

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาวิธีสกัดและตัวทำละลายที่เหมาะสม

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีสกัดและชนิดตัวทำละลายโดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกใช้ตัวทำละลาย Acetone กลุ่มสองใช้ตัวทำละลาย Methanol โดยทุกกลุ่มศึกษาจะทำการสกัดทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีสกัดแบบต่อเนื่องด้วยชุดสกัดชอกเล็ด (Soxhlet Apparatus) สกัดด้วยวิธีหมัก (Maceration) และสกัดด้วยการใช้คลื่นเสียง (Sonication) ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มศึกษาที่ 1 ใช้ Acetone เป็นตัวทำละลาย ให้ผลดังตารางที่ 4.1 และผลการศึกษากลุ่มศึกษาที่ 2 ใช้ Methanol เป็นตัวทำละลาย แสดงผลดังตารางที่ 4.2

จากการเปรียบเทียบวิธีสกัดและตัวทำละลายแสดงดังแผนภูมิที่ 4.1 พบว่าการใช้ Acetone เป็นตัวทำละลายสามารถสกัดสารสำคัญคือ 6-Gingerol ของจิงออกมาได้ปริมาณมากกว่าการใช้ Methanol เป็นตัวทำละลาย วิธีการสกัดแบบต่อเนื่องด้วยชุดสกัดชอกเล็ดสามารถสกัด 6-Gingerol ในผงจิงได้ในปริมาณสูงสุด 4.21 ± 0.03 $\mu\text{g/g}$ รองลงมาเป็นวิธีการสกัดด้วยการหมักได้ปริมาณ 6-Gingerol 2.86 ± 0.13 $\mu\text{g/g}$ และการสกัดด้วยคลื่นเสียงได้ปริมาณ 6-Gingerol 2.78 ± 0.04 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ

ส่วนการสกัดผงจิงด้วย Methanol โดยวิธีสกัดแบบต่อเนื่องด้วยชุดสกัดชอกเล็ดได้ปริมาณ 6-Gingerol 2.16 ± 0.09 $\mu\text{g/g}$ สกัดด้วยวิธีหมักได้ปริมาณ 6-Gingerol 0.8 ± 0.01 $\mu\text{g/g}$ และสกัดด้วยคลื่นเสียงได้ปริมาณ 6-Gingerol 1.07 ± 0.05 $\mu\text{g/g}$ ดังนั้นการสกัดผงจิงแบบต่อเนื่องด้วยชุดสกัดชอกเล็ดซึ่งมี Acetone เป็นตัวทำละลายเป็นวิธีที่สามารถสกัดสารสำคัญ 6-Gingerol ออกจากผงจิงในปริมาณมากที่สุด และใช้เป็นวิธีเตรียมสารสกัดหยาบสำหรับงานวิจัยนี้

การสกัดสารแบบต่อเนื่องด้วยชุดสกัดชอกเล็ดเป็นเทคนิคที่ถูกเลือกมาสกัดผงจิงเนื่องจากชุดสกัดชอกเล็ดเป็นระบบปิด ทำให้ตัวทำละลายสามารถเคลื่อนที่หมุนเวียนไปเรื่อย ๆ ส่งผลให้การสกัดมีความสมบูรณ์ จึงสามารถเอาสารสำคัญในผงจิงออกมาได้มาก (รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2553) และยังมีข้อดี คือใช้น้ำยาสกัดน้อยไม่สิ้นเปลือง ใช้เวลาสกัดสั้นและตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดคือ Acetone เนื่องจากมีคุณสมบัติความเป็นขั้ว (Polarity) ใกล้เคียงกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในจิง เช่น 6-Gingerol ดังนั้น Acetone จึงสามารถละลายองค์ประกอบต่างๆ ในจิงออกมาในปริมาณมากได้

ตารางที่ 4.1

ผลการเปรียบเทียบปริมาณ 6-Gingerol โดยใช้ Acetone เป็นตัวทำละลายในการสกัดผงขิงด้วยวิธีสกัดแบบต่อเนื่องด้วยชุดสกัดซอกเล็ต (Soxhlet apparatus), สกัดด้วยวิธีหมัก (Maceration) และสกัดด้วยการใช้คลื่นเสียง (Sonication)

| ครั้งที่ | Sonication | | | Maceration | | | Soxhlet | | |
|------------------------------------------|-----------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 1 | 4553639 | 3260840 | 4694244 | 3184785 | 4998688 | 4439634 | 6739520 | 5185471 | 5779965 |
| 2 | 4478763 | 3955145 | 4428175 | 4235675 | 4338649 | 4429634 | 5777241 | 5288490 | 5485064 |
| 3 | 4723183 | 4604901 | 4399882 | 4307183 | 4747168 | 4615560 | 5610743 | 6519824 | 5324362 |
| ค่าเฉลี่ย | 4585195 | 3940295 | 4507434 | 3909214 | 4694835 | 4423629 | 6042501 | 5664595 | 5529797 |
| ค่าเฉลี่ยทั้งหมด | 4344308 | | | 4423629 | | | 5745631 | | |
| ความเข้มข้น ($\mu\text{g/g}$) \pm SD | 2.78 \pm 0.04 | | | 2.86 \pm 0.13 | | | 4.21 \pm 0.03 | | |



ตารางที่ 4.2

ผลการเปรียบเทียบปริมาณ 6-Gingerol โดยใช้ Methanol เป็นตัวทำละลายในการสกัดผงขิงด้วยวิธีสกัดแบบต่อเนื่องด้วยชุดสกัดซอกเล็ต (Soxhlet apparatus), สกัดด้วยวิธีหมัก (Maceration) และสกัดด้วยการใช้คลื่นเสียง (Sonication)

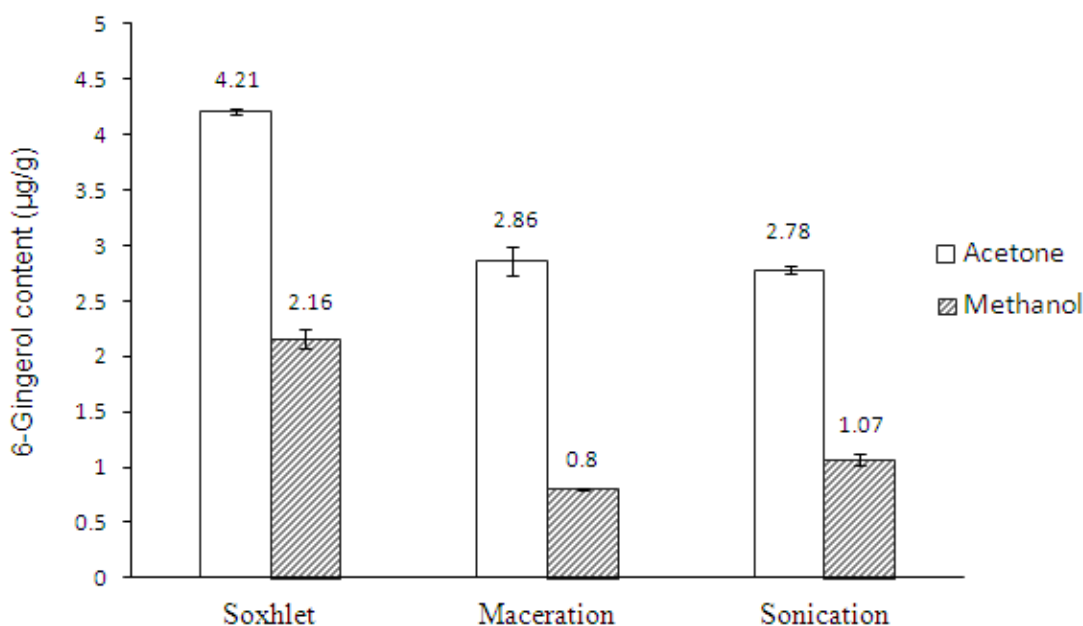
| ครั้งที่ | Sonication | | | Maceration | | | soxhlet | | |
|------------------------------------------|-----------------|---------|---------|----------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 1 | 2201548 | 2347279 | 2099496 | 2644827 | 2321340 | 2559057 | 4641385 | 3622255 | 3320595 |
| 2 | 2254814 | 2595741 | 2445508 | 2499420 | 2657298 | 2674251 | 3659685 | 3822524 | 3637417 |
| 3 | 2480968 | 2537516 | 2618051 | 3027724 | 3101211 | 2453916 | 3429976 | 4017453 | 3470663 |
| ค่าเฉลี่ย | 2312443 | 2493512 | 2387685 | 2723990 | 2693283 | 2562408 | 3907015 | 3820744 | 3456225 |
| ค่าเฉลี่ยทั้งหมด | 2659894 | | | 2397880 | | | 3734661 | | |
| ความเข้มข้น ($\mu\text{g/g}$) \pm SD | 1.07 \pm 0.05 | | | 0.8 \pm 0.01 | | | 2.16 \pm 0.09 | | |



แผนภูมิที่ 4.1

การเปรียบเทียบวิธีสกัดแบบต่อเนื่องด้วยชุดชอกเก็ต, หมัก และวิธีการใช้คลื่นเสียง

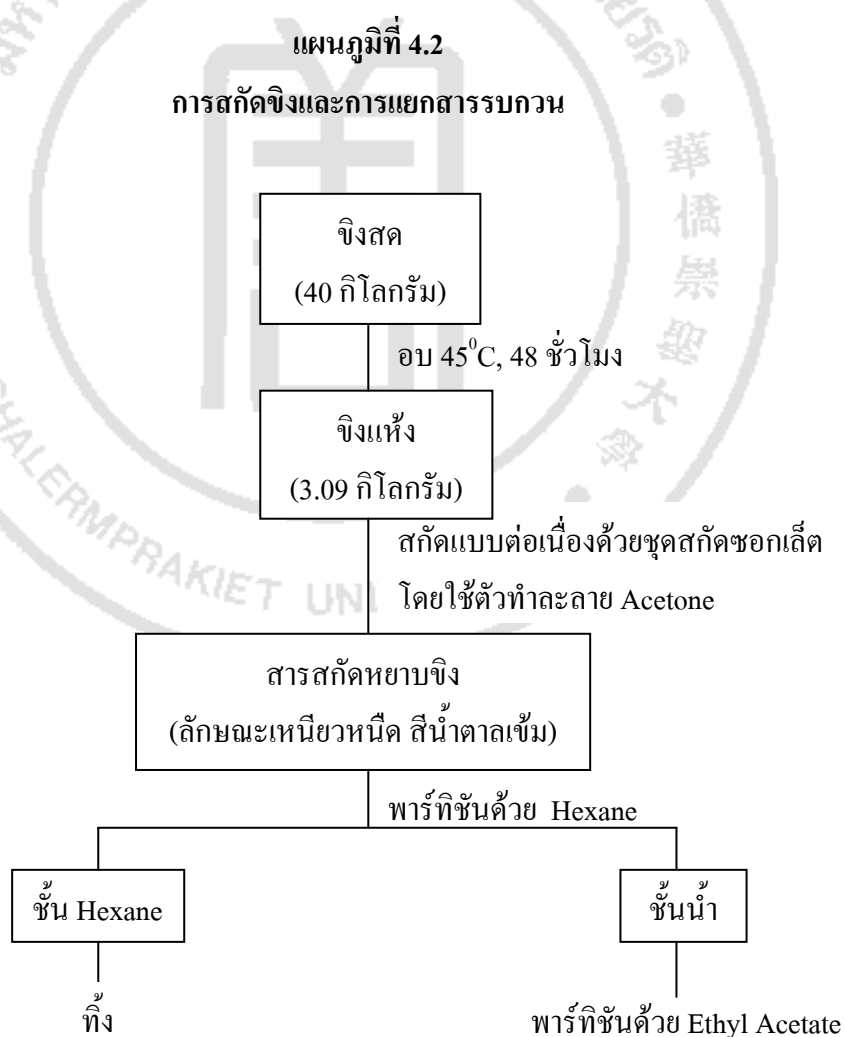
โดยแต่ละวิธีใช้ตัวทำละลาย Acetone และ Methanol



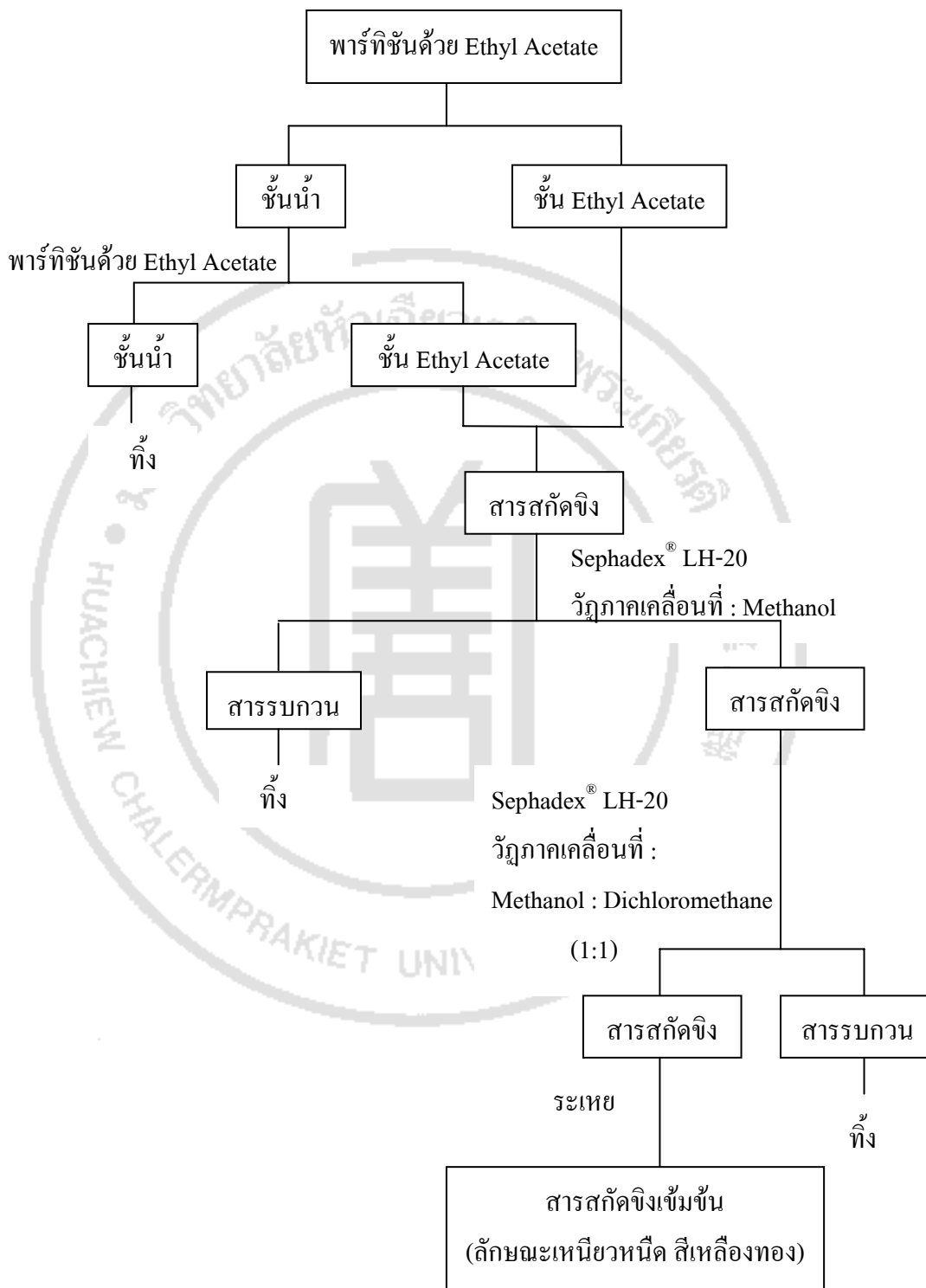
4.2 การแยกสารรบกวน

จากการนำขิงสด น้ำหนัก 40 กิโลกรัม มาทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 45°C ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ได้น้ำหนักขิงแห้ง 3.09 กิโลกรัม นำมาสกัดด้วยวิธีสกัดแบบต่อเนื่องด้วยชุดชอกเก็ตโดยใช้ตัวทำละลาย Acetone พบว่าสารสกัดขิงที่ได้ก่อนนำไประเหยแห้งเป็นสารละลายสีน้ำตาลเข้ม เมื่อทำการระเหยแห้งแล้วสารสกัดหยาบขิงที่ได้มีลักษณะเป็นยางเหนียวค่อนข้างหนืด สีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากสารสกัดขิงมีสีเข้มจึงมีผลต่อการตั้งตำรับทางเครื่องสำอาง ฉะนั้นก่อนนำสารสกัดขิงไปใช้ควรกำจัดสารรบกวนหรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ เพื่อให้สารออกฤทธิ์ในสารสกัดมีความเข้มข้นสูง ทำให้สารสกัดบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น และไม่รบกวนกระบวนการตั้งตำรับ โดยขั้นแรกจะใช้วิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลวโดยใช้ Hexane และ Ethyl Acetate เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไประเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากสารมีสีในสารสกัดหยาบขิงมีปริมาณมาก จึงนำสารสกัดหยาบขิงที่ได้จากการแยกสารด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลวมาแยกสารรบกวนที่ยังคงเหลืออยู่ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี 2 ครั้ง และตรวจสอบสารสำคัญด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบาง ก่อนการแยกสารรบกวนจะต้องเลือกสภาวะของวัฏภาคเคลื่อนที่ให้

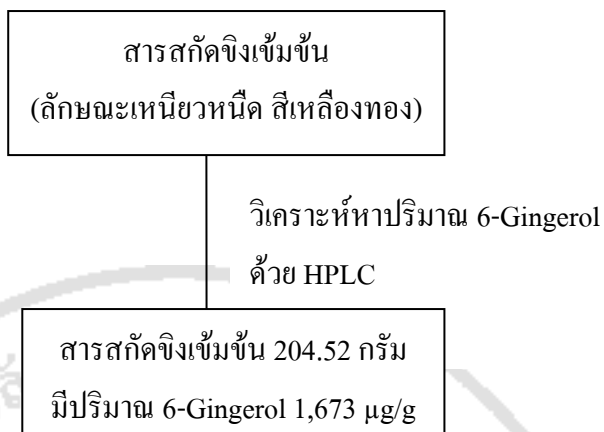
เหมาะสมกับชนิดสารสำคัญในสารสกัดที่ต้องการแยก ซึ่งวิฤภาคเคลื่อนที่ของการทำคอลัมน์โครมาโทกราฟี ครั้งที่ 1 คือ Methanol ส่วนครั้งที่ 2 ใช้สารละลายผสมคือ Methanol และ Dichloromethane อัตราส่วน 1:1 เมื่อผ่านการแยกสารรบกวนทุกขั้นตอนแล้วสารสกัดจึงเข้มข้นที่ได้มีลักษณะเหนียวหนืด สีเหลืองทอง (แผนภูมิที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.1) ร้อยละผลได้ (%Yield) ของสารสกัดหยาบจึง เท่ากับร้อยละ 6.80 จากการวิเคราะห์หาปริมาณ 6-gingerol ในสารสกัดด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูงโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ 6-Gingerol พบว่าในสารสกัดหยาบจากจึงมีปริมาณ 6-Gingerol เท่ากับ 1,673 $\mu\text{g/g}$ และพบว่าสารสกัดเข้มข้นที่ผ่านการแยกสารรบกวนมีพื้นที่ใต้พีคเท่ากับ 9474971 ซึ่งมีค่ามากกว่าพื้นที่ใต้พีคของสารสกัดหยาบจึงเริ่มต้นเท่ากับ 6739520 (ภาพที่ 4.2 และ 4.3) จากผลการทดลองแสดงว่าการแยกสารรบกวนออกจากสารสกัดจึงมีผลทำให้ปริมาณ 6-Gingerol เพิ่มขึ้น



แผนภูมิที่ 4.2 (ต่อ)



แผนภูมิที่ 4.2 (ต่อ)



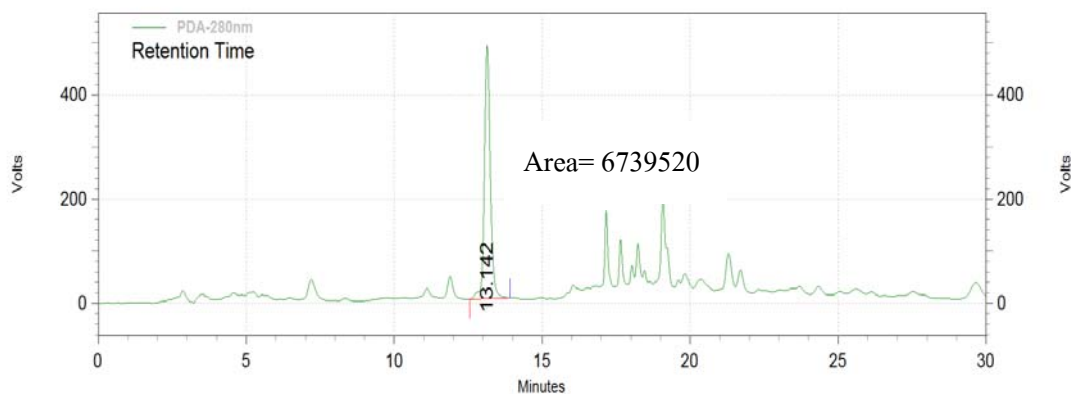
ภาพที่ 4.1

ลักษณะและสีสารสกัดขิงหลังแยกสารรบกวนด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี



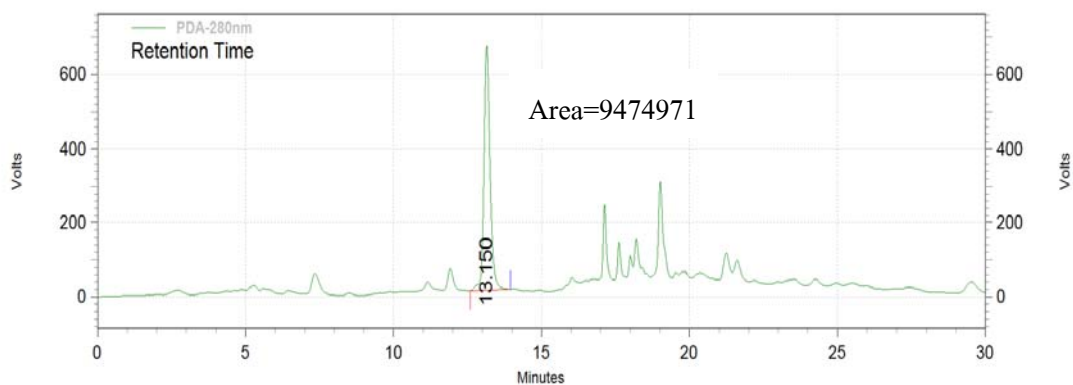
ภาพที่ 4.2

โครมาโทแกรมของ 6-Gingerol ในสารสกัดขิงก่อนการแยกสารรบกวน



ภาพที่ 4.3

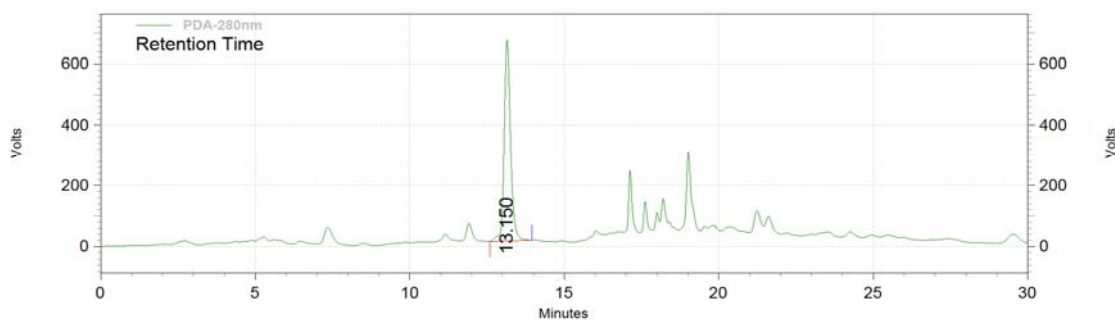
โครมาโทแกรมของ 6-Gingerol ในสารสกัดขิงหลังการแยกสารรบกวน



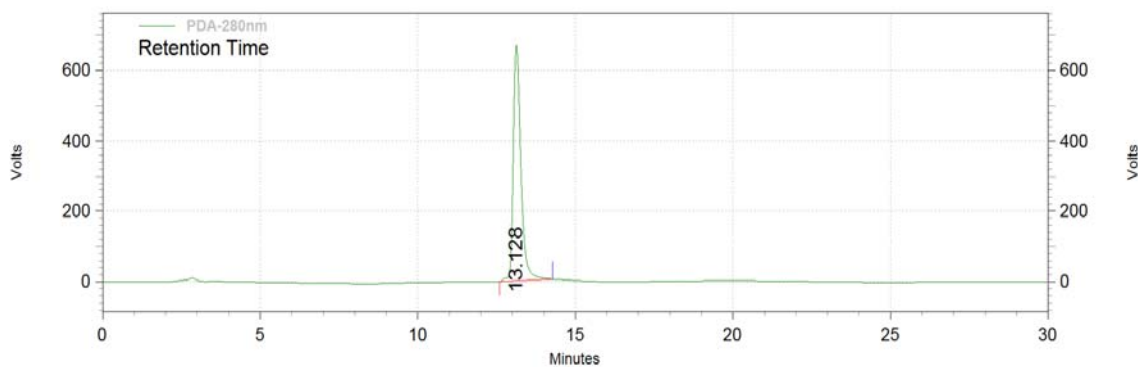
4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ 6-Gingerol ในสารสกัดขิงด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูงด้วยความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร พบว่า 6-Gingerol เป็นสารสำคัญ (ดังภาพที่ 4.4) และมีรีเทนชันไทม์ใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่ 13.150 (ดังภาพที่ 4.5) และภายใต้ฟลักของสารสกัดขิงไม่มีพีกซ้อนทับ แสดงว่า 6-Gingerol ในสารสกัดขิงเป็นตัวเดียวกันกับสารมาตรฐาน 6-Gingerol

ภาพที่ 4.4
โครมาโทแกรมของ 6-Gingerol ในสารสกัดขิง



ภาพที่ 4.5
โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน 6-Gingerol



4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)

1. ความเฉพาะเจาะจง

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สารมาตรฐาน 6-Gingerol กับการวิเคราะห์ 6-Gingerol ในสารสกัดขิงที่มีองค์ประกอบอื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย พบว่าวิธีวิเคราะห์นี้สามารถตรวจวัดเฉพาะ 6-Gingerol โดยไม่มีการรบกวนจากสารอื่นที่มีในสารสกัดขิง (ดังภาพที่ 4.4 และ 4.5)

2. ความสัมพันธ์เชิงเส้น

สร้างกราฟมาตรฐานของ 6-Gingerol โดยนิตสารละลายมาตรฐาน 6-Gingerol ความเข้มข้น 0.06 0.13 0.23 0.34 และ 0.45 $\mu\text{g/ml}$ สมการเส้นตรงได้จากการสร้างกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้พิกกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 6-Gingerol พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.9999 แสดงดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.3

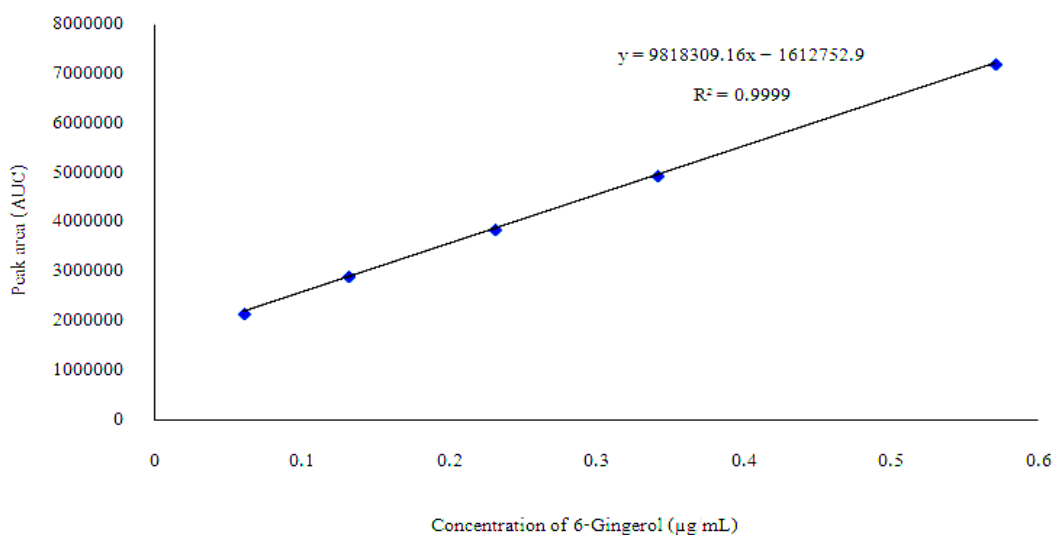
พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานของ 6-Gingerol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

| ลำดับ | ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$) | รีเทนชันไทม์ (นาที) | พื้นที่ใต้พิก |
|-------------|----------------------------------|---------------------|---------------|
| 1 | 0.06 | 13.077 | 2178481.667 |
| 2 | 0.13 | 13.024 | 2916067.67 |
| 3 | 0.23 | 12.652 | 3885896.33 |
| 4 | 0.34 | 12.677 | 4958766.67 |
| 5 | 0.57 | 12.834 | 7202906.33 |
| ความชัน | | 9818309.16 | |
| จุดตัดแกน Y | | 1612752.90 | |
| r^2 | | 0.9999 | |

หมายเหตุ : r^2 คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ภาพที่ 4.6

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 6-Gingerol



3. ความแม่นยำ

การทดสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 มีผลค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) อยู่ในช่วงร้อยละ 80.00-120.00 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับของ A.O.A.C (2005)

ตารางที่ 4.4

ค่าร้อยละการกลับคืนของสารมาตรฐาน 6-Gingerol ในสารสกัดหยาบจิง

| ระดับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 6-Gingerol ในสารสกัดหยาบจิง (%) | การกลับคืน (%) |
|---------------------------------------------------------------|----------------|
| 75 | 104.49 |
| 100 | 111.49 |
| 125 | 113.26 |
| ค่าเฉลี่ย | 109.75 |
| SD | 1.95 |

หมายเหตุ : SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ความเข้มข้น ในแต่ละความเข้มข้น
ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. ความเที่ยง

ทดสอบความเที่ยงของการวิเคราะห์ โดยทดสอบในวันเดียวกัน (Intra-Day) และต่างวัน (Inter-Day) ได้ผลดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการทดสอบในวันเดียวกันมีค่าเท่ากับ 1.15 และทดสอบต่างวันมีค่าเท่ากับ 1.39 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 2 แสดงว่าวิธีที่เลือกใช้และเครื่องมือมีความเที่ยงในการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ 6-Gingerol ในสารสกัดขิง

ตารางที่ 4.5

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของความเที่ยงในวันเดียวกันของการวิเคราะห์

| ครั้งที่ | สารสกัดขิงความเข้มข้น 0.13 (µg/ml) | |
|-----------|------------------------------------|---------------|
| | t_R (นาที) | พื้นที่ใต้พีค |
| 1 | 12.95 | 2327816 |
| 2 | 12.25 | 2341637 |
| 3 | 12.28 | 2342354 |
| 4 | 12.81 | 2315266 |
| 5 | 12.20 | 2356823 |
| 6 | 12.53 | 2392844 |
| ค่าเฉลี่ย | 12.50 | 2346123.33 |
| SD | | 26903.43 |
| %RSD | | 1.15 |

หมายเหตุ : t_R คือ รีเทนชันไทม์ (Retention Time)

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองซ้ำ 6 ครั้ง

%RSD คือ ร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ตารางที่ 4.6

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของความเที่ยงต่างวันของการวิเคราะห์

| ครั้งที่ | สารสกัดหยาบิงความเข้มข้น 0.13 (µg/ml) | |
|-----------|---------------------------------------|---------------|
| | t _R (นาที) | พื้นที่ใต้พีค |
| 1 | 12.68 | 2345596 |
| 2 | 12.25 | 2392725 |
| 3 | 12.97 | 2310062 |
| 4 | 12.34 | 2319868 |
| 5 | 12.12 | 2314619 |
| 6 | 12.08 | 2362575 |
| ค่าเฉลี่ย | 12.57 | 2340907.67 |
| SD | | 32439.94 |
| %RSD | | 1.39 |

หมายเหตุ : t_R คือ รีเทนชันไทม์ (Retention Time)

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองซ้ำ 6 ครั้ง

%RSD คือ ร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

4.5 การพัฒนาสูตรตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐาน

จากการเตรียมนาโนอิมัลชันด้วยเทคนิค Spontaneous Emulsification โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้ น้ำมันมะพร้าว Cremophor[®] ELP (สารลดแรงตึงผิว) Acetone (สารลดแรงตึงผิวร่วม) และวัฏภาคน้ำ ทำให้ได้นาโนอิมัลชันที่มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสัดส่วนที่ใช้ในแต่ละสูตร โดยรวมพบว่ามีลักษณะโปร่งแสง สีขาวเหลืองฟ้าและสีขาวขุ่น ในการวิจัยครั้งนี้จะเน้นศึกษาส่วนที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของตำรับนาโนอิมัลชันมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพอย่างชัดเจน เช่น ปริมาณสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม น้ำมันมะพร้าว และ Squalene เป็นต้น ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในลำดับต่อไป

งานวิจัยนี้เลือกใช้ Cremophor[®] ELP เนื่องจากเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุจึงมีความปลอดภัย ไม่ระคายเคือง และเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดพอลิเมอร์ ซึ่งจะช่วยป้องกัน

การรวมตัวกันของหยดอนุภาคได้ นิยมใช้ในตำรับยาและเครื่องสำอางประเภทนาโนอิมัลชัน และยัง เป็นสารลดแรงตึงผิวที่เป็นของเหลว ไม่จำเป็นต้องผ่านความร้อนในกระบวนการทำอิมัลชัน สารลดแรงตึงผิวร่วมที่เลือกใช้ในการตั้งตำรับนาโนอิมัลชันควรพิจารณาจากความเป็นพิษของ ตัวทำละลายที่ใช้โดยตัวทำละลายนั่น ๆ ควรเป็นตัวทำละลายที่ถูกใช้ในกระบวนการเภสัชกรรม โดยเลือกจากเภสัชตำรับยุโรป (European Pharmacopeia, 2002) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Acetone เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ง่าย สามารถละลายน้ำและองค์ประกอบต่าง ๆ ใน สารสกัดได้ดี มีความเป็นพิษต่ำ และระคายเคืองน้อย

4.5.1 การศึกษาปริมาณน้ำมันมะพร้าวในตำรับโดยใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวคงที่

จากการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวในตำรับโดยใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว คงที่ ร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ปรากฏว่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามปริมาณของน้ำมันที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้ตำรับที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ไม่คงตัว เกิดการแยกชั้น แสดงผลดังตารางที่ 4.7 ตำรับที่ เหมาะสมที่สุดมีปริมาณน้ำมันมะพร้าว ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยไม่เกิน 500 นาโนเมตร มีความคงตัวดี ไม่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ 4.7

การศึกษาปริมาณน้ำมันมะพร้าวในตำรับโดยใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวคงที่

| สูตร | ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ร้อยละ/โดยน้ำหนัก) | ขนาดหยดอนุภาค เฉลี่ย (nm)±SD | PI เฉลี่ย±SD | ลักษณะทางกายภาพ |
|------|--------------------------------------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------------------|
| A1 | 1 | 171.77±1.59 | 0.16±0.02 | โปร่งแสงเกือบฟ้า กระจายตัวดี ไม่แยกชั้น |
| A2 | 5 | 352.19±1.34 | 0.13±0.02 | ขาวขุ่น กระจายตัวดี แยกชั้นภายหลัง 1 วัน |
| A3 | 10 | 489.14±1.55 | 0.11±0.01 | ขาวขุ่น กระจายตัวดี แยกชั้นภายหลัง 1 วัน |
| A4 | 15 | 616.32±1.20 | 0.20±0.01 | ขาวขุ่น กระจายตัวดี แยกชั้นภายหลัง 1 วัน |

หมายเหตุ : วัดซ้ำ 3 ครั้ง

4.5.2 การศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในตำรับโดยใช้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวคงที่

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในตำรับโดยใช้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวคงที่ ทำการเปรียบเทียบการใช้สารลดแรงตึงผิว (Cremophor[®] ELP) ปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 2 4 6 และ 8 โดยน้ำหนัก พบว่าโดยรวมทุกตำรับมีความคงตัวดี ไม่เกิดการแยกชั้น ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือ ไม่เกิน 500 นาโนเมตร จากการศึกษาพบว่า ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยลดลงตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Baret, J.C., et al. (2009) ที่กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วสารลดแรงตึงผิวมีส่วนช่วยในการเกิดอิมัลชัน โดยจะแทรกตัวอยู่ที่บริเวณผิวประจัน (Interface) ระหว่างชั้นของน้ำมันและน้ำ (Baret, J.C., et al. 2009) สารลดแรงตึงผิวที่มากพอจะสามารถห่อหุ้มหยดน้ำมันไว้ได้อย่างสมบูรณ์ ช่วยลดแรงตึงระหว่างเมทริกซ์ของน้ำมันและวัฏภาคน้ำ ทำให้หยดอนุภาคไม่รวมตัวกันจึงส่งผลให้อนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กลง

จากตารางที่ 4.8 พบว่าสูตรตำรับ B2 ที่ประกอบด้วยน้ำมันมะพร้าว ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และสารลดแรงตึงผิว (Cremophor[®] ELP) ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เป็นตำรับที่เหมาะสมที่จะนำไปศึกษาหัวข้อต่อไป เนื่องจากขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยของตำรับ B2 มีขนาดเล็กกว่าสูตร B1 และปริมาณสารลดแรงตึงผิว ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ในสูตร B1 อาจไม่เพียงพอต่อการนำไปศึกษาขั้นต่อไป แสดงให้เห็นว่าการใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในตำรับจะช่วยส่งเสริมการเกิดหยดอนุภาคขนาดเล็กได้ดีกว่าตำรับที่ใช้สารลดแรงตึงผิวความเข้มข้นต่ำ และเนื่องจากสูตร B2 ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรตำรับอื่นที่มีขนาดหยดอนุภาคใกล้เคียงกัน จึงมีแนวโน้มในการก่อระคายเคืองผิวหนังต่ำ และประหยัดต้นทุนในการผลิตมากกว่าสูตรอื่น สูตร B2 จึงถูกเลือกเป็นตำรับตัวแทนเพื่อไปศึกษาในขั้นตอนอื่นต่อไป

ตารางที่ 4.8
การศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในตำรับโดยใช้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวคงที่

| สูตร | ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (ร้อยละ/โดยน้ำหนัก) | ขนาดหยดอนุภาค เฉลี่ย (nm) \pm SD | PI เฉลี่ย \pm SD | ลักษณะทางกายภาพ |
|------|---------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|
| B1 | 2 | 196.60 \pm 1.50 | 0.10 \pm 0.02 | ขาวขุ่น กระจายตัวดี ไม่แยกชั้น |
| B2 | 4 | 176.07 \pm 1.57 | 0.10 \pm 0.01 | โปร่งแสง ขุ่นเล็กน้อย กระจายตัวดี ไม่แยกชั้น |
| B3 | 6 | 172.10 \pm 2.05 | 0.16 \pm 0.02 | โปร่งแสง ขุ่นเล็กน้อย กระจายตัวดี ไม่แยกชั้น |
| B4 | 8 | 142.80 \pm 2.50 | 0.30 \pm 0.01 | โปร่งแสง เหลือบฟ้า กระจายตัวดี ไม่แยกชั้น |

หมายเหตุ : วัดซ้ำ 3 ครั้ง

4.5.3 การศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วมในตำรับ

ปรับเปลี่ยนปริมาณสารลดแรงตึงผิวตั้งแต่ ร้อยละ 20 ถึง 50 โดยน้ำหนัก พบว่าหากปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วมมากขึ้นส่งผลให้ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยของนาโนอิมัลชันลดลงตามลำดับ สูตรตำรับ C3 ที่มีสารลดแรงตึงผิวร่วม (Acetone) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการตั้งตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐาน (ตารางที่ 4.9) เนื่องจากได้ตำรับที่มีหยดอนุภาคเฉลี่ยขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับสูตร C1 และ C2 เมื่อทดลองใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยที่ได้ใกล้เคียงกับสูตร C3 ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการนำตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐานไปใช้ในอาสาสมัครจึงเลือกตำรับที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ไม่สูงจนเกินไป

ตารางที่ 4.9

การศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วมในตำรับ

| สูตร | ปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วม (ร้อยละ/โดยน้ำหนัก) | ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ย (nm) \pm SD | PI เฉลี่ย \pm SD |
|------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| C1 | 20 | 197.90 \pm 1.25 | 0.25 \pm 0.01 |
| C2 | 30 | 188.53 \pm 1.24 | 0.24 \pm 0.04 |
| C3 | 40 | 176.07 \pm 1.57 | 0.45 \pm 0.01 |
| C4 | 50 | 174.20 \pm 1.45 | 0.57 \pm 0.02 |

หมายเหตุ: วัคซีน 3 ครั้ง

4.5.4 การใช้น้ำมันผสมในวัฏภาคน้ำมันเพื่อตั้งตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐาน

ในการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการหาส่วนประกอบและสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้ตั้งตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐานโดยใช้น้ำมันมะพร้าวเพียงชนิดเดียวเป็นตัวแทนของการศึกษา แต่อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณของน้ำมันมีส่วนสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติ และความคงตัวของอิมัลชัน (Bouchemal, K., et al. 2004) ดังนั้นจึงทำการศึกษาน้ำมันผสมในวัฏภาคน้ำมันโดยเลือกใช้ Squalene ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่พบในพืช สัตว์ และมนุษย์ นิยมใช้มากในการเตรียมวัคซีน และการนำส่งผ่านสารสำคัญในรูปแบบอิมัลชันเพื่อเพิ่มความคงตัวแก่ตำรับ (Fox, B.C. 2009) สูตรตำรับเบื้องต้นที่เลือกมาประกอบด้วย น้ำมันมะพร้าว ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก Cremophor® ELP ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และ Acetone ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก น้ำมันผสมที่ใช้เป็นส่วนผสมระหว่าง น้ำมันมะพร้าว กับ Squalene อัตราส่วนดังนี้ 1.0:0 0.98:0.02 0.96:0.04 0.94:0.06 0.92:0.08 0.9:0.1 0.8:0.2 และ 0:1 ลักษณะปรากฏทางกายภาพของนาโนอิมัลชันพื้นฐานที่เตรียมได้ทุกตำรับ แสดงดังตารางที่ 4.10 โดยรวมมีลักษณะเป็นของเหลว โปร่งแสง ไม่รู้สึกเหนอะหลังจากทา และกระจายตัวดี ยกเว้นตำรับ D8 เกิดการแยกชั้นหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu, W., et al. (2006) ที่กล่าวว่า การใช้ Squalene ไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นน้ำมันในตำรับเพียงตัวเดียว เพราะจะส่งผลให้ตำรับไม่มีความคงตัว

จากตารางที่ 4.10 เมื่อนำ Squalene มาผสมกับน้ำมันมะพร้าวเพื่อตั้งตำรับนาโนอิมัลชัน ปรากฏว่า Squalene ไม่มีผลต่อขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ย แต่มีผลต่อค่าซีต้าโพเทนเชียลซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Edresi, S. and Baie, S. (2009) คือเมื่อเพิ่มปริมาณของ Squalene จากร้อยละ 0

โดยน้ำหนัก ถึงร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าซีต้าโพเทนเชียลเพิ่มขึ้นจาก -12.3 mV ถึง -19.7 mV การวัดค่าซีต้าโพเทนเชียลช่วยในการทำนายความคงตัวของทางกายภาพของระบบคอลลอยด์ (Müll, R.H., et al. 2000, Mehnert, W., and Mäder, K. 2001) ค่าซีต้าโพเทนเชียลขึ้นอยู่กับทั้งโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวอนุภาค และไอออนที่อยู่ในตัวกลางกระจาย นอกจากนี้ค่านี้ยังขึ้นอยู่กับระยะห่าง เช่น ยิ่งเข้าใกล้ผิวอนุภาคประจุที่ผิวจะมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4.10

ผลการใช้น้ำมันผสมในวัฏภาคน้ำมันเพื่อตั้งตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐาน

| สูตร | น้ำมันมะพร้าว (%) | Squalene (%) | ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ย (nm)±SD | PI เฉลี่ย±SD | ค่าซีต้าโพเทนเชียล (mV)±SD |
|------|-------------------|--------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|
| D1 | 1.00 | 0.00 | 107.4±0.4 | 0.19±0.01 | -12.3±0.6 |
| D2 | 0.98 | 0.02 | 148.2±0.9 | 0.19±0.01 | -14.9±1.3 |
| D3 | 0.96 | 0.04 | 155.0±3.5 | 0.18±0.01 | -16.0±1.8 |
| D4 | 0.94 | 0.06 | 148.7±0.3 | 0.20±0.01 | -16.2±1.2 |
| D5 | 0.92 | 0.08 | 177.5±1.0 | 0.27±0.01 | -17.5±0.3 |
| D6 | 0.90 | 0.10 | 169.2±2.2 | 0.25±0.21 | -18.2±0.5 |
| D7 | 0.80 | 0.20 | 112.0±4.7 | 0.24±0.26 | -19.7±0.1 |
| D8 | 0.00 | 1.00 | วัดไม่ได้ | วัดไม่ได้ | วัดไม่ได้ |

หมายเหตุ : วัดซ้ำ 3 ครั้ง

4.5.5 ผลของ Squalene ต่อลักษณะของนาโนอิมัลชัน

สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันระหว่างน้ำมันมะพร้าวและ Squalene คือ 0.8:0.2 จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ Squalene ตั้งแต่ร้อยละ 0.1-0.6 โดยน้ำหนัก และตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลา 3 เดือน ผลการศึกษาพบว่าการใช้ Squalene ร้อยละ 0.1 และ 0.2 โดยน้ำหนัก ทำให้ตำรับไม่เกิดการแยกชั้น ส่วนการใช้ Squalene ร้อยละ 0.4 และ 0.6 โดยน้ำหนัก ทำให้ตำรับไม่มีความคงตัว สังเกตได้จากการแยกชั้น แสดงผลดังตารางที่ 4.11 จากผลทางกายภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า Squalene มีส่วนช่วยในการเพิ่มความคงตัวได้ การเพิ่มความคงตัวของทางกายภาพเกิดจากคุณสมบัติของ Squalene ซึ่งเป็นน้ำมันที่สามารถเข้ากันได้ (Miscible)

กับน้ำมันมะพร้าวโดยสามารถละลาย และอยู่ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ในสัดส่วนที่เหมาะสม แต่หากเพิ่มปริมาณ Squalene มากเกินไป ก็จะมีผลต่อความคงตัวของตำรับเช่นกัน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณ Squalene ในตำรับนั้นควรคำนึงถึงปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในตำรับด้วย

ตารางที่ 4.11

ผลของ Squalene ต่อลักษณะของนาโนอิมัลชัน

| สูตร | ปริมาณ Squalene (ร้อยละ/โดยน้ำหนัก) | ขนาดหยดอนุภาค เฉลี่ย (nm)+SD | PI เฉลี่ย±SD | ลักษณะทางกายภาพ |
|------|----------------------------------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------------------|
| E1 | 0.1 | 171.2± 1.3 | 0.11±0.04 | โปร่งแสงเหลืองฟ้า ความคงตัวดี ไม่แยกชั้น |
| E2 | 0.2 | 124.7±1.2 | 0.18±0.03 | โปร่งแสง ขุ่นเล็กน้อย ไม่แยกชั้น |
| E3 | 0.4 | 199.6±1.6 | 0.17±0.05 | สีขาวขุ่น ไม่คงตัว แยกชั้นภายใน 3 เดือน |
| E4 | 0.6 | 212.6±2.6 | 0.09±0.02 | สีขาวขุ่น ไม่คงตัว แยกชั้นภายใน 3 เดือน |

หมายเหตุ : วัดซ้ำ 3 ครั้ง

4.6 การเตรียมนำนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิง

4.6.1 การศึกษานาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงร่วมกับการใช้น้ำมันผสม

คัดเลือกสูตรตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐานจากข้อ 4.5.4 ที่มีความคงตัวมาศึกษาต่อโดยการเติมสารสกัดขิงปริมาณ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เตรียมด้วยเทคนิค Spontaneous Emulsification ลักษณะปรากฏทางกายภาพของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงที่เตรียมได้ทุกตำรับมีลักษณะเป็นของเหลว สีเหลืองทองตามสีของสารสกัดขิง ดังภาพที่ 4.7 ไม่รู้สึกเหนอะหลังจากทาบนผิวหนัง ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ย ค่าการกระจาย (PI) และค่าซีต้าโพเทนเชียล แสดงดังตารางที่ 4.12 ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 119.9-188.5 นาโนเมตร ซึ่งขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยทุกตำรับอยู่ในเกณฑ์การคัดเลือก คือไม่เกิน 500 นาโนเมตร ค่า PI เป็นค่าที่บอกการกระจายขนาดหยดอนุภาค

ผลการทดลอง พบว่า ค่า PI อยู่ในช่วง 0.18-0.23 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าอนุภาคนาโนอิมัลชันที่เตรียมได้มีการกระจายดี (Al-Edresi, S. and Baie, S. 2009) ค่าซีต้าโพเทนเชียลช่วยในการทำนายความคงตัวของระบบคอลลอยด์ (Müll, R.H., et al. 2000, Mehnert, W., and Mäder, K. 2001) ค่าซีต้าโพเทนเชียลที่ได้อยู่ในช่วง -11.9 ถึง -20.8 mV แสดงว่าอนุภาคของทุกตำรับมีประจุลบ

ภาพที่ 4.7

ตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐาน (ซ้าย) และตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดชิง (ขวา)



ตารางที่ 4.12

ขนาดและการกระจายขนาดของตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดชิงร่วมกับการใช้น้ำมันผสม

| สูตร | น้ำมันมะพร้าว (%) | Squalene (%) | ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ย (nm) \pm SD | PI เฉลี่ย \pm SD | ค่าซีต้าโพเทนเชียล (mV) \pm SD |
|------|-------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| D1 | 1.00 | 0.00 | 119.9 \pm 2.6 | 0.19 \pm 1.34 | -11.9 \pm 0.3 |
| D2 | 0.98 | 0.02 | 151.0 \pm 1.6 | 0.18 \pm 1.02 | -15.2 \pm 2.6 |
| D3 | 0.96 | 0.04 | 161.8 \pm 3.9 | 0.19 \pm 0.02 | -16.5 \pm 2.8 |
| D4 | 0.94 | 0.06 | 146.7 \pm 1.9 | 0.18 \pm 0.35 | -16.3 \pm 2.2 |
| D5 | 0.92 | 0.08 | 188.5 \pm 1.6 | 0.20 \pm 0.01 | -16.0 \pm 0.4 |
| D6 | 0.90 | 0.10 | 170.0 \pm 1.3 | 0.20 \pm 0.03 | -19.9 \pm 0.7 |
| D7 | 0.80 | 0.20 | 122.2 \pm 2.2 | 0.23 \pm 0.25 | -20.8 \pm 0.4 |

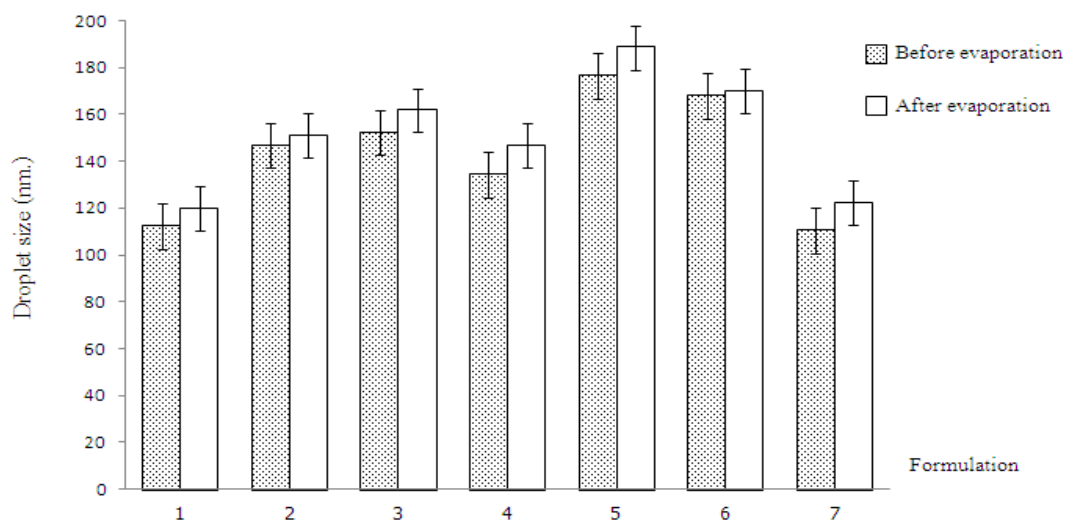
หมายเหตุ: วัดซ้ำ 3 ครั้ง

4.6.2 ผลของการระเหยตัวทำละลายต่อลักษณะนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดชิง

จากการศึกษาผลของการระเหยตัวทำละลายต่อลักษณะนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดชิง โดยเปรียบเทียบขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดชิงก่อนการระเหยและหลังการระเหยตัวทำละลาย พบว่าหลังการระเหยตัวทำละลายส่งผลให้ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยของนาโนอิมัลชันเพิ่มขึ้นทุกสูตรตำรับ แสดงดังแผนภูมิที่ 4.3 อาจเนื่องมาจากการระเหยตัวทำละลาย Acetone ในวิภาคภายนอกออกไปทำให้หยดน้ำมันเล็ก ๆ รวมตัวจับกลุ่มเป็นก้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bouchemal, K., et al. (2004) ถึงแม้ว่าทุกตำรับมีขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ยังคงมีความคงตัวอยู่ไม่เกิดการแยกชั้นแต่อย่างใด

แผนภูมิที่ 4.3

การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันก่อนและหลังการระเหยตัวทำละลาย



4.7 การประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ

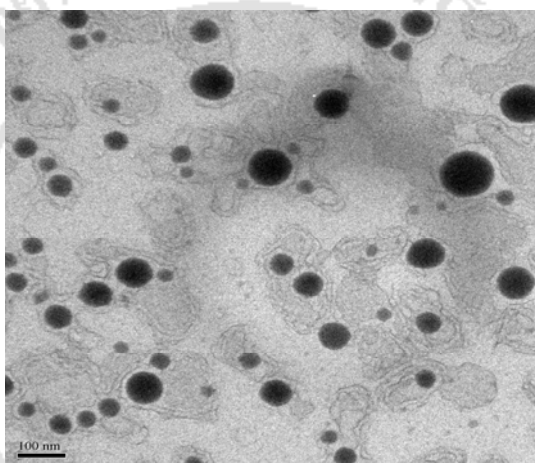
4.7.1 สัณฐานวิทยาและโครงสร้าง

ตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐานที่นำมาส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านเป็นตำรับที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าว และ Squalene ในอัตราส่วน 0.8:0.2 Cremophor® ELP ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และ Acetone ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดชิงประกอบด้วย น้ำมันมะพร้าว และ Squalene ในอัตราส่วน 0.8:0.2 Cremophor® ELP ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก Acetone ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และสารสกัดชิง ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จากการตรวจลักษณะสัณฐานวิทยา

และโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านพบว่า ทั้ง 2 คำรับ มีลักษณะคล้ายกันคือเป็นหยดของเหลวทรงกลมมีขนาดเล็กกว่า 500 นาโนเมตร ถูกล้อมรอบด้วยชั้นของสารลดแรงตึงผิวที่เกิดจากการใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในปริมาณสูง ดังภาพที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ciotti, S., et al. (2009) ที่ได้เตรียมนาโนอิมัลชันผสม Benzyl Peroxide

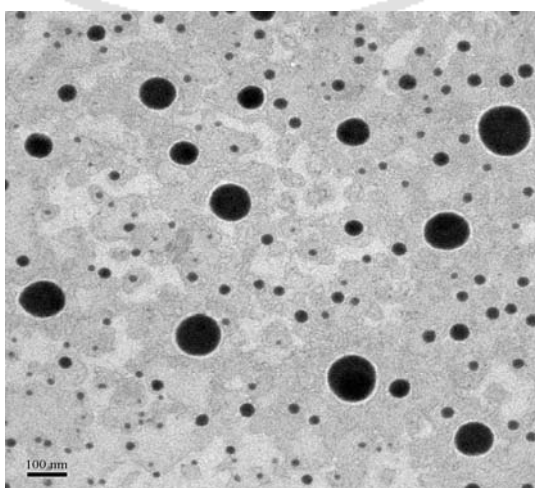
ภาพที่ 4.8

ลักษณะนาโนอิมัลชันพื้นฐานที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



ภาพที่ 4.9

ลักษณะนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



4.7.2 การศึกษาความคงตัวของกายภาพ

ในการทดสอบความคงตัวของกายภาพ ผู้ทำวิจัยเลือกตำรับที่มีน้ำมันมะพร้าว และ Squalene ในอัตราส่วน 0.8:0.2 Cremophor[®] ELP ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก Acetone ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และ สารสกัดขิง ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มาศึกษาที่อุณหภูมิ 4^oC และ 30^oC ระยะเวลา 3 เดือน เพื่อเป็นการยืนยันผลการคัดเลือกตำรับที่จะนำไปใช้ในการประเมินการระคายเคือง ประสิทธิภาพและความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อไป ผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าที่อุณหภูมิ 4^oC ตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงมีความคงตัวดี ไม่เกิดการแยกชั้น มีสีเหลืองทองตามสีของสารสกัดขิง เมื่อตรวจวัดขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยในแต่ละเดือนพบว่า สองเดือนแรกขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยไม่มีการเปลี่ยนแปลง และขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเข้าเดือนที่สาม ส่วนการเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 30^oC พบว่าสีของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงเปลี่ยนแปลงไปคือ มีลักษณะสีเหลืองคล้ำ ไม่เกิดการแยกชั้น ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จากการทดลองนี้ทำให้ทราบว่านาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงไม่คงสภาพในอุณหภูมิ 30^oC ดังนั้นการเก็บรักษาจึงควรเก็บผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงในอุณหภูมิต่ำ ๆ เพื่อรักษาความคงตัวของสารสกัดขิง

ตารางที่ 4.13

การทดสอบความคงตัวของกายภาพที่อุณหภูมิ 4^oC และ 30^oC ระยะเวลา 3 เดือน

| เดือน | อุณหภูมิ 4 ^o C | | | อุณหภูมิ 30 ^o C | | |
|-------|-----------------------------|--------------|------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------------|
| | ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ย (nm)±SD | PI เฉลี่ย±SD | ลักษณะ | ขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ย (nm)±SD | PI เฉลี่ย ±SD | ลักษณะ |
| 1 | 122.3+0.58 | 0.21±0.25 | สีเหลืองทอง ไม่แยกชั้น | 122.6±0.25 | 0.20±0.21 | สีเหลืองคล้ำ ไม่แยกชั้น |
| 2 | 122.3+1.18 | 0.22±0.27 | สีเหลืองทอง ไม่แยกชั้น | 123.0±0.76 | 0.21±0.22 | สีเหลืองคล้ำ ไม่แยกชั้น |
| 3 | 123.4+0.20 | 0.22±0.25 | สีเหลืองทอง ไม่แยกชั้น | 123.9±0.72 | 0.21±0.25 | สีเหลืองคล้ำ ไม่แยกชั้น |

หมายเหตุ : วัดซ้ำ 3 ครั้ง

การทดสอบความคงสภาพโดยวิธีเร่งเป็นการทดสอบในสภาวะร้อนสลับเย็น (Heating Cooling Cycle) จำนวน 6 รอบ โดยนำตัวอย่างมาบรรจุลงในขวดแก้วสีชาและปิดฝาให้สนิทแล้วนำขวดอิมัลชันใส่ในตู้อบ อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำเข้าตู้เย็น อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่านาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงไม่เกิดการแยกชั้น แต่สีของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงเปลี่ยนจากสีเหลืองทองเป็นสีเหลืองออกน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้อ 4.7.2 ที่พบว่าเมื่อตั้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 30°C ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนสี แสดงว่าเมื่อตัวอย่างถูกย้ายไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C สารสำคัญในสารสกัดขิงที่ไม่ทนความร้อนจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นชนิดอื่นได้ ทำให้ตำรับที่ได้มีสีเหลืองคล้ำ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อความคงสภาพของตำรับนาโนอิมัลชัน

4.8 การประเมินความคงตัวทางเคมี

หลังจากทดสอบความคงตัวทางเคมีของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงโดยวิธีเร่งในสภาวะร้อนสลับเย็นที่อุณหภูมิ 45°C และ 4°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จำนวน 6 รอบ แสดงผลดังตารางที่ 4.14 เมื่อวิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติแบบ Paired T-test พบว่าหลังจากการทดสอบในสภาวะเร่ง ตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงมีปริมาณ 6-Gingerol ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 7.52 ในทำนองเดียวกันกับผลการศึกษาของ นลัท ถาวรเจริญรักษ์ และคณะ (2552) ที่ศึกษาความคงตัวทางเคมีของอิมัลชันผสมสารสกัดขิงด้วยวิธีเร่งพบว่า ปริมาณ 6-Gingerol ลดลงเช่นกัน กล่าวได้ว่าอุณหภูมิมิผลต่อความคงตัวทางเคมีของ 6-Gingerol ในตำรับ

ตารางที่ 4.14

ปริมาณของ 6-Gingerol คงเหลือในตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิง

| ครั้งที่ | ปริมาณ/ร้อยละของ 6-Gingerol คงเหลือ | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| | ก่อน | หลัง |
| 1 | 11.18 | 10.33 |
| 2 | 11.00 | 10.55 |
| 3 | 12.15 | 10.87 |
| ความเข้มข้นเฉลี่ย ($\mu\text{g/mL}$) \pm SD | 11.44 \pm 0.62 | 10.58 \pm 0.27 |
| ร้อยละ | 100 | 92.48 |
| P=0.05 | 0.035 | |

4.9 การศึกษาอัตราการเกิดออกสวาสด์ไโรเพนนิ่ง

จากการศึกษาผลของการใช้น้ำมันมะพร้าวร่วมกับ Squalene ในสัดส่วนต่างกันพบว่า อัตราการเกิดออกสวาสด์ไโรเพนนิ่งลดลง เมื่อสัดส่วนการใช้ Squalene เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Squalene มีประจุลบเมื่อเติมลงไปตำรับทำให้ไปเพิ่มประจุบริเวณผิวของนาโนอิมัลชันมากขึ้นทำให้หยดน้ำมันเกิดการผลักกันตลอดเวลา ช่วยลดการเกิดการรวมกลุ่มกัน ยิ่งประจุที่ผิวเป็นลบมากเท่าไร ความคงตัวก็จะมากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้อัตราการเกิดออกสวาสด์ไโรเพนนิ่งลดลงตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าการเพิ่ม Squalene ในตำรับมีผลโดยตรงต่อความคงตัวของนาโนอิมัลชัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu, W., et al. (2006)

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการศึกษาอัตราการเกิดออกสวาสด์ไโรเพนนิ่งในตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงในระยะ 7 วัน พบว่าทุกตำรับมีอัตราการเกิดออกสวาสด์ไโรเพนนิ่งต่ำ แสดงว่ามีความคงสภาพดี แต่ตำรับที่มีอัตราการเกิดออกสวาสด์ไโรเพนนิ่งต่ำที่สุดคือ สูตรตำรับที่ 7 เท่ากับ 0.11 nm/day^{-1} ดังนั้นตำรับ D7 จึงถูกเลือกเพื่อนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจในอาสาสมัคร

ตารางที่ 4.15

การศึกษาอัตราการเกิดออสวาลด์ไโรเพนนิ่งในตำรับนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดจิงในระยะเวลา 7 วัน

| สูตร | น้ำมัน มะพร้าว (%) | Squalene (%) | ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (nm)±SD 0 วัน | ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (nm)±SD 7 วัน | Ostwald Ripening (nm/day ⁻¹) |
|------|--------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| D1 | 1 | 0 | 119.90±2.60 | 163.8±1.32 | 0.7 |
| D2 | 0.98 | 0.02 | 151.00±1.60 | 156.75±1.58 | 0.25 |
| D3 | 0.96 | 0.04 | 161.80±3.90 | 163.34±0.45 | 0.22 |
| D4 | 0.94 | 0.06 | 146.70±1.90 | 147.96±2.55 | 0.18 |
| D5 | 0.92 | 0.08 | 188.50±1.60 | 189.62±2.31 | 0.16 |
| D6 | 0.9 | 0.1 | 170.00±1.30 | 171.05±1.72 | 0.15 |
| D7 | 0.8 | 0.2 | 122.20±2.20 | 122.97±0.85 | 0.11 |

หมายเหตุ : วัดซ้ำ 3 ครั้ง

4.10 การประเมินการระคายเคือง ประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์

4.10.1 การประเมินการระคายเคืองต่อผิวหนัง

จากการทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังของตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐานและนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดจิงในอาสาสมัครจำนวน 20 คน ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่าตำรับทั้งหมดที่พัฒนาได้ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้หรือการระคายเคืองกับผิวของอาสาสมัครแต่อย่างใด จึงสรุปได้ในเบื้องต้นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมีความปลอดภัยต่อการนำไปใช้เป็นเครื่องสำอาง

ตารางที่ 4.16

การประเมินการเกิดการระคายเคืองของตำรับนาโนอิมัลชันพื้นฐานและนาโนอิมัลชัน
ผสมสารสกัดขิง

| ตำรับ | คะแนนเฉลี่ยอาการที่เกิดขึ้นที่เวลา | | | |
|---------------------------|------------------------------------|------------|------------|------------|
| | 1 ชั่วโมง | 24 ชั่วโมง | 48 ชั่วโมง | 72 ชั่วโมง |
| นาโนอิมัลชันพื้นฐาน | 0 | 0 | 0 | 0 |
| นาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิง | 0 | 0 | 0 | 0 |

หมายเหตุ คะแนนเฉลี่ยจากอาสาสมัคร 20 คน และระดับการให้คะแนนสังเกตจากอาการระคายเคือง
โดย

0 = ไม่เกิดอาการบวมแดง

1 = เกิดอาการบวมแดงน้อยมาก

2 = เกิดอาการบวมแดงชัดเจน

3 = เกิดอาการบวมแดงปานกลางถึงมาก

4 = เกิดอาการบวมแดงรุนแรง

4.10.2 การประเมินประสิทธิภาพของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงเพื่อฤทธิ์ลดเซลล์ไลต์ใน อาสาสมัคร

การประเมินประสิทธิภาพของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงในการลดเซลล์ไลต์บริเวณ
ต้นขาของอาสาสมัคร เพศหญิง อายุ 20 ปีขึ้นไป ความสูง 155-170 เซนติเมตร จำนวน 20 คน ซึ่ง
อาสาสมัครทุกคนได้รับผลิตภัณฑ์คนละ 2 ขวด ประกอบด้วยขวด A คือนาโนอิมัลชันผสมสารสกัด
ขิงและขวด B คือนาโนอิมัลชันพื้นฐานไม่ผสมสารสกัดขิง แต่มีการแต่งกลิ่นและสีเลียนแบบ
ทำการทดสอบในอาสาสมัครแบบ Single Blind Test คืออาสาสมัครจะไม่ทราบล่วงหน้าว่าผลิตภัณฑ์
ที่ได้ทดสอบที่แท้จริงคืออะไร ให้อาสาสมัครใช้ผลิตภัณฑ์ 28 วัน โดยทาขวด A บริเวณต้นขาขวา
และขวด B บริเวณต้นขาซ้ายแล้ววัดผลโดยการเปรียบเทียบเส้นรอบวงต้นขาล่าง (70 เซนติเมตรจาก
ปลายเท้า) และต้นขาบน (80 เซนติเมตรจากปลายเท้า) ซึ่งอาสาสมัครจะต้องวัดเส้นรอบวงต้นขา
ด้วยสายวัดก่อนการใช้ผลิตภัณฑ์ในวันแรกและทุก ๆ 7 14 21 และ 28 วัน ได้ผลดังตารางที่ 4.17
และ 4.18 อาสาสมัครที่เข้าร่วมจนจบการทดลองทั้งสิ้น 20 คน

ตารางที่ 4.17

ผลการประเมินประสิทธิภาพการลดเซลล์โล่ของนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิง

| คนที่ | ตำแหน่งที่ 1 ต้นขาล่าง (70 เซนติเมตรจากปลายเท้า) | | | | | ตำแหน่งที่ 2 ต้นขามบน (80 เซนติเมตรจากปลายเท้า) | | | | |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|----------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| | ก่อนใช้ | 7 วัน | 14 วัน | 21 วัน | 28 วัน | ก่อนใช้ | 7 วัน | 14 วัน | 21 วัน | 28 วัน |
| 1 | 48.5 | 48.4 | 48.2 | 48.0 | 47.8 | 51.3 | 51.0 | 51.0 | 49.8 | 49.7 |
| 2 | 44.2 | 44.2 | 44.2 | 44.1 | 44.1 | 38.7 | 38.6 | 38.6 | 38.5 | 38.5 |
| 3 | 51.2 | 59.5 | 59.2 | 50.0 | 50.0 | 51.2 | 51.2 | 51.0 | 49.9 | 49.8 |
| 4 | 52.5 | 52.5 | 52.5 | 52.4 | 52.3 | 47.3 | 47.3 | 47.3 | 47.2 | 47.2 |
| 5 | 51.5 | 51.5 | 50.5 | 50.3 | 50.0 | 53.7 | 53.5 | 53.2 | 53.0 | 52.8 |
| 6 | 58.3 | 58.0 | 57.9 | 57.5 | 57.4 | 60.5 | 60.4 | 60.2 | 59.5 | 59.2 |
| 7 | 35.6 | 35.5 | 35.3 | 35.0 | 34.5 | 38.4 | 38.0 | 37.9 | 37.5 | 37.4 |
| 8 | 49.0 | 45.5 | 45.3 | 44.7 | 43.0 | 53.0 | 49.8 | 49.5 | 49.4 | 48.8 |
| 9 | 51.2 | 51.0 | 50.8 | 50.5 | 50.4 | 55.5 | 55.0 | 54.9 | 54.8 | 54.5 |
| 10 | 42.7 | 42.6 | 42.5 | 42.0 | 41.7 | 45.0 | 45.0 | 44.9 | 44.5 | 44.3 |
| 11 | 45.5 | 45.1 | 44.5 | 44.0 | 43.7 | 49.0 | 48.7 | 48.0 | 47.5 | 47.0 |
| 12 | 45.8 | 44.5 | 43.8 | 43.2 | 42.8 | 49.3 | 48.5 | 48.0 | 47.6 | 47.1 |
| 13 | 42.0 | 42.0 | 42.0 | 42.0 | 41.6 | 37.0 | 37.0 | 36.5 | 36.5 | 30.0 |
| 14 | 49.0 | 48.5 | 46.8 | 44.5 | 44.5 | 53.0 | 50.4 | 49.0 | 48.8 | 48.5 |
| 15 | 45.5 | 45.5 | 45.0 | 44.9 | 44.3 | 48.3 | 48.0 | 47.8 | 47.5 | 47.0 |
| 16 | 50.1 | 50.1 | 50.0 | 49.8 | 49.5 | 53.4 | 53.4 | 54.0 | 52.5 | 52.5 |
| 17 | 53.4 | 53.2 | 53.2 | 53.0 | 53.0 | 55.2 | 55.2 | 55.0 | 54.8 | 54.7 |
| 18 | 45.3 | 45.3 | 45.0 | 45.0 | 44.5 | 48.7 | 48.7 | 48.5 | 48.2 | 48.0 |
| 19 | 55.4 | 55.4 | 55.3 | 55.0 | 54.9 | 56.3 | 56.3 | 56.2 | 56.1 | 56.0 |
| 20 | 53.7 | 53.7 | 53.6 | 53.5 | 53.0 | 55.2 | 55.1 | 55.0 | 55.0 | 54.9 |

ตารางที่ 4.18

ผลการประเมินประสิทธิภาพการลดเซลล์ไคท์ของนาโนอิมัลชันไม่ผสมสารสกัดขิง

| คนที่ | ตำแหน่งที่ 1 ต้นขาล่าง (70 เซนติเมตรจากปลายเท้า) | | | | | ตำแหน่งที่ 2 ต้นขาบน (80 เซนติเมตรจากปลายเท้า) | | | | |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|---------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| | ก่อนใช้ | 7 วัน | 14 วัน | 21 วัน | 28 วัน | ก่อนใช้ | 7 วัน | 14 วัน | 21 วัน | 28 วัน |
| 1 | 47.5 | 47.5 | 47.5 | 47.5 | 47.5 | 52.3 | 52.3 | 52.3 | 52.3 | 52.3 |
| 2 | 42.2 | 42.2 | 42.2 | 42.2 | 42.2 | 37.8 | 37.8 | 37.8 | 37.8 | 37.8 |
| 3 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 51.5 | 51.5 | 51.5 | 51.5 | 51.5 |
| 4 | 52.9 | 52.9 | 52.9 | 52.9 | 52.8 | 48.2 | 48.2 | 48.2 | 48.2 | 48.2 |
| 5 | 51.2 | 51.2 | 51.2 | 51.2 | 51.2 | 54.4 | 54.3 | 54.3 | 54.3 | 54.3 |
| 6 | 57.4 | 57.3 | 57.3 | 57.3 | 57.3 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 |
| 7 | 35.0 | 35.0 | 35.0 | 35.0 | 35.0 | 38.7 | 38.7 | 38.7 | 38.7 | 38.7 |
| 8 | 49.0 | 49.0 | 49.0 | 49.0 | 49.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0 |
| 9 | 50.4 | 50.3 | 50.3 | 50.3 | 50.3 | 56.3 | 56.2 | 56.2 | 56.2 | 56.2 |
| 10 | 43.5 | 43.5 | 43.5 | 43.5 | 43.5 | 45.9 | 45.9 | 45.9 | 45.9 | 45.9 |
| 11 | 45.8 | 45.8 | 45.8 | 45.8 | 45.8 | 49.3 | 49.3 | 49.3 | 49.3 | 49.3 |
| 12 | 46.6 | 46.6 | 46.5 | 46.5 | 46.5 | 49.5 | 49.5 | 49.4 | 49.4 | 49.4 |
| 13 | 42.0 | 42.0 | 42.0 | 42.0 | 42.0 | 38.0 | 38.0 | 38.0 | 38.0 | 38.0 |
| 14 | 49.5 | 49.5 | 49.4 | 49.4 | 49.4 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0 |
| 15 | 45.3 | 45.3 | 45.0 | 45.0 | 45.0 | 48.9 | 48.9 | 48.8 | 48.8 | 48.8 |
| 16 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 52.8 | 52.8 | 52.8 | 52.8 | 52.8 |
| 17 | 53.5 | 53.5 | 53.5 | 53.5 | 53.5 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 |
| 18 | 45.0 | 45.0 | 45.0 | 45.0 | 45.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 |
| 19 | 55.8 | 55.8 | 55.8 | 55.8 | 55.8 | 56.7 | 56.7 | 56.7 | 56.6 | 56.6 |
| 20 | 53.4 | 53.4 | 53.4 | 53.3 | 53.3 | 55.5 | 55.5 | 55.4 | 55.4 | 55.4 |

ผลการวัดเส้นรอบวงต้นขาทั้ง 2 ข้างพบว่าเส้นรอบวงต้นขาล่างและบนของข้างที่ใช้ผลิตภัณฑ์ผสมสารสกัดขิงของอาสาสมัครลดลงเมื่อเทียบกับข้างที่ใช้ผลิตภัณฑ์ไม่ผสมสารสกัดขิงเมื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ Paired T-test ($p < 0.05$) พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.19 โดยผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงสามารถลดเส้นรอบวงต้นขาล่างได้ 1.37 เซนติเมตร และลดเส้นรอบวงต้นขาบนได้ 1.61 เซนติเมตร ส่วนข้างที่ใช้ผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันพื้นฐานที่ไม่ผสมสารสกัดขิงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การใช้ผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันที่มีส่วนผสมสารสกัดขิง มีผลทำให้เส้นรอบวงต้นขาทั้งสองตำแหน่งของข้างที่ใช้ผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งมีผลมาจากฤทธิ์ของสารสกัดขิงที่มีกลไกการให้พลังงานใต้ผิวหนังได้ (Parthasarathy, V.A., et al. 2008) ดังนั้นเมื่อนวดนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิงลงบนตำแหน่งทดสอบ สารสกัดขิงจะแทรกซึมผ่านชั้นผิวหนังลงไปแล้วเกิดพลังงานใต้ผิวหนังทำให้การไหลเวียนโลหิตถูกกระตุ้น เส้นเลือดฝอยที่ผิวหนังขยายตัวส่งผลให้การไหลเวียนโลหิตบริเวณเนื้อเยื่อที่มีเซลล์ลูไลต์ทำงานได้ดี และทำให้การไหลเวียนของน้ำเหลืองถูกกระตุ้นส่งผลทำให้สามารถทำงานร่วมกับระบบหมุนเวียนโลหิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ไขมันบริเวณใต้ผิวหนังจึงเกิดการสลายตัว (Rawling, A.V. 2006) ทำให้ผลการประเมินหลังจากการใช้ผลิตภัณฑ์พบว่าเส้นรอบวงต้นขาลดลง

ตารางที่ 4.19

การวิเคราะห์เส้นรอบวงต้นขาโดยใช้สถิติแบบ Paired T-test

| ตำแหน่ง | | ผลิตภัณฑ์ A (นาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิง) | ผลิตภัณฑ์ B (นาโนอิมัลชันพื้นฐาน) |
|------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 (ต้นขาล่าง) | 0 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD) | 48.52±5.30 | 48.30±5.33 |
| | 28 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD) | 47.15±5.59 | 48.26±5.32 |
| | Paired different | 1.37±1.49 | 0.05±0.08 |
| | $p=0.05$ | 0.0005 | 0.008 |
| 2 (ต้นขาบน) | 0 วัน(ค่าเฉลี่ย±SD) | 50.00±6.94 | 50.24±6.23 |
| | 28วัน(ค่าเฉลี่ย±SD) | 48.40±6.94 | 50.21±6.22 |
| | Paired different | 1.61±1.73 | 0.03±0.05 |
| | $p=0.05$ | 0.0005 | 0.005 |

4.10.3 การประเมินความพึงพอใจหลังจากการใช้ผลิตภัณฑ์

จากผลสำรวจความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชัน 2 ชนิด จากอาสาสมัครจำนวน 20 คน เป็นเพศหญิงมีอายุเฉลี่ย 25 ปี โดยให้อาสาสมัครทดลองผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ดังนี้ ชนิด A คือนาโนอิมัลชันผสมสารสกัดขิง ชนิด B คือนาโนอิมัลชันพื้นฐาน ไม่ผสมสารสกัดขิงที่แต่งกลิ่นและสีเลียนแบบ และให้ตอบแบบสอบถาม (ดูภาคผนวก ข) ภายหลังจากการใช้ผลิตภัณฑ์เสร็จสิ้นแล้ว โดยจะมีลักษณะที่ให้อาสาสมัครประเมินคือ สี กลิ่น การซึมผ่านลงผิวหนัง การลดลงของเซลล์ไลโปบริเวณที่ทา ความรู้สึกระคายเคืองต่อผิวหนังบริเวณที่ทา และความพึงพอใจโดยรวม นำข้อมูลที่ได้สำรวจความพึงพอใจของอาสาสมัครมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรมรูป SPSS ซึ่งสถิติที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่สถิติเชิงพรรณนา วัถุระดับความพึงพอใจ วัถุระดับความพึงพอใจ โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

| จำนวนคะแนน | ความพึงพอใจ |
|------------|------------------|
| 1 คะแนน | พึงพอน้อยที่สุด |
| 2 คะแนน | พึงพอน้อย |
| 3 คะแนน | พึงพอใจปานกลาง |
| 4 คะแนน | พึงพอใจมาก |
| 5 คะแนน | พึงพอใจมากที่สุด |

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนดช่วงระดับคะแนน} &= \frac{\text{คะแนนสูงสุด}-\text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนที่แบ่งชั้น}} \\
 &= \frac{5-1}{5} \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

ดังนั้นสามารถกำหนดเกณฑ์การพิจารณาระดับความพึงพอใจ โดยในการแปลผลจะใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย (Weight mean score: WMS) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2543) ดังนี้

| ระดับค่าเฉลี่ย | ความพึงพอใจ |
|----------------|-----------------|
| 1.00-1.80 | พึงพอน้อยที่สุด |
| 1.81-2.60 | พึงพอน้อย |
| 2.61-3.40 | พึงพอใจปานกลาง |

3.41-4.20

ฟังพอใจมาก

4.21-5.00

ฟังพอใจมากที่สุด

ผลการสำรวจแสดงดังตารางที่ 4.20 พบว่าผลิตภัณฑ์ A อาสาสมัครมีความพึงพอใจในสีและกลิ่นของตำรับอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนความพึงพอใจของการชิมผ่านสู่วิพินัยอยู่ในระดับมากที่สุดและหลังจากการใช้ผลิตภัณฑ์พบว่าอาสาสมัครทุกคนไม่เกิดการระคายเคืองหลังจากใช้จึงมีความพึงพอใจในระดับมาก ส่วนความพึงพอใจในการลดลงของเซลล์โลที่อยู่ในระดับมากเช่นกัน จากผล ข้อ 4.10.2 ผสานกับความพึงพอใจระดับมากแสดงให้เห็นว่าหากมีการใช้ผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ มีแนวโน้มว่าผลิตภัณฑ์นี้จะสามารถลดเซลล์โลที่ได้มากขึ้น ความพึงพอใจโดยรวมหลังจากการใช้ผลิตภัณฑ์ระดับมาก ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่อาสาสมัครบางคนให้ความเห็นว่า ควรปรับปรุงเรื่องกลิ่นและรูปแบบการใช้ของผลิตภัณฑ์ให้อยู่รูปแบบอื่น เช่น ลูกกลิ้ง เพื่อให้สะดวกต่อการใช้เพราะสเปรย์ทำให้ผลิตภัณฑ์ฟุ้งกระจาย และอาสาสมัครบางคนกล่าวว่าหลังจากการใช้พบว่าผิวเรียบเนียนยิ่งขึ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ B อาสาสมัครมีความพึงพอใจในสีและกลิ่นของตำรับอยู่ในระดับปานกลาง การชิมลงสู่วิพินัยอยู่ในระดับมาก อาสาสมัครใช้ผลิตภัณฑ์ B แล้วไม่เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังบริเวณที่ทาทำให้มีความพึงพอใจในระดับมาก แต่การลดลงของเซลล์โลที่บริเวณที่ทาอยู่ในระดับน้อย เนื่องจากตำรับนี้ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดจึงจึงเป็นไปได้ว่าการลดลงของเซลล์โลที่ย่อมไม่เกิดขึ้น อาสาสมัครมีความพึงพอใจโดยรวมหลังการใช้ผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง

ตารางที่ 4.20
คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจของอาสาสมัครในแต่ละด้านของแต่ละตำรับ

| หัวข้อการประเมิน | ผลิตภัณฑ์ A | | ผลิตภัณฑ์ B | |
|----------------------------------------------|----------------|-----------|----------------|---------|
| | คะแนนเฉลี่ย±SD | ระดับ | คะแนนเฉลี่ย±SD | ระดับ |
| สี | 3.15±0.67 | ปานกลาง | 2.9±0.31 | ปานกลาง |
| กลิ่น | 2.95±0.76 | ปานกลาง | 3.2±0.70 | ปานกลาง |
| การซึมผ่านลงผิวหนัง | 4.40±0.60 | มากที่สุด | 4.05±0.83 | มาก |
| การลดลงของเซลล์ไลต์บริเวณที่ทา | 3.60±0.94 | มาก | 1.85±0.75 | น้อย |
| ความรู้สึกไม่ระคายเคืองต่อผิวหนังบริเวณที่ทา | 3.85±0.81 | มาก | 4.05±0.83 | มาก |
| ความพึงพอใจโดยรวมหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ | 4.00±0.43 | มาก | 3.05±0.76 | ปานกลาง |