.63 |
| | 8% | 10:90 | 5.72 ± 0.03 | 24.5 ± 0.67 |
| | | 15:85 | 5.78 ± 0.02 | 23.3 ± 0.29 |
| | | 20:80 | 5.78 ± 0.04 | 21.0 ± 0.67 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | 5.62 ± 0.04 | 36.1 ± 0.37 |
| | | 15:85 | 5.79 ± 0.03 | 34.5 ± 0.57 |
| | | 20:80 | 5.92 ± 0.04 | 31.5 ± 0.17 |
| | 8% | 10:90 | 5.68 ± 0.03 | 36.3 ± 0.29 |
| | | 15:85 | 5.67 ± 0.02 | 34.7 ± 0.22 |
| | | 20:80 | 5.67 ± 0.02 | 30.6 ± 0.76 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | 5.51 ± 0.02 | 46.8 ± 0.39 |
| | | 15:85 | 5.71 ± 0.03 | 43.0 ± 0.74 |
| | | 20:80 | 6.07 ± 0.05 | 40.5 ± 0.45 |
| | 8% | 10:90 | 5.58 ± 0.02 | 47.5 ± 0.62 |
| | | 15:85 | 5.58 ± 0.01 | 42.1 ± 0.25 |
| | | 20:80 | 5.50 ± 0.03 | 39.5 ± 0.46 |

4.4 การวิเคราะห์สมบัติการไหลและการเสียรูป

4.4.1 สมบัติหยุ่นหนืด (Viscoelastic)

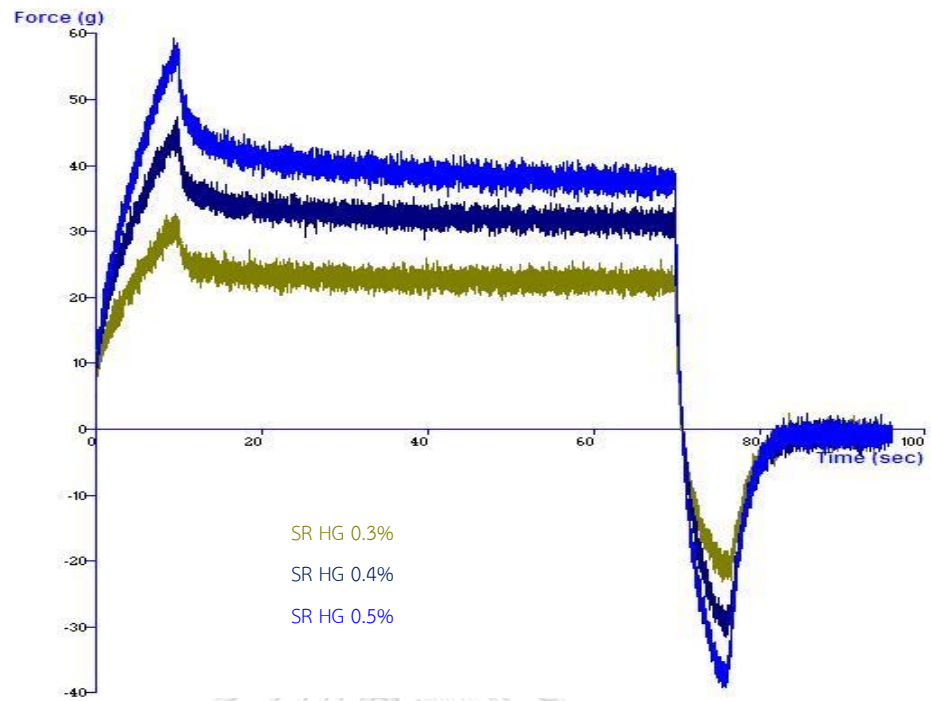
ทดสอบด้วยเครื่อง texture analyzer การศึกษาสมบัติหยุ่นหนืดของตำรับไบเจลทั้ง 18 สูตรโดยศึกษาการคลายความเค้น (stress relaxation) โดยความเค้นเกิดจากมีแรงกดจากหัววัดของเครื่องลงบนผิวของตัวอย่างในระยะทางคงที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากการได้รับแรงมากที่สุดความเค้นจะลดลงนั่นคือการคลายความเค้น (stress relaxation) ซึ่งความเค้นที่เหลืออยู่ในวัสดุคือ แรงตกค้าง (residual force)

รูปที่ 12 แสดงกราฟ Stress relaxation ของไฮโดรเจลทั้ง 3 สูตรพบว่า HG ที่มีคาร์โบพอล 0.5% มีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้น 0.4% และ 0.3% ตามลำดับ และจากตารางที่ 6 จะได้ว่าค่าสูงสุดของ HG คือ $HG\ 0.5\% > HG\ 0.4\% > HG\ 0.3\%$ แสดงให้เห็นว่า HG ที่มีปริมาณคาร์โบพอล 0.5% โดยน้ำหนักมีความแน่นมากที่สุด เมื่อคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การคลายความเค้น (%SR) จากสมการ [14]

$$\%SR = \left(\frac{F_o - F_r}{F_o} \right) \times 100$$

โดยค่า F_o คือแรงสูงสุด และ F_r คือแรงตกค้าง

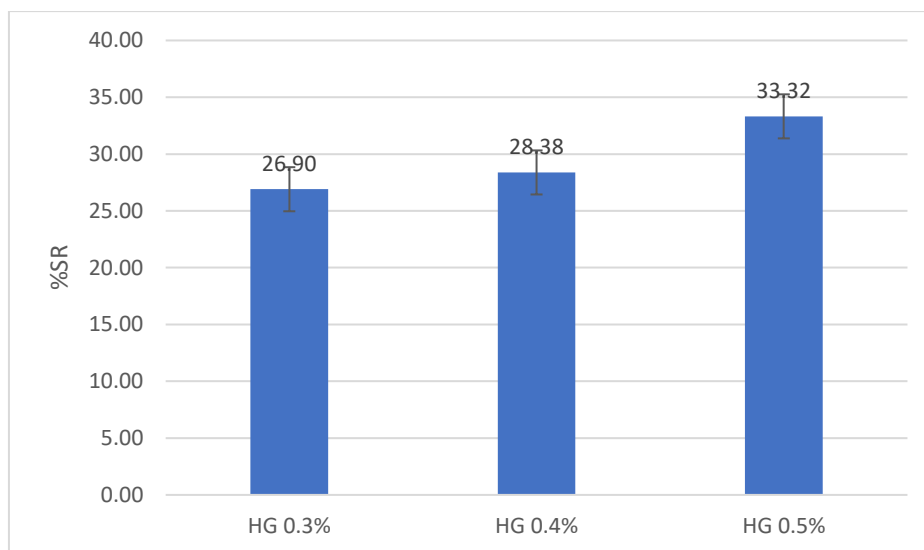
จะได้กราฟ %SR ดังรูปที่ 13 %SR ของ $HG\ 0.5\% > HG\ 0.4\% > HG\ 0.3\%$ นั่นคือ $HG\ 0.3\%$ มีค่า %SR ที่ต่ำที่สุดแสดงถึงสมบัติหยุ่นหนืดที่มีพฤติกรรมที่ยืดหยุ่นเด่นชัดกว่า และที่ $HG\ 0.5\%$ มีค่า %SR มากที่สุดแสดงถึงมีสมบัติหยุ่นหนืดที่มีพฤติกรรมการไหลหนืดมากกว่า ดังนั้นสมบัติหยุ่นหนืดที่เข้าใกล้การไหลหนืดของ HG เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นสารก่อเจลคาร์โบพอลที่ใช้



รูปที่ 12 กราฟ Stress relaxation ของ HG ทั้ง 3 สูตร

ตารางที่ 6 แรงสูงสุดและแรงตกค้างของ HG แต่ละสูตร

| สูตร | แรงสูงสุด, F_0 (g) | แรงตกค้าง, F_r (g) |
|---------|----------------------|----------------------|
| HG 0.3% | 33.9 ± 0.89 | 24.8 ± 0.76 |
| HG 0.4% | 47.2 ± 0.56 | 33.8 ± 0.32 |
| HG 0.5% | 59.9 ± 0.76 | 40.0 ± 1.85 |



รูปที่ 13 % Stress relaxation ของ HG ทั้ง 3 สูตร

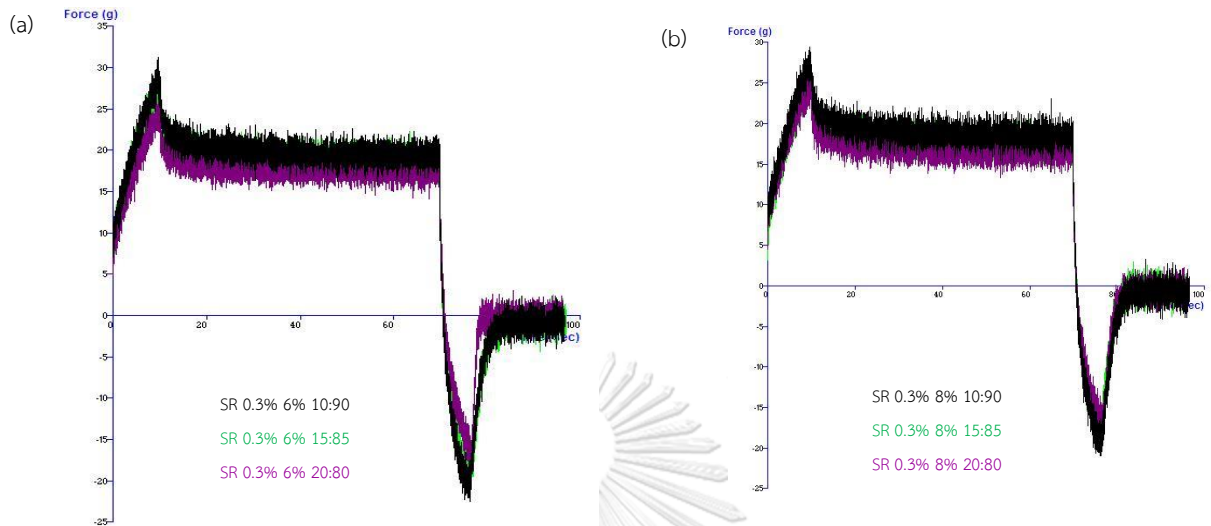
- ผลของ O:H ต่อค่า % Stress relaxation

จากรูปที่ 14 ถึง 16 ที่เปอร์เซ็นต์คาร์โบพอลและ SDMS เท่ากัน เมื่อเพิ่ม O:H พบว่า แรงสูงสุดลดลงจะได้ว่าอัตราส่วน 10:90 > 15:85 > 20:80 แสดงว่า การเพิ่ม O:H ทำให้ความแน่นของไบเจลลดลงพิจารณาจากจุดสูงสุดของกราฟมีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม O:H แสดงถึงไบเจลมีความแข็งแรงมากขึ้น

จากตารางที่ 7 ค่า % Stress relaxation เมื่อ O:H เพิ่มขึ้นจะได้ว่า

- คาร์โบพอล 0.3% SDMS 6% พบว่า %SR มีแนวโน้มลดลง แสดงถึงพฤติกรรมเข้าใกล้ยืดหยุ่นมากขึ้น
- คาร์โบพอล 0.3% SDMS 8% พบว่า %SR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงถึงพฤติกรรมเข้าใกล้การไหลหนืดมากขึ้น
- คาร์โบพอล 0.4% SDMS 6% และ 8% พบว่า %SR มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่ชัดเจน
- คาร์โบพอล 0.5% SDMS 6% และ 8% พบว่า %SR มีแนวโน้มลดลง แสดงถึงพฤติกรรมเข้าใกล้ยืดหยุ่นมากขึ้น

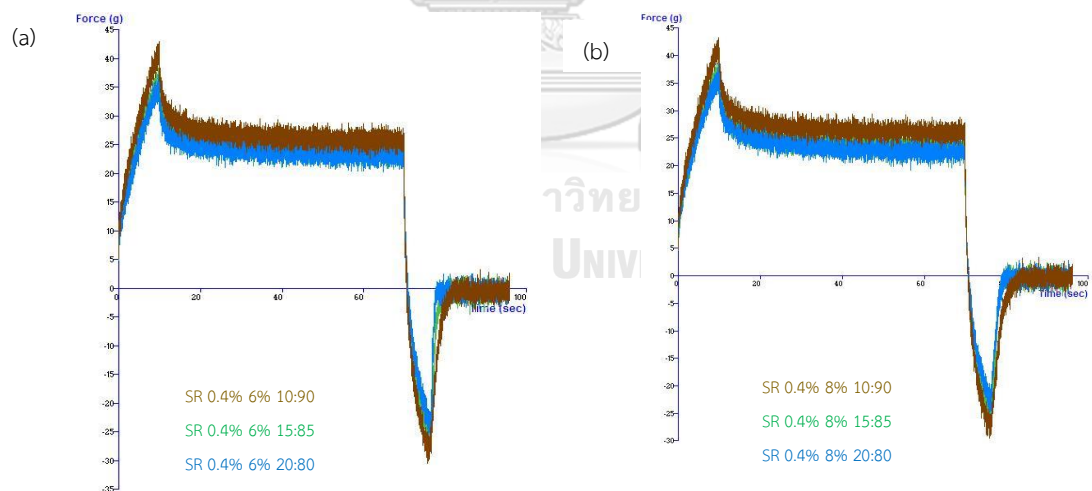
ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่า %SR ของไบเจลทั้ง 18 สูตรตำรับพบว่า %SR มีแนวโน้มไม่ชัดเจนเมื่อเพิ่ม O:H และให้ค่าอื่น ๆ คงที่



รูปที่ 14 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน O:H

(a) เปรียบเทียบที่คาร์บอนพอล 0.3% และ SDMS 6%

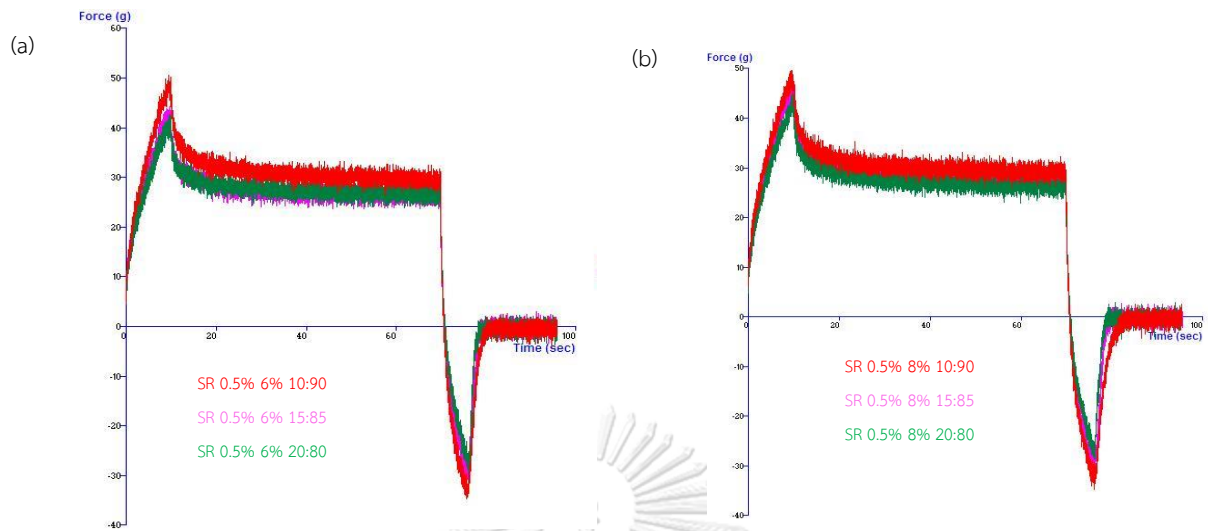
(b) เปรียบเทียบที่คาร์บอนพอล 0.3% และ SDMS 8%



รูปที่ 15 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน O:H

(a) เปรียบเทียบที่คาร์บอนพอล 0.4% และ SDMS 6%

(b) เปรียบเทียบที่คาร์บอนพอล 0.4% และ SDMS 8%



รูปที่ 16 Stress relaxation ของโพลิยูเรเทนโดยเปลี่ยน O:H

(a) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.5% และ SDMS 6%

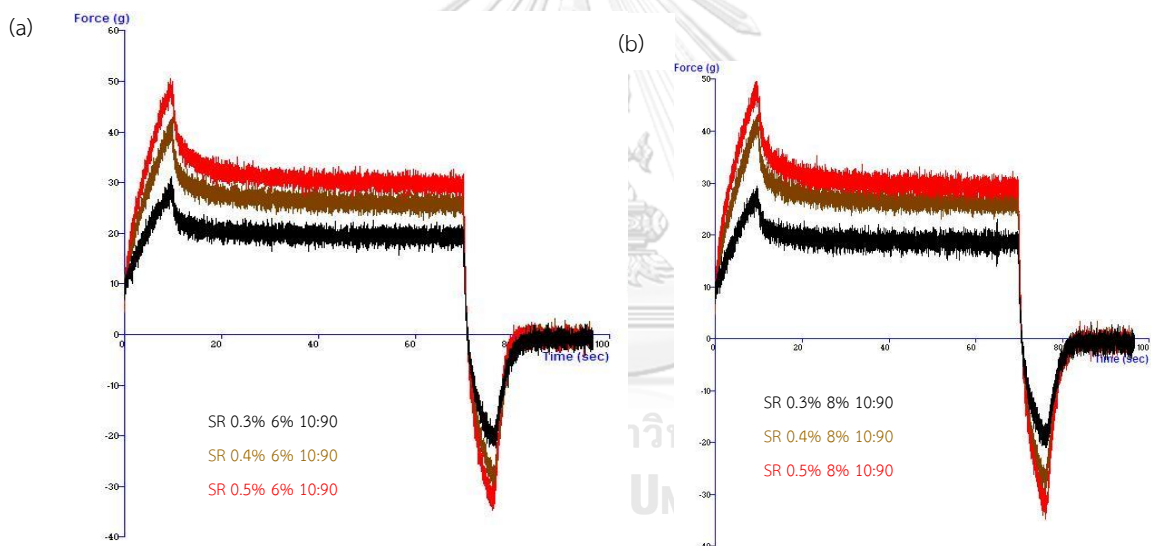
(b) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.5% และ SDMS 8%

- ผลของความเข้มข้นของคาร์โบพอลใน HG ต่อค่า Stress relaxation

ที่ %SDMS และ O:H เท่ากัน เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์คาร์โบพอล พบว่าไบเจลมีความแน่นเพิ่มขึ้น โดยดูจากตำแหน่งจุดสูงสุดของกราฟแสดงถึงเมื่อเพิ่มสารก่อเจลใน HG จะทำให้ไบเจลมีความแน่นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 17 ถึง 19

จากตารางที่ 7 พบว่าไบเจลทุกสูตรมีแนวโน้มของ %SR เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์โบพอล ยกเว้นไบเจลสูตร 8% ของ SDMS และ O:H 20:80 แนวโน้มไม่ชัดเจนแต่พบว่าที่ความเข้มข้นคาร์โบพอล 0.3% มีค่า %SR น้อยที่สุด

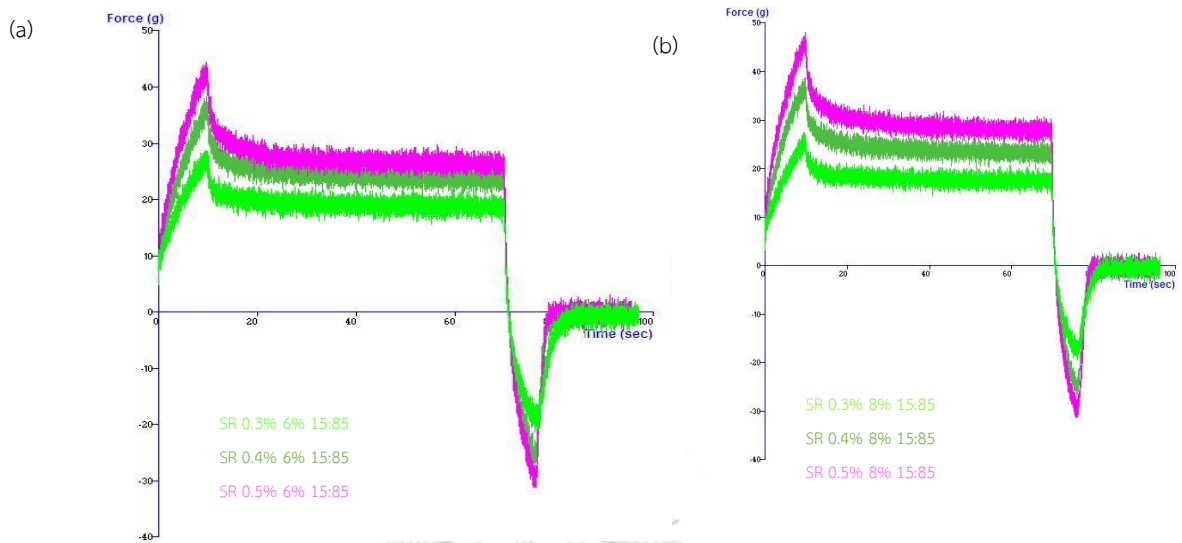
กล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์โบพอลพบว่าไบเจลมี %SR เพิ่มขึ้น ไบเจลแสดงพฤติกรรมการไหลหนืดมากกว่ายืดหยุ่น ยกเว้นไบเจลสูตร 8% ของ SDMS และ O:H 20:80 มีพฤติกรรมยืดหยุ่นมากกว่าการไหลหนืด



รูปที่ 17 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์คาร์โบพอล

(a) เปรียบเทียบที่ SDMS 6% และ O:H 10:90

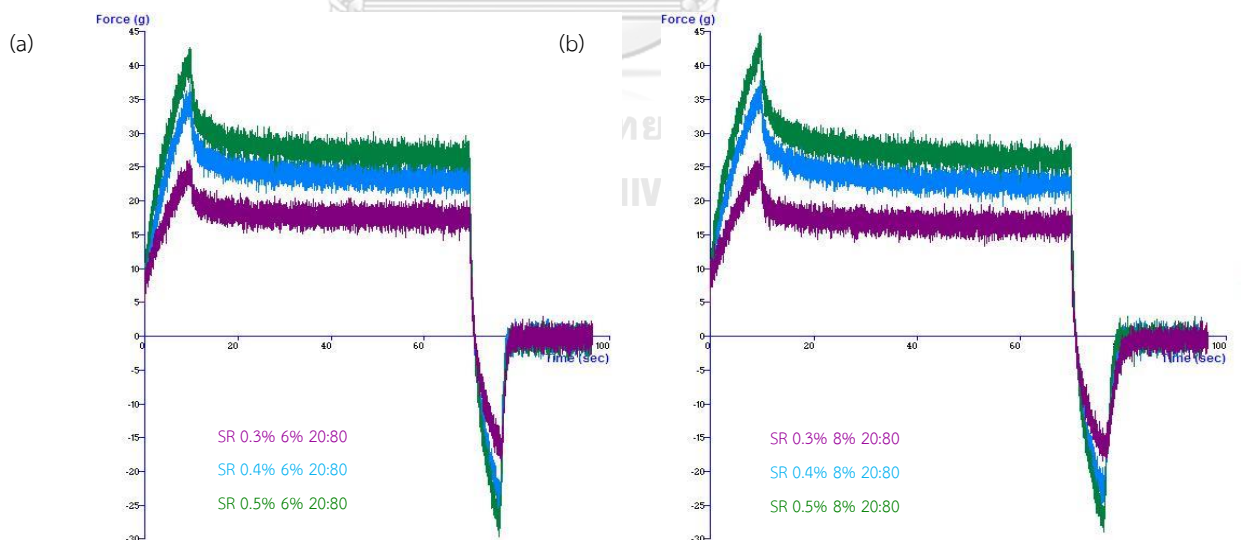
(b) เปรียบเทียบที่ SDMS 8% และ O:H 10:90



รูปที่ 18 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์คาร์โบพอล

(a) เปรียบเทียบที่ SDMS 6% และ O:H 15:85

(b) เปรียบเทียบที่ SDMS 8% และ O:H 15:85



รูปที่ 19 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์คาร์โบพอล

(a) เปรียบเทียบที่ SDMS 6% และ O:H 20:80

(b) เปรียบเทียบที่ SDMS 8% และ O:H 20:80

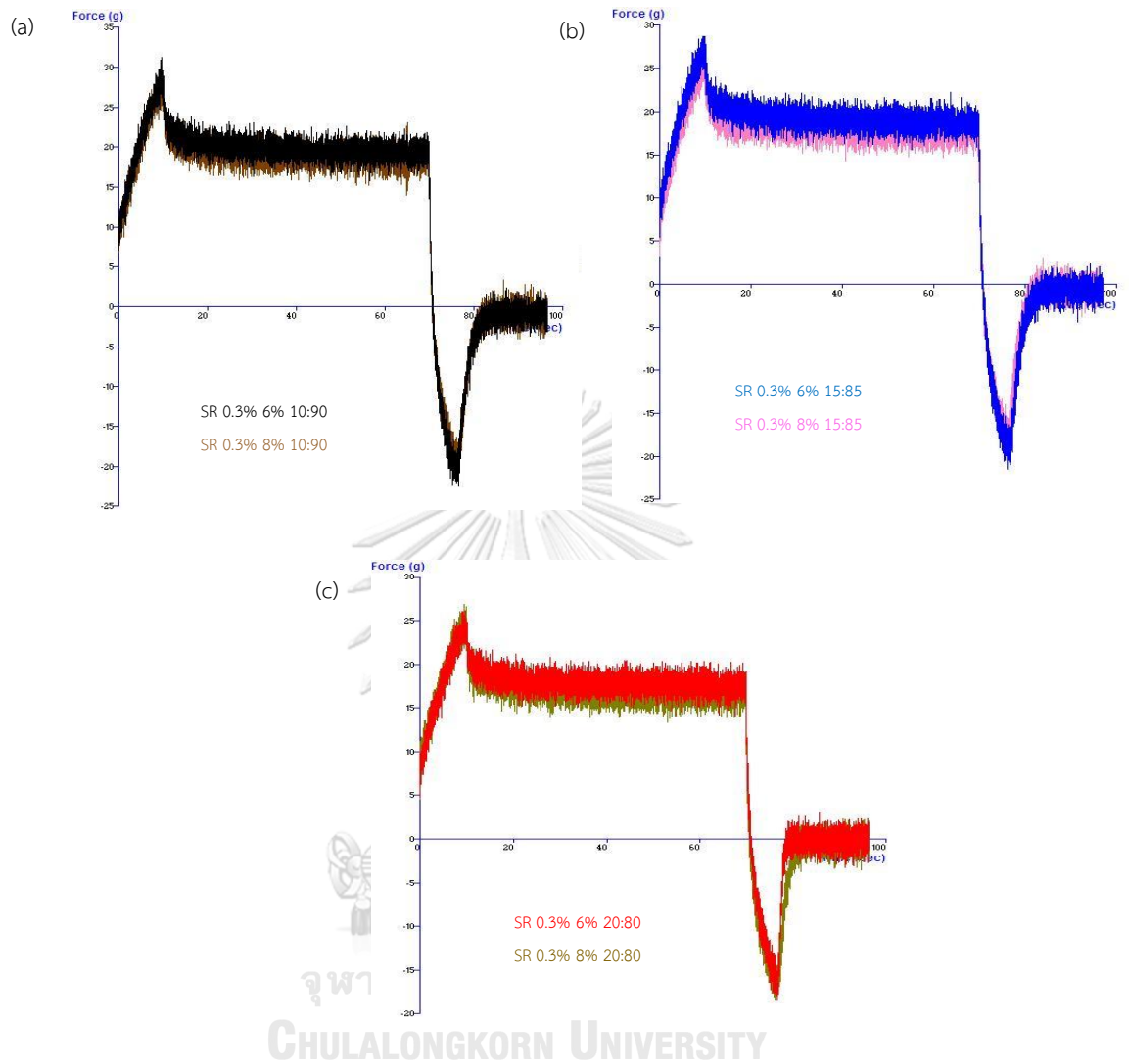
- ผลของความเข้มข้นของ SDMS ต่อค่า Stress relaxation

ที่เปอร์เซ็นต์คาร์โบพอลและและ O:H เท่ากัน เมื่อเพิ่ม %SDMS ทำให้ไบเจลมีความแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยดูได้จากตำแหน่งพีคสูงสุดของแรงที่กระทำต่อไบเจลดังรูปที่ 20 ถึง 22

จากตารางที่ 7 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ SDMS โดยให้ค่าความเข้มข้นของคาร์โบพอลและ O:H คงที่ พบว่า %SR มีค่าดังนี้

- คาร์โบพอล 0.3% และ O:H 10:90 พบว่า %SR ลดลง
- คาร์โบพอล 0.3% และ O:H 15:85 และ 20:80 พบว่า %SR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
- คาร์โบพอล 0.4% และ O:H 10:90 15:85 และ 20:80 พบว่า %SR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
- คาร์โบพอล 0.5% และ O:H 10:90 พบว่า %SR ลดลง
- คาร์โบพอล 0.5% และ O:H 15:85 และ 20:80 พบว่า %SR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

กล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ SDMS ส่งผลให้ไบเจลมีความแน่นเพิ่มขึ้นทำให้ไบเจลมีแนวโน้มแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ %SR พบว่าที่คาร์โบพอล 0.3% และ 0.5% ที่ O:H 10:90 ไบเจลแสดงพฤติกรรมยืดหยุ่นมากขึ้น ที่ 15:85 กับ 20:80 ไบเจลแสดงพฤติกรรมไหลหนืดมากขึ้น และคาร์โบพอล 0.4% ที่ O:H ทุกสูตรให้พฤติกรรมการไหลหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารก่อเจลใน OG

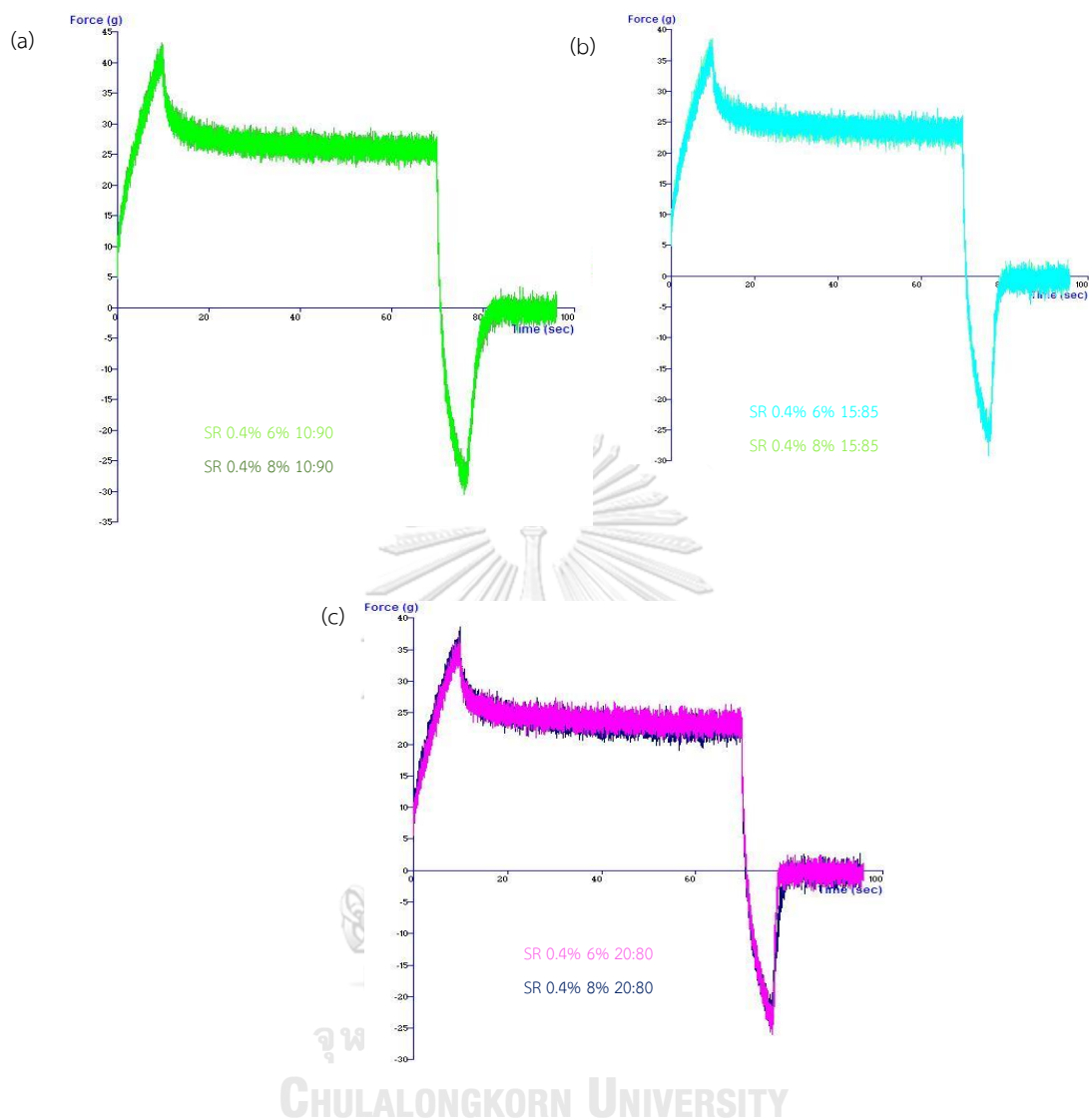


รูปที่ 20 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน %SDMS

(a) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.3% และ O:H 10:90

(b) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.3% และ O:H 15:85

(c) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.3% และ O:H 20:80

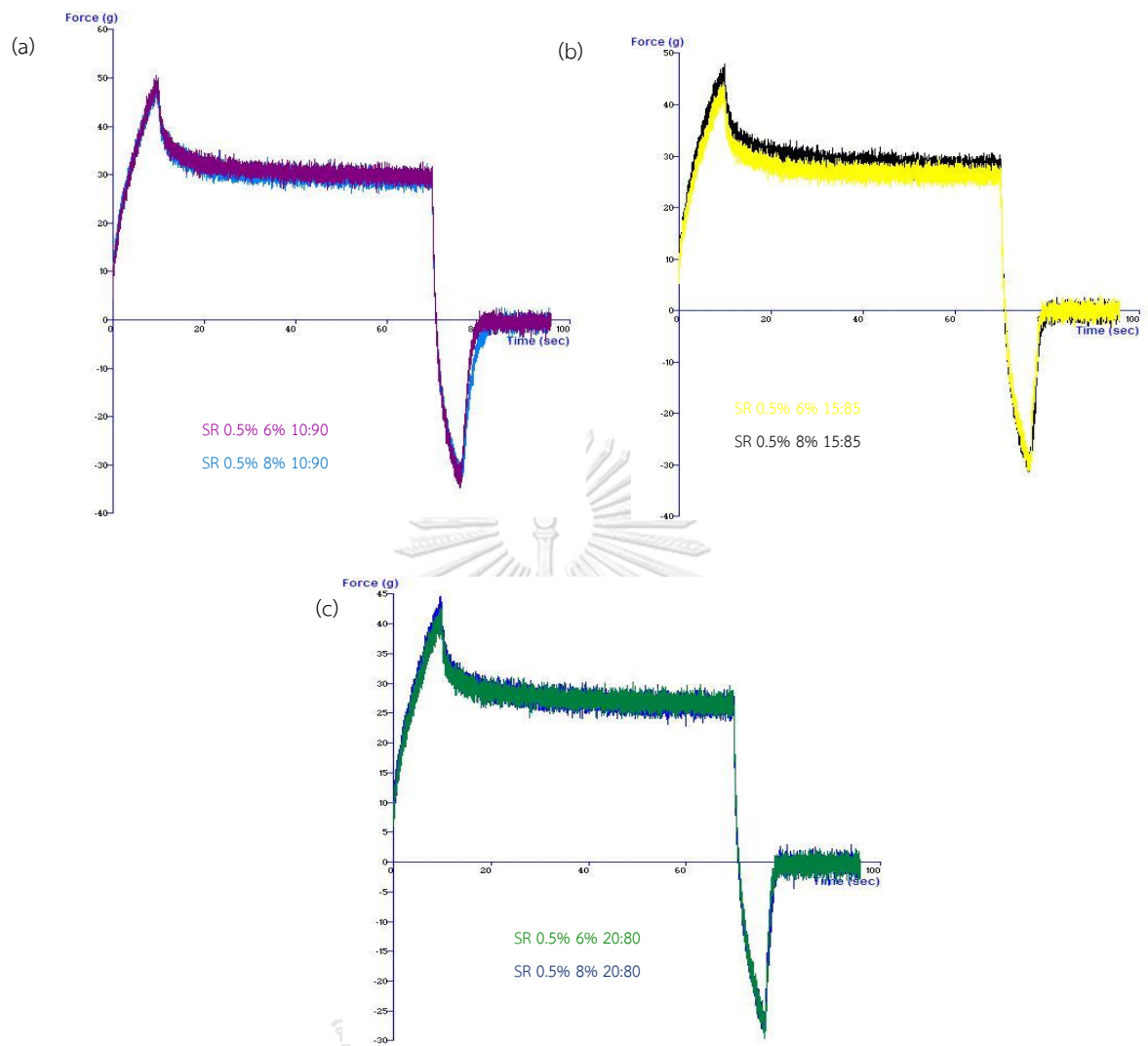


รูปที่ 21 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน %SDMS

(a) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.4% และ O:H 10:90

(b) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.4% และ O:H 15:85

(c) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.4% และ O:H 20:80



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 22 Stress relaxation ของไบเจลโดยเปลี่ยน %SDMS

(a) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.5% และ O:H 10:90

(b) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.5% และ O:H 15:85

(c) เปรียบเทียบที่คาร์โบพอล 0.5% และ O:H 20:80

พิจารณาจากรูปที่ 23 เมื่อเพิ่มปริมาณสารก่อเจลใน OG พบว่าค่า %SR มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แสดงถึงเมื่อเพิ่มความเข้มข้น SDMS จาก 6% เป็น 8% โดยน้ำหนักทำให้ไบเจลมีลักษณะที่แน่น เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ที่เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบพอลที่ 0.5% พบว่าสูตรที่ 6% และ 8% มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากโดยเฉพาะในสูตรที่ 0.5% ของคาร์โบพอล ที่ O:H 10:90 และ 15:85 ทั้ง 6% และ 8% พบว่าค่า %SR ของไบเจลแทบจะเท่ากัน

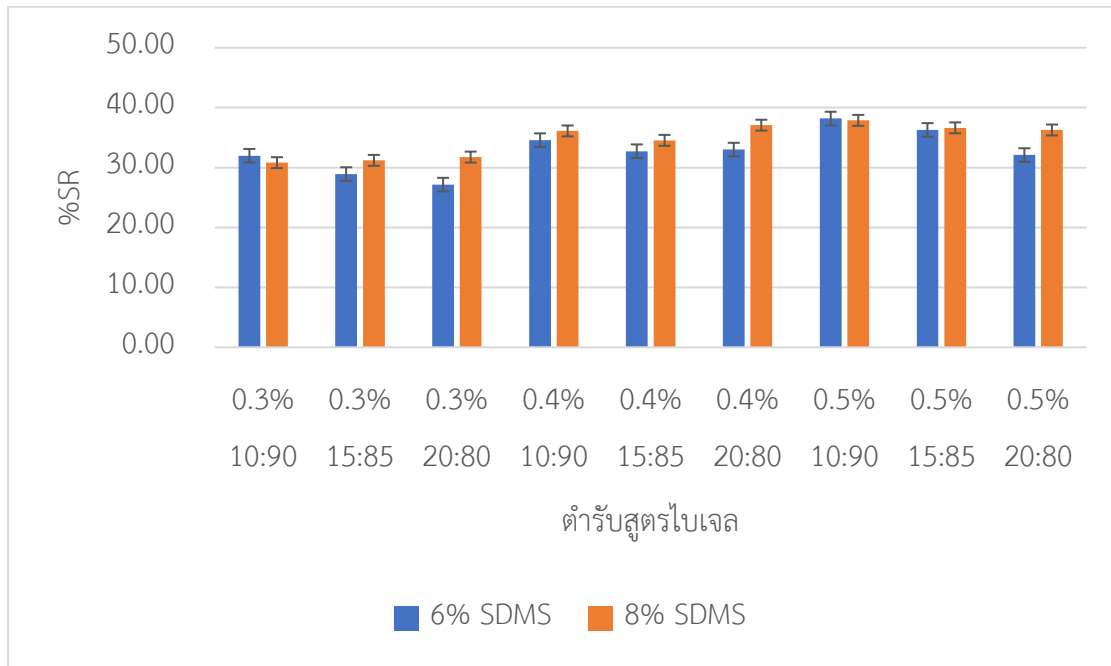
อาจกล่าวได้ว่าปริมาณคาร์โบพอล 0.5% ส่งผลต่อค่า %SR ของไบเจลมากจนทำให้การเพิ่มปริมาณ SDMS ส่งผลต่อ %SR และความแน่นของไบเจลเล็กน้อย เนื่องจาก HG มีลักษณะแน่นมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของ OG เป็นไปได้ยากมากขึ้น ซึ่งความแน่นและ %SR ของไบเจลน่าจะขึ้นกับปริมาณของคาร์โบพอลมากกว่าปริมาณ SDMS ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้น SDMS จึงไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของ %SR มากนัก



ตารางที่ 7 แรงสูงสุด แรงตกค้างและค่า % Stress relaxation ของใบเจลแต่ละสูตร

| % คาร์โบพอล | % SDMS | O:H | แรงสูงสุด F_0 (g) | แรงตกค้าง F_r (g) | % Stress relaxation |
|-------------|--------|-------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 0.3% | 6% | 10:90 | 31.1 ± 0.35 | 21.2 ± 0.47 | 31.97 ± 2.30 |
| | | 15:85 | 28.7 ± 0.29 | 20.4 ± 0.42 | 28.91 ± 1.88 |
| | | 20:80 | 26.9 ± 0.58 | 19.6 ± 0.17 | 27.15 ± 0.94 |
| | 8% | 10:90 | 29.7 ± 0.17 | 20.5 ± 0.32 | 30.82 ± 0.76 |
| | | 15:85 | 28.2 ± 0.56 | 19.4 ± 0.15 | 31.20 ± 1.17 |
| | | 20:80 | 26.8 ± 0.22 | 18.3 ± 0.53 | 31.75 ± 1.47 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | 43.1 ± 0.33 | 28.2 ± 1.01 | 34.57 ± 1.84 |
| | | 15:85 | 38.3 ± 0.22 | 25.8 ± 0.30 | 32.72 ± 0.68 |
| | | 20:80 | 37.5 ± 0.17 | 25.1 ± 0.93 | 32.99 ± 2.72 |
| | 8% | 10:90 | 43.9 ± 0.60 | 28.0 ± 0.12 | 36.11 ± 0.80 |
| | | 15:85 | 39.1 ± 0.35 | 25.6 ± 0.72 | 34.54 ± 1.28 |
| | | 20:80 | 38.5 ± 0.33 | 24.2 ± 0.21 | 37.07 ± 0.31 |

| % คาร์โบพอล | % SDMS | O:H | แรงสูงสุด F_0 (g) | แรงตกค้าง F_r (g) | % Stress relaxation |
|-------------|--------|-------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 0.5% | 6% | 10:90 | 50.9 ± 0.17 | 31.5 ± 1.30 | 38.18 ± 2.39 |
| | | 15:85 | 44.2 ± 0.44 | 28.1 ± 0.59 | 36.28 ± 1.96 |
| | | 20:80 | 43.0 ± 0.13 | 29.2 ± 0.20 | 32.09 ± 0.51 |
| 0.5% | 8% | 10:90 | 49.9 ± 0.56 | 31.0 ± 0.45 | 37.87 ± 0.62 |
| | | 15:85 | 47.9 ± 0.52 | 30.3 ± 1.10 | 36.62 ± 2.98 |
| | | 20:80 | 44.5 ± 0.50 | 28.3 ± 0.25 | 36.27 ± 1.29 |



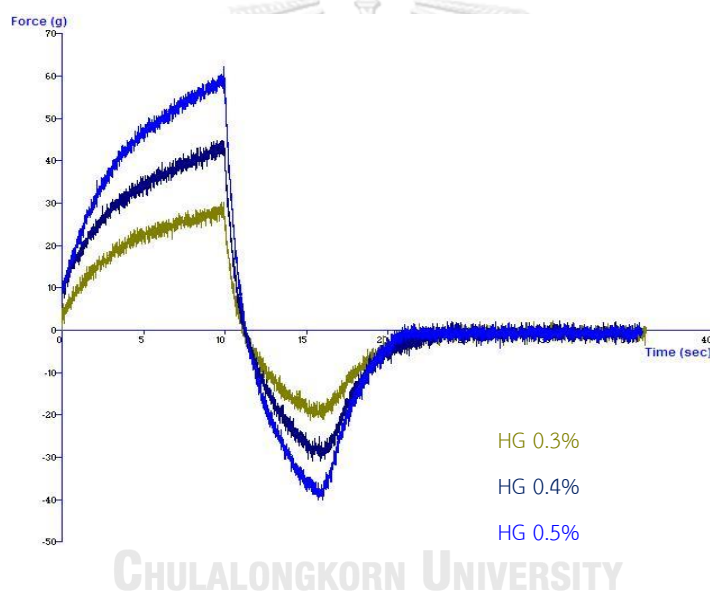
รูปที่ 23 %Stress relaxation ของไบเจลสูตรต่าง ๆ

ดังนั้นจาก %SR ที่ได้อยู่ในช่วง 27.15 ± 0.94 % ถึง 38.18 ± 2.39 % แสดงถึงไบเจลทุกสูตรตำรับแสดงคุณสมบัติหยุ่นหนืด (viscoelasticity) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในทางเครื่องสำอางไบเจลทั้ง 4 ตำรับสูตรจึงมีลักษณะที่เหมาะสมในการนำไปใช้ต่อไป

4.4.2 สมบัติทางเนื้อสัมผัส (Texture properties)

จากการทดสอบ compression test ด้วยเครื่อง Texture analyzer จะได้ texture profiles จุดที่แรงสูงสุดเกิดขึ้นแสดงถึงความแน่น (firmness) พื้นที่ใต้กราฟที่อยู่ฝั่งบวกแสดงถึงความเชื่อมยึดติด (cohesiveness) จุดที่แรงสูงสุดฝั่งติดลบแสดงถึงความเหนียว (stickiness) และพื้นที่ใต้กราฟที่อยู่ฝั่งลบแสดงถึงดัชนีความหนืด (Index of viscosity)

จากรูปที่ 24 ที่ตำแหน่งจุดสูงสุดแสดงให้เห็นถึงความแน่น (firmness) ของ HG พบว่า HG 0.5% > HG 0.4% > HG 0.3% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อดูค่าความเชื่อมยึดติด (cohesiveness), ความเหนียว (stickiness) และดัชนีความหนืด (Index of viscosity) ดังในตารางที่ 8 พบว่ามีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 24 Texture profiles ของ HG ทั้ง 3 สูตร

ตารางที่ 8 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของ HG สูตรตำรับต่าง ๆ

| | ความแน่น (firmness) (g) | ความเชื่อมยึดติด (cohesiveness) (g.sec) | ความเหนียว (stickiness) (g) | ดัชนีความหนืด (Index of viscosity) (g.sec) |
|---------|-------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| HG 0.3% | 31.16 ± 0.65 | 218.95 ± 12.95 | -22.08 ± 0.80 | -110.40 ± 5.24 |
| HG 0.4% | 45.90 ± 0.82 | 333.26 ± 6.97 | -30.72 ± 0.33 | -157.76 ± 3.20 |
| HG 0.5% | 58.98 ± 3.28 | 431.84 ± 27.33 | -38.57 ± 1.42 | -177.33 ± 17.73 |

จากตารางที่ 9 พบว่าไบเจลทั้ง 18 สูตรเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบพอลความแน่นของไบเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มปริมาณ SDMS พบว่าความแน่นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อเพิ่ม O:H พบว่า ความแน่นมีแนวโน้มลดลงในทุกสูตร

ตารางที่ 9 ความแน่น (firmness) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ

| คาร์โบพอล | SDMS | O:H | ความแน่น (firmness) (g) |
|-----------|------|-------|-------------------------------|
| 0.3% | 6% | 10:90 | 30.58 ± 0.35 |
| | | 15:85 | 28.58 ± 1.01 |
| | | 20:80 | 26.62 ± 0.73 |
| | 8% | 10:90 | 28.95 ± 0.64 |
| | | 15:85 | 27.35 ± 0.61 |
| | | 20:80 | 26.08 ± 0.44 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | 42.49 ± 1.04 |
| | | 15:85 | 38.02 ± 0.33 |
| | | 20:80 | 36.24 ± 0.51 |
| | 8% | 10:90 | 42.18 ± 0.65 |
| | | 15:85 | 38.14 ± 1.18 |
| | | 20:80 | 37.09 ± 1.20 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | 50.40 ± 0.33 |
| | | 15:85 | 43.87 ± 0.27 |
| | | 20:80 | 42.89 ± 1.10 |
| | 8% | 10:90 | 48.44 ± 1.18 |
| | | 15:85 | 46.64 ± 1.23 |
| | | 20:80 | 44.03 ± 1.18 |

จากตารางที่ 10 พบว่าไบเจลทั้ง 18 สูตรเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบพอลความเชื่อมยึดติด (cohesiveness) ของไบเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มปริมาณ SDMS พบว่าความเชื่อมยึดติดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่ม O:H พบว่าความเชื่อมยึดติดมีแนวโน้มลดลงในทุกสูตร

ตารางที่ 10 ความเชื่อมยึดติด (cohesiveness) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ

| คาร์โบพอล | SDMS | O:H | ความเชื่อมยึดติด (cohesiveness) (g.sec) |
|-----------|------|-------|---|
| 0.3% | 6% | 10:90 | 219.60 ± 6.93 |
| | | 15:85 | 205.72 ± 6.36 |
| | | 20:80 | 192.01 ± 1.76 |
| | 8% | 10:90 | 205.27 ± 4.17 |
| | | 15:85 | 195.41 ± 4.54 |
| | | 20:80 | 187.84 ± 4.73 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | 303.58 ± 9.98 |
| | | 15:85 | 278.88 ± 9.95 |
| | | 20:80 | 266.02 ± 9.12 |
| | 8% | 10:90 | 307.70 ± 6.95 |
| | | 15:85 | 279.30 ± 8.78 |
| | | 20:80 | 272.14 ± 2.71 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | 369.11 ± 19.54 |
| | | 15:85 | 329.38 ± 13.72 |
| | | 20:80 | 314.73 ± 10.14 |
| | 8% | 10:90 | 361.16 ± 10.94 |
| | | 15:85 | 344.81 ± 0.04 |
| | | 20:80 | 326.07 ± 9.77 |

จากตารางที่ 11 เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวเลขโดยไม่พิจารณาเครื่องหมายลบ พบว่าไบเจลทั้ง 18 สูตรเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบพอล ความเหนียว (stickiness) ของไบเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มปริมาณ SDMS พบว่าความเหนียวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่ม O:H พบว่าความเหนียวมีแนวโน้มลดลงในทุกสูตร นั่นคือยิ่งเพิ่มปริมาณคาร์โบพอลและลด O:H ลง ยิ่งทำให้ไบเจลเหนียวมากขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณ SDMS ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความเหนียวของไบเจลมากนัก

ตารางที่ 11 ความเหนียว (stickiness) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ

| คาร์โบพอล | SDMS | O:H | ความเหนียว (stickiness) (g) |
|-----------|------|-------|--------------------------------|
| 0.3% | 6% | 10:90 | -21.68 ± 0.11 |
| | | 15:85 | -20.55 ± 0.17 |
| | | 20:80 | -19.10 ± 0.31 |
| | 8% | 10:90 | -20.63 ± 0.38 |
| | | 15:85 | -19.36 ± 0.23 |
| | | 20:80 | -18.02 ± 0.45 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | -29.34 ± 0.66 |
| | | 15:85 | -26.95 ± 0.71 |
| | | 20:80 | -25.13 ± 0.17 |
| | 8% | 10:90 | -28.77 ± 0.38 |
| | | 15:85 | -26.74 ± 0.17 |
| | | 20:80 | -24.48 ± 1.05 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | -34.24 ± 0.66 |
| | | 15:85 | -30.98 ± 0.82 |
| | | 20:80 | -27.45 ± 0.47 |
| | 8% | 10:90 | -32.72 ± 1.11 |
| | | 15:85 | -30.35 ± 0.39 |
| | | 20:80 | -28.92 ± 1.25 |

จากตารางที่ 12 เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวเลขค่าดัชนีความหนืดโดยไม่พิจารณาเครื่องหมายลบ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบพอล ดัชนีความหนืด (Index of viscosity) ของไบเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ SDMS พบว่า ดัชนีความหนืดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่ม O:H พบว่า ดัชนีความหนืดมีแนวโน้มลดลงในทุกสูตร

ตารางที่ 12 ดัชนีความหนืด (Index of viscosity) ของไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ

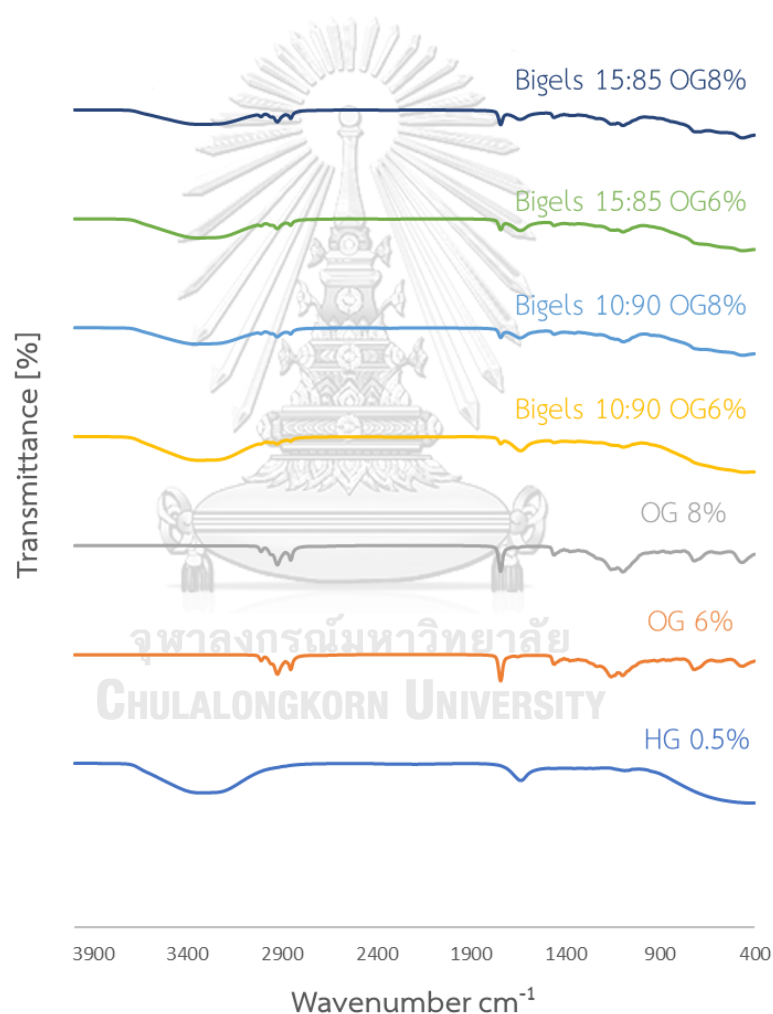
| คาร์โบพอล | SDMS | O:H | ดัชนีความหนืด (Index of viscosity) (g.sec) |
|-----------|------|-------|--|
| 0.3% | 6% | 10:90 | -111.74 ± 3.17 |
| | | 15:85 | -97.49 ± 2.92 |
| | | 20:80 | -79.26 ± 5.49 |
| | 8% | 10:90 | -108.28 ± 1.78 |
| | | 15:85 | -98.61 ± 3.39 |
| | | 20:80 | -85.05 ± 0.83 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | -141.22 ± 8.70 |
| | | 15:85 | -114.26 ± 9.00 |
| | | 20:80 | -95.74 ± 11.87 |
| | 8% | 10:90 | -146.87 ± 4.61 |
| | | 15:85 | -119.94 ± 6.19 |
| | | 20:80 | -103.35 ± 0.58 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | -157.20 ± 11.10 |
| | | 15:85 | -123.50 ± 16.19 |
| | | 20:80 | -108.79 ± 8.63 |
| | 8% | 10:90 | -168.00 ± 10.94 |
| | | 15:85 | -134.82 ± 8.07 |
| | | 20:80 | -113.26 ± 3.69 |

จากการศึกษาทั้ง 4 ค่าที่ได้มา ได้แก่ ความแน่น (firmness) ความเชื่อมยึดติด (cohesiveness) ความเหนียว (stickiness) และดัชนีความหนืด (Index of viscosity) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของคาร์โบพอลใน HG ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของไบเจลอย่างเห็นได้ชัดในทุกสูตร ปัจจัยที่ส่งผลต่อมากคือ O:H และสุดท้ายคือปริมาณ SDMS ไม่ค่อยมีผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไบเจลมากนักเนื่องจากเมื่อพิจารณาทั้ง 4 ค่า พบว่า ค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปลี่ยนปริมาณ SDMS



4.5 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารในตำรับไบเจลด้วยวิธี FTIR

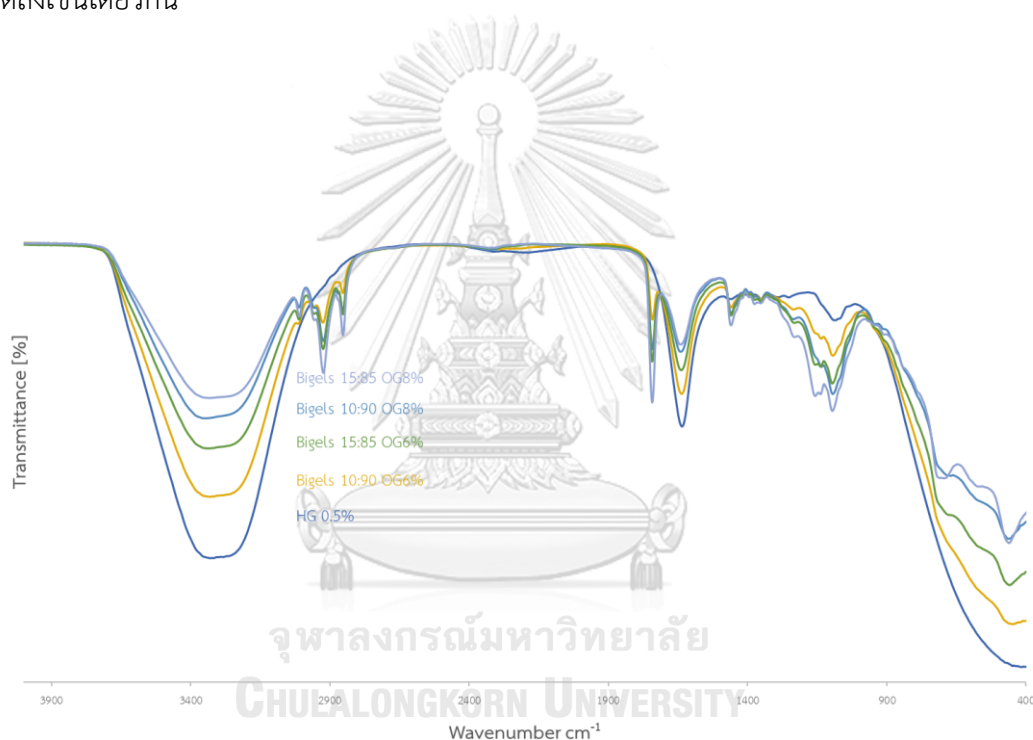
FTIR spectra จากรูปที่ 25 ซึ่งแสดงค่า FTIR ของไฮโดรเจลที่มีปริมาณคาร์โบพอล 0.5% โดยน้ำหนัก OG ที่มีปริมาณ SDMS จาก 6% และ 8% โดยน้ำหนัก และไบเจลทั้งหมด 4 สูตรที่เลือกมาตรวจสอบได้แก่ ไบเจลที่ O:H 10:90 และ 15:85 ที่ปริมาณ SDMS จาก 6% และ 8% โดยน้ำหนัก และปริมาณคาร์โบพอล 0.5% โดยน้ำหนัก พบว่า ไบเจลมีลักษณะของพีคในตำแหน่งที่เหมือนกับทั้ง HG และ OG แสดงว่าไบเจลยังมีคุณสมบัติเป็นสารตัวเดิมที่ผสมกันโดยไม่ได้เปลี่ยนเป็นสารอื่นหรือเกิดสารอื่นขึ้นมาใหม่เพียงแต่ต่างกันที่ความเข้มข้นของพีคในแต่ละสูตร



รูปที่ 25 FTIR spectra ของ HG OG และไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ

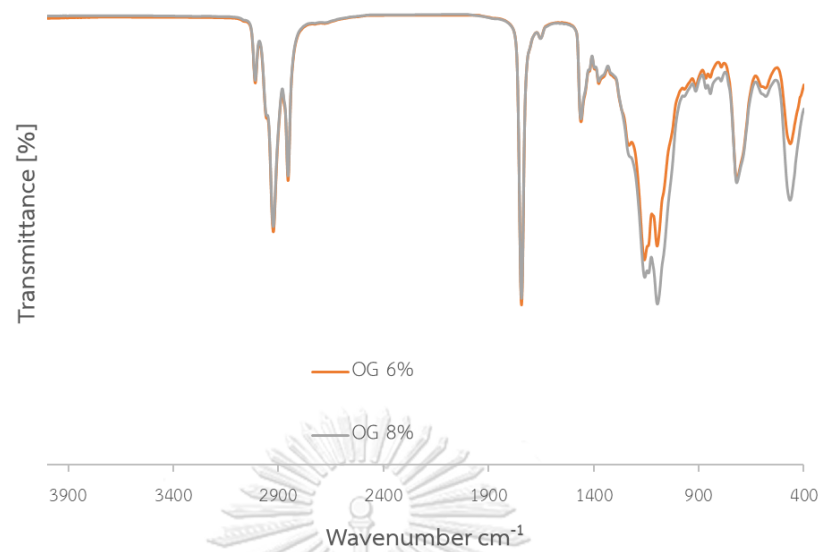
จากรูปที่ 26 แสดงถึง FTIR spectra ของไฮโดรเจลและไบเจลทั้ง 4 สูตรพบว่าที่ตำแหน่งในช่วงประมาณ $3800-3000\text{ cm}^{-1}$ พบลักษณะพีคแบบกว้างซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืด (stretching) ของพันธะ O - H ของโมเลกุลน้ำ โพลีเอธิลีนไกลคอล และพันธะของหมู่ฟังก์ชันแอลกอฮอล์ในไตรเอทาโนลามีน [21]

เมื่อเพิ่ม O:H มากขึ้น ความเข้มพีคช่วงประมาณ 3000 cm^{-1} ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ OG มากขึ้นทำให้สัดส่วนของ HG ลดลงไปด้วยจึงส่งผลให้พีคตำแหน่งนี้ซึ่งแสดงถึงพันธะ O-H ของโมเลกุลน้ำลดลงตาม และเมื่อเพิ่มปริมาณสารก่อเจลของ OG มากขึ้นความเข้มพีคมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

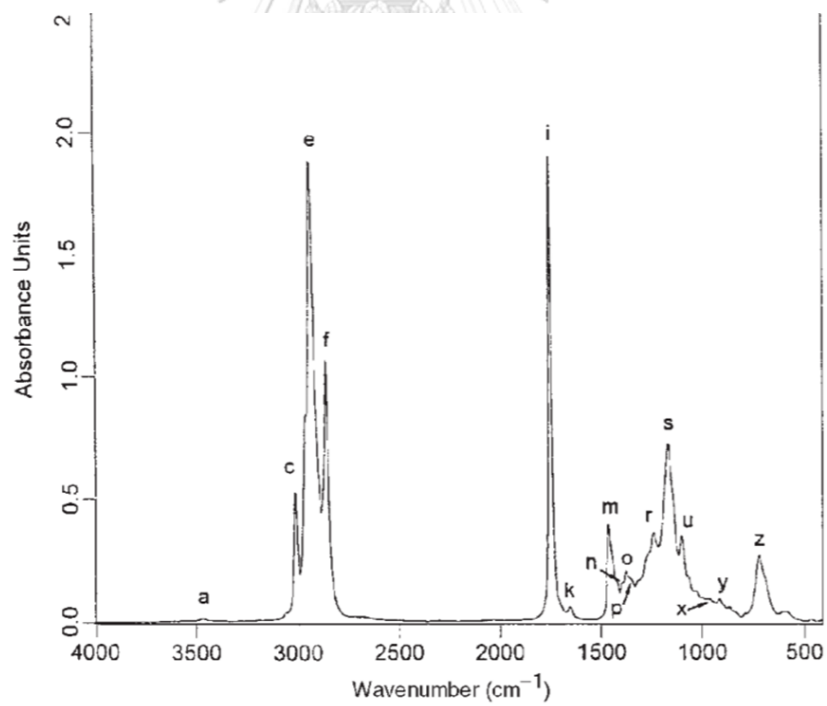


รูปที่ 26 FTIR spectra ของ HG และไบเจลที่มีคาร์โบพอล 0.5% และมี SDMS ที่ O:H ต่าง ๆ

FTIR spectra ของ OG ดังรูปที่ 27 ที่ความเข้มข้นของสารก่อเจล SDMS 6% และ 8% โดยน้ำหนัก พบว่า OG ที่มีการเพิ่มปริมาณสารก่อเจล SDMS ที่ 6% เป็น 8% มีค่าความเข้มของพีคมากขึ้นโดยยังคงมีลักษณะของกราฟที่ตำแหน่งเดิม โดยเมื่อเทียบกับ FTIR spectra ของน้ำมันถั่วดาวอินคาที่อ้างอิงจากรูปที่ 28 [25] พบว่ามีการดูดกลืนที่ตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งแสดงถึงเมื่อเพิ่มปริมาณสารก่อเจล SDMS ยังคงให้ลักษณะของหมู่ฟังก์ชันเดิมอยู่



รูปที่ 27 FTIR spectra ของ OG ที่ความเข้มข้นของสารก่อเจล SDMS 6% และ 8% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 28 FTIR spectra ของน้ำมันกั้วดาวอินคา [25]

4.6 ความคงตัวของทางกายภาพของตำรับไบเจล

4.6.1 ความคงตัวของทางกายภาพในสภาวะเร่ง

จากตารางที่ 13 การตรวจสอบความคงตัวของทางกายภาพของไบเจลทั้งหมด 18 สูตรโดยใช้สภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สลับอุณหภูมิร้อน-เย็น เป็นจำนวน 6 รอบ ทำการวัดค่า pH และความหนืด พบว่าหลังจากทดสอบสภาวะเร่งจนครบ 6 รอบ ไบเจลมีค่า pH และค่าความหนืดลดลงเล็กน้อย ไบเจลไม่มีการเปลี่ยนสี หรือเกิดการแยกชั้นหรือรวมตัวเป็นก้อนขึ้น แสดงถึงไบเจลมีค่าความคงตัวของทางกายภาพที่ดี



ตารางที่ 13 ค่า pH และความหนืดของไบเจลก่อนและหลังทดสอบความคงตัวในสถานะแรง

(ค่าเฉลี่ย \pm SD, n = 3)

| คาร์โบพอล | SDMS | O:H | ก่อน | | หลัง | |
|-----------|------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) |
| 0.3% | 6% | 10:90 | 6.16 \pm 0.03 | 28.3 \pm 0.25 | 6.03 \pm 0.16 | 24.6 \pm 0.80 |
| | | 15:85 | 5.79 \pm 0.02 | 20.4 \pm 0.70 | 5.50 \pm 0.14 | 18.1 \pm 0.47 |
| | | 20:80 | 6.20 \pm 0.01 | 18.4 \pm 0.63 | 6.02 \pm 0.38 | 16.3 \pm 0.35 |
| | 8% | 10:90 | 5.72 \pm 0.03 | 24.5 \pm 0.67 | 5.50 \pm 0.27 | 19.2 \pm 0.72 |
| | | 15:85 | 5.78 \pm 0.02 | 23.3 \pm 0.29 | 5.63 \pm 0.16 | 17.9 \pm 0.85 |
| | | 20:80 | 5.78 \pm 0.04 | 21.0 \pm 0.67 | 5.62 \pm 0.17 | 18.4 \pm 0.42 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | 5.62 \pm 0.04 | 36.1 \pm 0.37 | 5.37 \pm 0.11 | 34.6 \pm 0.87 |
| | | 15:85 | 5.79 \pm 0.03 | 34.5 \pm 0.57 | 5.55 \pm 0.13 | 33.0 \pm 0.71 |
| | | 20:80 | 5.92 \pm 0.04 | 31.5 \pm 0.17 | 5.53 \pm 0.17 | 27.5 \pm 0.49 |
| | 8% | 10:90 | 5.68 \pm 0.03 | 36.3 \pm 0.29 | 5.44 \pm 0.14 | 35.8 \pm 0.42 |
| | | 15:85 | 5.67 \pm 0.02 | 34.7 \pm 0.22 | 5.43 \pm 0.15 | 31.5 \pm 0.70 |
| | | 20:80 | 5.67 \pm 0.02 | 30.6 \pm 0.76 | 5.43 \pm 0.13 | 29.4 \pm 0.49 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | 5.51 \pm 0.02 | 46.8 \pm 0.39 | 5.28 \pm 0.16 | 42.7 \pm 0.78 |
| | | 15:85 | 5.71 \pm 0.03 | 43.0 \pm 0.74 | 5.42 \pm 0.19 | 39.5 \pm 0.87 |
| | | 20:80 | 6.07 \pm 0.05 | 40.5 \pm 0.45 | 6.08 \pm 0.18 | 39.2 \pm 0.61 |
| | 8% | 10:90 | 5.58 \pm 0.02 | 47.5 \pm 0.62 | 5.33 \pm 0.20 | 45.8 \pm 0.35 |
| | | 15:85 | 5.58 \pm 0.01 | 42.1 \pm 0.25 | 5.34 \pm 0.21 | 39.2 \pm 0.71 |
| | | 20:80 | 5.50 \pm 0.03 | 39.5 \pm 0.46 | 5.32 \pm 0.23 | 37.4 \pm 0.59 |

4.6.2 ความคงตัวทางกายภาพในอุณหภูมิแวดล้อมในระยะยาว

จากการเก็บไบเจลทั้ง 18 สูตรไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาทั้งหมด 3 เดือนพบว่าลักษณะภายนอกของไบเจลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นคือสีไม่เปลี่ยน ไม่มีการแยกชั้น ตกตะกอนหรือรวมตัวเป็นก้อน แสดงถึงไบเจลมีความคงตัวที่ดี และเมื่อวัดค่า pH พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 14



ตารางที่ 14 ค่า pH และความหนืดของใบเจดในอุณหภูมิตลอดปีในระยะยาว

(ค่าเฉลี่ย \pm SD, n = 3)

| คาร์บอน | SDMS | H:O | เดือนที่ 1 | | เดือนที่ 2 | | เดือนที่ 3 | |
|---------|------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) |
| 0.3% | 6% | 10:90 | 6.16 \pm 0.04 | 28.3 \pm 1.97 | 5.85 \pm 0.04 | 21.5 \pm 1.36 | 5.87 \pm 0.04 | 20.3 \pm 0.61 |
| | | 15:85 | 5.79 \pm 0.06 | 20.4 \pm 2.87 | 5.64 \pm 0.05 | 18.5 \pm 0.84 | 5.74 \pm 0.04 | 15.6 \pm 0.32 |
| | | 20:80 | 6.20 \pm 0.04 | 18.4 \pm 2.29 | 5.84 \pm 0.06 | 13.0 \pm 0.44 | 5.82 \pm 0.02 | 12.0 \pm 0.40 |
| 0.4% | 8% | 10:90 | 5.72 \pm 0.06 | 24.5 \pm 0.99 | 5.61 \pm 0.03 | 17.3 \pm 0.64 | 5.79 \pm 0.02 | 15.4 \pm 0.49 |
| | | 15:85 | 5.78 \pm 0.07 | 23.3 \pm 1.53 | 5.59 \pm 0.03 | 17.0 \pm 0.30 | 5.64 \pm 0.03 | 15.1 \pm 0.36 |
| | | 20:80 | 5.78 \pm 0.06 | 21.0 \pm 1.72 | 5.48 \pm 0.02 | 8.49 \pm 0.10 | 5.53 \pm 0.04 | 5.62 \pm 0.07 |
| 0.4% | 6% | 10:90 | 5.62 \pm 0.06 | 36.1 \pm 1.19 | 5.48 \pm 0.02 | 34.2 \pm 0.87 | 5.47 \pm 0.03 | 32.7 \pm 0.98 |
| | | 15:85 | 5.79 \pm 0.10 | 34.5 \pm 1.75 | 5.63 \pm 0.06 | 30.2 \pm 0.67 | 5.71 \pm 0.02 | 29.0 \pm 1.00 |
| | | 20:80 | 5.92 \pm 0.09 | 31.5 \pm 1.51 | 5.63 \pm 0.03 | 27.2 \pm 0.76 | 5.68 \pm 0.03 | 25.7 \pm 1.04 |

| ค่าเฉลี่ย | SDMS | H ₂ O | เดือนที่ 1 | | เดือนที่ 2 | | เดือนที่ 3 | |
|-----------|------|------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | | | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) |
| 0.4% | 8% | 10:90 | 5.68 ± 0.08 | 36.3 ± 1.20 | 5.51 ± 0.03 | 27.7 ± 1.16 | 5.63 ± 0.06 | 28.1 ± 0.82 |
| | | 15:85 | 5.67 ± 0.04 | 34.7 ± 1.34 | 5.52 ± 0.02 | 25.3 ± 0.67 | 5.63 ± 0.02 | 27.1 ± 0.96 |
| | | 20:80 | 5.67 ± 0.04 | 30.6 ± 1.49 | 5.42 ± 0.04 | 22.2 ± 1.42 | 5.47 ± 0.04 | 14.4 ± 0.55 |
| 0.5% | 6% | 10:90 | 5.51 ± 5.51 | 46.8 ± 1.35 | 5.37 ± 0.03 | 44.3 ± 1.14 | 5.37 ± 0.03 | 43.2 ± 0.87 |
| | | 15:85 | 5.71 ± 0.03 | 43.0 ± 2.03 | 5.48 ± 0.03 | 38.6 ± 0.67 | 5.58 ± 0.02 | 38.2 ± 0.86 |
| | | 20:80 | 5.69 ± 0.06 | 40.5 ± 0.80 | 5.49 ± 0.04 | 36.6 ± 0.79 | 5.54 ± 0.04 | 33.6 ± 1.42 |
| 0.5% | 8% | 10:90 | 5.58 ± 0.02 | 47.5 ± 1.08 | 5.37 ± 0.03 | 45.3 ± 0.90 | 5.42 ± 0.03 | 44.5 ± 0.59 |
| | | 15:85 | 5.58 ± 0.07 | 42.1 ± 2.01 | 5.50 ± 0.02 | 40.5 ± 0.90 | 5.56 ± 0.04 | 40.0 ± 1.38 |
| | | 20:80 | 5.50 ± 0.05 | 39.5 ± 0.87 | 5.46 ± 0.03 | 35.4 ± 1.13 | 5.57 ± 0.04 | 33.7 ± 0.59 |

4.7 การเลือกสูตรไบเจลเพื่อใช้ในการนำส่งสารเรตินิลปาล์มมิเตท

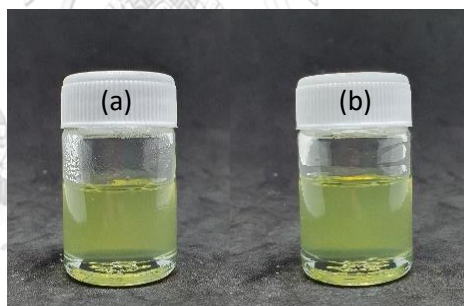
จากการทดสอบทั้งหมดที่ได้ทำมาของไบเจลทั้ง 18 สูตร โดยจะคัดเลือกไบเจลจากขนาดของอนุภาคภายในที่มีขนาดเล็กและเรียงตัวชิดกัน สมบัติของไบเจลคือความแน่นของเนื้อเจล ซึ่งจะส่งผลต่อความคงตัวทางกายภาพของไบเจลที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกมาทั้งหมด 4 สูตรได้แก่

1. ไบเจลที่ใช้สารก่อเจลคาร์โบพอล 0.5%, SDMS 6% โดยน้ำหนัก และ O:H 10:90
2. ไบเจลที่ใช้สารก่อเจลคาร์โบพอล 0.5%, SDMS 6% โดยน้ำหนัก และ O:H 15:85
3. ไบเจลที่ใช้สารก่อเจลคาร์โบพอล 0.5%, SDMS 8% โดยน้ำหนัก และ O:H 10:90
4. ไบเจลที่ใช้สารก่อเจลคาร์โบพอล 0.5%, SDMS 8% โดยน้ำหนัก และ O:H 15:85

โดยทำการใส่สารเรตินิลปาล์มมิเตท (RP) ลงไปทุกสูตรในปริมาณที่เท่ากันคือ 1% โดยน้ำหนัก

4.7.1 ลักษณะทางกายภาพของออร์กาโนเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท

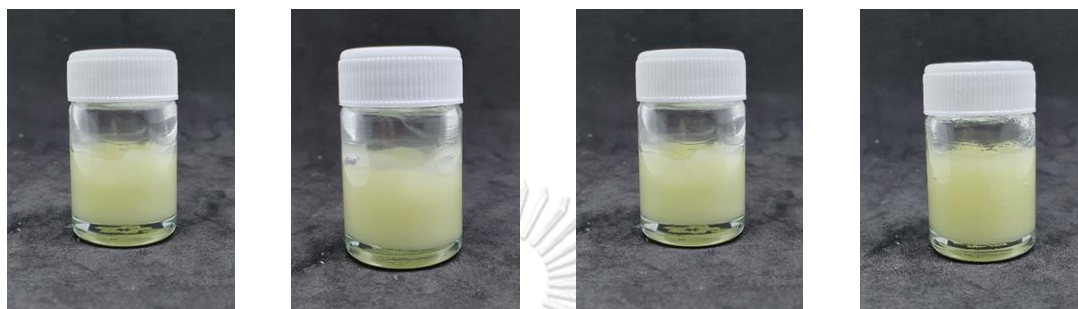
จากรูปที่ 29 OG ที่มีสารก่อเจล SDMS 6% และ 8% โดยน้ำหนัก เมื่อเติม RP 1% โดยน้ำหนัก จะมีสีเหลืองตามสีของ RP เป็นเจลขุ่นหนืดเล็กน้อยโปร่งแสงเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 29 OG ที่มี SDMS a) 6% และ b) 8% โดยน้ำหนัก โดยบรรจุ RP เท่ากันที่ 1% โดยน้ำหนัก

4.7.2 ลักษณะทางกายภาพของไบเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท

ไบเจลที่เลือกมาทั้งหมด 4 สูตร จากรูปที่ 30 พบว่าไบเจลมีลักษณะขุ่นหนืดทึบแสง และมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไบเจลที่ยังไม่ได้ใส่ RP และสูตรที่มี O:H ที่เพิ่มขึ้นพบว่าไบเจลมีลักษณะที่เหลวขึ้นเล็กน้อย



O:H 10:90
SDMS 6%

O:H 10:90
SDMS 8%

O:H 15:85
SDMS 6%

O:H 15:85
SDMS 8%

รูปที่ 30 ไบเจลสูตรตำรับต่าง ๆ ที่บรรจุ RP 1% โดยน้ำหนัก

4.7.3 ปริมาณสารสำคัญที่มีอยู่ในตำรับไบเจลที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท

เมื่อคำนวณ % Labeled amount หรือปริมาณ RP ที่เหลืออยู่จริงในตำรับ จากสูตร % Labeled amount (%LA) หรือ ปริมาณที่ระบุตามฉลาก จะได้ว่า

$$\text{ปริมาณที่ระบุตามฉลาก} = \frac{\text{ปริมาณที่วิเคราะห์ได้}}{\text{ปริมาณที่ใส่จริง}} \times 100$$

จากตารางที่ 15 พบว่าหลังผ่านไป 1 วันปริมาณ RP ที่อุณหภูมิห้องค่า %LA อยู่ระหว่าง 62.49 - 75.57 % และที่อุณหภูมิ 4°C ค่า %LA อยู่ระหว่าง 72.49 - 82.86 % แสดงถึงว่า RP ในไบเจลหลังเตรียมเสร็จมีความคงตัวไม่ถึง 100% อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิหรือแสงระหว่างการเตรียมส่งผลให้ RP สลายตัวไปบางส่วน

ตารางที่ 15 ปริมาณสารสำคัญ (% Labeled amount) ที่มีอยู่ในตำรับใบเจลดที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท

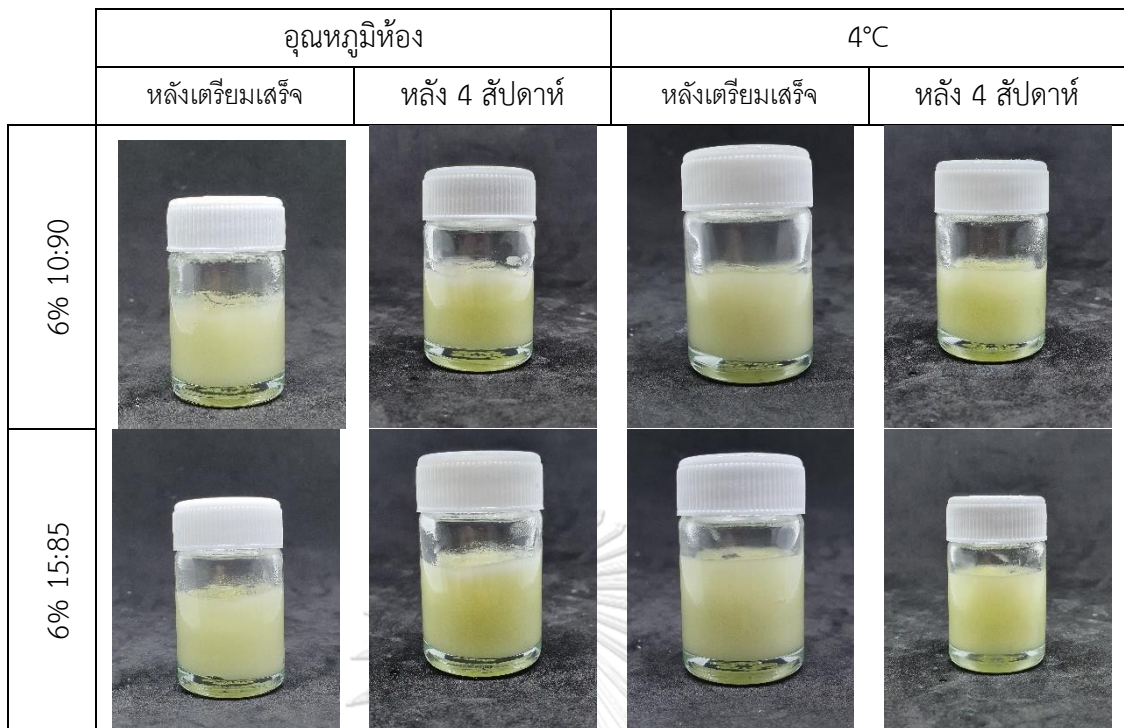
(ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| อุณหภูมิ | ตำรับใบเจลด | %LA วันที่ 1 | %LA หลัง 4 สัปดาห์ |
|--------------|---------------|--------------|--------------------|
| อุณหภูมิห้อง | 0.5% 6% 10:90 | 74.35 ± 1.26 | 30.42 ± 1.43 |
| | 0.5% 6% 15:85 | 62.49 ± 2.55 | 26.81 ± 1.67 |
| | 0.5% 8% 10:90 | 75.57 ± 1.97 | 28.77 ± 2.39 |
| | 0.5% 8% 15:85 | 72.19 ± 2.35 | 31.62 ± 1.14 |
| อุณหภูมิ 4°C | 0.5% 6% 10:90 | 80.67 ± 1.74 | 43.82 ± 1.76 |
| | 0.5% 6% 15:85 | 82.86 ± 1.32 | 36.47 ± 2.19 |
| | 0.5% 8% 10:90 | 72.49 ± 1.92 | 39.18 ± 2.08 |
| | 0.5% 8% 15:85 | 77.54 ± 2.39 | 41.17 ± 1.15 |

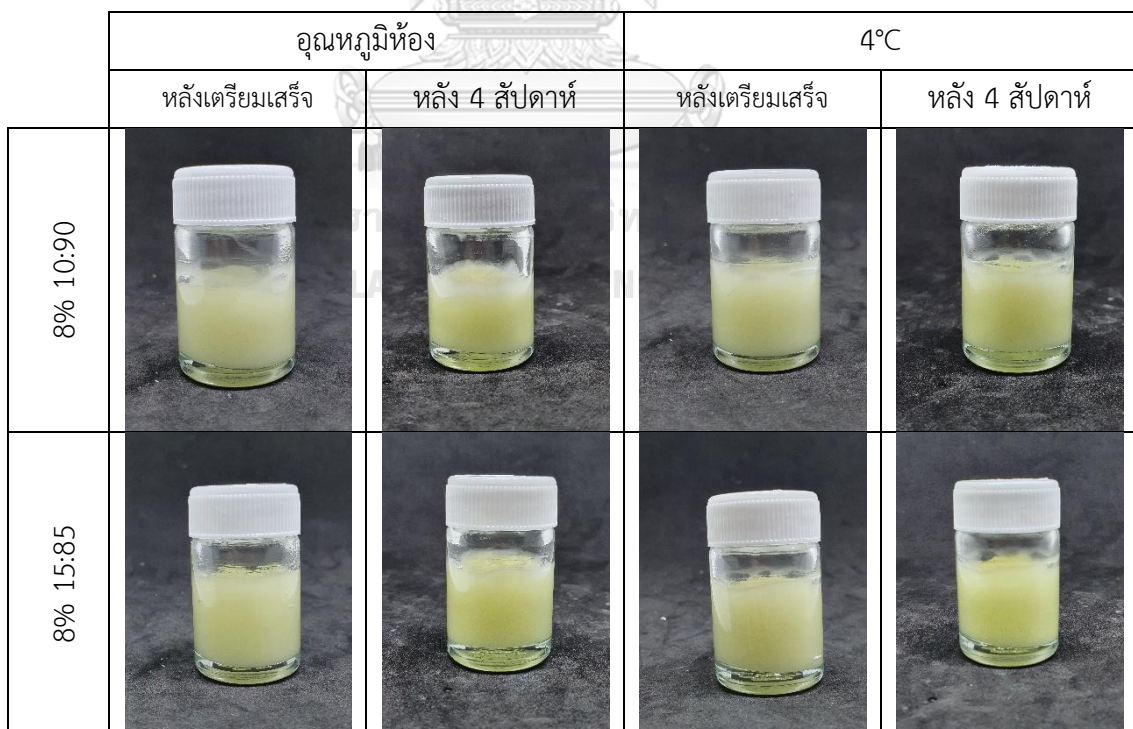
4.8 ความคงตัวของกายภาพและเคมีของตำรับใบเจลดที่มีเรตินิลปาล์มมิเตท

4.8.1 ความคงตัวของกายภาพ

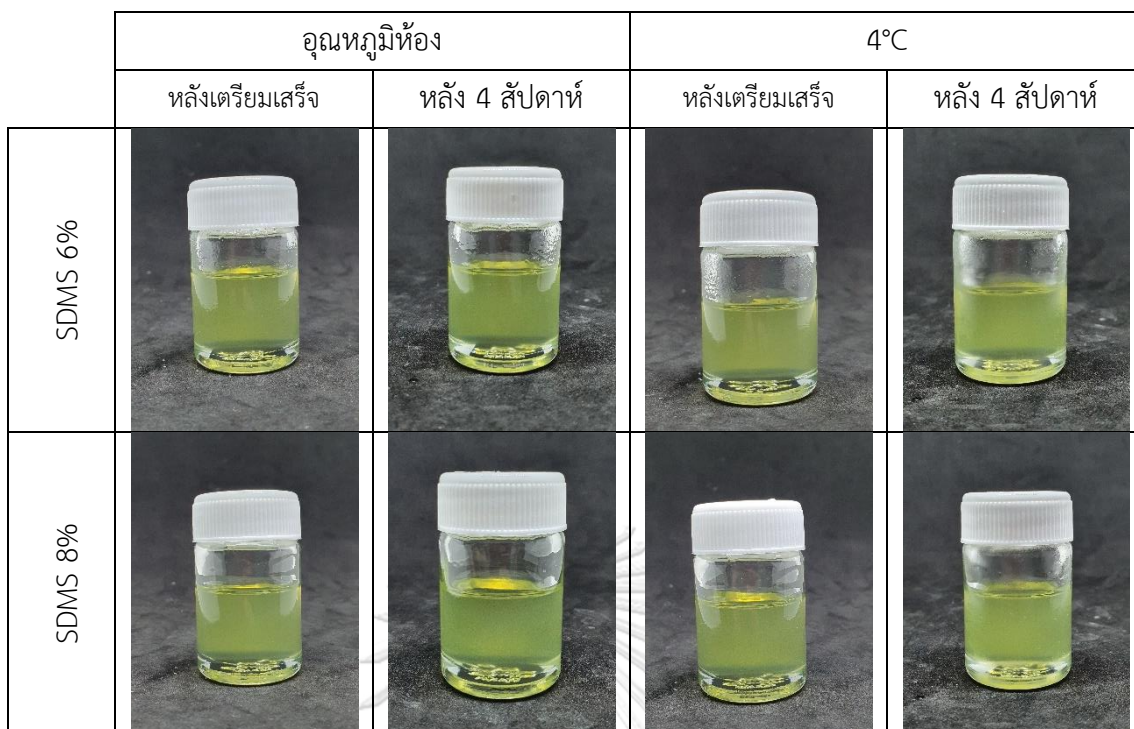
ใบเจลดทั้ง 4 สูตรและ OG ที่มี RP ที่ละลายในน้ำมันถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณสาร SDMS 6% และ 8% โดยน้ำหนัก ในส่วนของ OG ทำเพื่อตรวจสอบว่า RP ไม่เกิดการแยกตัวออกมาจาก OG ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความคงตัวของใบเจลดที่บรรจุ RP และการปลดปล่อยสารสำคัญ โดยใบเจลดและ OG ถูกจัดเก็บที่ 2 อุณหภูมิคือที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 4°C โดยเก็บในภาชนะทึบแสง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 4 สัปดาห์จากรูปที่ 31 - 33 พบว่าใบเจลดทุกสูตรตำรับไม่มีการเปลี่ยนสี หรือเกิดการแยกชั้น ตกตะกอนขึ้น และในสูตรที่มีน้ำมันถั่วดาวอินคาและมี RP ทั้ง 2 สูตร มีลักษณะที่ไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน แสดงถึงใบเจลดทุกตำรับสูตรที่เลือกมาและ OG ทั้ง 2 สูตร มีลักษณะความคงตัวของกายภาพที่ดีทั้งในอุณหภูมิห้องและ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 31 ไบเจลที่บรรจุ RP 1 % โดยน้ำหนัก และ OG ที่มีสารก่อเจล 6% โดยน้ำหนัก หลังเตรียมเสร็จและหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 32 ไบเจลที่บรรจุ RP 1 % โดยน้ำหนัก และ OG ที่มีสารก่อเจล 8% โดยน้ำหนัก หลังเตรียมเสร็จและหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 33 OG ที่มีสารก่อเจล 6% และ 8% ที่บรรจุ RP 1 % โดยน้ำหนักหลังเตรียมเสร็จและหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

จากตารางที่ 16 เมื่อวัดค่า pH และความหนืดของไบเจล หลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ไบเจลมีค่า pH ลดลงเพียงเล็กน้อยหลังจากเก็บในสภาวะทั้งสองอุณหภูมิ โดยค่า pH อยู่ระหว่าง 5.34 ถึง 5.55 ซึ่งยังอยู่ในช่วงที่ต่อผิวหนังไม่ก่อให้เกิดความระคายเคือง ส่วนค่าความหนืด ไบเจลที่เก็บในอุณหภูมิห้อง จะมีความหนืดลดลงมากกว่าที่เก็บในตู้เย็น (4°C) ทั้งนี้ อาจเป็นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของหยดเฟสภายในซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป แต่อย่างไรก็ตาม ความหนืดยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าไบเจลทั้ง 4 สูตรมีความคงตัวทางกายภาพที่ดี ส่วนตำรับ OG 6% และ 8% ที่บรรจุสาร RP พบว่า ความหนืดมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยซึ่งชี้ให้เห็นถึงความคงตัวทางกายภาพที่ดี

ตารางที่ 16 ค่า pH และความหนืดของไบเจลและ OG ที่มีสารก่อเจล 6% และ 8% และมี RP 1% โดยน้ำหนัก หลังเตรียมเสร็จและหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C 4 สัปดาห์

(ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| | สูตร | หลังเตรียมเสร็จ | | หลังครบ 4 สัปดาห์ | |
|--------------|---------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|
| | | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) |
| อุณหภูมิห้อง | 0.5% 6% 10:90 | 5.60 ± 0.03 | 50.6 ± 0.38 | 5.42 ± 0.03 | 44.8 ± 2.70 |
| | 0.5% 6% 15:85 | 5.58 ± 0.04 | 48.7 ± 1.99 | 5.41 ± 0.02 | 40.2 ± 1.45 |
| | 0.5% 8% 10:90 | 5.62 ± 0.03 | 51.1 ± 0.36 | 5.34 ± 0.02 | 42.3 ± 1.63 |
| | 0.5% 8% 15:85 | 5.58 ± 0.04 | 48.1 ± 1.01 | 5.41 ± 0.03 | 43.0 ± 1.85 |
| | OG 6% | - | 1.99 ± 0.04 | - | 1.92 ± 0.04 |
| | OG 8% | - | 3.63 ± 0.08 | - | 3.60 ± 0.04 |
| 4°C | 0.5% 6% 10:90 | 5.66 ± 0.02 | 53.3 ± 0.70 | 5.55 ± 0.03 | 49.5 ± 1.95 |
| | 0.5% 6% 15:85 | 5.56 ± 0.03 | 49.9 ± 0.15 | 5.53 ± 0.02 | 45.6 ± 1.89 |
| | 0.5% 8% 10:90 | 5.60 ± 0.03 | 49.8 ± 0.31 | 5.50 ± 0.02 | 48.1 ± 1.15 |
| | 0.5% 8% 15:85 | 5.57 ± 0.03 | 48.4 ± 1.01 | 5.50 ± 0.04 | 47.8 ± 0.65 |
| | OG 6% | - | 2.05 ± 0.02 | - | 1.97 ± 0.03 |
| | OG 8% | - | 3.73 ± 0.05 | - | 3.70 ± 0.04 |

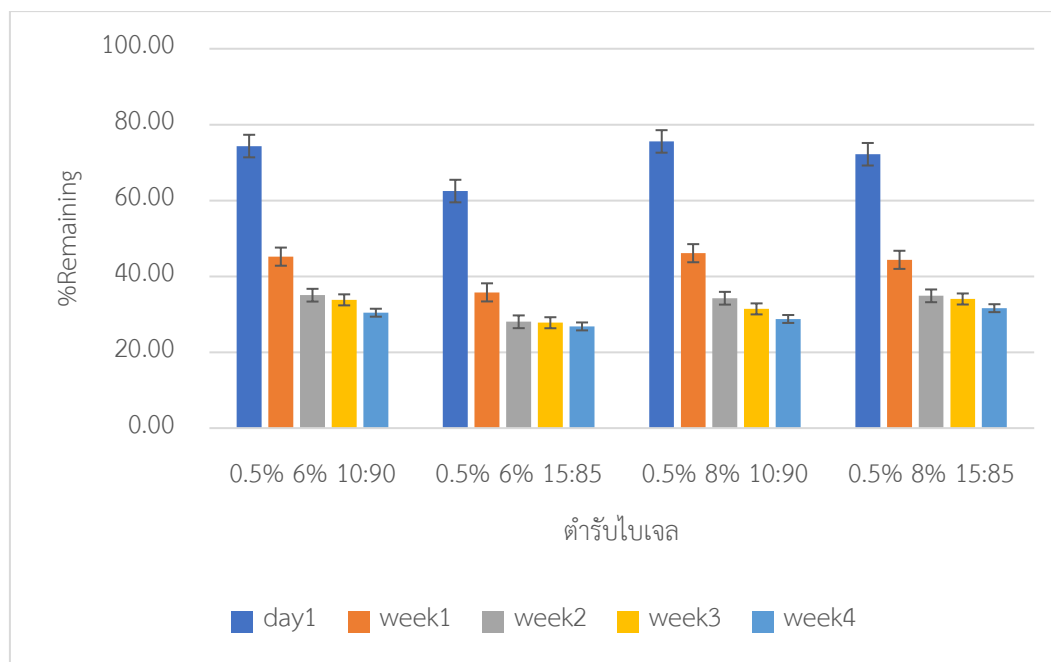
4.8.2 ความคงตัวของเคมี

ไบเจลทั้ง 4 สูตรที่บรรจุเรตินิลปาล์มมิเตท (RP) ที่ได้เลือกมาถูกเก็บในภาชนะทึบแสงโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HPLC ทุกสัปดาห์เพื่อหาปริมาณสาร RP ที่คงเหลือในไบเจลแต่ละสูตร ซึ่งโดยปกติแล้ว RP หรือวิตามินเอค่อนข้างที่จะสลายตัวได้ง่าย ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความคงตัว ได้แก่ แสง ความร้อน และเวลา เป็นต้น

จากตารางที่ 15 เมื่อครบ 4 สัปดาห์ค่า %LA อยู่ระหว่าง 26.81 ถึง 31.62 % และที่อุณหภูมิ 4°C ค่า %LA อยู่ระหว่าง 36.47 ถึง 43.82 % แสดงให้เห็นว่าตำรับไบเจลทั้ง 4 สูตรยังคงเหลือสาร RP โดยที่อุณหภูมิ 4°C มีปริมาณที่เหลืออยู่จริงมากกว่าที่อุณหภูมิห้องอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการเก็บรักษาตำรับไบเจลที่อุณหภูมิ 4°C ให้ผลความคงตัวของสาร RP มากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

จากรูปที่ 34 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลือของไบเจลทั้ง 4 สูตร หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าช่วงแรกมีปริมาณการลดลงของ RP เป็นอย่างมาก เมื่อเก็บจนครบสัปดาห์ที่ 4 พบว่าทั้ง 4 ตำรับสูตรไบเจลมีเปอร์เซ็นต์ RP คงเหลืออยู่ในช่วง 26.81 ± 1.67 ถึง 31.62 ± 1.14

ตำรับไบเจลที่มีค่า RP คงเหลือน้อยที่สุดคือสูตร 0.5% 6% 15:85 เปอร์เซ็นต์ RP คงเหลือลดลงเท่ากับ 26.81 ± 1.67 อาจเป็นผลจากการกระจายตัวของเฟสภายในที่ห่างกันและมีขนาดอนุภาคภายในที่ใหญ่และค่าความแน่นของเนื้อเจลที่มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับตำรับอื่น ๆ ดังนั้นอาจเกิดการเคลื่อนตัวของเฟสภายในได้มากกว่าทำให้ RP เกิดการสลายตัวออกไปมากกว่าตำรับไบเจลอีก 3 ตำรับ และตำรับไบเจลอีก 3 ตำรับมีค่าไม่ต่างกันมากนักอาจเกิดจากการเก็บที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้เกิดการสลายตัวของ RP มาก ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ RP ที่คงเหลืออยู่ของทั้ง 3 ตำรับจึงไม่ต่างกันมากนัก

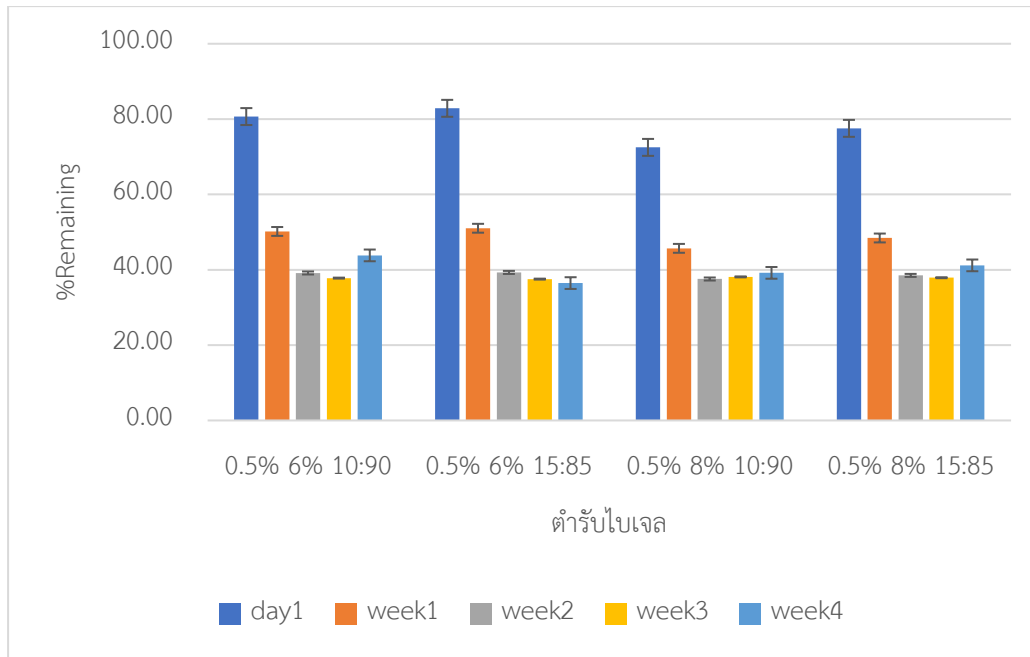


รูปที่ 34 เปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือของไบเจลทั้ง 4 สูตร หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (n = 3)

รูปที่ 35 แสดงถึงเปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือของไบเจลทั้ง 4 สูตร หลังเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าช่วงแรกมีปริมาณการลดลงของ RP เป็นอย่างมาก เมื่อเก็บจนครบ 4 สัปดาห์ พบว่าทั้ง 4 ตำรับสูตรไบเจลมีเปอร์เซนต์ RP คงเหลืออยู่ในช่วง 36.47 ± 2.19 ถึง 43.82 ± 1.76

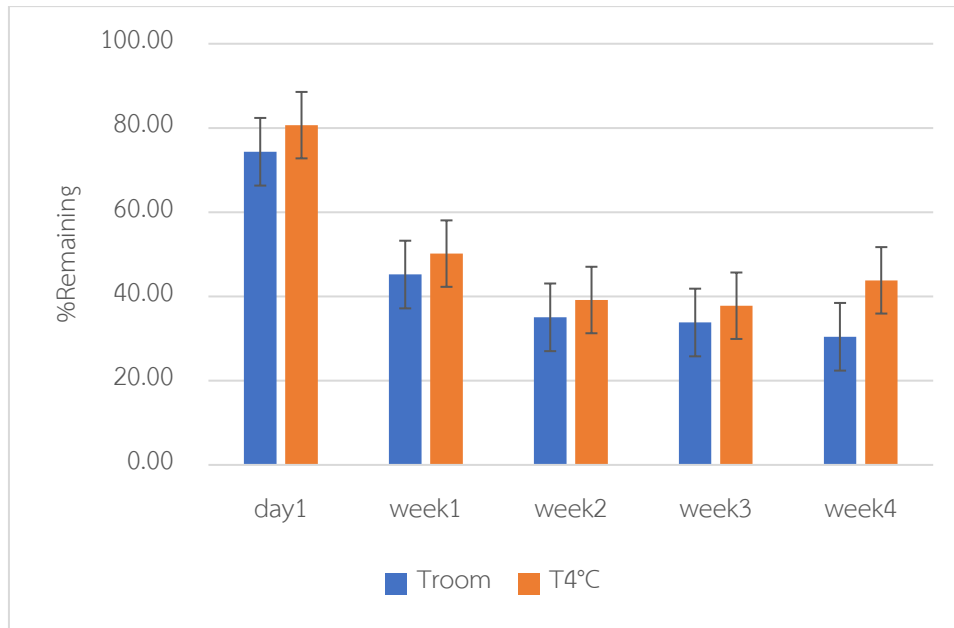
ตำรับไบเจลที่มีเปอร์เซนต์ RP คงเหลือในตำรับมากที่สุดคือสูตร 0.5% 6% 10:90 มีเปอร์เซนต์ RP คงเหลือเท่ากับ 43.82 ± 1.76 อาจเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคภายในที่เล็กที่สุด การกระจายตัวที่แคบและความแน่นที่มีค่ามากที่สุดทำให้การคงตัวของ RP สามารถคงตัวได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับไบเจลอื่น ๆ และตำรับไบเจลที่มีเปอร์เซนต์ RP คงเหลือน้อยที่สุดคือสูตร 0.5% 6% 15:85 มีเปอร์เซนต์ RP คงเหลือเท่ากับ 36.47 ± 2.19 ซึ่งเป็นตำรับที่ให้เปอร์เซนต์ RP คงเหลือที่น้อยสุดที่อุณหภูมิห้องเช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 34 และ 35 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 4°C มีปริมาณคงเหลือของ RP มากกว่า อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ต่ำช่วยให้ RP มีความคงตัวที่ดีกว่าจึงเกิดการสลายตัวน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง และอาจสรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาเปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือของตำรับไบเจลทั้ง 4 สูตรทั้ง 2 อุณหภูมิ ตำรับที่ให้ค่าคงตัวของ RP น้อยที่สุดคือ 0.5% 6% 15:85

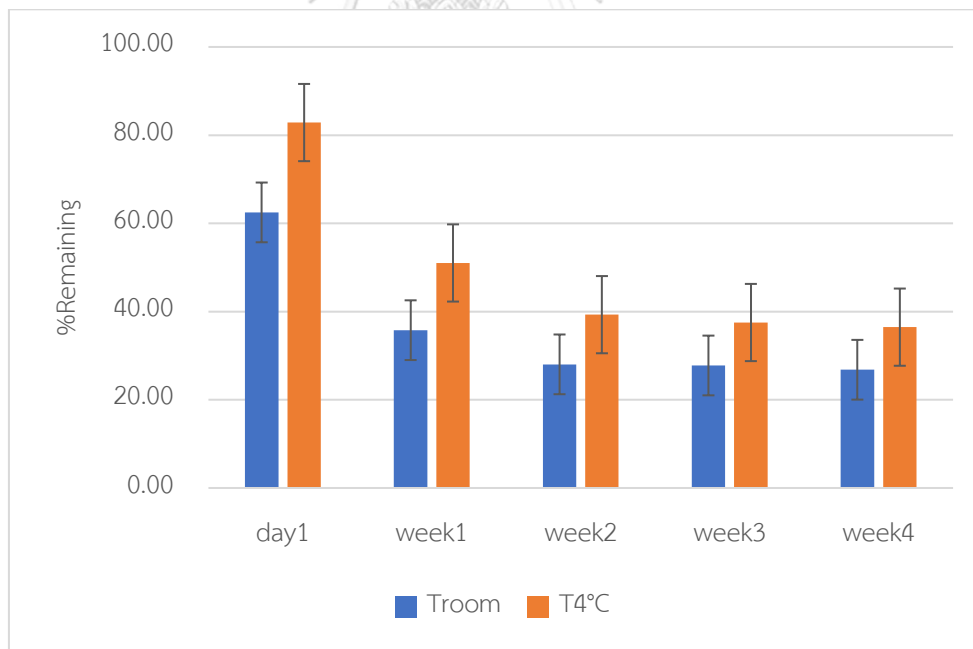


รูปที่ 35 เปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือของไบเจลทั้ง 4 สูตร หลังเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

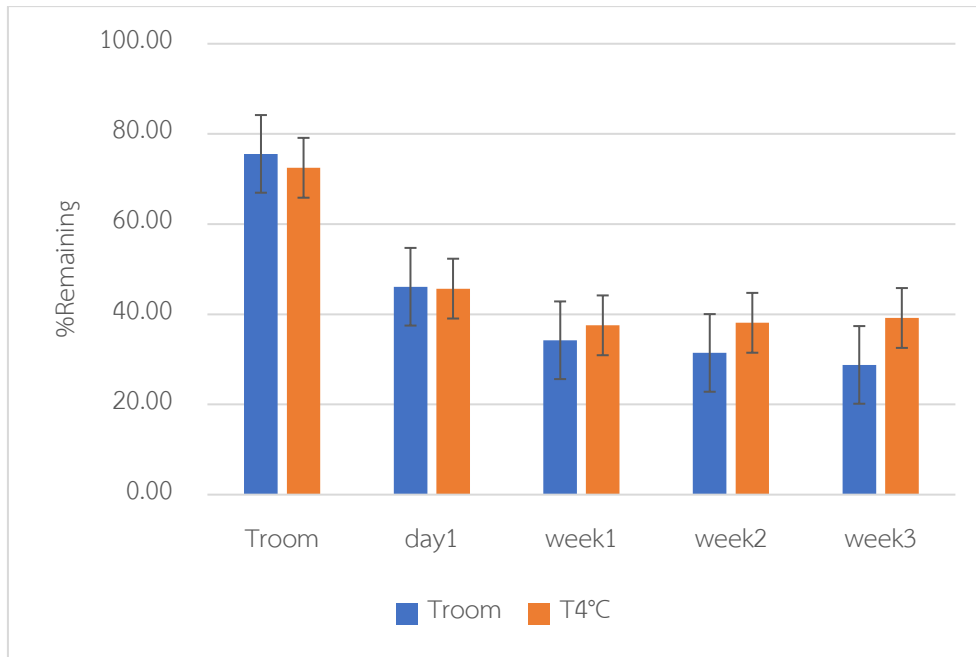
จากกลุ่มที่ 36 - 39 เป็นกราฟแสดงเปรียบเทียบระหว่างการเก็บไบเจลที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าการเก็บไบเจลที่อุณหภูมิ 4°C มีเปอร์เซนต์ RP ที่เหลืออยู่มากกว่าที่อุณหภูมิห้องอย่างเห็นได้ชัดในทุกสูตรของไบเจลเนื่องจาก RP เป็นสารที่ค่อนข้างสลายตัวได้ง่าย ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงอาจเกิดการสลายตัวของจาก RP มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า จึงสรุปได้ว่าการเก็บไบเจลที่อุณหภูมิ 4°C มีผลให้ความคงตัวที่ดีของ RP มากกว่าที่อุณหภูมิห้อง



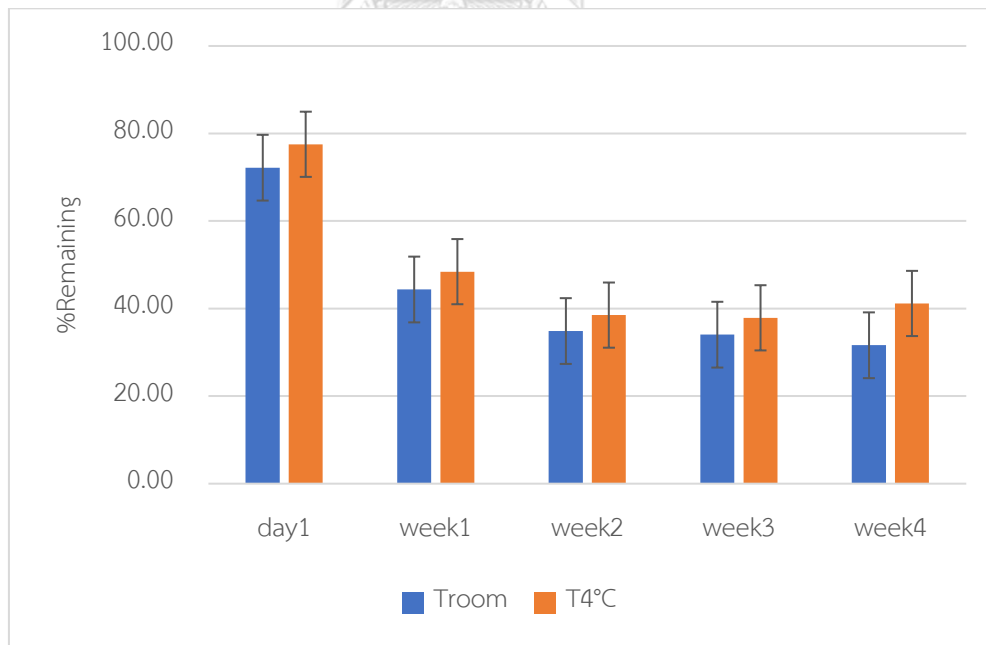
รูปที่ 36 เปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 6% 10:30 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 37 เปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 6% 15:55 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 38 เปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 8% 10:30 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

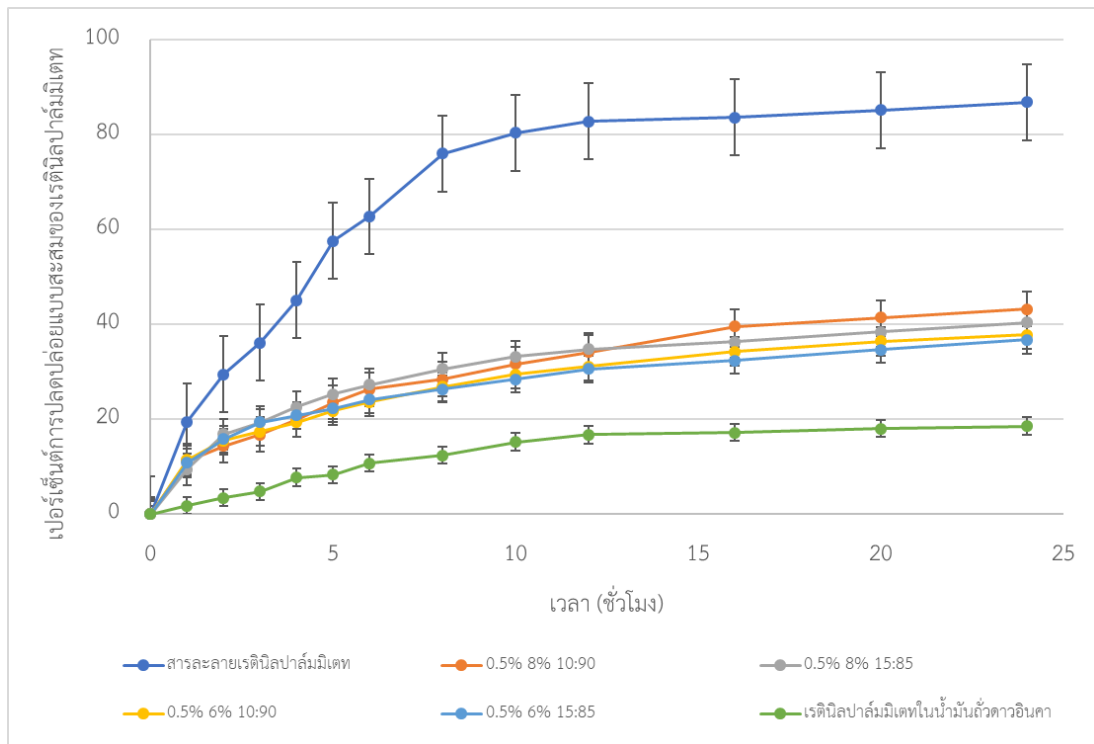


รูปที่ 39 เปอร์เซนต์ RP ที่คงเหลือในไบเจล 0.5% 8% 15:55 หลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

4.9 การปลดปล่อยของเรตินิลปาล์มมิเตทจากตำรับ (In vitro release studies)

ศึกษาการปลดปล่อยของไบเจลที่บรรจุ RP ทั้ง 4 สูตรโดยวิธีไดอะไลซิส ใช้เวลาในการศึกษา 24 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายตัวกลางเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต pH 7.4 และเอทานอลในอัตราส่วน 60:40 โดยปริมาตรจากนั้นนำไปตรวจด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยใช้ความยาวคลื่นที่ 325 nm และศึกษาการปลดปล่อยสาร RP จากน้ำมันถั่วดาวอินคาและจากสารละลายตัวทำละลายกลาง จากการศึกษาพบว่าในช่วงแรกของสารละลาย RP มีการปลดปล่อยสาร RP อย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับไบเจลที่มีการปลดปล่อยที่ช้ากว่า ซึ่งเกิดจากการที่ RP ขอบละลายในน้ำมันซึ่งถูกหุ้มอีกทีด้วย HG ซึ่งเป็นน้ำทำให้สาร RP ค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ จากเฟสภายในสู่เฟสภายนอกสู่ตัวทำละลายกลาง

จากรูปที่ 40 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสาร RP ของไบเจลทั้ง 4 สูตร, RP ในน้ำมันถั่วดาวอินคาและสารละลาย RP พบว่าค่าการปลดปล่อยของสารละลาย RP มีการปลดปล่อยในช่วงแรกที่เร็วมากและค่อยๆช้าลงจนปลดปล่อยมากที่สุดที่ 86.87% ไบเจลทั้ง 4 ค่ามีการปลดปล่อยสาร RP อยู่ระหว่าง 36.74 – 43.27% และพบว่าทั้ง 4 สูตรมีการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าไบเจลทั้ง 4 สูตรมีการปลดปล่อยสารสำคัญแบบค่อย ๆ ปลดปล่อยโดยเมื่อเพิ่ม O:H มากขึ้นส่งผลให้เฟสภายนอกมีปริมาณความไม่เข้มข้นมากขึ้นซึ่งส่งผลขัดขวางการข้ามเฟสของสาร RP จากเฟสภายในสู่เฟสภายนอกและสู่ตัวทำละลายกลาง และสูตรที่มีการปลดปล่อยน้อยที่สุดคือ RP ในน้ำมันถั่วดาวอินคาที่มีค่าการปลดปล่อยที่ 18.58% เนื่องมาจากเฟสน้ำมันที่หุ้มสาร RP ขัดขวางการข้ามเฟสไปที่ตัวทำละลายกลางทำให้มีการปล่อยปล่อยสารออกมาน้อย [13]



รูปที่ 40 การปลดปล่อยของไบเจลที่บรรจุเรตินิลปาล์มมิเตท เรตินิลปาล์มมิเตทในน้ำมันถั่วดาวอินคา และสารละลายเรตินิลปาล์มมิเตท เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบไบเจลจากน้ำมันถั่วดาวอินคาที่บรรจุสารเรตินิล ปาล์มมิเทท (RP) โดยศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติไบเจลจากน้ำมันถั่วดาวอินคา ได้แก่ อัตราเฉือน ความเข้มข้นของสารก่อเจลไฮโดรเจล (HG) ความเข้มข้นของสารก่อเจลซิลิกาไดเมทิล ซิลิเลท (SDMS) ในออร์กาโนเจล (OG) และสัดส่วนระหว่างออร์กาโนเจลต่อไฮโดรเจล (O:H) โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของตำรับไบเจล เช่น ความเป็นกรดต่าง ความหนืด ขนาดและการกระจายขนาดของหยดเฟสภายในของไบเจล การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเฟสภายนอกและภายในของไบเจล ศึกษาความคงตัวทางกายภาพและทางเคมีของสูตรที่บรรจุสาร RP และศึกษาการปลดปล่อยของสาร RP โดยสรุปผลได้ดังนี้

1. ไบเจลที่ได้มีลักษณะสีขาวขุ่น มีความเหนียวเล็กน้อย สามารถล้างออกได้ง่าย
2. ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการเตรียมไบเจล คือ 1500 รอบต่อนาที ให้ขนาดอนุภาคภายในที่เล็กกว่าที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที
3. O:H ที่เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง 10:90 ถึง 20:80 เนื่องจากสัดส่วนในช่วงนี้ทำให้ไบเจลชนิดน้ำมันในน้ำ เหมาะต่อการไปใช้นำส่งสารสำคัญที่ละลายได้ในน้ำมัน
4. การเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อเจลคาร์โบพอลใน HG ทำให้ไบเจลมีความหนืดเพิ่มขึ้น
5. ปริมาณสารก่อเจล SDMS 6% และ 8% ให้ลักษณะของเนื้อเจลไม่ต่างกันมากนัก
6. เมื่อเพิ่ม O:H โดยเปอร์เซ็นต์ของสารก่อเจลใน HG และสารก่อเจลใน OG คงที่ พบว่า ขนาดอนุภาคภายในใหญ่ขึ้นและเนื้อเจลมีลักษณะที่เหลวกว่าเดิมเล็กน้อย
7. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อเจลใน OG โดยปริมาณสารก่อเจลใน HG และ O:H คงที่ พบว่า ขนาดอนุภาคภายในใหญ่ขึ้น
8. การเพิ่มปริมาณสารก่อเจลใน HG พบว่าการเรียงตัวของอนุภาคภายในมีการเรียงตัวที่ชิดกันมากกว่าเดิม ค่าที่เหมาะสมในการศึกษาต่อไปคือ คาร์โบพอล 0.5% โดยน้ำหนัก
9. สูตรตำรับไบเจลที่มีขนาดอนุภาคภายในเล็กที่สุด คือ คาร์โบพอล 0.5% SDMS 6% และ O:H 10:90 ได้ขนาดอนุภาคภายในคือ $47.84 \pm 14.20 \mu\text{m}$
10. จากการศึกษาคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส ความเข้มข้นของสารก่อเจลใน HG ความเข้มข้นของสารก่อเจลใน OG และ O:H ส่งผลต่อความแน่นของไบเจล

11. จาก FTIR พบว่าไบเจลที่ได้มีพีคที่เกิดจาก HG และ OG และไม่เกิดพีคใหม่ขึ้น แสดงว่าไม่มีปฏิกิริยาเคมีใด ๆ เกิดขึ้นระหว่างเจลทั้งสองชนิด
12. เมื่อนำไบเจลเก็บไว้ที่สภาวะแรงและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 3 เดือนพบว่าไบเจลยังคงมีลักษณะที่ติดอยู่ โดยมีค่า pH และค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
13. ไบเจลที่บรรจุสาร RP มีลักษณะเนื้อเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีสีเหลืองอ่อน
14. ไบเจลที่บรรจุสาร RP เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ไบเจลยังคงมีความคงตัวทางกายภาพที่ดี โดยมีค่า pH และค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
15. จากการทดสอบความคงตัวทางเคมีของไบเจลที่บรรจุสาร RP พบว่า ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลในการคงตัวของ RP ที่ดีมากกว่าที่อุณหภูมิห้อง
16. ไบเจลที่บรรจุสาร RP มีพฤติกรรมการปลดปล่อยแบบทยอยเมื่อเทียบกับสารละลายที่ RP โดยตัวทำละลายที่ใช้คือตัวทำละลายกลาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาปัจจัยทางสูตรตำรับของไบเจลที่มีผลต่อความคงตัวทางเคมีของสาร RP ได้แก่ ชนิดของน้ำมัน ชนิดของสารก่อเจล เป็นต้น
2. ศึกษาชนิดของสารที่จะส่งผลต่อไบเจล เช่น สารก่อเจลใน HG สารก่อเจลใน OG น้ำมันที่จะใช้ใน OG โดยสารก่อเจลที่ใช้อาจจะใช้มากกว่า 1 ชนิดมาปรับสัดส่วน นำมาศึกษาเพื่อหาสูตรของไบเจลที่เหมาะสมต่อไป เช่น ให้เกิดการปลดปล่อยตัวยาที่ดีมากขึ้น

บรรณานุกรม

1. Pena-Rodriguez, E., et al., *Epidermal Delivery of Retinyl Palmitate Loaded Transfersomes: Penetration and Biodistribution Studies*. *Pharmaceutics*, 2020. **12**(2).
2. Gendimenico, G.J. and J.A. Mezick, *Pharmacological Effects of Retinoids on Skin Cells*. *Skin Pharmacol*, 1993: p. 24—34.
3. Khalil, S., et al., *Retinoids: a journey from the molecular structures and mechanisms of action to clinical uses in dermatology and adverse effects*. *J Dermatolog Treat*, 2017. **28**(8): p. 684-696.
4. IHARA, H., et al., *Esterification Makes Retinol More Labile to Photolysis*. *Nutritional Science and Vitaminology*, 1999. **45**(3): p. 353-8.
5. Shakeel, A., et al., *Key characteristics and modelling of bigels systems: A review*. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2019. **97**: p. 932-953.
6. Fanali, C., et al., *Chemical characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil*. *J Agric Food Chem*, 2011. **59**(24): p. 13043-9.
7. Rehman, K. and M.H. Zulfakar, *Recent advances in gel technologies for topical and transdermal drug delivery*. *Drug Dev Ind Pharm*, 2014. **40**(4): p. 433-40.
8. Singh, V.K., et al., *Bigels*, in *Polymeric Gels*. 2018. p. 265-282.
9. Di Michele, L., et al., *Aggregation dynamics, structure, and mechanical properties of bigels*. *Soft Matter*, 2014. **10**(20): p. 3633-48.
10. Lupi, F.R., et al., *A rheological modelling and microscopic analysis of bigels*. *Rheologica Acta*, 2017. **56**(9): p. 753-763.
11. Sagiri, S.S., et al., *Stearate organogel-gelatin hydrogel based bigels: physicochemical, thermal, mechanical characterizations and in vitro drug delivery applications*. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2015. **43**: p. 1-17.
12. Singh, V.K., et al., *Preparation and characterization of novel carbopol based bigels for topical delivery of metronidazole for the treatment of bacterial vaginosis*. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2014. **44**: p. 151-8.
13. Singh, V.K., et al., *Guar gum and sesame oil based novel bigels for controlled*

- drug delivery*. Colloids Surf B Biointerfaces, 2014. **123**: p. 582-92.
14. Shakeel, A., et al., *Bigels: A unique class of materials for drug delivery applications*. Soft Materials, 2018. **16**(2): p. 77-93.
 15. Saengsorn, K. and A. Jimtaisong, *Determination of hydrophilic–lipophilic balance value and emulsion properties of sacha inchi oil*. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2017. **7**(12): p. 1092-1096.
 16. SIPPO. *Market Brief for Sacha Inchi – An introduction to the European market for Peruvian exporters*. 2012; Available from: www.biobio.org/congress/BackgroundDocs2/General%20docs/Peru/Peru_Market-Brief-Sacha-Inchi_SIPPO.pdf.
 17. Materials, L.A., *Dispersion Techniques Carbopol Polymers*. 2007.
 18. Oliveira, M.B., et al., *Topical application of retinyl palmitate-loaded nanotechnology-based drug delivery systems for the treatment of skin aging*. Biomed Res Int, 2014. **2014**: p. 632570.
 19. Wakhiet, S., et al., *Characterization of gelatin-agar based phase separated hydrogel, emulgel and bigel: a comparative study*. J Mater Sci Mater Med, 2015. **26**(2): p. 118.
 20. Lupi, F.R., et al., *A rheological and microstructural characterisation of bigels for cosmetic and pharmaceutical uses*. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2016. **69**: p. 358-65.
 21. Andonova, V.Y., et al., *Carbopol hydrogel/sorbitan monostearate-almond oil based organogel biphasic formulations: Preparation and characterization of the bigels*. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2017. **16**(7).
 22. Paul, S.R., et al., *Development of Bigels Based on Stearic Acid-Rice Bran Oil Oleogels and Tamarind Gum Hydrogels for Controlled Delivery Applications*. Journal of Surfactants and Detergents, 2018. **21**(1): p. 17-29.
 23. Sompromma, P., *Development of bigels for retinyl palmitate delivery in cosmetic applications*, in *Chemical Engineering*. 2018, Chulalongkorn.
 24. Singh, V.K., et al., *Development and characterization of sorbitan monostearate and sesame oil-based organogels for topical delivery of antimicrobials*. AAPS PharmSciTech, 2015. **16**(2): p. 293-305.

25. Guillén, M.D., et al., *Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil by FTIR Spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with Linseed Oil*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2003. **80**: p. 755-762.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก. ความเป็นกรดต่างและความหนืดของตำรับต่าง ๆ

ตารางที่ ก.1 pH และความหนืดของ HG และ OG หลังจากเตรียมเสร็จ

| ตำรับเจล | pH | ความหนืด (P) |
|-----------|------|--------------|
| HG 0.3% | | |
| 1 | 5.53 | 31.1 |
| 2 | 5.59 | 32.3 |
| 3 | 5.57 | 33.0 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.56 | 32.1 |
| S.D. | 0.03 | 0.96 |
| HG 0.4% | | |
| 1 | 5.54 | 45.7 |
| 2 | 5.60 | 47.7 |
| 3 | 5.67 | 46.1 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.60 | 46.5 |
| S.D. | 0.07 | 1.06 |
| HG 0.5% | | |
| 1 | 5.71 | 54.7 |
| 2 | 5.63 | 53.2 |
| 3 | 5.61 | 52.4 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.65 | 53.4 |
| S.D. | 0.05 | 1.17 |
| OG 6% | | |
| 1 | - | 1.92 |
| 2 | - | 2.02 |
| 3 | - | 2.09 |
| ค่าเฉลี่ย | - | 2.01 |
| S.D. | - | 0.09 |

| | | |
|-----------|---|------|
| OG 8% | | |
| 1 | | 3.60 |
| 2 | - | 3.56 |
| 3 | - | 3.53 |
| ค่าเฉลี่ย | - | 3.56 |
| S.D. | - | 0.04 |



ตารางที่ ก.2 pHและความหนืดของตำรับไบเจลต่าง ๆ ในสภาวะเร่ง

| ตำรับไบเจล | ก่อนทดสอบ heating-cooling cycles | | หลังทดสอบ heating-cooling cycles | |
|---------------|----------------------------------|---------------|----------------------------------|---------------|
| | pH | Viscosity (P) | pH | Viscosity (P) |
| 0.3% 6% 10:90 | | | | |
| 1 | 6.12 | 27.9 | 5.85 | 23.8 |
| 2 | 6.19 | 28.3 | 6.09 | 25.4 |
| 3 | 6.15 | 28.5 | 6.14 | 24.7 |
| ค่าเฉลี่ย | 6.16 | 28.3 | 6.03 | 24.6 |
| S.D. | 0.03 | 0.25 | 0.16 | 0.80 |
| 0.3% 6% 15:85 | | | | |
| 1 | 5.77 | 19.4 | 5.38 | 17.7 |
| 2 | 5.81 | 21.1 | 5.47 | 18.6 |
| 3 | 5.79 | 20.5 | 5.65 | 17.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.79 | 20.4 | 5.50 | 18.1 |
| S.D. | 0.02 | 0.70 | 0.14 | 0.47 |
| 0.3% 6% 20:80 | | | | |
| 1 | 6.18 | 17.5 | 5.58 | 16.0 |
| 2 | 6.20 | 19.0 | 6.17 | 16.5 |
| 3 | 6.21 | 18.6 | 6.30 | 16.6 |
| ค่าเฉลี่ย | 6.20 | 18.4 | 6.02 | 16.3 |
| S.D. | 0.01 | 0.63 | 0.38 | 0.35 |
| 0.3% 8% 10:90 | | | | |
| 1 | 5.68 | 23.6 | 5.30 | 18.4 |
| 2 | 5.72 | 25.2 | 5.38 | 19.7 |
| 3 | 5.75 | 24.7 | 5.81 | 19.6 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.72 | 24.5 | 5.50 | 19.2 |
| S.D. | 0.03 | 0.67 | 0.27 | 0.72 |

| | | | | |
|---------------|------|------|------|------|
| 0.3% 8% 15:85 | | | | |
| 1 | 5.75 | 22.9 | 5.45 | 18.2 |
| 2 | 5.80 | 23.6 | 5.74 | 18.5 |
| 3 | 5.78 | 23.2 | 5.69 | 16.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.78 | 23.3 | 5.63 | 17.9 |
| S.D. | 0.02 | 0.29 | 0.16 | 0.85 |
| 0.3% 8% 20:80 | | | | |
| 1 | 5.82 | 20.4 | 5.54 | 18.1 |
| 2 | 5.73 | 20.6 | 5.51 | 18.9 |
| 3 | 5.80 | 21.9 | 5.82 | 18.3 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.78 | 21.0 | 5.62 | 18.4 |
| S.D. | 0.04 | 0.67 | 0.17 | 0.42 |
| 0.4% 6% 10:90 | | | | |
| 1 | 5.57 | 35.7 | 5.25 | 34.4 |
| 2 | 5.67 | 36.0 | 5.40 | 35.6 |
| 3 | 5.63 | 36.6 | 5.47 | 33.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.62 | 36.1 | 5.37 | 34.6 |
| S.D. | 0.04 | 0.37 | 0.11 | 0.87 |
| 0.4% 6% 15:85 | | | | |
| 1 | 5.75 | 33.8 | 5.66 | 32.4 |
| 2 | 5.79 | 34.5 | 5.40 | 33.8 |
| 3 | 5.81 | 35.2 | 5.59 | 32.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.79 | 34.5 | 5.55 | 33.0 |
| S.D. | 0.03 | 0.57 | 0.13 | 0.71 |
| 0.4% 6% 20:80 | | | | |
| 1 | 5.92 | 31.2 | 5.35 | 26.9 |
| 2 | 5.88 | 31.6 | 5.58 | 27.8 |
| 3 | 5.97 | 31.5 | 5.67 | 27.7 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.92 | 31.5 | 5.53 | 27.5 |
| S.D. | 0.04 | 0.17 | 0.17 | 0.49 |

| | | | | |
|---------------|------|------|------|------|
| 0.4% 8% 10:90 | | | | |
| 1 | 5.64 | 36.0 | 5.32 | 35.3 |
| 2 | 5.71 | 36.7 | 5.40 | 36.1 |
| 3 | 5.67 | 36.3 | 5.59 | 35.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.68 | 36.3 | 5.44 | 35.8 |
| S.D. | 0.03 | 0.29 | 0.14 | 0.42 |
| 0.4% 8% 15:85 | | | | |
| 1 | 5.65 | 34.6 | 5.59 | 30.8 |
| 2 | 5.69 | 35.0 | 5.40 | 32.2 |
| 3 | 5.67 | 34.5 | 5.30 | 31.6 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.67 | 34.7 | 5.43 | 31.5 |
| S.D. | 0.02 | 0.22 | 0.15 | 0.70 |
| 0.4% 8% 20:80 | | | | |
| 1 | 5.66 | 30.8 | 5.33 | 28.8 |
| 2 | 5.70 | 29.5 | 5.39 | 29.7 |
| 3 | 5.66 | 31.3 | 5.58 | 29.6 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.67 | 30.6 | 5.43 | 29.4 |
| S.D. | 0.02 | 0.76 | 0.13 | 0.49 |
| 0.5% 6% 10:90 | | | | |
| 1 | 5.52 | 47.2 | 5.10 | 41.8 |
| 2 | 5.48 | 46.3 | 5.33 | 43.3 |
| 3 | 5.54 | 47.0 | 5.41 | 42.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.51 | 46.8 | 5.28 | 42.7 |
| S.D. | 0.02 | 0.39 | 0.16 | 0.78 |
| 0.5% 6% 15:85 | | | | |
| 1 | 5.67 | 42.0 | 5.26 | 38.5 |
| 2 | 5.72 | 43.8 | 5.63 | 40.1 |
| 3 | 5.74 | 43.1 | 5.37 | 39.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.71 | 43.0 | 5.42 | 39.5 |
| S.D. | 0.03 | 0.74 | 0.19 | 0.87 |

| | | | | |
|---------------|------|------|------|------|
| 0.5% 6% 20:80 | | | | |
| 1 | 6.00 | 39.9 | 6.09 | 39.1 |
| 2 | 6.08 | 40.6 | 6.25 | 39.9 |
| 3 | 6.13 | 41.0 | 5.89 | 38.7 |
| ค่าเฉลี่ย | 6.07 | 40.5 | 6.08 | 39.2 |
| S.D. | 0.05 | 0.45 | 0.18 | 0.61 |
| 0.5% 8% 10:90 | | | | |
| 1 | 5.55 | 48.0 | 5.20 | 45.5 |
| 2 | 5.58 | 46.6 | 5.24 | 46.2 |
| 3 | 5.61 | 47.8 | 5.56 | 45.8 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.58 | 47.5 | 5.33 | 45.8 |
| S.D. | 0.02 | 0.62 | 0.20 | 0.35 |
| 0.5% 8% 15:85 | | | | |
| 1 | 5.58 | 42.2 | 5.19 | 38.6 |
| 2 | 5.58 | 41.8 | 5.25 | 40.0 |
| 3 | 5.60 | 42.4 | 5.58 | 39.1 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.59 | 42.1 | 5.34 | 39.2 |
| S.D. | 0.01 | 0.25 | 0.21 | 0.71 |
| 0.5% 8% 20:80 | | | | |
| 1 | 5.47 | 38.9 | 5.17 | 37.0 |
| 2 | 5.49 | 39.7 | 5.58 | 37.2 |
| 3 | 5.55 | 40.0 | 5.21 | 38.1 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.50 | 39.5 | 5.32 | 37.4 |
| S.D. | 0.03 | 0.46 | 0.23 | 0.59 |

ตารางที่ ก.3 ค่า pH และความหนืดของไบเจลในอุณหภูมิตลอดในระยะเวลา

| ตำรับไบเจล | เดือน 1 | | เดือน 2 | | เดือน 3 | |
|---------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|
| | pH | Viscosity (P) | pH | Viscosity (P) | pH | Viscosity (P) |
| 0.3% 6% 10:90 | | | | | | |
| 1 | 6.12 | 27.4 | 5.81 | 20.0 | 5.87 | 19.8 |
| 2 | 6.20 | 30.6 | 5.88 | 22.6 | 5.83 | 21.0 |
| 3 | 6.15 | 27.0 | 5.85 | 22.0 | 5.90 | 20.2 |
| ค่าเฉลี่ย | 6.16 | 28.3 | 5.85 | 21.5 | 5.87 | 20.3 |
| S.D. | 0.04 | 1.97 | 0.04 | 1.36 | 0.04 | 0.61 |
| 0.3% 6% 15:85 | | | | | | |
| 1 | 5.83 | 20.0 | 5.63 | 18.0 | 5.71 | 15.4 |
| 2 | 5.72 | 23.5 | 5.70 | 19.5 | 5.79 | 16.0 |
| 3 | 5.81 | 17.8 | 5.60 | 18.1 | 5.73 | 15.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.79 | 20.4 | 5.64 | 18.5 | 5.74 | 15.6 |
| S.D. | 0.06 | 2.87 | 0.05 | 0.84 | 0.04 | 0.32 |
| 0.3% 6% 20:80 | | | | | | |
| 1 | 6.24 | 16.9 | 5.81 | 12.7 | 5.80 | 12.0 |
| 2 | 6.17 | 21.0 | 5.90 | 13.5 | 5.84 | 11.6 |
| 3 | 6.18 | 17.2 | 5.80 | 12.8 | 5.82 | 12.4 |
| ค่าเฉลี่ย | 6.20 | 18.4 | 5.84 | 13.0 | 5.82 | 12.0 |
| S.D. | 0.04 | 2.29 | 0.06 | 0.44 | 0.02 | 0.40 |
| 0.3% 8% 10:90 | | | | | | |
| 1 | 5.67 | 23.8 | 5.59 | 17.0 | 5.78 | 15.1 |
| 2 | 5.71 | 25.6 | 5.65 | 18.0 | 5.81 | 16.0 |
| 3 | 5.79 | 24.0 | 5.60 | 16.8 | 5.78 | 15.2 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.72 | 24.5 | 5.61 | 17.3 | 5.79 | 15.4 |
| S.D. | 0.06 | 0.99 | 0.03 | 0.64 | 0.02 | 0.49 |

| | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| 0.3% 8% 15:85 | | | | | | |
| 1 | 5.81 | 22.1 | 5.58 | 16.7 | 5.62 | 14.8 |
| 2 | 5.70 | 25.0 | 5.63 | 17.3 | 5.68 | 15.0 |
| 3 | 5.82 | 22.7 | 5.57 | 17.0 | 5.63 | 15.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.78 | 23.3 | 5.59 | 17.0 | 5.64 | 15.1 |
| S.D. | 0.07 | 1.57 | 0.03 | 0.30 | 0.03 | 0.36 |
| 0.3% 8% 20:80 | | | | | | |
| 1 | 5.72 | 19.8 | 5.46 | 8.40 | 5.50 | 5.57 |
| 2 | 5.82 | 23.0 | 5.49 | 8.59 | 5.58 | 5.59 |
| 3 | 5.81 | 20.3 | 5.48 | 8.47 | 5.52 | 5.70 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.78 | 21.0 | 5.48 | 8.49 | 5.53 | 5.62 |
| S.D. | 0.06 | 1.72 | 0.02 | 0.10 | 0.04 | 0.07 |
| 0.4% 6% 10:90 | | | | | | |
| 1 | 5.68 | 37.4 | 5.47 | 34.0 | 5.44 | 31.6 |
| 2 | 5.57 | 35.1 | 5.50 | 35.2 | 5.50 | 33.0 |
| 3 | 5.60 | 35.7 | 5.46 | 33.5 | 5.47 | 33.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.62 | 36.1 | 5.48 | 34.2 | 5.47 | 32.7 |
| S.D. | 0.06 | 1.19 | 0.02 | 0.87 | 0.03 | 0.98 |
| 0.4% 6% 15:85 | | | | | | |
| 1 | 5.82 | 34.0 | 5.60 | 29.8 | 5.70 | 28.0 |
| 2 | 5.68 | 36.4 | 5.69 | 31.0 | 5.74 | 29.1 |
| 3 | 5.87 | 33.0 | 5.59 | 29.9 | 5.70 | 30.0 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.79 | 34.5 | 5.63 | 30.2 | 5.71 | 29.0 |
| S.D. | 0.10 | 1.75 | 0.06 | 0.67 | 0.02 | 1.00 |
| 0.4% 6% 20:80 | | | | | | |
| 1 | 5.91 | 30.3 | 5.61 | 26.5 | 5.68 | 26.4 |
| 2 | 5.84 | 33.2 | 5.67 | 28.0 | 5.70 | 24.5 |
| 3 | 6.01 | 31.0 | 5.62 | 27.0 | 5.65 | 26.2 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.92 | 31.5 | 5.63 | 27.2 | 5.68 | 25.7 |
| S.D. | 0.09 | 1.51 | 0.03 | 0.76 | 0.03 | 1.04 |

| | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| 0.4% 8% 10:90 | | | | | | |
| 1 | 5.75 | 36.3 | 5.50 | 26.4 | 5.60 | 27.9 |
| 2 | 5.59 | 35.1 | 5.55 | 28.3 | 5.69 | 29.0 |
| 3 | 5.69 | 37.5 | 5.49 | 28.5 | 5.59 | 27.4 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.68 | 36.3 | 5.51 | 27.7 | 5.63 | 28.1 |
| S.D. | 0.08 | 1.20 | 0.03 | 1.16 | 0.06 | 0.82 |
| 0.4% 8% 15:85 | | | | | | |
| 1 | 5.67 | 33.7 | 5.50 | 25.1 | 5.61 | 26.0 |
| 2 | 5.71 | 36.2 | 5.54 | 26.0 | 5.65 | 27.8 |
| 3 | 5.63 | 34.1 | 5.52 | 24.7 | 5.63 | 27.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.67 | 34.7 | 5.52 | 25.3 | 5.63 | 27.1 |
| S.D. | 0.04 | 1.37 | 0.02 | 0.67 | 0.02 | 0.96 |
| 0.4% 8% 20:80 | | | | | | |
| 1 | 5.62 | 28.9 | 5.40 | 21.7 | 5.45 | 14.1 |
| 2 | 5.70 | 31.7 | 5.47 | 23.8 | 5.52 | 15.0 |
| 3 | 5.68 | 31.2 | 5.39 | 21.1 | 5.44 | 14.0 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.67 | 30.6 | 5.42 | 22.2 | 5.47 | 14.4 |
| S.D. | 0.04 | 1.49 | 0.04 | 1.42 | 0.04 | 0.55 |
| 0.5% 6% 10:90 | | | | | | |
| 1 | 5.50 | 45.5 | 5.35 | 43.0 | 5.35 | 43.0 |
| 2 | 5.58 | 48.2 | 5.40 | 45.1 | 5.40 | 44.2 |
| 3 | 5.45 | 46.8 | 5.35 | 44.8 | 5.37 | 42.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.51 | 46.8 | 5.37 | 44.3 | 5.37 | 42.2 |
| S.D. | 0.07 | 1.35 | 0.03 | 1.14 | 0.03 | 0.87 |
| 0.5% 6% 15:85 | | | | | | |
| 1 | 5.69 | 41.4 | 5.47 | 37.8 | 5.57 | 38.0 |
| 2 | 5.74 | 45.3 | 5.52 | 39.0 | 5.60 | 39.1 |
| 3 | 5.71 | 42.4 | 5.46 | 38.9 | 5.56 | 37.4 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.71 | 43.0 | 5.48 | 38.6 | 5.58 | 38.2 |
| S.D. | 0.03 | 2.03 | 0.03 | 0.67 | 0.02 | 0.86 |

| | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| 0.5% 6% 20:80 | | | | | | |
| 1 | 5.62 | 39.7 | 5.53 | 35.7 | 5.52 | 32.0 |
| 2 | 5.70 | 41.3 | 5.50 | 36.9 | 5.59 | 34.5 |
| 3 | 5.74 | 40.4 | 5.45 | 37.2 | 5.51 | 34.4 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.69 | 40.5 | 5.49 | 36.6 | 5.54 | 33.6 |
| S.D. | 0.06 | 0.80 | 0.04 | 0.79 | 0.04 | 1.42 |
| 0.5% 8% 10:90 | | | | | | |
| 1 | 5.56 | 46.3 | 5.39 | 44.8 | 5.40 | 44.1 |
| 2 | 5.6 | 48.4 | 5.33 | 46.3 | 5.46 | 45.2 |
| 3 | 5.59 | 47.8 | 5.38 | 44.7 | 5.41 | 44.3 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.58 | 47.5 | 5.37 | 45.3 | 5.42 | 44.5 |
| S.D. | 0.02 | 1.08 | 0.03 | 0.90 | 0.03 | 0.59 |
| 0.5% 8% 15:85 | | | | | | |
| 1 | 5.52 | 39.8 | 5.50 | 40.0 | 5.55 | 38.4 |
| 2 | 5.66 | 43.0 | 5.52 | 41.5 | 5.60 | 41.0 |
| 3 | 5.57 | 43.5 | 5.48 | 39.9 | 5.52 | 40.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.58 | 42.1 | 5.50 | 40.5 | 5.56 | 40.0 |
| S.D. | 0.07 | 2.01 | 0.02 | 0.90 | 0.04 | 1.38 |
| 0.5% 8% 20:80 | | | | | | |
| 1 | 5.48 | 38.5 | 5.44 | 34.8 | 5.54 | 33.0 |
| 2 | 5.55 | 40.0 | 5.50 | 36.7 | 5.61 | 34.1 |
| 3 | 5.46 | 40.0 | 5.45 | 34.7 | 5.56 | 33.9 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.50 | 39.5 | 5.46 | 35.4 | 5.57 | 33.7 |
| S.D. | 0.05 | 0.87 | 0.03 | 1.13 | 0.04 | 0.59 |

ตารางที่ ก.4 ความหนืดและpH ของตำรับไบเจลและตำรับน้ำมันถั่วดาวอินคาที่มีเรตินิลปาล์มมิ
เตท 1% โดยน้ำหนัก และความคงตัวในระยะเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง

| สูตรตำรับ | สัปดาห์ที่ 1 | | สัปดาห์ที่ 2 | | สัปดาห์ที่ 3 | | สัปดาห์ที่ 4 | |
|---------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) | pH | ความหนืด (P) |
| 0.5% 6% 10:90 | | | | | | | | |
| 1 | 5.61 | 50.8 | 5.54 | 48.5 | 5.43 | 45.2 | 5.40 | 44.8 |
| 2 | 5.57 | 50.2 | 5.58 | 50.3 | 5.45 | 47.5 | 5.46 | 42.1 |
| 3 | 5.63 | 50.9 | 5.58 | 51.6 | 5.48 | 46.0 | 5.41 | 47.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.60 | 50.6 | 5.57 | 50.1 | 5.45 | 46.2 | 5.42 | 44.8 |
| S.D. | 0.03 | 0.38 | 0.02 | 1.56 | 0.03 | 1.17 | 0.03 | 2.70 |
| 0.5% 6% 15:85 | | | | | | | | |
| 1 | 5.53 | 49.8 | 5.54 | 46.2 | 5.44 | 43.2 | 5.39 | 39.3 |
| 2 | 5.60 | 46.4 | 5.55 | 50.4 | 5.43 | 46.6 | 5.41 | 41.9 |
| 3 | 5.60 | 49.9 | 5.50 | 48.3 | 5.41 | 44.7 | 5.43 | 39.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.58 | 48.7 | 5.53 | 48.3 | 5.43 | 44.8 | 5.41 | 40.2 |
| S.D. | 0.04 | 1.99 | 0.03 | 2.10 | 0.02 | 1.70 | 0.02 | 1.45 |
| 0.5% 8% 10:90 | | | | | | | | |
| 1 | 5.59 | 50.7 | 5.52 | 48.8 | 5.21 | 45.8 | 5.33 | 40.9 |
| 2 | 5.62 | 51.2 | 5.55 | 51.8 | 5.33 | 47.0 | 5.37 | 44.1 |
| 3 | 5.64 | 51.4 | 5.51 | 48.1 | 5.25 | 48.3 | 5.33 | 42.0 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.62 | 51.1 | 5.53 | 49.6 | 5.26 | 47.0 | 5.34 | 42.3 |
| S.D. | 0.03 | 0.36 | 0.02 | 1.97 | 0.06 | 1.25 | 0.02 | 1.63 |
| 0.5% 8% 15:85 | | | | | | | | |
| 1 | 5.57 | 47.0 | 5.57 | 47.7 | 5.41 | 44.1 | 5.45 | 41.8 |
| 2 | 5.55 | 48.3 | 5.49 | 49.9 | 5.42 | 46.9 | 5.40 | 42.0 |
| 3 | 5.63 | 49.0 | 5.55 | 46.7 | 5.44 | 45.2 | 5.39 | 45.1 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.58 | 48.1 | 5.54 | 48.1 | 5.42 | 45.4 | 5.41 | 43.0 |
| S.D. | 0.04 | 1.01 | 0.04 | 1.64 | 0.02 | 1.41 | 0.03 | 1.85 |

| | | | | | | | | |
|-----------|---|------|---|------|---|------|---|------|
| OG 6% | | | | | | | | |
| 1 | - | 1.98 | - | 1.98 | - | 1.94 | - | 1.89 |
| 2 | - | 2.03 | - | 2.08 | - | 1.99 | - | 1.90 |
| 3 | - | 1.96 | - | 2.10 | - | 1.97 | - | 1.96 |
| ค่าเฉลี่ย | - | 1.99 | - | 2.05 | - | 1.97 | - | 1.92 |
| S.D. | - | 0.04 | - | 0.06 | - | 0.03 | - | 0.04 |
| OG 8% | | | | | | | | |
| 1 | - | 3.68 | - | 3.58 | - | 3.62 | - | 3.64 |
| 2 | - | 3.54 | - | 3.65 | - | 3.58 | - | 3.59 |
| 3 | - | 3.67 | - | 3.66 | - | 3.62 | - | 3.57 |
| ค่าเฉลี่ย | - | 3.63 | - | 3.63 | - | 3.61 | - | 3.60 |
| S.D. | - | 0.08 | - | 0.04 | - | 0.02 | - | 0.04 |

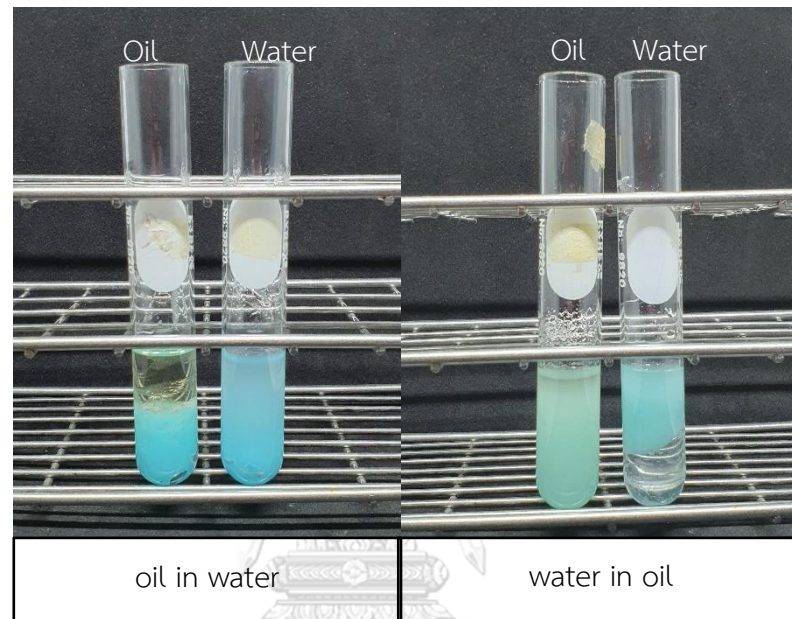
ตารางที่ ก.5 ความหนืดและpH ของตำรับไบเจลและตำรับน้ำมันถั่วดาวอินคาที่มีเรตินิลปาล์มมิ
 เทท 1% โดยน้ำหนัก และความคงตัวในระยะเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4°C

| สูตรตำรับ | สัปดาห์ที่ 1 | | สัปดาห์ที่ 2 | | สัปดาห์ที่ 3 | | สัปดาห์ที่ 4 | |
|---------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| | pH | ความหนืด(P) | pH | ความ หนืด(P) | pH | ความ หนืด(P) | pH | ความ หนืด(P) |
| 0.5% 6% 10:90 | | | | | | | | |
| 1 | 5.64 | 53.3 | 5.61 | 51.4 | 5.33 | 48.7 | 5.54 | 49.5 |
| 2 | 5.68 | 52.6 | 5.66 | 53.8 | 5.34 | 52.1 | 5.59 | 51.5 |
| 3 | 5.66 | 54.0 | 5.64 | 54.1 | 5.29 | 49.6 | 5.53 | 47.6 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.66 | 53.3 | 5.64 | 53.1 | 5.32 | 50.1 | 5.55 | 49.5 |
| S.D. | 0.02 | 0.70 | 0.03 | 1.48 | 0.03 | 1.76 | 0.03 | 1.95 |
| 0.5% 6% 15:85 | | | | | | | | |
| 1 | 5.53 | 49.9 | 5.55 | 46.9 | 5.40 | 45.2 | 5.51 | 43.4 |
| 2 | 5.58 | 50.1 | 5.59 | 51.2 | 5.36 | 47.1 | 5.52 | 46.9 |
| 3 | 5.56 | 49.8 | 5.53 | 51.7 | 5.41 | 48.5 | 5.55 | 46.4 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.56 | 49.9 | 5.56 | 49.9 | 5.39 | 46.9 | 5.53 | 45.6 |
| S.D. | 0.03 | 0.15 | 0.03 | 2.64 | 0.03 | 1.66 | 0.02 | 1.89 |
| 0.5% 8% 10:90 | | | | | | | | |
| 1 | 5.63 | 49.9 | 5.52 | 47.2 | 5.41 | 48.1 | 5.48 | 46.8 |
| 2 | 5.59 | 50.1 | 5.61 | 49.5 | 5.44 | 49.9 | 5.52 | 49.0 |
| 3 | 5.57 | 49.5 | 5.60 | 51.4 | 5.37 | 48.0 | 5.50 | 48.5 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.60 | 49.8 | 5.58 | 49.4 | 5.41 | 48.7 | 5.50 | 48.1 |
| S.D. | 0.03 | 0.31 | 0.05 | 2.10 | 0.04 | 1.07 | 0.02 | 1.15 |
| 0.5% 8% 15:85 | | | | | | | | |
| 1 | 5.59 | 48.2 | 5.54 | 47.3 | 5.38 | 46.4 | 5.49 | 47.8 |
| 2 | 5.57 | 47.5 | 5.61 | 49.9 | 5.46 | 47.9 | 5.46 | 48.5 |
| 3 | 5.54 | 49.5 | 5.55 | 48.6 | 5.45 | 49.8 | 5.54 | 47.2 |
| ค่าเฉลี่ย | 5.57 | 48.4 | 5.57 | 48.6 | 5.43 | 48.0 | 5.50 | 47.8 |
| S.D. | 0.03 | 1.01 | 0.04 | 1.30 | 0.04 | 1.70 | 0.04 | 0.65 |

| | | | | | | | | |
|-----------|---|------|---|------|---|------|---|------|
| OG 6% | | | | | | | | |
| 1 | - | 2.03 | - | 2.11 | - | 1.99 | - | 1.95 |
| 2 | - | 2.06 | - | 2.17 | - | 2.03 | - | 2.00 |
| 3 | - | 2.05 | - | 2.18 | - | 2.02 | - | 1.97 |
| ค่าเฉลี่ย | - | 2.05 | - | 2.15 | - | 2.01 | - | 1.97 |
| S.D. | - | 0.02 | - | 0.04 | - | 0.02 | - | 0.03 |
| OG 8% | | | | | | | | |
| 1 | - | 3.74 | - | 3.68 | - | 3.69 | - | 3.65 |
| 2 | - | 3.68 | - | 3.74 | - | 3.70 | - | 3.72 |
| 3 | - | 3.78 | - | 3.71 | - | 3.73 | - | 3.73 |
| ค่าเฉลี่ย | - | 3.73 | - | 3.71 | - | 3.71 | - | 3.70 |
| S.D. | - | 0.05 | - | 0.03 | - | 0.02 | - | 0.04 |

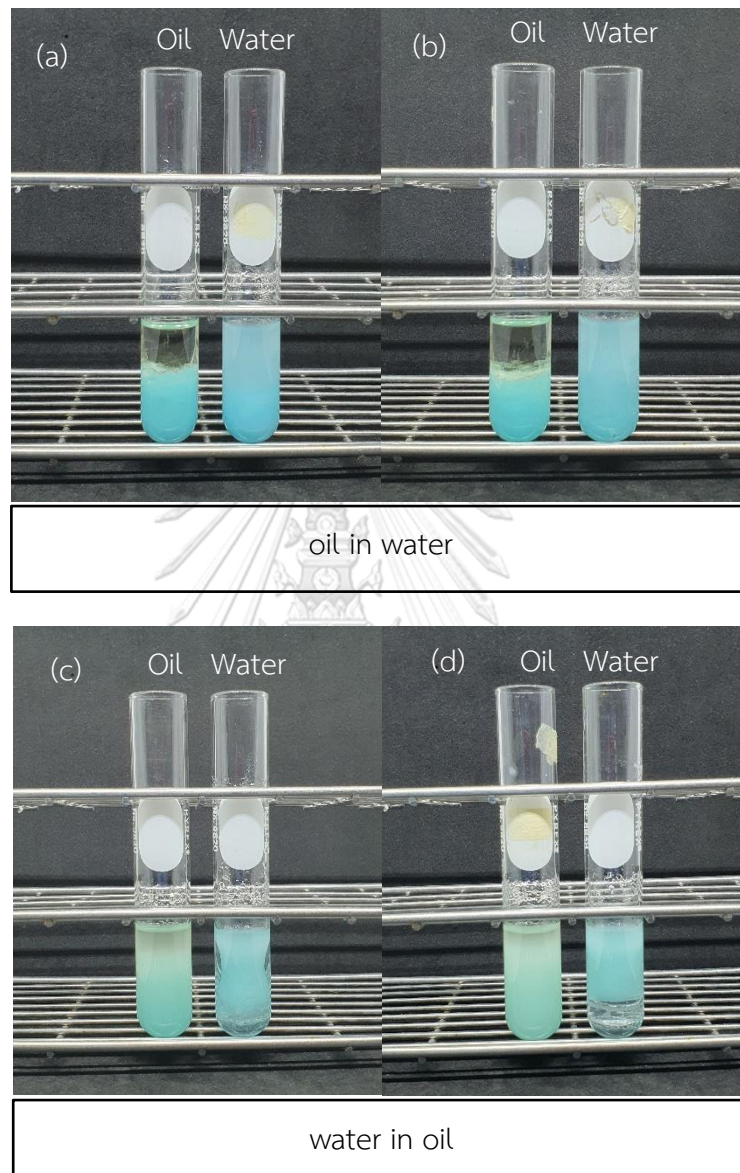
ภาคผนวก ข. การทดสอบชนิดไบเจล โดยวิธี Dilution test

ทดสอบชนิดตัวรับไบเจลโดยวิธี Dilution test นำตัวอย่างไบเจลมาใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำมันและน้ำอย่างละหลอดทดลอง สัดส่วนไบเจล:น้ำมัน และ ไบเจล:น้ำ เป็น 1:1 แสดงลักษณะไบเจลชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water) หรือน้ำในน้ำมัน (water in oil) และลักษณะที่ไม่เป็นไบเจล



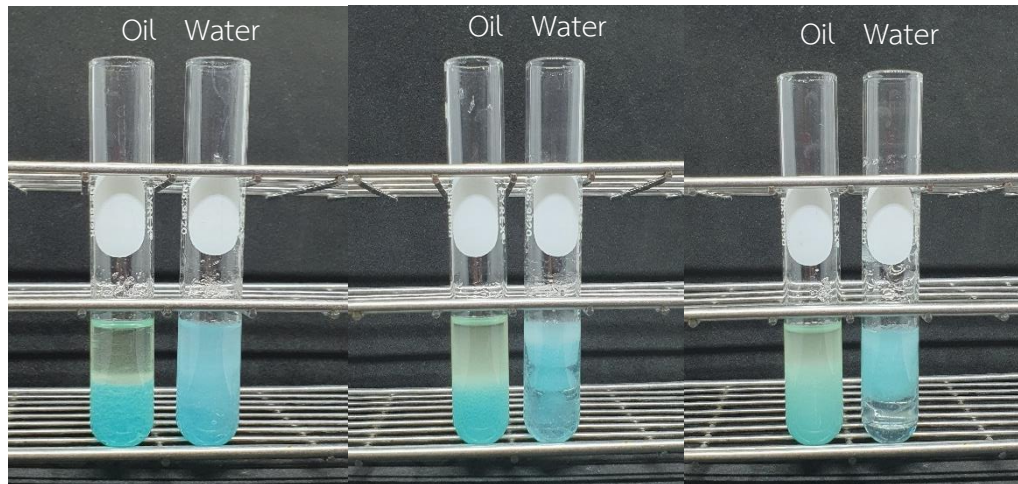
รูปที่ ข.1 แสดงลักษณะของไบเจล ที่ อัตราเขือน 1200 rpm

(a) O:H 10:90 และ (b) O:H 50:50



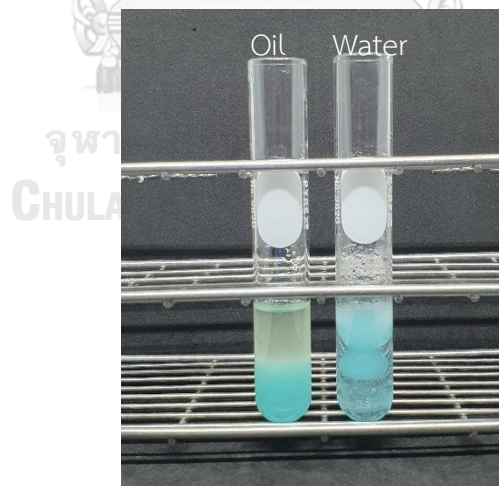
รูปที่ ข.2 แสดงลักษณะของไบเจล ที่ อัตราเฉือน 1500 rpm (a) O:H 10:90

(b) O:H 20:80 (c) O:H 40:60 และ (d) O:H 50:50



รูปที่ ข.3 แสดงลักษณะไม่เป็นไบเจล ที่ อัตราเขื่อน 1200 rpm

(a) O:H 20:80 (b) O:H 30:70 และ (c) O:H 40:60



รูปที่ ข.4 แสดงลักษณะไม่เป็นไบเจล ที่ อัตราเขื่อน 1500 rpm

O:H 30:70

ภาคผนวก ค. คุณสมบัติการไหลและการเสียรูปจากการวิเคราะห์ด้วย

Texture Analyzer

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์ stress relaxation (%SR)

| ตำรับ | F _o (g) | F _r (g) | % SR |
|---------------|--------------------|--------------------|-------|
| HG 0.3% | | | |
| 1 | 32.90 | 24.10 | 26.75 |
| 2 | 34.10 | 24.60 | 27.86 |
| 3 | 34.64 | 25.60 | 26.11 |
| ค่าเฉลี่ย | 33.88 | 24.77 | 26.90 |
| S.D. | 0.89 | 0.76 | 0.89 |
| HG 0.4% | | | |
| 1 | 47.72 | 33.70 | 29.38 |
| 2 | 46.63 | 33.60 | 27.94 |
| 3 | 47.39 | 34.20 | 27.83 |
| ค่าเฉลี่ย | 47.25 | 33.83 | 28.38 |
| S.D. | 0.56 | 0.32 | 0.86 |
| HG 0.5% | | | |
| 1 | 59.59 | 38.90 | 34.72 |
| 2 | 59.37 | 38.90 | 34.48 |
| 3 | 60.79 | 42.10 | 30.75 |
| ค่าเฉลี่ย | 59.92 | 39.97 | 33.32 |
| S.D. | 0.76 | 1.85 | 2.23 |
| 0.3% 6% 10:90 | | | |
| 1 | 31.38 | 20.80 | 33.71 |
| 2 | 31.27 | 21.00 | 32.84 |
| 3 | 30.72 | 21.70 | 29.37 |
| ค่าเฉลี่ย | 31.12 | 21.20 | 31.97 |
| S.D. | 0.35 | 0.47 | 2.30 |

| | | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| 0.3% 6% 15:85 | | | |
| 1 | 28.87 | 19.90 | 31.07 |
| 2 | 28.76 | 20.70 | 28.03 |
| 3 | 28.33 | 20.50 | 27.63 |
| ค่าเฉลี่ย | 28.65 | 20.37 | 28.91 |
| S.D. | 0.29 | 0.42 | 1.88 |
| 0.3% 6% 20:80 | | | |
| 1 | 26.26 | 19.40 | 26.11 |
| 2 | 27.35 | 19.70 | 27.96 |
| 3 | 27.13 | 19.70 | 27.38 |
| ค่าเฉลี่ย | 26.91 | 19.60 | 27.15 |
| S.D. | 0.58 | 0.17 | 0.94 |
| 0.3% 8% 10:90 | | | |
| 1 | 29.64 | 20.30 | 31.52 |
| 2 | 29.53 | 20.40 | 30.93 |
| 3 | 29.86 | 20.90 | 30.01 |
| ค่าเฉลี่ย | 29.68 | 20.53 | 30.82 |
| S.D. | 0.17 | 0.32 | 0.76 |
| 0.3% 8% 15:85 | | | |
| 1 | 27.68 | 19.40 | 29.92 |
| 2 | 28.77 | 19.50 | 32.22 |
| 3 | 28.01 | 19.20 | 31.45 |
| ค่าเฉลี่ย | 28.15 | 19.37 | 31.20 |
| S.D. | 0.56 | 0.15 | 1.17 |
| 0.3% 8% 20:80 | | | |
| 1 | 27.03 | 18.70 | 30.81 |
| 2 | 26.81 | 18.50 | 30.99 |
| 3 | 26.59 | 17.70 | 33.44 |
| ค่าเฉลี่ย | 26.81 | 18.30 | 31.75 |
| S.D. | 0.22 | 0.53 | 1.47 |

| | | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| 0.4% 6% 10:90 | | | |
| 1 | 43.14 | 28.10 | 34.87 |
| 2 | 42.82 | 27.30 | 36.24 |
| 3 | 43.47 | 29.30 | 32.60 |
| ค่าเฉลี่ย | 43.14 | 28.23 | 34.57 |
| S.D. | 0.33 | 1.01 | 1.84 |
| 0.4% 6% 15:85 | | | |
| 1 | 38.57 | 26.10 | 32.32 |
| 2 | 38.35 | 25.50 | 33.50 |
| 3 | 38.13 | 25.80 | 32.34 |
| ค่าเฉลี่ย | 38.35 | 25.80 | 32.72 |
| S.D. | 0.22 | 0.30 | 0.68 |
| 0.4% 6% 20:80 | | | |
| 1 | 37.37 | 25.40 | 32.03 |
| 2 | 37.48 | 25.90 | 30.89 |
| 3 | 37.69 | 24.10 | 36.07 |
| ค่าเฉลี่ย | 37.51 | 25.13 | 32.99 |
| S.D. | 0.17 | 0.93 | 2.72 |
| 0.4% 8% 10:90 | | | |
| 1 | 43.48 | 28.10 | 35.38 |
| 2 | 43.59 | 27.90 | 36.00 |
| 3 | 44.57 | 28.10 | 36.96 |
| ค่าเฉลี่ย | 43.88 | 28.03 | 36.11 |
| S.D. | 0.60 | 0.12 | 0.80 |
| 0.4% 8% 15:85 | | | |
| 1 | 38.80 | 25.20 | 35.05 |
| 2 | 38.91 | 25.10 | 35.49 |
| 3 | 39.45 | 26.40 | 33.08 |
| ค่าเฉลี่ย | 39.05 | 25.57 | 34.54 |
| S.D. | 0.35 | 0.72 | 1.28 |

| | | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| 0.4% 8% 20:80 | | | |
| 1 | 38.80 | 24.30 | 37.37 |
| 2 | 38.58 | 24.40 | 36.75 |
| 3 | 38.14 | 24.00 | 37.08 |
| ค่าเฉลี่ย | 38.51 | 24.23 | 37.07 |
| S.D. | 0.33 | 0.21 | 0.31 |
| 0.5% 6% 10:90 | | | |
| 1 | 50.77 | 30.70 | 39.53 |
| 2 | 50.99 | 30.80 | 39.59 |
| 3 | 51.09 | 33.00 | 35.41 |
| ค่าเฉลี่ย | 50.95 | 31.50 | 38.18 |
| S.D. | 0.17 | 1.30 | 2.39 |
| 0.5% 6% 15:85 | | | |
| 1 | 44.56 | 27.70 | 37.83 |
| 2 | 43.69 | 28.80 | 34.08 |
| 3 | 44.23 | 27.90 | 36.92 |
| ค่าเฉลี่ย | 44.16 | 28.13 | 36.28 |
| S.D. | 0.44 | 0.59 | 1.96 |
| 0.5% 6% 20:80 | | | |
| 1 | 42.92 | 29.00 | 32.44 |
| 2 | 43.14 | 29.20 | 32.32 |
| 3 | 42.92 | 29.40 | 31.51 |
| ค่าเฉลี่ย | 43.00 | 29.20 | 32.09 |
| S.D. | 0.13 | 0.20 | 0.51 |
| 0.5% 8% 10:90 | | | |
| 1 | 49.80 | 30.60 | 38.56 |
| 2 | 49.48 | 31.00 | 37.34 |
| 3 | 50.57 | 31.50 | 37.71 |
| ค่าเฉลี่ย | 49.95 | 31.03 | 37.87 |
| S.D. | 0.56 | 0.45 | 0.62 |

| | | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| 0.5% 8% 15:85 | | | |
| 1 | 48.06 | 29.60 | 38.41 |
| 2 | 48.28 | 29.80 | 38.27 |
| 3 | 47.30 | 31.60 | 33.19 |
| ค่าเฉลี่ย | 47.88 | 30.33 | 36.62 |
| S.D. | 0.52 | 1.10 | 2.98 |
| 0.5% 8% 20:80 | | | |
| 1 | 44.90 | 28.10 | 37.42 |
| 2 | 44.57 | 28.30 | 36.51 |
| 3 | 43.92 | 28.60 | 34.88 |
| ค่าเฉลี่ย | 44.46 | 28.33 | 36.27 |
| S.D. | 0.50 | 0.25 | 1.29 |

ตารางที่ ค.2 ค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัสต่างๆที่คำนวณจาก Texture profile

| ตำรับ | ความแน่น g | ความเชื่อมยึดติด g.sec | ความเหนียว g | ดัชนีความหนืด g.sec |
|---------------|---------------|---------------------------|-----------------|------------------------|
| HG 0.3% | | | | |
| 1 | 30.50 | 217.05 | -21.46 | -110.64 |
| 2 | 31.16 | 207.05 | -21.79 | -105.05 |
| 3 | 31.81 | 232.74 | -22.99 | -115.51 |
| ค่าเฉลี่ย | 31.16 | 218.95 | -22.08 | -110.40 |
| S.D. | 0.65 | 12.95 | 0.80 | 5.24 |
| HG 0.4% | | | | |
| 1 | 45.10 | 341.27 | -31.05 | -158.58 |
| 2 | 45.87 | 329.91 | -30.40 | -160.47 |
| 3 | 46.74 | 328.58 | -30.72 | -154.23 |
| ค่าเฉลี่ย | 45.90 | 333.26 | -30.72 | -157.76 |
| S.D. | 0.82 | 6.97 | 0.33 | 3.20 |
| HG 0.5% | | | | |
| 1 | 62.64 | 459.68 | -40.20 | -193.56 |
| 2 | 56.32 | 430.78 | -37.59 | -180.02 |
| 3 | 57.96 | 405.05 | -37.91 | -158.42 |
| ค่าเฉลี่ย | 58.98 | 431.84 | -38.57 | -177.33 |
| S.D. | 3.28 | 27.33 | 1.42 | 17.73 |
| 0.3% 6% 10:90 | | | | |
| 1 | 30.18 | 227.60 | -21.68 | -114.27 |
| 2 | 30.83 | 215.87 | -21.57 | -112.76 |
| 3 | 30.72 | 215.34 | -21.79 | -108.19 |
| ค่าเฉลี่ย | 30.58 | 219.60 | -21.68 | -111.74 |
| S.D. | 0.35 | 6.93 | 0.11 | 3.17 |

| | | | | |
|---------------|-------|--------|--------|---------|
| 0.3% 6% 15:85 | | | | |
| 1 | 27.89 | 213.05 | -20.59 | -100.87 |
| 2 | 28.11 | 202.48 | -20.70 | -95.68 |
| 3 | 29.74 | 201.62 | -20.37 | -95.93 |
| ค่าเฉลี่ย | 28.58 | 205.72 | -20.55 | -97.49 |
| S.D. | 1.01 | 6.36 | 0.17 | 2.92 |
| 0.3% 6% 20:80 | | | | |
| 1 | 25.82 | 193.48 | -19.28 | -85.43 |
| 2 | 26.80 | 192.50 | -18.74 | -77.42 |
| 3 | 27.24 | 190.06 | -19.28 | -74.92 |
| ค่าเฉลี่ย | 26.62 | 192.01 | -19.10 | -79.26 |
| S.D. | 0.73 | 1.76 | 0.31 | 5.49 |
| 0.3% 8% 10:90 | | | | |
| 1 | 28.23 | 208.47 | -20.60 | -108.54 |
| 2 | 29.42 | 206.80 | -20.27 | -106.39 |
| 3 | 29.21 | 200.55 | -21.03 | -109.92 |
| ค่าเฉลี่ย | 28.95 | 205.27 | -20.63 | -108.28 |
| S.D. | 0.64 | 4.17 | 0.38 | 1.78 |
| 0.3% 8% 15:85 | | | | |
| 1 | 27.24 | 199.06 | -19.18 | -96.69 |
| 2 | 26.81 | 190.32 | -19.29 | -96.61 |
| 3 | 28.01 | 196.84 | -19.62 | -102.52 |
| ค่าเฉลี่ย | 27.35 | 195.41 | -19.36 | -98.61 |
| S.D. | 0.61 | 4.54 | 0.23 | 3.39 |
| 0.3% 8% 20:80 | | | | |
| 1 | 25.61 | 193.30 | -17.65 | -85.97 |
| 2 | 26.16 | 185.28 | -18.53 | -84.83 |
| 3 | 26.48 | 184.95 | -17.87 | -84.36 |
| ค่าเฉลี่ย | 26.08 | 187.84 | -18.02 | -85.05 |
| S.D. | 0.44 | 4.73 | 0.45 | 0.83 |

| | | | | |
|---------------|-------|--------|--------|---------|
| 0.4% 6% 10:90 | | | | |
| 1 | 41.40 | 315.11 | -29.41 | -149.64 |
| 2 | 42.60 | 298.05 | -29.96 | -141.75 |
| 3 | 43.47 | 297.59 | -28.65 | -132.26 |
| ค่าเฉลี่ย | 42.49 | 303.58 | -29.34 | -141.22 |
| S.D. | 1.04 | 9.98 | 0.66 | 8.70 |
| 0.4% 6% 15:85 | | | | |
| 1 | 37.69 | 290.34 | -26.91 | -115.49 |
| 2 | 38.02 | 272.42 | -26.26 | -104.71 |
| 3 | 38.35 | 273.89 | -27.67 | -122.58 |
| ค่าเฉลี่ย | 38.02 | 278.88 | -26.95 | -114.26 |
| S.D. | 0.33 | 9.95 | 0.71 | 9.00 |
| 0.4% 6% 20:80 | | | | |
| 1 | 35.84 | 276.32 | -24.95 | -109.36 |
| 2 | 36.82 | 258.97 | -25.28 | -90.27 |
| 3 | 36.06 | 262.79 | -25.17 | -87.58 |
| ค่าเฉลี่ย | 36.24 | 266.02 | -25.13 | -95.74 |
| S.D. | 0.51 | 9.12 | 0.17 | 11.87 |
| 0.4% 8% 10:90 | | | | |
| 1 | 41.52 | 315.68 | -28.55 | -152.01 |
| 2 | 42.18 | 302.99 | -28.55 | -143.11 |
| 3 | 42.83 | 304.43 | -29.21 | -145.49 |
| ค่าเฉลี่ย | 42.18 | 307.70 | -28.77 | -146.87 |
| S.D. | 0.65 | 6.95 | 0.38 | 4.61 |
| 0.4% 8% 15:85 | | | | |
| 1 | 37.16 | 287.92 | -26.70 | -127.08 |
| 2 | 37.82 | 270.37 | -26.59 | -116.26 |
| 3 | 39.45 | 279.63 | -26.92 | -116.47 |
| ค่าเฉลี่ย | 38.14 | 279.30 | -26.74 | -119.94 |
| S.D. | 1.18 | 8.78 | 0.17 | 6.19 |

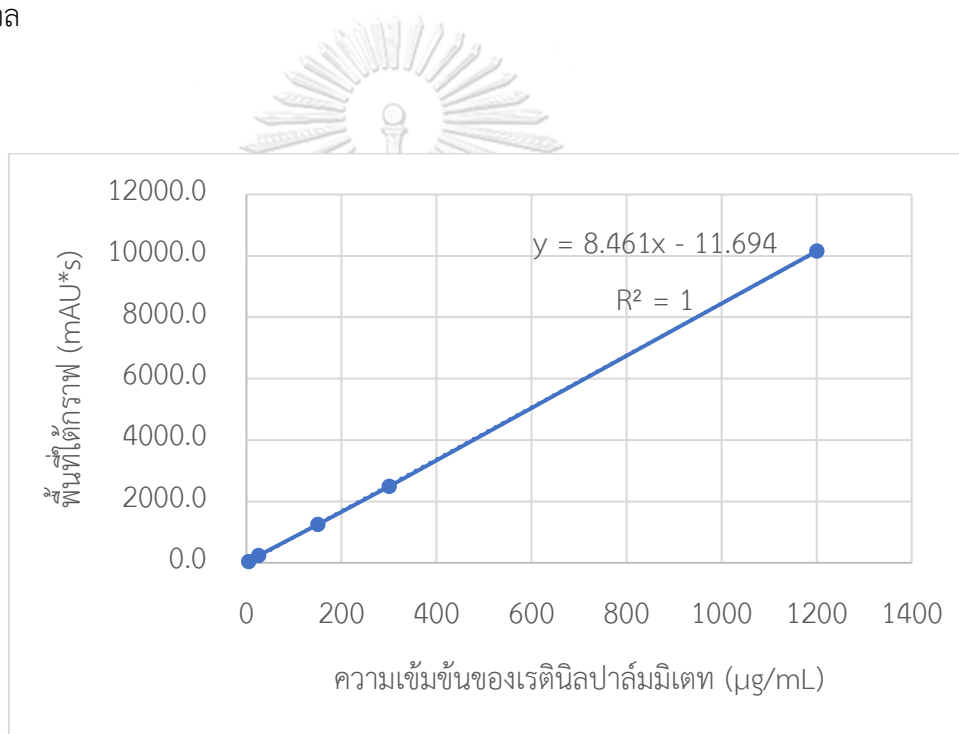
| | | | | |
|---------------|-------|--------|--------|---------|
| 0.4% 8% 20:80 | | | | |
| 1 | 35.85 | 275.23 | -25.61 | -103.93 |
| 2 | 37.16 | 270.12 | -24.30 | -102.77 |
| 3 | 38.25 | 271.09 | -23.54 | -103.34 |
| ค่าเฉลี่ย | 37.09 | 272.14 | -24.48 | -103.35 |
| S.D. | 1.20 | 2.71 | 1.05 | 0.58 |
| 0.5% 6% 10:90 | | | | |
| 1 | 50.33 | 391.59 | -34.86 | -169.89 |
| 2 | 50.11 | 356.22 | -34.32 | -149.34 |
| 3 | 50.77 | 359.50 | -33.55 | -152.36 |
| ค่าเฉลี่ย | 50.40 | 369.11 | -34.24 | -157.20 |
| S.D. | 0.33 | 19.54 | 0.66 | 11.10 |
| 0.5% 6% 15:85 | | | | |
| 1 | 43.58 | 344.97 | -31.92 | -140.45 |
| 2 | 44.12 | 319.13 | -30.61 | -108.19 |
| 3 | 43.90 | 324.05 | -30.40 | -121.87 |
| ค่าเฉลี่ย | 43.87 | 329.38 | -30.98 | -123.50 |
| S.D. | 0.27 | 13.72 | 0.82 | 16.19 |
| 0.5% 6% 20:80 | | | | |
| 1 | 41.73 | 326.07 | -27.24 | -115.03 |
| 2 | 43.03 | 311.61 | -28.00 | -112.39 |
| 3 | 43.90 | 306.52 | -27.13 | -98.94 |
| ค่าเฉลี่ย | 42.89 | 314.73 | -27.45 | -108.79 |
| S.D. | 1.10 | 10.14 | 0.47 | 8.63 |
| 0.5% 8% 10:90 | | | | |
| 1 | 48.28 | 373.90 | -32.91 | -180.34 |
| 2 | 49.04 | 348.28 | -34.22 | -172.55 |
| 3 | 49.59 | 357.33 | -31.82 | -164.22 |
| ค่าเฉลี่ย | 48.97 | 359.84 | -32.98 | -172.37 |
| S.D. | 0.66 | 13.00 | 1.20 | 8.06 |

| | | | | |
|---------------|-------|--------|--------|---------|
| 0.5% 8% 15:85 | | | | |
| 1 | 46.86 | 365.13 | -31.93 | -154.89 |
| 2 | 45.77 | 344.84 | -30.08 | -140.53 |
| 3 | 47.52 | 344.78 | -30.62 | -129.11 |
| ค่าเฉลี่ย | 46.72 | 351.58 | -30.88 | -141.51 |
| S.D. | 0.88 | 11.74 | 0.95 | 12.92 |
| 0.5% 8% 20:80 | | | | |
| 1 | 43.05 | 337.26 | -30.19 | -116.63 |
| 2 | 45.34 | 321.70 | -28.88 | -109.31 |
| 3 | 43.70 | 319.24 | -27.68 | -113.82 |
| ค่าเฉลี่ย | 44.03 | 326.07 | -28.92 | -113.26 |
| S.D. | 1.18 | 9.77 | 1.25 | 3.69 |

ภาคผนวก ง. การทดสอบความคงตัวของเรตินิลปาล์มมิเตทในตำรับ

กราฟมาตรฐานของเรตินิลปาล์มมิเตท โดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatograph, HPLC

ตัวอย่างไบเจลที่ถูกนำมาเจือจางด้วยตัวทำละลายเมทานอลแล้วในสัดส่วน 0.1 g ต่อ 8 ml นำพื้นที่ได้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC ที่ความยาวคลื่น 325 nm ที่อุณหภูมิ 40°C มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตทในเมทานอลเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของเรตินิลปาล์มมิเตทในตัวทำละลายเมทานอล โดยเทียบเป็นค่าที่ได้จริงกับ RP ที่ใส่ไปที่ 1% โดยน้ำหนักในตำรับไบเจล



รูปที่ ง.1 กราฟมาตรฐานของเรตินิลปาล์มมิเตท ด้วยเครื่อง HPLC ที่ $\lambda_{\max} = 325 \text{ nm}$

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์เรตินัลพลาสมาที่มีเตทที่คงเหลืออยู่ในตำรับไปเจลที่อุณหภูมิห้อง

(ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| ตำรับไปเจล | Day1 | Week1 | Week2 | Week3 | Week4 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.5% 6% 10:90 | 74.35 ± 1.26 | 45.20 ± 2.68 | 35.04 ± 1.42 | 33.81 ± 2.48 | 30.42 ± 1.43 |
| 0.5% 6% 15:85 | 62.49 ± 2.55 | 35.78 ± 2.44 | 28.03 ± 2.29 | 27.78 ± 1.85 | 26.81 ± 1.67 |
| 0.5% 8% 10:90 | 75.57 ± 1.97 | 46.11 ± 1.99 | 34.24 ± 2.04 | 31.43 ± 2.02 | 28.77 ± 2.39 |
| 0.5% 8% 15:85 | 72.19 ± 2.35 | 44.36 ± 1.51 | 34.87 ± 2.18 | 34.04 ± 1.68 | 31.62 ± 1.14 |

ตารางที่ ค.2 เปอร์เซ็นต์เรตินัลพลาสมาที่มีเตทที่คงเหลืออยู่ในตำรับไปเจลที่อุณหภูมิ 4 °C

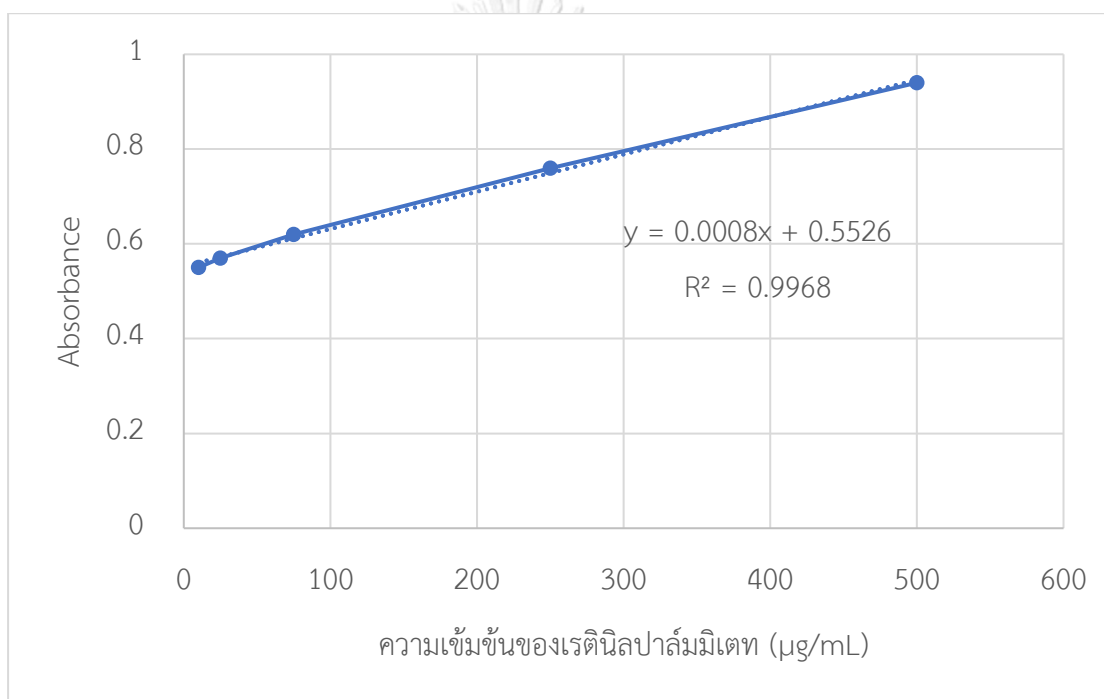
(ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| ตำรับไปเจล | Day1 | Week1 | Week2 | Week3 | Week4 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.5% 6% 10:90 | 80.67 ± 1.74 | 50.17 ± 1.89 | 39.15 ± 2.68 | 37.79 ± 1.80 | 43.82 ± 1.76 |
| 0.5% 6% 15:85 | 82.86 ± 1.32 | 51.02 ± 1.93 | 39.30 ± 2.43 | 37.52 ± 1.18 | 36.47 ± 2.19 |
| 0.5% 8% 10:90 | 72.49 ± 1.92 | 45.69 ± 1.08 | 37.55 ± 1.82 | 38.11 ± 1.96 | 39.18 ± 2.08 |
| 0.5% 8% 15:85 | 77.54 ± 2.39 | 48.44 ± 2.35 | 38.51 ± 1.13 | 37.89 ± 1.38 | 41.17 ± 1.15 |

ภาคผนวก จ. การทดสอบการปลดปล่อยเรตินิลปาล์มมิเตทแบบภายนอกจากตำรับไบเจล
(In vitro drug release study)

1. ปริมาณเรตินิลปาล์มมิเตทในสารละลายตัวกลาง

นำตัวอย่างตำรับไบเจลมาวิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 325 nm โดยเก็บปริมาณ 3 ml คำนวณหาค่าความเข้มข้นที่ได้จากกราฟมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตทในตัวทำละลายกลาง



รูปที่ จ.1 กราฟมาตรฐานเรตินิลปาล์มมิเตทในตัวทำละลายสารละลายตัวกลาง

2. เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยเรตินิลปาล์มมิเททจากตำรับไบเจลต่าง ๆ แบบสะสม

ตารางที่ จ.1 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสะสมของเรตินิลปาล์มมิเททจากตำรับ RP solution (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| ชั่วโมง | % การปลดปล่อยแบบสะสมของ RP |
|---------|----------------------------|
| 0 | 0.00 ± 0.00 |
| 1 | 19.44 ± 0.98 |
| 2 | 29.45 ± 1.02 |
| 3 | 36.12 ± 1.07 |
| 4 | 45.14 ± 0.87 |
| 5 | 57.63 ± 1.22 |
| 6 | 62.76 ± 1.31 |
| 8 | 76.02 ± 0.88 |
| 10 | 80.42 ± 0.95 |
| 12 | 82.85 ± 1.10 |
| 16 | 83.61 ± 1.13 |
| 20 | 85.20 ± 0.87 |
| 24 | 86.87 ± 0.94 |

ตารางที่ จ.2 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสะสมของเรตินิลปาล์มมิเททจากตำรับ 0.5% 8% 10:90 (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| ชั่วโมง | % การปลดปล่อยแบบสะสมของ RP |
|---------|----------------------------|
| 0 | 0.00 ± 0.00 |
| 1 | 11.29 ± 1.13 |
| 2 | 14.38 ± 0.98 |
| 3 | 16.72 ± 0.86 |
| 4 | 19.85 ± 1.23 |
| 5 | 23.58 ± 1.21 |
| 6 | 26.35 ± 0.99 |
| 8 | 28.47 ± 1.07 |
| 10 | 31.68 ± 1.02 |
| 12 | 34.17 ± 0.97 |
| 16 | 39.58 ± 0.84 |
| 20 | 41.49 ± 0.82 |
| 24 | 43.27 ± 0.98 |

ตารางที่ จ.3 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสะสมของเรตินิลปาล์มมิเททจากตำรับ 0.5% 8% 15:85 (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| ชั่วโมง | % การปลดปล่อยแบบสะสมของ RP |
|---------|----------------------------|
| 0 | 0.00 ± 0.00 |
| 1 | 9.46 ± 0.98 |
| 2 | 16.82 ± 1.03 |
| 3 | 19.37 ± 1.06 |
| 4 | 22.63 ± 0.95 |
| 5 | 25.28 ± 0.89 |
| 6 | 27.33 ± 1.01 |
| 8 | 30.65 ± 1.08 |
| 10 | 33.19 ± 0.97 |
| 12 | 34.78 ± 1.10 |
| 16 | 36.33 ± 0.88 |
| 20 | 38.47 ± 0.99 |
| 24 | 40.36 ± 1.04 |

ตารางที่ จ.4 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสะสมของเรตินิลปาล์มมิเททจากตำรับ 0.5% 6% 10:90 (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| ชั่วโมง | % การปลดปล่อยแบบสะสมของ RP |
|---------|----------------------------|
| 0 | 0.00 ± 0.00 |
| 1 | 11.49 ± 0.93 |
| 2 | 15.48 ± 0.92 |
| 3 | 17.35 ± 0.96 |
| 4 | 19.36 ± 1.02 |
| 5 | 21.77 ± 1.01 |
| 6 | 23.67 ± 0.97 |
| 8 | 26.83 ± 1.10 |
| 10 | 29.48 ± 1.05 |
| 12 | 31.15 ± 1.11 |
| 16 | 34.29 ± 0.98 |
| 20 | 36.46 ± 0.96 |
| 24 | 37.82 ± 1.03 |

ตารางที่ จ.5 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสะสมของเรตินิลปาล์มมิเททจากตำรับ 0.5% 6% 15:85 (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=3)

| ชั่วโมง | % การปลดปล่อยแบบสะสมของ RP |
|---------|----------------------------|
| 0 | 0.00 ± 0.00 |
| 1 | 10.86 ± 1.05 |
| 2 | 15.82 ± 1.17 |
| 3 | 19.34 ± 1.02 |
| 4 | 20.83 ± 0.97 |
| 5 | 22.30 ± 0.99 |
| 6 | 24.12 ± 1.04 |
| 8 | 26.38 ± 0.94 |
| 10 | 28.44 ± 0.89 |
| 12 | 30.63 ± 1.00 |
| 16 | 32.41 ± 0.97 |
| 20 | 34.69 ± 1.04 |
| 24 | 36.74 ± 1.02 |

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|---|
| ชื่อ-สกุล | ญาดา ยะก๊ีบ |
| วัน เดือน ปี เกิด | 25 มีนาคม 2537 |
| สถานที่เกิด | กรุงเทพมหานคร |
| วุฒิการศึกษา | ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร และเข้าศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | กรุงเทพมหานคร |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY