



การผลิตไขมันทดแทนนโยโกโก้แบบทนร้อนจากไขมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีการแยกลำดับส่วน

โดย

นายบุญญรัตน์ ชูเนตร์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทนร้อนจากไขมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีการแยกลำดับส่วน

โดย

นายบุญญรัตน์ ชูเนตร์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**PRODUCTION OF HEAT RESISTANT COCOA BUTTER REPLACER  
FROM FRACTIONATED PALM OIL**

**By  
Boonyarat ChUNET**

**An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree**

**MASTER OF SCIENCE**

**Department of Food Technology**

**Graduate School**

**SILPAKORN UNIVERSITY**

**2009**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทนร้อนจากไขมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีการแยกลำดับส่วน” เสนอโดย นายบุญญรัตน์ ชูเนตร์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะดังกูร)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภาค สอนไว

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)  
...../...../.....

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ)  
...../...../.....

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภาค สอนไว)  
...../...../.....

50403306 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : ไขมันทดแทนเนยโกโก้ / น้ำมันปาล์มส่วนกลาง / การแยกลำดับส่วน / ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่อยู่ในรูปผลึก

บุญญรัตน์ ชูเนตร์ : การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทนร้อนจากไขมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีการแยกลำดับส่วน. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : ผศ.ดร.โสภาค สอนไว. 126 หน้า.

การใช้ Hydrogenated palm oil (HPO) ทดแทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลตเคลือบในประเทศช่วยลดต้นทุนการผลิต แต่ช็อกโกแลตเคลือบไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ดีพอ ทำให้เกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิห้องได้ง่าย และ HPO ยังประกอบด้วยกรดไขมันชนิดทรานส์ (trans-fatty acids) ซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพ การนำน้ำมันปาล์มส่วนกลาง (palm mid fraction) ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 43 มาทำการแยกลำดับส่วนต่อเพื่อให้ได้ไขมันที่มีช่วงการหลอมเหลวที่แคบลงและมีความสามารถทนร้อนได้มากขึ้นสำหรับการนำไปใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้จึงเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่ง การแยกลำดับส่วนแบบ dry fractionation ที่อุณหภูมิ 39 °C แล้วนำน้ำมันเหลวมาตกผลึกต่อที่อุณหภูมิ 23 และ 25 °C แล้วแยกส่วนแข็งมาได้เป็น Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 ตามลำดับ ซึ่งไขมันที่ได้มีค่าไอโอดีน 36.04 และ 35.59 ตามลำดับ โดยกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น ปาร์รมิติก สเตียริก โอเลอิกและลิโนเลอิก ให้ค่าร้อยละของแข็งที่อยู่ในรูปผลึกของไขมันหรือ solid fat content (SFC) ที่ช่วงอุณหภูมิห้องใกล้เคียงกับไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ได้จาก HPO ที่ใช้อยู่ แต่ให้ค่า SFC ที่อุณหภูมิ 36-40 °C มากกว่าเล็กน้อย ซึ่ง เมื่อนำไขมันที่แยกได้ทั้ง 2 ชนิด ไปผลิตเป็นช็อกโกแลตเคลือบในห้องปฏิบัติการ หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ที่ทั้งอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 30 °C พบว่า Fractionate 25-39 นั้นให้ค่าความแข็งของช็อกโกแลตเคลือบที่ดีกว่าสูตรมาตรฐานที่ใช้ HPO แต่มีอัตราการเกิดฝ้าขาวที่มากกว่า ส่วน Fractionate 23-39 นั้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นของการเกิดฝ้าขาวน้อยกว่าสูตรมาตรฐานและให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) หลังจากทำการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยวิธี QDA พบว่า Fractionate 23-39 ให้คุณลักษณะในด้านสี กลิ่นของช็อกโกแลต กลิ่นหืน และกลิ่นผิดปกติที่น้อยกว่าสูตรมาตรฐานแต่ในคุณลักษณะด้านความละเอียดของช็อกโกแลต ความแข็ง และการหลอมละลายในปากไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเพื่อใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทนร้อนต่อไปในระดับอุตสาหกรรม

---

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ.....

50403306 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : COCOA BUTTER REPLACER / PALM MID FRACTION / FRACTIONATION / SOLID FAT CONTENT

BOONYARAT CHUNET : PRODUCTION OF HEAT RESISTANT COCOA BUTTER REPLACER FROM FRACTIONATED PALM OIL. INDEPENDENT STUDY ADVISOR : ASST.PROF. SOPARK SONWAI, Ph.D. 126 pp.

In Thailand, in order to minimize the production cost in the confectionery industry, the majority of cocoa butter replacers (CBR) used for the production of chocolate coatings is made from hydrogenated palm oil (HPO). However, most of the coatings produced are not able to resist high storage temperature and therefore are easy to melt at room temperature. In terms of nutrition, HPO contains trans-fatty acids which can have a detrimental effect to health. Dry fractionation of palm mid fraction with iodine value of 43  $\text{gI}_2/100 \text{ g oil}$  to obtain a specific fat with narrow melting range that can resist high temperatures better is another option. The palm mid fraction was dry fractionated in 2 steps: first at 39 °C to remove hard stearin followed by dry fractionation at 23 °C (called Fractionate 23-39) or 25 °C (called Fractionate 25-39). The iodine values of the two fractionates were 36.04 and 35.59, respectively. Both fractionates consisted mainly of palmitic, stearic and oleic acids. The solid fat content (SFC) of the two fractionates measured at room temperature was close to that of the CBR made from HPO. However, at the temperature range of 36-40°C the two fractionates exhibited slightly higher SFC compared to that of the CBR made from HPO. The two fractionates were later used as CBR for making chocolate coatings in the laboratory. The coatings were stored at room temperature and 30 °C for 10 weeks and during which time changes in hardness and whiteness index (WI) were followed. After 10 weeks of storage the coating made with Fractionate 25-39 exhibited higher hardness and  $\Delta\text{WI}$  than that of the coating with standard formulation. The coating which contained Fractionate 23-39 showed higher hardness but, in contrast, significantly lower  $\Delta\text{WI}$ . Finally, sensory evaluation was performed using QDA sensory technique. It was found that, compared to the coating made with standard formulation, the coating with Fractionate 23-39 fat gave lower scores in colour, chocolate flavor, rancidity and off-flavor, but exhibited the same level of scores in fineness, hardness and melting in the mouth. Consequently, the Fractionate 23-39 fat has the most potential to be developed and used as high temperature-resistant CBR in the industrial scale.

---

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature .....

Independent Study Advisor's signature .....

### กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้จัดทำขึ้น ณ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรและบริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งความสำเร็จในครั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสภาค สอนไว เป็นอย่างสูงในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาและให้กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ คอยดูแลงานวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วง ไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการในการสอบการค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ธีรธรรมถาวร ที่เป็นอาจารย์ผู้ประสานงานสำหรับนักศึกษาปริญญาโท ทำให้การศึกษาและการวิจัยเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ภายได้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.- อุตสาหกรรม

ขอขอบคุณบริษัท Bruker BioSpin AG ที่อำนวยความสะดวกในการใช้งานเครื่อง pulsed Nuclear Magnetic Resonance (p-NMR) ตลอดระยะเวลาการศึกษาวิจัย

ขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งน้องๆ ฝ่ายประกันคุณภาพ บริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา ขอขอบคุณ Mr. Florencio B. Tosoro, Jr. ที่เป็นทั้งหัวหน้าและที่ปรึกษาในการทำวิจัย รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการเรียนและการสอบตลอดระยะเวลาในการศึกษา

สุดท้ายขอขอบคุณพ่อแม่ ที่ทำให้ตนเองเติบโตและก้าวเดินมาจนถึงทุกวันนี้

## สารบัญ

|   |  | หน้า |
|---|--|------|
|   | บทคัดย่อภาษาไทย .....  | ง    |
|   | บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....   | จ    |
|   | กิตติกรรมประกาศ.....   | ฉ    |
|   | สารบัญตาราง .....  | ญ    |
|   | สารบัญภาพ .....  | ฎ    |
|   | บทที่  |      |
| 1 | บทนำ.....  | 1    |
|   | 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....                             | 1    |
|   | 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์การศึกษา.....                         | 3    |
|   | 1.3 สมมติฐานการศึกษา.....  | 3    |
| 2 | เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                  | 4    |
|   | 2.1 ช็อกโกแลต.....   | 4    |
|   | 2.1.1 ช็อกโกแลตและประเภทของช็อกโกแลต .....                           | 4    |
|   | 2.1.2 การผลิตช็อกโกแลต.....  | 5    |
|   | 2.2 ไขมันทดแทนเนยโกโก้ (Cocoa Butter Alternative :CBA) .....         | 6    |
|   | 2.2.1 Cocoa butter equivalent (CBE).....                             | 6    |
|   | 2.2.2 Lauric Fat Cocoa Butter Replacers (LCBR) .....                 | 7    |
|   | 2.2.2 Non-Lauric Fat Cocoa Butter Replacers (N-LCBR).....            | 8    |
|   | 2.3 การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้.....                                   | 8    |
|   | 2.3.1 กระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation).....                     | 9    |
|   | 2.3.2 กระบวนการอินเตอริเอสเตอร์ริฟิเคชัน(Interesterification) .....  | 9    |
|   | 2.3.3 กระบวนการตกผลึกแยกลำดับส่วน (Fractional crystallization) ..... | 11   |
|   | 2.3.4 กระบวนการแยกไขมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีการแยกลำดับ               |      |
|   | ส่วน (Separation technique for fractionated palm oil) .....          | 19   |
|   | 2.3.5 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการแยกต่อสมบัติของไขมันที่ได้จาก        |      |
|   | กรรมวิธีแยกลำดับส่วน.....  | 22   |
|   | 2.4 กระบวนการแยกลำดับส่วนของน้ำมันปาล์มแบบ dry fractionation .....   | 23   |
|   | 2.5 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม .....                            | 30   |

|       | หน้า  |
|-------|---|
| 2.5.1 | วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้เพื่อประเมินลักษณะของไขมันปาล์มที่แยกได้... 30  |
| 2.5.2 | การศึกษาพฤติกรรมกรรมการหลอมเหลวของไขมัน โดยการใช้ Solid fat content (SFC)..... 31   |
| 2.6   | ความสำคัญของการเลือกชนิดของมันทดแทนเนยโกโก้ที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติของช็อกโกแลต..... 35                                     |
| 2.7   | การเกิด Fat bloom ในช็อกโกแลต ..... 38  |
| 3     | วิธีดำเนินการทดลอง ..... 39   |
| 3.1   | วัตถุประสงค์ สารเคมี..... 39  |
| 3.2   | อุปกรณ์และเครื่องมือ..... 39  |
| 3.3   | วิธีการทดลอง ..... 40   |
| 3.3.1 | การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไขมันPMF กับ palm stearin สำหรับผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้..... 40                       |
| 3.3.2 | ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วนเทียบกับเนยโกโก้และ HPO ..... 41 |
| 3.3.3 | การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีของไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้เทียบกับเนยโกโก้และHPO ..... 41                            |
| 3.3.4 | ผลิตช็อกโกแลตเคลือบโดยใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วน..... 41  |
| 3.3.5 | เลือกช็อกโกแลตเคลือบ..... 43  |
| 4     | ผลการทดลองและอภิปรายผล..... 44  |
| 4.1   | การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไขมันPMF กับ palm stearin สำหรับผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้..... 44                       |
| 4.1.1 | ขั้นตอนการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน ..... 46   |
| 4.1.2 | การแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน ..... 47  |
| 4.2   | ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วนเทียบกับเนยโกโก้และ HPO ..... 55 |

|   | หน้า |
|---|------|
| 4.3 การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีของไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้เทียบกับเนยโกโก้และHPO ..... | 59   |
| 4.3.1 ค่าสaponification (Saponification Value :SV) .....  | 59   |
| 4.3.2 ค่าไอโอดีน (Iodine Value :IV) .....   | 60   |
| 4.3.3 ค่า Slip melting point (SMP) .....  | 62   |
| 4.3.4 ค่าความเป็นกรด (Acid Value : AV).....   | 62   |
| 4.4 ผลิตซ็อกโกแลตเคลือบ โดยใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้                                     |      |
| 2 อัตราส่วน.....  | 63   |
| 4.4.1 การผลิตซ็อกโกแลตเคลือบในห้องปฏิบัติการ .....  | 63   |
| 4.4.2 การวัดคุณสมบัติด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบ.....  | 65   |
| 4.4.3 การศึกษาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของซ็อกโกแลตเคลือบ .....                                  | 75   |
| 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....  | 82   |
| บรรณานุกรม .....  | 85   |
| ภาคผนวก .....   | 90   |
| ภาคผนวก ก.....  | 90   |
| ภาคผนวก ข.....  | 98   |
| ภาคผนวก ค.....  | 101  |
| ภาคผนวก ง .....   | 104  |
| ภาคผนวก จ .....   | 109  |
| ภาคผนวก ฉ .....   | 111  |
| ภาคผนวก ช .....   | 114  |
| ประวัติผู้วิจัย .....   | 126  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 1 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกไขมันด้วยวิธีการต่างๆ โดยพิจารณาจากค่าไอโอดีน(IV) และค่า Solid fat content (SFC).....   | 22   |
| 2 ผลเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของการแยกไขมันด้วยแรงบีบอัดที่ระดับต่างๆ และผลต่อคุณภาพของ palm oil fraction.....          | 23   |
| 3 การนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการแยกลำดับส่วนไปใช้งานในด้านต่าง ๆ.....   | 25   |
| 4 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีในไตรกลีเซอไรด์ กับลักษณะทางกายภาพและการนำไปใช้งาน.....                           | 26   |
| 5 องค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม ปาล์มสเตียรีน ปาล์มโอเลอิน และปาล์มซูเปอร์โอเลอิน.....  | 27   |
| 6 คุณสมบัติที่แตกต่างกันของ CBE ที่มาจาก HPMF ต่างๆ.....  | 29   |
| 7 ค่าไอ โอดีนของไขมันและน้ำมันที่ต้องแยกออกไปจากขั้นตอนการแยกลำดับส่วน PMF .....  | 54   |
| 8 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน Fractionated 23-39 และ Fractionated 25-39 เปรียบเทียบกับ PMF เนยโกโก้ และ HPO ..... | 55   |
| 9 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของ Fractionated 23-39 และ Fractionated 25-39 เปรียบเทียบกับ PMF เนยโกโก้ และ HPO .....        | 59   |
| 10 ค่าไอโอดีนของไขมันชนิดต่างๆ เปรียบจากวิธี Wijs method กับการคำนวณจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว.....                       | 61   |
| 11 สูตรของการผสมช็อกโกแลตเคลือบ.....  | 63   |
| 12 การเปลี่ยนแปลงของ WI ( $\Delta$ WI) หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 10 สัปดาห์เทียบกับค่าตั้งต้น.....                    | 75   |
| 13 ขนาด flask และปริมาณสารที่ใช้จากขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์หีมิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน.....                              | 88   |
| 14 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของกรดไขมันแต่ละชนิดผ่านคอลัมน์.....  | 109  |
| 15 ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ palm stearin, PMF ผสม palm stearin เปรียบเทียบกับ HPO และ เนยโกโก้.....                 | 111  |
| 16 ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ Fractionate ต่างๆ เปรียบเทียบกับ HPO และ เนยโกโก้.....                                  | 112  |

| ตารางที่ | หน้า  |     |
|----------|---|-----|
| 17       | ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิด<br>Fractionate 23-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์เมื่อใช้สภาวะในการ<br>ทำความเย็นแตกต่างกัน..... | 113 |
| 18       | ค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30°C.....  | 114 |
| 19       | ค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....   | 115 |
| 20       | ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C.....  | 116 |
| 21       | ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....  | 117 |
| 22       | Whiteness Index ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30°C....   | 118 |
| 23       | Whiteness Index ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง....  | 119 |
| 24       | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส<br>ด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากผลิตเสร็จใหม่.....                                   | 120 |
| 25       | ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลต<br>เคลือบหลังจากผลิตเสร็จใหม่.....  | 121 |
| 26       | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส<br>ด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา<br>10 สัปดาห์..... | 122 |
| 27       | ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลต<br>เคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์.....                   | 123 |
| 28       | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส<br>ด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา<br>10 สัปดาห์.....   | 124 |
| 29       | ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลต<br>เคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 สัปดาห์.....                      | 125 |

## สารบัญญภาพ

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลต.....  | 5    |
| 2 การจัดเรียงตัวในลักษณะต่างๆ ของผลึกไขมัน.....   | 14   |
| 3 Binary Phase diagrams (Temperature compositon) ของ PPP/PStP และ PPP/POO.....  | 15   |
| 4 รูปแบบการลดอุณหภูมิ (1) ขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำมัน (2) รูปแบบที่ขึ้นกับอุณหภูมิ<br>ของน้ำเย็นในระหว่างกระบวนการตกผลึกแบบ Dry fractionation.....           | 16   |
| 5 ผลกระทบของการลดอุณหภูมิต่อการสร้างไขมันแข็ง โดยการวัด SFC ด้วยวิธี .....<br>p-NMR และความหนืดเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการตกผลึกไขมันปาล์ม .....            | 18   |
| 6 เครื่องจักรที่ใช้ในการแยกไขมันแบบสุญญากาศชนิดต่างๆ.....   | 19   |
| 7 เครื่องจักรที่ใช้ในการแยกไขมันแบบ Membrane Press filter.....  | 20   |
| 8 ลำดับของระบบการแยกไขมันแบบ Membrane Press filter .....  | 21   |
| 9 เครื่องจักรที่ใช้ในการแยกไขมันแบบ Centrifuge decanter .....   | 21   |
| 10 Multistage dry fractionation ของน้ำมันปาล์ม .....  | 25   |
| 11 รูปแบบของ SFC ของ Palm fraction ที่ต่างๆ กัน.....  | 25   |
| 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง IV และ CP ของ Liquid fraction ในระบบ Multistage dry<br>fractionation ของน้ำมันปาล์ม.....   | 27   |
| 13 กราฟ SFC ของเนยโกโก้ที่อุณหภูมิต่างๆ .....   | 32   |
| 14 กราฟ SFC ของตัวอย่างไขมันผสม 3 ชนิด .....  | 34   |
| 15 กราฟ SFC ของเนยโกโก้ 3 ชนิดซึ่งมาจากมาเลเซีย, กานา และบราซิล.....  | 35   |
| 16 Solid fat content diagram ของไขมันผสมระหว่าง (a) LCBR และ Cocoa butter,<br>(b) N-LCBR และ Cocoa butter.....  | 37   |
| 17 ขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลตเคลือบในงานวิจัย.....   | 43   |
| 18 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมันผสมชนิดต่างๆ .....  | 45   |
| 19 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมัน Fractionate 30-40เปรียบเทียบกับ PMF, HPO<br>และเนยโกโก้ .....  | 48   |
| 20 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมันที่ได้จากการทำ dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน<br>ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆและเมื่อมีการผสม stearin 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก .. | 49   |

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 21 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมันที่ได้จากการทำ dry fractionation ที่ช่วงอุณหภูมิ 23-37, 25-37, 25-39 และ 23-39 เทียบกับ HPO และเนยโกโก้ที่ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ ..... | 51   |
| 22 Yield ของไขมันที่ได้จากการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2.....<br>ขั้นตอน.....  | 53   |
| 23 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39<br>เปรียบเทียบกับ PMF เนยโกโก้ และ HPO.....   | 56   |
| 24 ค่า SFC ของช็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C.....   | 66   |
| 25 ค่า SFC ของช็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....   | 67   |
| 26 ค่าความแข็งของช็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C .....   | 69   |
| 27 ค่าความแข็งของช็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....  | 70   |
| 28 Whiteness Index ของช็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C .....  | 73   |
| 29 Whiteness Index ของช็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....   | 74   |
| 30 กราฟไฟแอมมูมของคะแนนทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ<br>หลังจากผลิตเสร็จใหม่ประเมินด้วยวิธีพหุประมาเชิงปริมาณ (QDA) .....  | 77   |
| 31 กราฟไฟแอมมูมของคะแนนทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่าง ๆ<br>หลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ประเมินด้วยวิธี<br>พหุประมาเชิงปริมาณ (QDA) .....    | 80   |
| 32 กราฟไฟแอมมูมของคะแนนทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่าง ๆ<br>หลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ประเมินด้วย .....                                       | 81   |
| 33 ลักษณะของขึ้นและความสูงของช็อกโกแลตเคลือบที่ใช้ในการทดสอบค่าความแข็ง.  | 97   |
| 34 ลักษณะรูปแบบการลดลงของอุณหภูมิในขั้นตอนการตกผลึกส่วนจาก PMF<br>โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน.....  | 108  |
| 35 ขั้นตอนของการแยกลำดับส่วน Palm Oil (ค่าไอโอดีน 50-52) จนได้ Palm Oil<br>(ค่าไอโอดีน 43-44) ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการศึกษาวิจัย.....                                     | 108  |
| 36 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ชนิดของไขมันโดยวิธี GC-FID .....   | 109  |
| 37 กราฟแสดงอุณหภูมิห้องระหว่างที่ทำการเก็บรักษาช็อกโกแลตเคลือบเป็นเวลา 10<br>สัปดาห์โดยเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบ Datalogger .....  | 110  |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ช็อกโกแลตเคลือบ (chocolate coating) สำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เวเฟอร์ คุกกี้ หรือเค้กเคลือบช็อกโกแลตที่ทำการผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยนั้นมักจะใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ (cocoa butter replacer) แทนการใช้เนยโกโก้ (cocoa butter) จริงๆ เป็นส่วนผสมที่เป็นไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลที่ว่าเนยโกโก้จริงๆ มีราคาแพงมาก ซึ่งจะส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตสูง นอกจากนี้เนยโกโก้ยังมีช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวที่ไม่สูงนักประมาณ 30-32 °C (Wille และ Lutton, 1966) ทำให้ช็อกโกแลตที่ผลิตโดยใช้เนยโกโก้จริงไม่มีความทนทานต่อสภาพอากาศร้อนในประเทศไทย ส่งผลให้เกิดการหลอมละลายในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่าย ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะปรากฏที่เยิ้มละลาย เสียรูปร่าง และติดกับห่อหรือซองบรรจุ ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้การละลายของไขมันที่เกิดขึ้นดังกล่าวอาจกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ของไขมันที่ละลายไปยังบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นจะเกิดการแข็งตัวเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่ เกิดการกระเจิงแสงในทิศทางที่แตกต่างไป ทำให้มองเห็นเป็นสีขาวคล้ายเชื้อรา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิด fat bloom (Lonchamp และ Hartel, 2004) ซึ่งถือเป็นปัญหาที่สร้างความหนักใจให้กับบริษัทผลิตช็อกโกแลตทั่วโลก (Sonwai และ Rousseau, 2006)

ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ใช้ในการผลิตช็อกโกแลตเคลือบนั้นโดยมากแล้วจะผลิตได้จากการนำน้ำมันปาล์ม (palm oil) ไปผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (หรือที่เรียกว่า hydrogenated palm oil : HPO) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตเคลือบที่มีราคาไม่แพง และที่สำคัญสามารถทนความร้อนได้เพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง สำหรับผลิตภัณฑ์เวเฟอร์เคลือบช็อกโกแลตของบริษัทยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ผู้วิจัยทำงานอยู่ก็เช่นกันที่ส่วนของไขมันที่ใช้เป็นส่วนผสมของช็อกโกแลตเคลือบนั้นเป็น HPO โดยทางบริษัทนำเข้าจากประเทศมาเลเซีย แต่ก็ยังพบปัญหาคือไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ดีพอ ทำให้เกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิเก็บรักษาและจำหน่ายได้ง่าย ส่งผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนในด้านโภชนาการนั้นไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันจะมีกรดไขมันชนิดทรานส์ (trans fatty acids) เป็นส่วนประกอบ เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ ทั้งนี้เนื่องจากว่ากรดไขมัน

ชนิดทรานส์ก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกายโดยทำให้ไขมันในเลือดสูงขึ้น ซึ่งเพิ่มปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ (Kellens และคณะ, 2007) ซึ่งในปัจจุบันนี้ผู้บริโภคให้ความใส่ใจในชนิดของไขมันที่มีอยู่ในอาหารที่รับประทานมากขึ้น ประเทศสหรัฐอเมริกาเอง โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (USFDA) ได้ออกกฎหมายตั้งแต่ 1 ม.ค. 2542 ให้ผู้ผลิตต้องแสดงปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์เป็นมิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (serving size) ในฉลากโภชนาการบนบรรจุภัณฑ์อาหารทุกชนิด หากอาหารนั้นอ้างว่า “Trans fat free” หรือ “Low trans fat” ต้องมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (FDA Regulation: 21 CFR 101.9)

ณ ปัจจุบันสำหรับประเทศไทยเองนั้นแม้ว่าองค์การอาหารและยา (อย.) ยังไม่ได้มีมาตรการออกมาชัดเจนเกี่ยวกับการใช้ไขมันที่มีส่วนผสมของกรดไขมันชนิดทรานส์และประกอปกับเป็นการยากที่จะยกเลิกการใช้หรือห้ามใช้ในทันที เนื่องจากไขมันชนิดนี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตอาหารเนื่องจากราคาถูกกว่าการใช้ไขมันจากสัตว์หรือพืชและยังช่วยให้อาหารเก็บได้นาน (นิธิยา, 2548) แต่ในเมื่อผลการวิจัยได้ยืนยันชัดเจนแล้วว่าไขมันชนิดทรานส์มีอันตรายสูงต่อผู้บริโภค (Mozaffarian และคณะ, 2006) ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมอาหารเองอาจจะต้องดำเนินการปรับเปลี่ยนไปใช้ไขมันชนิดอื่นแทนหรือลดปริมาณการใช้ลงและต้องติดฉลากแสดงปริมาณไขมันชนิดทรานส์ และถ้าในอนาคตกฎหมายประเทศไทยบังคับให้ต้องแสดงฉลากกรดไขมันชนิดทรานส์ การใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ อย่าง HPO ที่มีกรดไขมันชนิดทรานส์ผสมอยู่ที่เป็นส่วนผสมในการผลิตช็อกโกแลตเคลือบจะมีผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ในอนาคตและจะส่งผลกระทบต่อยอดขายอย่างแน่นอน เนื่องจากว่า HPO ประกอบกรดไขมันชนิดทรานส์ค่อนข้างสูงและส่งผลให้มีความสูงกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายเมื่ออ้างจากกฎหมายของสหรัฐอเมริกาจะทำให้ไม่สามารถระบุว่าเป็น “Trans fat free” หรือ “Low trans fat” ได้

นอกจากนี้การใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับการใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาเพื่อผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้ตัวใหม่โดยการนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกระบวนการแยกลำดับส่วนแบบ dry fractionation ได้แก่ palm stearin ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 35 และ palm mid fraction (PMF) ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 43 มาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อผลิตเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่สามารถทนความร้อนได้ดี (มีความคงตัวมากขึ้นเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้น) และที่ปราศจากกรดไขมันชนิดทรานส์ โดย stearin เป็นไขมันที่เป็น hard fat ซึ่งจะมีค่าปริมาณหรือสัดส่วนของของแข็งที่อยู่ในรูปผลึก (solid fat content : SFC) ค่อนข้างสูงที่อุณหภูมิห้องในประเทศที่มีอากาศร้อนเช่น ประเทศ

ไทย เป็นต้น ส่วน PMF เป็นไขมันที่มีค่า SFC ใกล้เคียงกับ (ก่อนไปทางต่ำกว่า) SFC ของเนยโกโก้ (Stewart และ Timms, 2002) จึงได้รับความนิยมนำมาผลิตเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ แต่ยังคงเกิดปัญหาการละลายกับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่า SFC ยังต่ำเกินไป การนำเอา palm stearin มาผสมกับ PMF ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ได้ไขมันผสมที่มีค่า SFC สูงขึ้น แต่ยังสามารถละลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกายเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ทนความร้อนได้โดยไม่ทำให้ความรู้สึกรับเป็นไขมากเกินไปเมื่อรับประทาน สุดท้ายนี้ ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่จะผลิตได้จากงานวิจัยนี้ยังเป็นไขมันที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่แล้วภายในประเทศ ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์แอฟเฟอร์เคลือบช็อกโกแลตลดลง นอกจากนี้ การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้จากพืชปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ยังจะเป็นการช่วยกระจายรายได้ลงไปสู่เกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมันที่เป็นระดับฐานรากที่สำคัญของประเทศอีกด้วย

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผสมไขมัน palm stearin และ PMF ที่ได้จากกระบวนการ dry fractionation เข้าด้วยกัน สำหรับผลิตเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่สามารถทนร้อนได้

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี พร้อมทั้งชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ผลิตได้

1.2.3 เพื่อทำการผลิตช็อกโกแลตเคลือบโดยใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ผลิตได้

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตจากไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ผลิตได้ เทียบกับช็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตจากไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ผลิตจาก HPO ที่ทางโรงงานใช้อยู่

## 1.3 สมมติฐานการศึกษา

การผสมไขมันระหว่าง palm stearin และ PMF ในอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้นจะทำให้ได้ไขมันผสมที่มีคุณสมบัติด้านการทนความร้อนที่ดีกว่าเนยโกโก้และไขมันที่ผลิตจาก HPO ที่ทางโรงงานใช้อยู่ และสามารถนำไปเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลตเคลือบที่มีคุณสมบัติทนร้อนได้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ช็อกโกแลต

ช็อกโกแลตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทขนมหวานที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างแพร่หลายไปทั่วโลก นอกเหนือจากมีรสชาติที่หวานหอมเป็นที่ดึงดูดใจแล้วช็อกโกแลตก็มีความโดดเด่นเฉพาะตัวคืออยู่ในรูปของแข็งเป็นแท่งหรือเป็นก้อนที่อุณหภูมิห้อง (ที่ 25-30 °C) แต่จะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิร่างกายของคนประมาณ 37 °C เมื่อรับประทานในปาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของช็อกโกแลตที่มีชื่อว่าเนยโกโก้ตกผลึกอยู่ในรูปของแข็งเกือบทั้งหมดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C โดยเนยโกโก้ดังกล่าวจะทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบอื่นๆ ของช็อกโกแลต เช่น น้ำตาลและ cocoa particles เข้าไว้ใน matrix ของช็อกโกแลต ทำให้ช็อกโกแลตมีคุณสมบัติที่ดีตามความต้องการของผู้บริโภค เช่น มีความแข็งและความเปราะที่เหมาะสม กัดตรงไหนแตกตรงนั้น และมีผิวสัมผัสที่เนียนเรียบเป็นมันวาว ส่วนที่อุณหภูมิของร่างกายคนนั้นผลึกของเนยโกโก้จะละลายไปทั้งหมด ทำให้ช็อกโกแลตอยู่ในรูปของเหลวห่อหุ้มอยู่รอบๆ องค์ประกอบอื่นๆ ที่เป็นของแข็ง ทำให้เกิดความรู้สึกนุ่มละมุน (smooth) ในปากเมื่อรับประทาน (Beckett, 2008)

##### 2.1.1 ช็อกโกแลตและประเภทของช็อกโกแลต

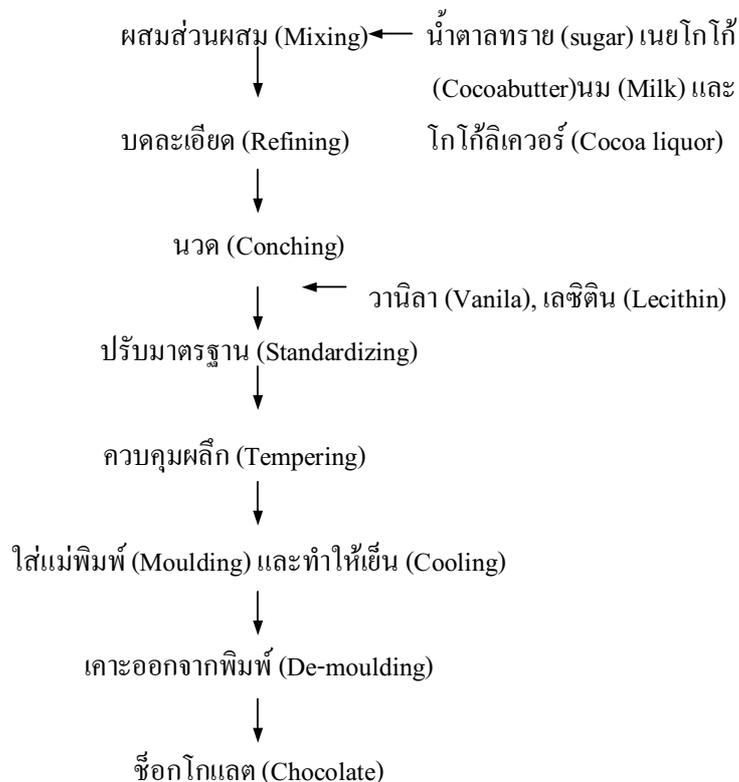
ช็อกโกแลตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมของน้ำตาล โกโก้ลิเคอร์และเนยโกโก้เป็นหลักซึ่งจัดเป็นอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion) โดยเป็นการกระจายอนุภาคละเอียดของโกโก้และน้ำตาลในส่วน continuous phase คือเนยโกโก้ ซึ่งเนยโกโก้เป็นส่วนผสมที่สำคัญที่ให้สมบัติทางกายภาพแก่ช็อกโกแลต เช่น ความมันวาว เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปากเมื่อบริโภค (mouth feel) และการปลดปล่อยกลิ่นรส เนื่องจากการหลอมเหลวของเนยโกโก้ในช่วงแคบและมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับอุณหภูมิร่างกาย (Miquel และคณะ, 2001) โดยลักษณะที่ดีของช็อกโกแลตควรเป็นดังนี้

|                   |  |
|-------------------|--|
| สี                | ต้องมีความสม่ำเสมอและสีเข้ม                  |
| ลักษณะปรากฏที่ผิว | มีลักษณะเรียบ ไม่มีจุดหรือรอยฝ้าขาวบนผิวหน้า |
| ลักษณะเนื้อสัมผัส | ต้องเรียบเนียน ไม่มีลักษณะเนื้อที่เป็นทราย   |
| การแตกหัก         | การแตกหักที่ดี                               |
| กลิ่นรส           | ให้ลักษณะกลิ่นรสช็อกโกแลตที่ดี               |

ช็อกโกแลตสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ช็อกโกแลตนม (milk chocolate) ช็อกโกแลตไม่มีส่วนผสม (dark chocolate) และ ช็อกโกแลตขาว (white chocolate) โดยช็อกโกแลตไม่มีส่วนผสมแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ช็อกโกแลตกึ่งหวาน (semi chocolate) และชนิดหวานกึ่งขม (bitter sweet) ตามปริมาณ โกโก้ลิเควอร์และน้ำตาลในส่วนผสม

### 2.1.2 การผลิตช็อกโกแลต

กระบวนการผลิตช็อกโกแลตแสดงเป็นแผนภาพได้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลต

ที่มา: ดัดแปลงจาก Minifie (1989)

## 2.2 ไขมันทดแทนเนยโกโก้ (Cocoa Butter Alternatives : CBA)

เป็นไขมันที่ใช้ทดแทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลตที่มีลักษณะแข็ง (hard butter) และมีคุณสมบัติทางเคมีได้แก่องค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์และคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับของเนยโกโก้ ส่งผลให้เกิดการหลอมเหลวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิร่างกายและมีความคงตัวสูง (Lipp และ Anklam, 1998; Smith, 2001) โดย Talbot (1999) กล่าวว่าทางเลือกแหล่งชนิดของไขมันที่เหมาะสมในการผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้ต้องพิจารณาถึงเหตุผลดังต่อไปนี้

- ต้องเป็นไขมันที่มีช่วงของการหลอมเหลวที่คล้ายกับของเนยโกโก้
- เป็นไขมันที่ประกอบด้วยชนิดของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ที่คล้ายกับของเนยโกโก้
- เป็นไขมันที่เมื่อผสมกับเนยโกโก้แล้วสามารถเข้ากันได้ โดยไม่ทำให้เกิดการอ่อนตัวอันเนื่องมาจาก eutectic effect
  - เป็นไขมันที่เมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นช็อกโกแลตต้องให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเนยโกโก้มาตรฐาน
  - เป็นไขมันที่เมื่อทำการตกผลึกแล้วจะต้องมีโครงสร้างที่เสถียรของผลึกเหมือนกับของเนยโกโก้คืออยู่ในรูป  $\beta$ -form
  - ลักษณะปรากฏและอายุในการเก็บรักษาโดยปราศจาก fat bloom ของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตที่ทำจากเนยโกโก้เลียนแบบต้องเหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เนยโกโก้เป็นองค์ประกอบไขมันเพียงอย่างเดียว
  - เป็นไขมันที่ทำให้เกิดความคงตัวของกลิ่นรสที่ดีของผลิตภัณฑ์

ไขมันทดแทนเนยโกโก้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด (สุวรรณ, 2543 ; Lipp และ Anklam, 1998) ดังนี้

### 2.2.1 Cocoa Butter Equivalents (CBE)

CBE เป็นไขมันพืชกลุ่ม non-lauric fat ที่มีคุณสมบัติและสูตรโครงสร้างทางเคมีเหมือนกับของเนยโกโก้และสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ทุกสัดส่วนในการผลิตช็อกโกแลต โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของช็อกโกแลตเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ การหลอมเหลว

คุณลักษณะการไหลเมื่อหลอมละลายและกระบวนการผลิต ซึ่งกฎหมายของทวีปยุโรปอนุญาตให้มีการใช้ CBE ที่ผลิตจากไขมันพืชชนิดต่างๆ เพียง 6 ชนิดเท่านั้นคือ palm oil, illipé fat, sal fat, kokum fat, shea oil และ mango kernel oil เป็นส่วนผสมของช็อกโกแลต (Talbot, 1999) เนื่องจากเนยโกโก้เป็นไขมันที่มีไตรกลีเซอไรด์ 3 ชนิดเป็นองค์ประกอบหลักคือ POP, POSt และ StOSt การผลิต CBE จึงทำได้โดยการผสมน้ำมันจากพืช 6 ชนิดนี้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ CBE ที่มีคุณสมบัติต่างๆ ทั้งทางเคมี ทางกายภาพ รวมถึงพฤติกรรมตกผลึกที่เหมือนหรือใกล้เคียงกันกับของเนยโกโก้ จึงจะสามารถใช้ CBE ที่ผลิตได้ดังกล่าวทดแทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลตได้ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตและกระบวนการผลิตแต่อย่างใด POP ส่วนใหญ่และ POSt ในปริมาณเล็กน้อยนั้นสามารถได้มาจากน้ำมันปาล์มส่วนกลาง ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกำจัดโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและสูงเกินไปออกไปด้วยกระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation) ส่วนการให้ได้มาซึ่ง StOSt และ POSt ส่วนที่เหลือนั้นจะมีความยุ่งยากมากกว่า โดยได้มาจากน้ำมันจากพืชที่มี StOSt ในปริมาณสูงได้แก่ illipé fat, sal fat และน้ำมันเมล็ดมะม่วง (Beckett, 2000) โดยปกติแล้ว CBE ที่ผลิตได้จากการผสมน้ำมันเหล่านี้เข้าด้วยกันจะใช้ได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับกฎหมายด้านอาหารของทวีปยุโรปที่ยอมรับให้ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตสามารถมีส่วนผสมที่เป็นไขมันจากพืชชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่เนยโกโก้ได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่ถ้าใช้ CBE แทนเนยโกโก้เกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์หรือแทนทั้งหมดจะเรียกผลิตภัณฑ์นั้นว่า supercoating หรือ chocolate coating (Beckett, 2008)

### 2.2.2 Lauric Fat Cocoa Butter Replacers (LCBR)

เป็นไขมันพืชในกลุ่ม lauric fat ที่ได้จากน้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) และน้ำมันมะพร้าวโดยกระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation) และไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) แล้วทำให้บริสุทธิ์ ทำให้ไขมันที่ได้มีความแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับของเนยโกโก้ แต่คุณสมบัติทางเคมีและชนิดของไตรกลีเซอไรด์ต่างจากของเนยโกโก้ ความรู้สึกเมื่อนำไปเคี้ยวและการปลดปล่อยกลิ่นคล้ายกับเนยโกโก้ แต่เนื่องจากเป็นไขมันที่มีกรดลอริกสูงถ้านำไปผสมกับเนยโกโก้จะทำให้เกิดผลึกหลายโครงสร้างปนกันและจุดหลอมเหลวของส่วนผสมจะลดลงเนื่องจาก eutectic effect จึงไม่ควรใช้ผสมกับเนยโกโก้ แต่สามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Talbot, 1999)

### 2.2.3 Non-Lauric Fat Cocoa Butter Replacers (N-LCBR)

เป็นไขมันพืชในกลุ่ม non-lauric fat ที่ได้มาจากน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันฝ้าย น้ำมันข้าวโพดน้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันปาล์ม (palm oil) แล้วนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันและกระบวนการแยกลำดับส่วน การเติมไฮโดรเจนระหว่างการทำให้ไฮโดรจีเนชันจะทำให้สภาวะที่เลือกไว้เพื่อให้เกิดกรดไขมันชนิดทรานส์ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณของแข็ง ใน N-LCBR ที่เตรียมโดยวิธีนี้จะมีกรดไขมันอิ่มตัวชนิดปาร์มิติก สเตียริก และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิกเช่นเดียวกับเนยโกโก้ แต่การจัดเรียงสาย hydrocarbon chain ของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จะไม่เหมือนกับของเนยโกโก้จึงทำให้สมบัติทางกายภาพแตกต่างจากเนยโกโก้ ทำให้เมื่อผสมกันกับเนยโกโก้แล้วเมื่อตกผลึกจะเกิดผลึกหลายโครงสร้างปนกันและมีปรากฏการณ์ eutectic effect เกิดขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่มีความมันวาวและเกิด fat bloom มาก ไขมันในกลุ่มนี้จึงใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Talbot, 1999) ไขมันผสมที่จะผลิตได้จากงานวิจัยนี้ถือเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ในกลุ่มนี้

ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตที่ใช้ไขมันในกลุ่มนี้มักใช้ชื่อเรียกว่า Chocolate flavoured coating หรือ Chocolate flavoured confectionery (สุวรรณภา, 2543)

### 2.3 การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้

เกือบทั้งหมดของน้ำมันตามธรรมชาติมีข้อจำกัดในการนำไปใช้เนื่องจากลักษณะของมันเป็นซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมี ดังนั้นเพื่อขยายขอบเขตการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จึงมีการแปรสภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำมันขึ้น วิธีการที่รู้จักกันดีมากที่สุดในปัจจุบันคือการทำไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) กระบวนการอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชัน (interesterification) ทั้งแบบเคมีและเอนไซม์ และกระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation) วัตถุประสงค์หลักของกระบวนการทั้งหมดนี้ก็คือเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติเคมี-กายภาพของน้ำมันหรือไขมันนั่นเอง โดยการลดระดับของความไม่อิ่มตัวของหมู่ acyl ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการไฮโดรจีเนชันหรือการแลกเปลี่ยนหมู่ acyl ในโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์จากตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันหรือโดยกระบวนการแยกลำดับส่วนที่เป็นการแยกโดยทางกายภาพ โดยอาศัยการตกผลึกบางส่วน (partial crystallization) ในวัฏภาคของเหลวแล้วทำการแยกส่วนประกอบเหล่านั้นออกจากกัน ไขมันทดแทนเนยโกโก้เป็นไขมันที่เตรียมได้จากการ

ดัดแปลงองค์ประกอบของไขมันพืชจากแหล่งต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการหลอมเหลวให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น (Kellens, 1998<sup>a</sup> ; Kellems, 1998<sup>b</sup>)

### 2.3.1 กระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation)

กระบวนการไฮโดรจีเนชันเป็นกระบวนการทางเคมีที่เติมไฮโดรเจนอะตอมเข้าไปที่พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมัน โดยมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนน้ำมันที่เป็นของเหลวให้เป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลวหรือของแข็งที่มีระดับความแข็งอ่อนตามต้องการเรียกว่า plastic fat การทำไฮโดรจีเนชันส่วนใหญ่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์และปฏิกิริยาจะเกิดได้ทั้งแบบ selective ซึ่งเป็นการเติมไฮโดรเจนอะตอมเข้าไปเฉพาะที่พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและ non-selective เป็นการเติมไฮโดรเจนอะตอมแบบสุ่ม ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันของไตรกลีเซอไรด์เช่นจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงและจะมีผลทำให้ปริมาณของกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายลดน้อยลงด้วย แต่จะมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันดีขึ้น ทำให้มีโอกาสเกิดการหืนได้ช้าลง อย่างไรก็ตามกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้นใหม่จะมีส่วนของกรดไขมันชนิดทรานส์เกิดขึ้นประมาณ 5-45 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมเอาไปใช้ประโยชน์ของร่างกาย (นิธิยา, 2548 ; Alpaslan และ Karaali, 1998)

### 2.3.2 กระบวนการอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชัน (Interesterification)

กระบวนการนี้จัดเป็นปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (tranesterification) ประเภทที่มีการแลกเปลี่ยนหมู่acyl ในโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์จากตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง (ester-ester exchange) เพื่อที่จะให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบได้เป็นไตรกลีเซอไรด์รูปแบบใหม่ ซึ่งทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไขมันและน้ำมันแตกต่างจากไขมันเดิมตามต้องการ (Wainwright, 1996) (โดยกระบวนการอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ การใช้สารเคมี (Chemical interesterification) เช่น sodium metal และ sodium alkoxide และ การใช้เอนไซม์ (Enzymatic interesterification)) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เอนไซม์ไลเปสมากกว่าการใช้สารเคมีเนื่องจาก เอนไซม์ไลเปสมีความจำเพาะเจาะจงสูงทำให้ควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีรูปแบบของไตรกลีเซอไรด์ใหม่ตามต้องการได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยลด by-product ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นการผลิต

เนยโกโก้ที่เติมด้วยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารเคมีเพราะการใช้สารเคมีจำเป็นต้องใช้ร่วมกับอุณหภูมิที่สูงมากจึงส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เสียไป ในขณะที่การใช้เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่ไม่รุนแรง (อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความดันปกติ) และใช้พลังงานน้อย (Zainal และ Yosoff, 1999)

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีคำถามเกิดขึ้นมากมายถึงผลกระทบของการใช้กระบวนการแปรสภาพทางเคมีต่อคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมัน กรดไขมันชนิดทรานส์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการไฮโดรจีเนชันมีผลกระทบในด้านลบต่อสุขภาพ จึงเป็นแรงผลักดันให้ผู้ผลิตเองมองหาวิธีการที่จะลดปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ ดังนั้นเทคโนโลยีใหม่ๆ จึงถูกพัฒนาขึ้นรวมถึงการปรับปรุงวิธีการที่มีอยู่ปัจจุบันเพื่อให้ได้มาซึ่งไขมันและน้ำมันที่มีระดับมาตรฐานใหม่ที่สูงขึ้น ความสนใจที่มีมากขึ้นโดยพยายามจะเอาจุดเด่นของการใช้เทคโนโลยีการแปรสภาพต่างๆ มารวมกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ (Kellen และคณะ, 2007)

ไฮโดรจีเนชันและอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันถูกใช้มามากขึ้นเนื่องจากทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีแบบไม่ผันกลับขึ้นในองค์ประกอบที่เป็นกรดไขมัน รวมถึงการปนเปื้อนของสารเคมีที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) การเกิด side reaction ที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการแปรสภาพทางเคมีทั้ง 2 นี้ต้องมีการกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (refining) เสมอเพื่อทำให้น้ำมันและไขมันที่ผ่านกระบวนการแปรสภาพสามารถนำมาบริโภคได้ในทางกลับกันสำหรับกระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation) เพียงทำให้องค์ประกอบของไขมันถูกเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกระบวนการแยกทางกายภาพของกลุ่มที่มีองค์ประกอบต่างกัน เท่านั้น เป็นกระบวนการแปรสภาพที่ผันกลับได้ ทั้งยังถือว่าเป็นกระบวนการขั้นพื้นฐานโดยใช้ อุณหภูมิ-เชิงกล (Thermo-mechanical) ในการแยกที่ซึ่งองค์ประกอบหลากหลายที่ผสมกันอยู่ถูกแยกออกจากกัน โดยกระบวนการทางกายภาพไปเป็น 2 ส่วนหรือมากกว่านั้นซึ่งแต่ละส่วนนั้นมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน ในส่วนของกระบวนการแยกนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของส่วนที่เป็นของแข็ง ความสามารถในการละลาย หรือการระเหยขององค์ประกอบที่แตกต่าง (Kellen และคณะ, 2007)

ปัจจุบันนี้กระบวนการจัดการกับน้ำมันในอุตสาหกรรมนั้นมีการใช้กระบวนการแยกลำดับส่วนมากขึ้นเพื่อที่จะขยายขอบเขตการนำไขมันไปใช้งานรวมทั้งเพื่อที่จะทดแทนกระบวนการแปรสภาพทางเคมีทั้งหมดหรือบางส่วน (Kellens และคณะ, 2007)

### 2.3.3 กระบวนการตกผลึกแยกลำดับส่วน (Fractional Crystallization)

งานวิจัยของ Hippolyte Mege Mouriès (ปี 1817-1880) ถือว่าเป็นการบุกเบิก กระบวนการแยกลำดับส่วน โดยเขามีสิทธิบัตรที่มีชื่อเสียงเกี่ยวกับ Margarine ในเรื่อง “Application for a patent of fifteen years for production of certain fats of animal origin” เมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 1969 (สิทธิบัตร หมายเลข 86480) อีกด้านหนึ่ง Holde และคณะรายงานว่าน้ำมันมะกอกเมื่อทำให้เย็นตัวลงในสารละลายอีเทอร์ที่อุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  ทำให้เกิดการแข็งตัวของไตรกลีเซอไรด์ปริมาณ น้อยๆ (Holde และ Stange, 1901) การตีพิมพ์นี้ถือเป็นรายงานแรกของการใช้อุณหภูมิต่ำในการ แยกลำดับส่วนจากการตกผลึก

กระบวนการตกผลึกแยกลำดับส่วน (Fractional crystallization) หมายถึง กระบวนการที่ ทำให้เกิดการตกผลึกไขมันเพียงบางส่วน หลังจากนั้นส่วนที่เป็นของเหลวจะถูกแยกออกจากส่วนที่ เป็นผลึกไขมันแข็ง โดยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความสามารถในการละลายของไตรกลีเซอไรด์ ที่เป็นของแข็งในส่วนที่เป็นของเหลว ซึ่งเกี่ยวข้องกับขนาดโมเลกุลและระดับของความไม่อิ่มตัว (Gibon, 2006) ในระดับอุตสาหกรรมการทำให้เกิดผลึกของไขมันนั้นเกิดจากเทคโนโลยี 3 ประเภทด้วยกัน

#### 2.3.3.1 Detergent fractionation

ในปี 1905 นั้นสิทธิบัตรของ Lanza ระบุว่า การเพิ่ม detergent เข้าไปในส่วนไขมัน ที่มีผลึก จะทำให้ผลึกเข้าไปอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว หลังจากนั้นส่วนผสม (mixture) จะถูกแยก ออกจากกันได้ง่ายด้วยวิธีการปั่นแยก (centrifugation) บางครั้งกระบวนการนี้เรียกว่า Lipofrac concept สำหรับ Detergent fractionation นั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงกระบวนการแยกลำดับส่วน ของผลึกออกจากส่วนที่เป็นของเหลวโดยการเติม detergent เข้าไปยังส่วนของไขมันที่ตกผลึกแล้ว โดยส่วนใหญ่แล้วสารที่จะนำมาใช้คือ Sodium lauryl sulfate โดยมีการผสม electrolyte เข้าไปด้วย โดยทั่วไปก็จะใช้ magnesium sulfate ซึ่งช่วยทำให้ผลึกกระจายตัวในส่วนของ detergent ได้ดีขึ้น หลังจากการปั่นแยกลำดับส่วนของโอเลอินและสเตอรินจะถูกนำไปล้างและทำแห้งเพื่อกำจัด สารเคมีตกค้าง ปัจจุบันนี้เทคนิคนี้ได้รับความสนใจน้อยลงมากเนื่องมาจากต้นทุนที่สูงและการ ปั่นเปื้อนของ detergent ไปกับไขมันที่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Kellens และคณะ, 2007)

### 2.3.3.2 Solvent fractionation

ในส่วนของ solvent fractionation นั้นการตกผลึกเกิดขึ้นในส่วนของสารละลายที่เจือจางจึงเป็นเหตุให้ความหนืดต่ำ ตัวทำละลายที่ใช้ส่วนใหญ่ก็จะเป็น acetone หรือ hexane ลักษณะและจุดเด่นของกระบวนการนี้คือ การใช้เวลาในการตกผลึกสั้นและการกรองแยกได้ง่าย ข้อดีที่ชัดเจนที่สุดของ solvent fractionation คือกระบวนการแยกที่มีประสิทธิภาพสูงและนั่นก็ช่วยให้ yield และให้ความบริสุทธิ์สูงมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากความจริงที่ว่าไม่ว่าจะเป็นการแยกแบบไหนมันก็ขึ้นไปไม่ได้ที่จะแยกลำดับส่วนที่เป็นของเหลวทั้งหมดออกจากส่วนที่เป็นของแข็ง ปริมาณส่วนที่เป็นของเหลวจะเหลืออยู่กับส่วนที่เป็นของแข็งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ รวมทั้งกระบวนการตกผลึกและเทคนิคที่ใช้ในการแยก ในสารละลายเจือจางของกรณี solvent fractionation นั้นส่วนที่เป็นของเหลว (liquid portion) ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นตัวทำละลายปริมาณหนึ่งที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันของน้ำมันได้ หลังจากกระบวนการแยกแล้ว ตัวทำละลายจะถูกนำไปทำระเหยออกไป

ด้วยการมีต้นทุนการผลิตที่สูงนั้นเพราะต้องมีการลงทุนในเรื่องเครื่องจักรสูงด้วยในตอนเริ่มต้น รวมทั้งการใช้สารเคมีที่อาจเกิดไฟได้ กระบวนการ solvent fractionation จึงได้รับความน่าสนใจน้อยลง ปัจจุบันนี้โรงงานผลิตใช้กระบวนการนี้เฉพาะในส่วนของการผลิตไขมันประเภท Cocoa butter replacement (CBR) เท่านั้น (Kellens และคณะ, 2007)

### 2.3.3.3 Dry fractionation

สำหรับ dry fractionation ถือว่าเป็นวิธีการที่ง่ายและประหยัดที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการแยกลำดับส่วนทั้งหมด ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวิธีการแบบธรรมชาติหรือเทคโนโลยีสีเขียว (natural and green technology) ซึ่งไม่มีสารเหลือทิ้งจากกระบวนการ ไม่มีการใช้สารเคมี ซึ่งตรงกันข้ามกับ detergent หรือ solvent Fractionation ในกระบวนการเพียงแต่มีการควบคุมอุณหภูมิให้เกิดการตกผลึกของไขมันที่ละลายโดยเป็นไปตามขั้นตอนการลดอุณหภูมิที่จำเพาะตามด้วยการแยกลำดับส่วนที่เป็นของแข็งออกจากส่วนที่เป็นของเหลว ในกระบวนการประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนในการตกผลึกที่ซึ่งทำให้เกิดผลึกของไขมันแข็งกระจายตัวในส่วนไขมันเหลว (Liquid matrix) และขั้นตอนที่ 2 คือขั้นตอนการแยกโดยแยกลำดับส่วนที่เป็นของเหลว คือ โอลีโออินออกจากส่วนผลึกที่มาจากสเตอริน (Kellens และคณะ, 2007) ในกระบวนการตกผลึกแบบนี้เกิดขึ้นในถังขนาดใหญ่ ด้วยเหตุนี้เองความหนืดจึงเป็นปัญหาที่จำกัดระดับของการตกผลึกของ

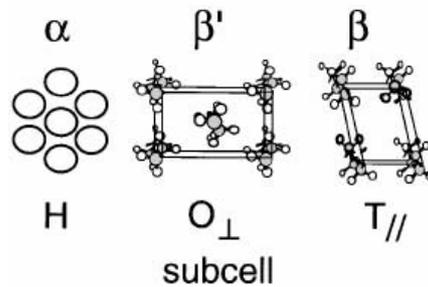
ไขมัน อย่างไรก็ตามด้วยการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ปัจจุบันนี้กระบวนการ dry fractionation ในแบบ Multistage ถูกนำมาใช้ด้วยเพราะมีข้อได้เปรียบที่สามารถผลิตไขมันในช่วงที่กว้าง (wide range of fraction) เหมาะที่จะนำไปใช้งานได้หลากหลาย ได้เข้ามาแทนที่กระบวนการแยกและการผลิตไขมันที่เดิมมักได้มาจากกระบวนการ solvent หรือ detergent fractionation ในกระบวนการตกผลึกของไขมันนั้นมีปัจจัยที่จะต้องพิจารณา คือ

### ก. รูปผลึกที่หลากหลาย (Polymorphism)

พฤติกรรมของการตกผลึกของไตรกลีเซอไรด์ อันได้แก่ อัตราเร็วในการตกผลึก ขนาดของผลึก และโครงสร้างผลึก รูปร่างผลึก และ ความเป็นผลึก เหล่านี้ล้วนได้รับอิทธิพลมาจาก รูปผลึกที่หลากหลายซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยโครงสร้างโมเลกุลและปัจจัยภายนอกหลายๆ อย่างเช่น อุณหภูมิ ความดัน ตัวทำละลาย อัตราการตกผลึก สารเจือปน เป็นต้น ในสถานะที่เป็นของแข็งไตรกลีเซอไรด์ จะอัดตัวกันอยู่แน่นเป็นชั้นๆ แยกจากกันในลักษณะ Head-to-tail (Hernqvist, 1998) และอาจจะเป็นไปได้ที่การจัดเรียงตัวในลักษณะอื่นๆ ในสถานะต่างๆ ไปไขมันและน้ำมันจะตกผลึกอยู่ใน 3 รูปแบบ ซึ่งเป็นผลที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ โดยไตรกลีเซอไรด์มีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในลักษณะ Hexagonal structure ( $\alpha$  form) หรือ orthorhombic ( $\beta'$  form) หรือ triclinic form ( $\beta$  form) โดยพอจะสรุปลักษณะทั่วไปของรูปแบบผลึกที่หลากหลายได้ดังนี้

- ความคงตัว :  $\alpha < \beta' < \beta$
- อัตราเร็วในการตกผลึกของไขมันในรูปแบบ :  $\alpha > \beta' > \beta$
- สมบัติทางกายภาพ อันได้แก่ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว พลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลว และพลังงานกระตุ้นในการตกผลึก (activation energy) :  $\alpha < \beta' < \beta$
- อัตราเร็วในการสร้างนิวเคลียส อัตราเร็วของการตกผลึก การผสมเข้ากันได้กับส่วนของของแข็งและไตรกลีเซอไรด์ (compatibility) :  $\alpha > \beta' > \beta$
- อุณหภูมิที่แตกต่างกันจะชักนำให้เกิดการตกผลึกในรูปแบบที่ต่างกันด้วย

ถ้ามีการลดอุณหภูมิที่ต่ำมากๆ (High supercooling condition) จะเกิดการตกผลึกในรูปแบบ  $\alpha$  เกิดการจับตัวกันแน่นของผลึกขนาดเล็ก สำหรับกรณีของ  $\beta$  นั้นจะเป็นไปในลักษณะตรงกันข้ามคือเกิดขึ้นได้ค่อนข้างยากและเป็นในบางกรณีเท่านั้น เช่น ในกรณีของเนยโกโก้ ลักษณะเนื้อของไขมันแบบ  $\beta$  นั้นทำให้เกิดการแยกที่ค่อนข้างยากจึงต้องหลีกเลี่ยง เพื่อที่จะทำให้การแยกประสบความสำเร็จ ผลึกควรที่จะอยู่กันแน่นและอยู่ในรูป spherical ซึ่งโดยปกติจะพบในกรณีที่ไขมันอยู่ตกผลึกในรูปแบบ  $\beta'$  (Kellens และคณะ, 2007)



ภาพที่ 2 การจัดเรียงตัวในลักษณะต่างๆ ของผลึกไขมัน

หมายเหตุ : Hexagonal structure :  $\alpha$  form, orthorhombic :  $\beta'$  form และ triclinic form :  $\beta$  form

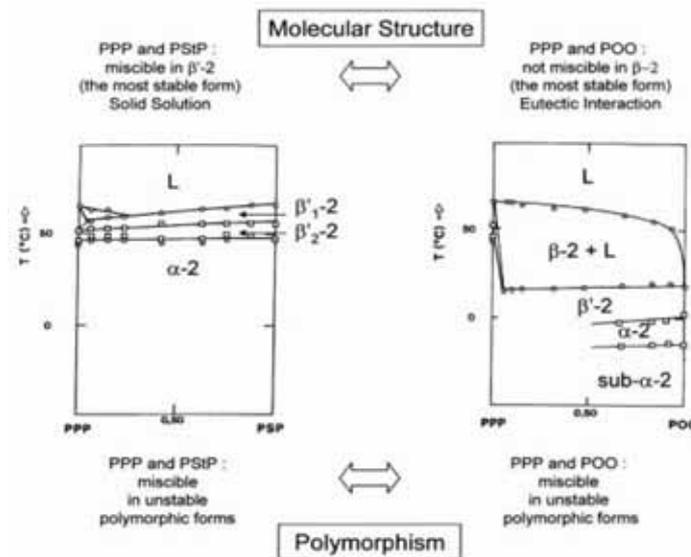
ที่มา : Sato (2001)

#### ข. Intersolubility

ความสามารถที่ไขมันหรือน้ำมันจะเกิดการตกผลึกร่วมกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและรูปแบบผลึกที่หลากหลาย (polymorph) โดยไตรกลีเซอไรด์สามารถเกิดรูปแบบของแข็งที่แตกต่างกันได้และนั่นจึงมีผลต่อเนื่องที่ทำให้การแยกผลึกของไขมันไม่ได้ขึ้นกับเพียงแต่ประสิทธิภาพกระบวนการแยกเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับ phase behaviour ของไตรกลีเซอไรด์ในวัฏภาคของแข็งด้วย

เนื่องจากสมบัติในทางโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ที่ใกล้เคียงกัน (Closely linked structural) ทำให้สามารถสร้างผลึกร่วม (co-crystals) ได้โดยในระบบแบบ binary ขององค์ประกอบที่บริสุทธิ์นั้นได้รับความสนใจและมีการศึกษามากมาย (Rossell, 1967; Gibon, 1984; Kellens, 1991; Wesdorp, 1990; Ollivon, 1992; Sato, 2001) ในกรณีของน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภคนั้นมีความซับซ้อนมากกว่าเพราะมันประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์หลากหลายชนิดที่ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีคล้ายๆ กันแต่แตกต่างกันที่ความยาวของสาย ระดับของความไม่อิ่มตัว และตำแหน่งของไอโซเมอร์ ขึ้นอยู่กับว่าโครงสร้างทางเคมีและรูปแบบผลึกที่หลากหลายทำให้ไตรกลีเซอไรด์บางชนิดสามารถที่จะละลายเข้ากันได้เมื่อนำมาผสมหรือเป็นสารละลายของแข็งหรือไม่ โดยที่ส่วนที่เหลือก็จะตกผลึกแยกลำดับส่วนออกไป ไม่สามารถผสมกันได้ในสถานะของแข็งและทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์แบบ eutectic หรือ monotectic (Gibon, 2006) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งแสดง Binary Phase diagrams (temperature composition) ของ PPP/PSiP และ PPP/POO เกิดจากข้อมูลของ Powder X-ray diffraction และ DSC โดย Binary Phase diagrams นี้ได้จากการผสมและละลายไตรกลีเซอไรด์ 2 ชนิดที่บริสุทธิ์ในอัตราส่วนต่างๆ หลังจากนั้นตัวอย่างจะถูกทำให้เย็น

ตัวอย่างรวดเร็วไปที่อุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  และให้ความร้อนในอัตราคงที่  $5^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที สำหรับกราฟการเปลี่ยนโครงสร้างผลึก Transition (สี่เหลี่ยม) และการละลาย (วงกลม) นั้นถูกวัดโดยวิธี DSC สำหรับ Powder X-ray diffraction นั้นใช้ในใช้ในการศึกษารูปผลึกที่หลากหลายดังแสดงในภาพที่ 3 (Gibon, 2006)



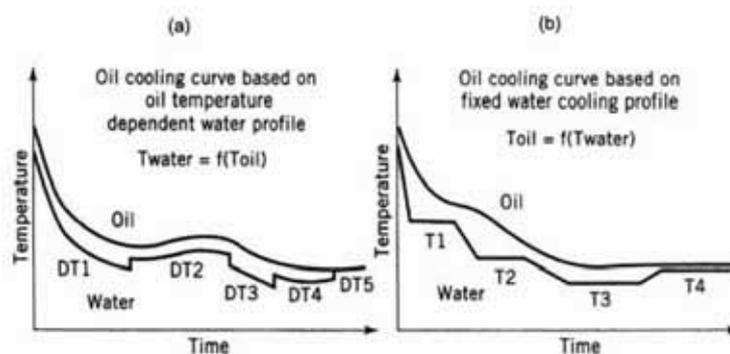
ภาพที่ 3 Binary Phase diagrams (temperature composition) ของ PPP/PSiP และ PPP/POO  
ที่มา : Gibon (2006) อ้างโดย Kellens และคณะ (2007)

ในทางปฏิบัติ phase behavior ของไขมันในสถานะของแข็งนั้นพิจารณากันว่ามีความอิทธิพลมาจากสถานะที่ใช้ในการตกผลึก โดยการตกผลึกนั้นไม่ได้เกิดขึ้นในทันทีที่ไขมันที่เป็นของเหลวถูกลดอุณหภูมิต่ำลงถึงจุดที่ตั้งไว้เพราะมีความเกี่ยวข้องกับค่าของพลังงานกระตุ้นอิสระของการตกผลึก (activation free energy of crystallization) การตกผลึกโดยปกติเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้นตัวอย่างเช่นในกระบวนการต้องทำให้มีการลดอุณหภูมิลงปริมาณหนึ่งสำหรับ supercooling เพื่อที่จะทำให้การตกผลึกเริ่มต้น โดยค่าพลังงานกระตุ้นอิสระ ในกรณีของ  $\beta$  นั้นจะสูงที่สุด มีค่าในระดับกลางสำหรับ  $\beta'$  และต่ำสุดสำหรับ  $\alpha$  พฤติกรรมการตกผลึกนั้นเกิดจากบทบาทของ intersolubility ขององค์ประกอบที่แตกต่างกันในสถานะของแข็งภายใต้สภาวะการลดอุณหภูมิที่กำหนดสถานะเหล่านั้นโดยปกติไม่ได้เป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ที่สถานะสมดุลแต่ขึ้นอยู่กับจลนพลศาสตร์มากกว่า ( Kellens และคณะ, 2007)

### ก. Crystallization (การตกผลึก)

การตกผลึกประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ Supercooling ของไขมันที่หลอมเหลว การเกิดนิวเคลียส (Nucleation) และการโตของผลึก (Crystal growth) โดยปกติผลึกจะไม่อยู่เดี่ยวๆ แต่มีแนวโน้มจะเกาะกันเป็นกลุ่ม จุดสำคัญของกระบวนการแยกลำดับส่วนก็คือการทำให้เกิดความจำเพาะ (selectivity) ของการตกผลึกของไขมันที่ต้องการและกระบวนการแยก แต่อย่างไรก็ตามความจำเพาะของไขมันที่ต้องการแยกจะถูกจำกัดด้วยระดับความเข้ากันได้ (compatibility) กับไขมันชนิดอื่นที่แตกต่างไปในสถานะของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากรูปแบบของผลึกและองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (Kellens และคณะ, 2007)

ไขมันที่ต้องการแยกไม่ได้ขึ้นอยู่กับแค่อัตราการลดอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับว่าในการปฏิบัติจริงมีข้อจำกัดของเครื่องมือเองด้วยหรือไม่ เช่น ลักษณะระบบการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ของถังตกผลึกรวมทั้งประสิทธิภาพของกระบวนการแยก ดังภาพที่ 4 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการลดอุณหภูมิที่เป็นไปได้ (Krishnamurthy และ Kellens, 1996) กราฟของการลดอุณหภูมิไขมันนั้นอาจเป็นไปได้ในลักษณะ (1) การที่ค่อยๆ ลดระดับอุณหภูมิของน้ำเย็นลง โดยพิจารณา  $\Delta T$  ของอุณหภูมิน้ำมันกับอุณหภูมิน้ำเย็นให้พอเหมาะเพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำมันในแต่ละจุดมากเกินไปและเกิดการตกผลึกที่มีประสิทธิภาพ (2) ให้อุณหภูมิน้ำเย็นลดลงตามโปรแกรมที่ตั้งไว้แล้วอุณหภูมิของน้ำมันก็จะลดลงตามจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิตสุดท้ายของน้ำเย็น ความแตกต่างในรูปแบบการทำความเย็นนั้นทำให้เกิดความหลากหลายของเทคโนโลยีโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบการทำความเย็นและการออกแบบกระบวนการกวน (Gibon, 2006)



ภาพที่ 4 รูปแบบการลดอุณหภูมิ (1) ขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำมัน (2) รูปแบบที่ขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำเย็นในระหว่างกระบวนการตกผลึกแบบ dry fractionation

ที่มา : Krishnamurthy และ Kellens (1996)

โดยปกติแล้วก่อนกระบวนการตกผลึก น้ำมันจะต้องถูกทำให้ละลายอย่างสมบูรณ์ก่อนเพื่อที่จะทำลายผลึกที่มีอยู่ในวิภาคของน้ำมัน (erase the thermal memory) หลังจากนั้นทำน้ำมันให้เย็นลงโดยการควบคุมตามโปรแกรมการลดอุณหภูมิที่ตั้งไว้ซึ่งขึ้นอยู่กับ Feed stock และไขมันส่วนที่ต้องการ การสร้างนิวเคลียสเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไขมันที่หลอมเหลวนั้นต่ำกว่าอุณหภูมิสมดุลของเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic equilibrium temperature) อย่างเพียงพอ และไขมันที่หลอมเหลวจะเริ่มเข้าสู่สถานะที่เรียกว่า supercooled แล้วเกิดการสร้างนิวเคลียสขึ้นโดยการสร้างนิวเคลียสมีด้วยกัน 3 แบบอันได้แก่

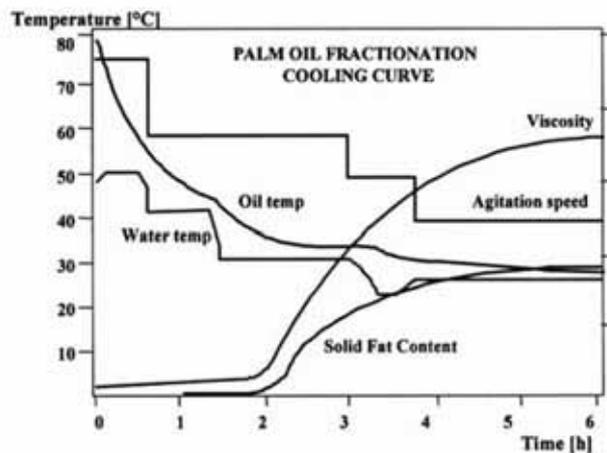
1. Homogenous Nucleation เกิดขึ้นใน mother phase ที่มีปริมาณมาก
2. Heterogenous Nucleation การเกิดนิวเคลียสเกิดในสถานะที่มี foreigns substanous
3. Secondary Nucleation นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากกรณีที่ชิ้นส่วนผลึกขนาดเล็กๆ แยกออกจากผลึกเดิมที่มีอยู่ แล้วทำหน้าที่เสมือนนิวเคลียสใหม่

ในระบบจริงๆ พบว่า heterogeneous มักเกิดขึ้นก่อนที่ homogeneous nucleation จะเกิดขึ้น โดยมันเกิดขึ้นโดยที่ของแข็งขนาดเล็กๆ ที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางเคมีหรือกายภาพ (chemical or physical affinity) แล้วเกิดวิภาคใหม่ ตัวอย่างเช่น ฟูนผง ผงด้านข้างของถังตกผลึกหรือสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ (Kellens และคณะ, 2007)

เมื่อมีนิวเคลียสเกิดขึ้นแล้วนั้นก็เกิดการโตขึ้นอีก โดยอัตราการโตนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกเพียงอย่างเดียว (อันได้แก่ ระดับของการลดอุณหภูมิ ตัวบัพยั้ง เป็นต้น) แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในอันได้แก่ รูปผลึกที่หลากหลาย สัณฐานวิทยาของผลึก ผลึกที่คิดปกติ เป็นต้น อัตราการโตของผลึกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ supercooling และผกผันกับความหนืด ซึ่งพบว่าหากความหนืดมีมากขึ้นก็จะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนโมเลกุลระหว่างส่วนที่เป็นของเหลว (bulk phase) และส่วนที่เป็นผิวผลึกเกิดขึ้นได้ช้าและยาก ทำให้การโตของผลึกเกิดขึ้นช้าไปด้วย ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้เกิดการโตของผลึกอย่างต่อเนื่องและได้ผลึกที่มีขนาดสม่ำเสมอ นั้น ส่วนของไขมันจะต้องอยู่ในสถานะที่เป็นเนื้อเดียว มีความหนาแน่นพอสมควรแต่อย่างไรก็ตามต้องระวังและไม่ใช้การกวนที่ทำลายโครงสร้าง (Kellens และคณะ, 2007)

ในระหว่างการลดอุณหภูมิแล้วทำให้การตกผลึกของไขมันเกิดขึ้นนั้น ความหนืดของน้ำมันส่วนเหลวก็จะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 5 แต่ความหนืดไม่ใช่เป็นผลมาจากการที่มีส่วนของของแข็งเพิ่มขึ้นในระบบเท่านั้นแต่ยังได้รับอิทธิพลมาจากความหลากหลายของขนาดของผลึกไขมันรวมทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างผลึกที่แตกต่างกันด้วย ด้วยปฏิสัมพันธ์แบบแรงดึงดูดระหว่างผลึกไขมัน ทำให้ไขมันมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยผลึกไขมันที่มีขนาดใหญ่หลายๆ สามารถ

สังเกตเห็นได้ในระหว่างกระบวนการตกผลึกมักจะประกอบไปด้วยผลึกไขมันขนาดเล็กที่แตกต่างกันยึดกันไว้ด้วยพันธะแบบอ่อนๆ การเกาะกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่อาจทำให้การแยกมีประสิทธิภาพต่ำลงเนื่องมาจากการมีส่วนที่เป็นของไขมันเหลวในระหว่างชั้นของผลึกมากขึ้น



ภาพที่ 5 ผลกระทบของการลดอุณหภูมิต่อการสร้างไขมันแข็ง โดยการวัด SFC ด้วยวิธี p-NMR และความหนืดเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการตกผลึกไขมันปาล์ม  
ที่มา : Kellens และคณะ (2007)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผลึกสามารถวัดได้ด้วยสภาวะภายในและภายนอก จลพจนศาสตร์ของการตกผลึกขึ้นกับอัตราการเกิดนิวเคลียสรวมทั้งอัตราการโตของนิวเคลียส ขนาดและรูปร่างของผลึกสุดท้ายขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยนี้ โดยปกติอัตราการลดอุณหภูมิอย่างช้าๆจะมีผลให้เกิดผลึกขนาดใหญ่ ในขณะที่ถ้ามีการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดผลึกขนาดเล็กกว่า ขนาดของผลึกที่เหมาะสมและดีที่สุดที่สุคนั้น โดยส่วนใหญ่จะวัดกันจากเทคนิคการแยกถ้าจะเฉพาะเจาะจงไปมากกว่านั้นก็อาจอาศัยความละเอียดของสายพานกรองหรือผ้ากรอง อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญมากกว่าขนาดของผลึกคือความสม่ำเสมอของขนาดผลึกและรูปร่างรวมทั้งความสามารถในการต้านแรงเค้น และเพื่อให้เป็นไปได้อย่างที่กล่าวมานี้จำเป็นจะต้องมีการควบคุมการเกิดนิวเคลียสและการตกผลึกของไขมันที่ต้องการ (Kellens และคณะ, 2007)

### 2.3.4 กระบวนการแยกไขมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีการแยกลำดับส่วน (Separation technique for fractionated palm oil)

เป้าหมายหลักของกระบวนการแยกคือเพื่อให้ได้คุณภาพของของแข็ง (สเตียร์น) และของเหลว (โอเลอิน) แยกออกจากกัน โดยทั้ง 2 ส่วนนั้นมีสมบัติทางเคมีกายภาพและวัตถุประสงค์การนำไปใช้ที่ต่างกัน โดยเมื่อจบกระบวนการตกผลึกแล้วนั้นไตรกลีเซอไรด์กระจายอยู่ใน 3 ส่วนด้วยกัน คือ (Kellens และคณะ, 2007)

- ส่วนที่เป็นของแข็งในรูปแบบผลึก
- ส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนของเหลวที่ไม่เกิดการตกผลึก
- ส่วนสุดท้ายจะมีลักษณะเป็นของเหลวที่ยึดอยู่กับผิวของส่วนผลึกไขมันแข็ง

จากข้อมูลพื้นฐานของข้อมูลนี้ทำให้เกิดเครื่องจักรที่ใช้ในการแยกที่มีลักษณะต่างๆ กัน เมื่อยึดตามประสิทธิภาพของการแยกแล้วนั้นสามารถเรียงลำดับได้คือ

#### 2.3.4.1 การกรองแบบสุญญากาศ (Vacuum filters)

สำหรับการกรองสุญญากาศนั้นมีการใช้งานอยู่ 2 ประเภทได้แก่ แบบ rotary drum และ belt filters ซึ่งทั้ง 2 ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการแยกผลึกของไขมันจาก mother oil ส่วนขั้นตอนที่ 2 หลังจากที่ได้ผลึกไขมันรวมกันแล้วที่มีลักษณะที่เรียกว่า cake (ยังคงมีส่วนของไขมันเหลวปนอยู่มาก) ต้องทำการดูดไขมันเหลวเหล่านั้นออกภายใต้สุญญากาศ การแยกแบบนี้มักนิยมใช้เมื่อต้องการสเตียร์นที่อ่อน (soft stearins) (Kellens และคณะ, 2007)



ภาพที่ 6 เครื่องจักรที่ใช้ในการแยกไขมันแบบสุญญากาศชนิดต่างๆ (a) rotary drum, (b) Florentine belt filter

ที่มา : <http://www.soci.org/SCI/groups/oil/> (วันที่ 18 ก.ย. 2551)

#### 2.3.4.2 การกรองแบบบีบอัด (Press filter)

สำหรับการกรองแบบบีบอัดที่มีใช้งานอยู่มากนั้นจะเป็นแบบ membrane ซึ่งประกอบไปด้วย chamber plate ต่อๆ กัน เมื่อเทียบกับการกรองแบบสุญญากาศแล้วนั้น ระบบนี้จะมีพื้นที่ในการกรองมากกว่าเพื่อที่จะทำให้การกรองเร็วและสม่ำเสมอ ผลึกสเตียรินถูกทำให้เข้มข้นโดยขึ้นอยู่กับระบบของ filter chamber รวมทั้งการบีบอัดหรือรีดด้วย inflatable membrane ซึ่งทำให้การแยกน้ำมันที่ยึดติดอยู่กับสเตียรินนั่นทำได้ดีและได้โอเลอิน yield สูงขึ้น ด้วยระบบ differential pressure ที่มีค่าสูงทำให้การแยกแบบนี้จึงไม่ค่อยมีผลกระทบต่อ โครงสร้างของผลึกมากนัก



ภาพที่ 7 เครื่องจักรในการแยกแบบ Membrane Press filter

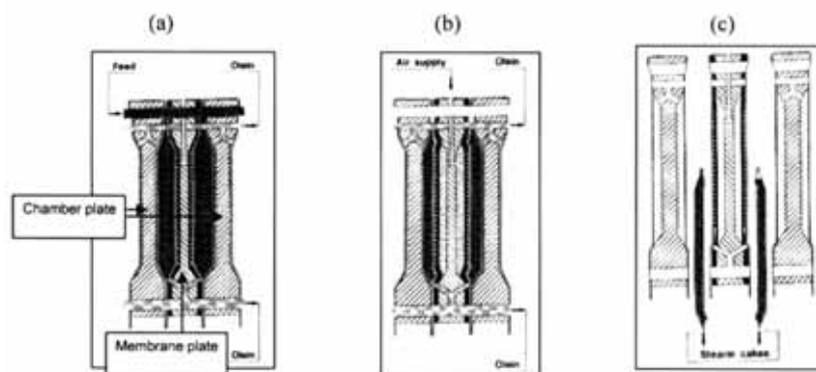
ที่มา : <http://www.andritz.com> (วันที่ 18 ก.ย. 2551)

การแยกแบบนี้มีลักษณะเป็นกระบวนการแบบกึ่งต่อเนื่องโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ การกรอง (filtering) และบีบอัด (squeezing) ดังแสดงในภาพที่ 8 ในส่วนของการกรองนั้นของผสมระหว่างไขมันแข็งกับน้ำมัน (slurry) นั้นถูกอัดลงใน filter chamber ทำให้ส่วนของโอเลอินอิสระจำนวนมากถูกแยกออกมา ในขั้นตอนต่อมาผลึกที่มีความเข้มข้นสูงแล้วนั้นถูกบีบอัดเชิงกลภายใน filter cloths โดยการทำให้ membrane พองตัวเพื่อที่จะรีดให้ส่วนของโอเลอินที่เหลืออยู่ในส่วนของแข็งออกไป จากนั้นจึงเปิดระบบกรองแล้วส่วนของก้อนไขมันที่แยกได้แล้วจะถูกปล่อยให้ตกลงมา (Kellens และคณะ, 2007)

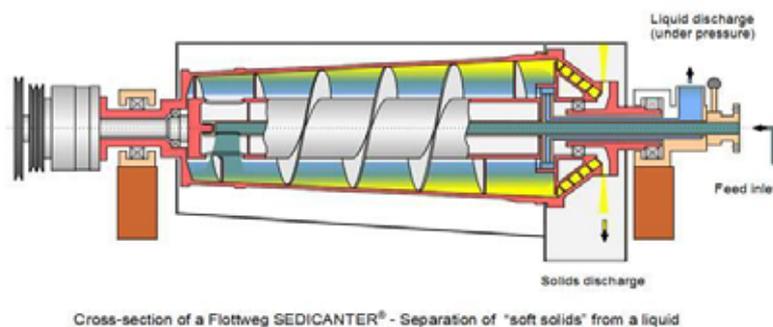
#### 2.3.4.3 การปั่นแยก (Centrifuges)

การปั่นแยกนั้นอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่นของวัฏภาคของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผสมกันอยู่ ความหนาแน่นของไขมันแข็งนั้นขึ้นอยู่กับทั้งขนาดของผลึก

ไขมันและพฤติกรรมของผลึกไขมัน โดยจะมีมากขึ้นตามลำดับ  $\alpha > \beta' > \beta$  เนื่องจากการจัดเรียงตัวที่แน่นและใกล้ชิดกันมากขึ้นในโครงร่างผลึก ความหนาแน่นของส่วนสเตอรินและโอเลอีนนั้นปกติแตกต่างกันประมาณ 100 กก/ลบ.ม. และอาจวัดได้จากปริมาณไขมันเหลวที่เหลืออยู่ในส่วนของก้อนผลึกไขมัน (Kellens และคณะ, 2007)



ภาพที่ 8 ลำดับของระบบการกรองแบบ membrane (1) filling (2) squeezing และ (3) discharge ที่มา : Kellens และคณะ (2007)



ภาพที่ 9 เครื่องจักรในการแยกแบบ Centrifuge decanter

ที่มา : [www.sgconsulting.co.za](http://www.sgconsulting.co.za) (วันที่ 18 ก.ย. 2551)

สำหรับกระบวนการแยกแบบใหม่ๆ นั้นเช่นการปั่นแยกโดยใช้ nozzle ถูกพัฒนาและนำมาใช้งานในระบบปั่นแยกโดยที่ไม่ต้องมีการเติมสารใดๆ ลงไป (Wilp, 2001) กระบวนการปั่นแยกแบบอื่นๆ นั้น เช่น การปั่นแยกแบบ conical sieve, tightly fitting และ co-rotating worm ก็

ได้มีการศึกษาเช่นกัน (Maes และ Dijkstra, 1985) เมื่อเร็วๆ นี้ก็มีการพัฒนากระบวนการปั่นแยกที่เรียกว่า decantation (Innovative centrifugal technology, 2006) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะนำมาแยกโอเลอินและสเตียรีนออกจากกันได้โดยอาศัยความแตกต่างของความเร็วช้าของการตกตะกอนซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลึก รูปร่าง และความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างไขมันทั้ง 2 ชนิด รวมไปถึงความหนืดในส่วนของโอเลอิน

### 2.3.5 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการในการแยกต่อสมบัติของไขมันที่ได้จากกรรมวิธี การแยกลำดับส่วน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการกรองแบบสุญญากาศ การปั่นแยก และการบีบอัดแล้วพบว่า การแยกโดยใช้วิธีการบีบอัดนั้นมีข้อได้เปรียบมากกว่าวิธีอื่นๆ เพราะให้ประสิทธิภาพในการแยกที่สูงกว่า ลดการเปลี่ยนแปลงด้าน morphology ของไขมัน ทำให้มีการเกิด Oxidation ของไขมันน้อย รวดเร็ว และใช้พลังงานต่ำ เนื่องจากประสิทธิภาพในการแยกนั่นเองทำให้สเตียรีนที่ได้มีค่าไอโอดีนที่ต่ำ มีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้นและรูปแบบของ SFC ที่สูงขึ้น Olein yield ที่ได้จากการบีบอัดนั้นมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ การปั่นแยก และการกรองสุญญากาศที่ต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1 (Kellens และคณะ, 2007)

อย่างที่ได้อธิบายไปแล้วว่าเป็นการยากที่จะแยกเอาส่วนที่เป็นของเหลวทั้งหมดออกจากส่วนของของแข็งไม่ว่าจะใช้เทคนิคใดๆ อันเนื่องมาจากส่วนของเหลวนั้นจับยึดอยู่ระหว่างผลึกและ

**ตารางที่ 1** ผลเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของการแยกด้วยวิธีการต่างๆ โดยพิจารณาจากค่าไอโอดีน (IV) และค่า Solid fat content (SFC)

|                             | Vacuum<br>filtration<br>(rotary<br>drum) | Nozzle<br>centrifuge<br>separation | Membrane press<br>filtration<br>(squeezing<br>pressure: 16 bar) |
|-----------------------------|--|------------------------------------|---|
| IV palm oil                 | 52                                       | 52                                 | 52  |
| IV palm olein               | 56–57                                    | 56–57                              | 56–57   |
| IV palm stearin             | 40–42                                    | 36–38                              | 30–32   |
| SFC of crystallized oil [%] | 11                                       | 11                                 | 11  |
| SFC of stearin cake [%]     | 43                                       | –                                  | 65  |
| Olein yield [%]             | 72                                       | 76                                 | 82  |

ที่มา : Kellens และคณะ (2007)

ในผลึก เมื่อเทียบระหว่าง membrane press กับการกรองแบบสุญญากาศแล้วนั้น membrane press สามารถแยกลำดับส่วนที่เป็นของเหลวออกมาได้ดีกว่านั้นก็เพราะว่าการใช้ระดับความดันที่แตกต่างกัน ในกรณีของน้ำมันปาล์มที่มาตรฐานการกรองแบบ membrane press นั้นใช้ความดันที่ 6 บาร์ จะทำให้ Olein yield นั้นสูงขึ้นได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการกรองแบบสุญญากาศ องค์ประกอบของไขมันรวมทั้งสภาวะที่ใช้ในการตกผลึกและกระบวนการกรองนั้นมีผลต่อปริมาณของโอเลอินที่เหลืออยู่ในส่วนของก้อนสเตียรีน (stearin cake) ผลในด้านบวกของแรงบีบอัดต่อคุณภาพของส่วนไขมันปาล์มแข็งนั้นแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่ายิ่งใช้แรงบีบอัดสูงขึ้นก็จะทำให้โอเลอินที่เหลืออยู่ในก้อนสเตียรีนลดลง อย่างไรก็ตามไม่ใช่ว่าผลึกทุกแบบจะต้านทานต่อแรงบีบอัดที่สูงได้ จึงมีผลให้สเตียรีนบางส่วนหรือทั้งหมดหลุดผ่านผ้ากรองไปได้ การแก้ไขอาจทำได้โดยการใช้แรงดันที่ต่ำลงและใช้ก้อนสเตียรีนเล็กลง (Kellens และคณะ, 2007)

**ตารางที่ 2** ผลเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของการแยกด้วยแรงบีบอัดที่ระดับต่างๆ และผลต่อคุณภาพของ palm oil fraction

| Squeezing pressure | SFC of stearin cake [%] | Yield [%] |       | IV      |       |
|--------------------|-------------------------|-----------|-------|---------|-------|
|                    |                         | Stearin   | Olein | Stearin | Olein |
| 50 mm <sup>§</sup> |                         |           |       |         |       |
| 6 bar              | 55                      | 23.6      | 76.4  | 39.7    | 57.1  |
| 15 bar             | 61                      | 20.0      | 80.0  | 36.6    | 57.1  |
| 30 bar             | 65                      | 18.3      | 81.7  | 34.7    | 57.1  |
| 25 mm <sup>§</sup> |                         |           |       |         |       |
| 6 bar              | 60                      | 20.6      | 79.4  | 36.8    | 57.2  |
| 15 bar             | 66                      | 18.8      | 81.2  | 34.9    | 57.2  |
| 30 bar             | 70                      | 16.7      | 83.3  | 32.1    | 57.2  |

<sup>§</sup> Chamber plate width.

หมายเหตุ : IV : Iodine value, SFC : Solid fat content

ที่มา : Kellens และคณะ (2007)

## 2.4 กระบวนการแยกลำดับส่วนน้ำมันปาล์มแบบ dry fractionation

น้ำมันปาล์มนั้นถือว่ามีค่าสำคัญมากที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกลำดับส่วน มีการติดตั้งกระบวนการแยกลำดับส่วนกันเป็นจำนวนมากในระดับอุตสาหกรรมทั้งน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มที่ทำให้ออกฤทธิ์แล้วนั้นถูกนำมาผ่านกระบวนการแยกลำดับส่วนโดยใช้ Multistage

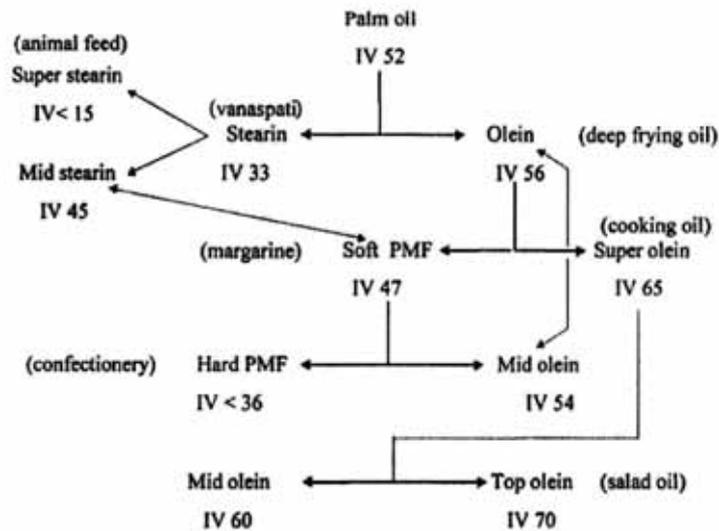
ที่มีบทบาทมากขึ้นในการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 10 นั้นเป็นการแสดงขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ของการแยกน้ำมันปาล์ม โดยส่วนแรกนั้นจะได้โอเลอินที่มีค่าไอโอดีน 56 และสเตียรีนที่มีค่าไอโอดีน 33 แล้วถ้านำส่วนสเตียรีนนี้ไปแยกต่อก็จะได้ Super stearin ที่มีค่าไอโอดีนน้อยกว่า 15 และ Mid stearin ที่มีค่าไอโอดีน 45 ส่วนถ้านำโอเลอินที่มีค่าไอโอดีน 56 ไปแยกต่อจะได้เป็น Super Olein ที่มีค่าไอโอดีน 65 และ Soft PMF ที่มีค่าไอโอดีน 47 ซึ่งเราสามารถนำส่วนที่แยกได้แต่ละขั้นตอนไปแยกต่อและหรือนำมาผสมกันเพื่อให้ได้น้ำมันและไขมันที่เหมาะสมกับจุดประสงค์การใช้งาน น้ำมันในแต่ละส่วนที่ผ่านการแยกลำดับส่วนแล้วนั้นก็มีรูปแบบการหลอมเหลวหรือ SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 11 หากสมบัติการหลอมเหลวของน้ำมันและไขมันที่แยกได้ยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานยังสามารถนำแต่ละส่วนมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รูปแบบการหลอมเหลวอย่างที่ต้องการได้ทำให้มีความหลากหลายและสอดคล้องกับการนำไปใช้งานมากขึ้นดังแสดงการนำไปใช้ในหลากหลายผลิตภัณฑ์ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการแยกลำดับส่วนไปใช้งานในด้านต่าง ๆ

| Product                     | Palm oil | Olein | Stearin | Super olein | Middle stearin | Palm mid fraction |
|-----------------------------|----------|-------|---------|-------------|----------------|-------------------|
| Shortenings                 | +++      | +++   | ++      | -           | +++            | +                 |
| Margarines                  | ++       | +++   | +       | -           | +++            | +                 |
| Frying fats                 | +++      | +++   | -       | +++         | ++             | +                 |
| Cooking oils                | -        | ++    | -       | +++         | -              | -                 |
| Salad oils                  | -        | +     | -       | +++         | -              | -                 |
| Specialty fats for coatings | -        | -     | -       | -           | +              | ++                |
| Cocoa butter extenders      | -        | -     | -       | -           | +              | +++               |
| Ice cream                   | +++      | -     | -       | -           | -              | -                 |
| Icings                      | ++       | -     | -       | -           | +              | ++                |
| Biscuits                    | +++      | +     | +       | -           | ++             | -                 |
| Cakes                       | +++      | -     | +       | -           | ++             | -                 |
| Cookies                     | +++      | -     | +       | -           | ++             | -                 |
| Crackers                    | +++      | +     | +       | -           | ++             | -                 |
| Noodles                     | +++      | +++   | -       | -           | ++             | -                 |
| Fatty acids source          | +        | -     | +++     | -           | -              | -                 |
| Hard coatings               | -        | -     | ++      | -           | -              | -                 |

§ +++, highly suitable; ++, suitable; +, limited application; -, not suitable

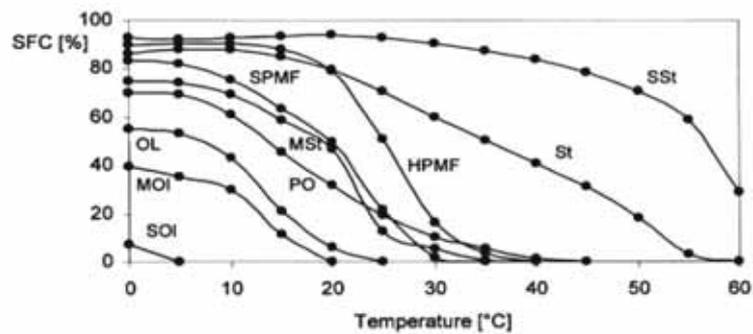
ที่มา : Kellen และคณะ (2007)



ภาพที่ 10 Multistage dry fractionation ของน้ำมันปาล์ม

หมายเหตุ : PMF : Palm mid fraction, IV : Iodine Value

ที่มา : Kellens และคณะ (2007)



ภาพที่ 11 รูปแบบของ SFC ของ Palm fraction ที่ต่างๆ กัน

หมายเหตุ : OI : Olein, SOI : Super olein, MOI : mid olein, PO : palm oil, MSt : mid stearin, SPMF : Soft palm mid fraction, HPMF: Hard palm mid fraction, St : Stearin, SSt : Superstearin

ที่มา : Kellens และคณะ (2007)

น้ำมันและไขมันนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบที่ซับซ้อนของ Acylglycerol ซึ่งประกอบไปด้วยกรดไขมันที่มีความหลากหลายอันได้แก่ ปาล์มติก (P, C16:0) สเตียริก (St, C18:0) โอลิก (O, C18:1) ลิโนเลอิก (L, C18:2) และ ลิโนเลนิก (Ln, C 18:3) เป็นกรดไขมันหลัก กรดไขมันเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้กว้างๆ คือ กรดไขมันอิ่มตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว และเป็นผลต่อเนื้อให้ไตรกลีเซอไรด์แบ่งออกได้ 4 กลุ่ม อันได้แก่ Trisaturated (SSS) Disaturated (SSU-SUS) Diunsaturated (SUU-USU) และ Fully unsaturated (UUU) ทำให้ไตรกลีเซอไรด์เหล่านี้มีสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี รวมถึงศักยภาพในการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4 และสำหรับองค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม ปาล์มสเตียรีน ปาล์มโอลีน และปาล์มซูเปอร์โอลีนนั้นแสดงดังตารางที่ 5 (Krishnamurthy และ Kellens, 1996)

**ตารางที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีในไตรกลีเซอไรด์กับลักษณะทางกายภาพและการนำไปใช้งาน

| Triacylglycerols | Physical state of the product | Final application                           |
|------------------|-------------------------------|---|
| SSS              | Solid                         | Fatty acid production<br>Hard coatings      |
| SSU-SUS          | Solid → semi-solid            | Confectionery                               |
| SUU-USU          | Semi-solid → liquid           | Margarines                                  |
| UUU              | Liquid                        | Salad (dressing) oils<br>Liquid frying oils |

ที่มา : Krishnamurthy และ Kellens (1996)

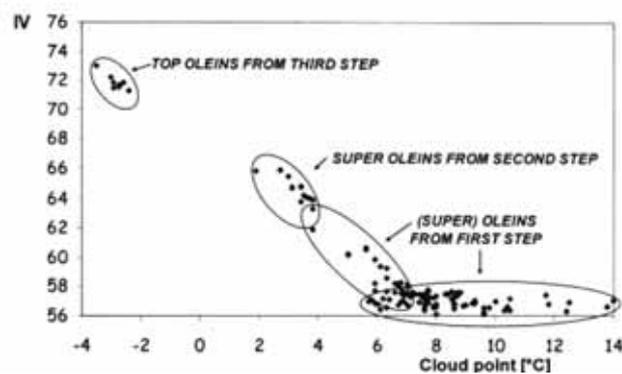
โดยพื้นฐานแล้วเป้าหมายหลักของ dry fractionation คือการแยกลำดับส่วนของ Trisaturated ออกมาเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นตามมาด้วย Disaturated และ Diunsaturated ตามลำดับ อันเนื่องมาจาก Intersolubility ที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับการมีรูปผลึกที่หลากหลาย (Polymorphism) ซึ่งเป็นที่ชัดเจนมากกว่าส่วนที่เป็น Trisaturated นั้นยากมากที่จะหลีกเลี่ยงไม่ทำให้ส่วนที่เป็น SSU-SUS, SUU-USU และ UUU ปะปนเข้ามา ในขั้นตอนแรกของการแยกลำดับส่วน น้ำมันปาล์มจะลดส่วนที่เป็น SSS ในโอลีนลงมากเท่าที่จะทำได้ เมื่อมีการควบคุมการตกผลึกอย่างเหมาะสมองค์ประกอบส่วนนี้จะลดลงจนเป็นศูนย์ ส่งเสริมให้เกิด SUU-USU และ UUU ที่มากขึ้น ในขณะที่ SSU-SUS ที่เหลืออยู่จะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อ SSS ถูกแยกออกไปจนหมดในขั้นตอนแรก SSU-SUS จะเริ่มเข้ามาปนกันมากขึ้นในขั้นตอนที่ 2 ทำให้ค่าไอโอดีนมีค่ามากขึ้น

ตารางที่ 5 องค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม ปาล์มสเตียรีน ปาล์มโอเลอิน และปาล์มซูเปอร์โอเลอิน

|          | Palm oil<br>IV 52.3 | Palm stearin<br>IV 34.3 | Palm olein<br>IV 56.7 | Palm olein<br>IV 58.9 | Palm super olein<br>IV 65.8 |
|----------|---------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| LLL      | 0.5                 | 0.3                     | 0.6                   | 0.7                   | 0.8                         |
| PLL/MOL  | 2.7                 | 1.5                     | 0.6                   | 0.6                   | 0.3                         |
| OOL      | 1.9                 | 1.1                     | 2.0                   | 2.1                   | 2.8                         |
| PLP/SLL  | 10.7                | 5.9                     | 12.0                  | 12.9                  | 16.6                        |
| PLP/MOP  | 10.4                | 7.5                     | 10.9                  | 11.2                  | 11.9                        |
| MPP      | 0.4                 | 2.0                     | 4.0                   | 4.4                   | 5.4                         |
| POO      | 22.7                | 12.9                    | 24.5                  | 26.3                  | 33.4                        |
| POP/PLSt | 30.3                | 27.5                    | 30.2                  | 28.7                  | 19.0                        |
| PPP      | 6.1                 | 26.5                    | 1.7                   | nd                    | nd                          |
| SIOO     | 2.5                 | 1.5                     | 3.1                   | 3.3                   | 3.8                         |
| POSt     | 5.5                 | 4.8                     | 6.0                   | 5.9                   | 2.8                         |
| PPSt     | 1.2                 | 5.3                     | 0.2                   | nd                    | nd                          |
| StOSt    | 0.7                 | 0.5                     | 0.4                   | 0.3                   | nd                          |
| PStSt    | 0.1                 | 0.6                     | nd                    | nd                    | nd                          |
| UUU      | 6.0                 | 3.4                     | 6.7                   | 7.2                   | 9.0                         |
| SUU-USU  | 38.6                | 21.8                    | 42.9                  | 46.1                  | 57.1                        |
| SSU-SUS  | 47.5                | 40.7                    | 48.3                  | 46.7                  | 34.0                        |
| SSS      | 7.9                 | 34.1                    | 2.1                   | nd                    | nd                          |

หมายเหตุ : M : Myristic, P : Palmitic, St : Stearic, O : Oleic, L : Linoleic, S : Saturated fatty acid, U : Unsaturated fatty acid, IV : Iodine value, nd : not detected

ที่มา : Kellens และคณะ (2007)



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง IV และ CP ของ liquid fraction ในระบบ Multistage dry fractionation ของน้ำมันปาล์ม

ที่มา : Tirtiaux และ Gibon (1998)

และค่า Cloud point (CP) คืออุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดเป็นผลึก ทำให้มีความขุ่นเกิดขึ้นหรืออุณหภูมิที่เริ่มทำให้มองเห็นเทอร์โมมิเตอร์ที่แช่อยู่ในน้ำมันนั้น (นิธิยา, 2548) มีค่าลดลง POO และ POL ซึ่งเป็น Diunsaturated เป็น ไตรกลีเซอไรด์ที่มีผลให้มีค่า CP ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 12 สังเกตได้ว่าส่วนโอเลอินยังมีค่าไอโอดีนสูงก็จะยิ่งทำให้ CP ต่ำลง (Tirtiaux และ Gibon, 1998) ในทางตรงกันข้ามน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งที่สำคัญของ SUS โดยที่มีระดับ POP สูง หลังจากกระบวนการแยกลำดับส่วนแล้วนั้นจะได้ไขมันที่เหมาะสมในการนำไปทำเป็นไขมันทดแทนชนิด Cocoa butter replacer (CBR) ซึ่งโดยทั่วไปจะหมายถึง Hard palm mid fraction (Hard PMF) ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 3 และ 4

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของ CBE นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับเนยโกโก้ทั้งในเรื่องการตกผลึก เนื้อสัมผัส และคุณสมบัติด้านการหลอมเหลว ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะเนื่องจาก ไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบมีความคล้ายหรือเหมือนกันกับเนยโกโก้มากๆ โดยองค์ประกอบในเนยโกโก้มีส่วนที่เป็น SSU-SUS นั้นได้แก่ POP, POS<sub>t</sub> และ StOS<sub>t</sub> ทำให้ CBE นั้นสามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับ เนยโกโก้ทำให้สามารถนำมาใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้และการนำไปใช้ทดแทนนั้นอาจจะทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนก็ได้ สำหรับในด้านการผลิต CBE ที่มีคุณภาพสูงนั้นต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษและทุ่มเทอย่างมากรวมทั้งอาจเจอปัญหาในหลายๆ ลักษณะซึ่งมักทำให้เกิดผลกระทบต่อการผลิต Confectionery โดยพอสรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาได้ดังนี้ (Soon, 1991)

- การแยกลำดับส่วนที่เป็น SSS ออกไปไม่มากพอหรือยังคงเหลืออยู่มากทำให้เกิดความรู้สึกเป็นไขในช่วงอุณหภูมิ 35-40 °C
- การมีองค์ประกอบที่เป็น SUU-USU และ UUU อยู่ด้วยทำให้มีผลต่อพฤติกรรม การหลอมเหลวที่ทำให้เกิดการหลอมเหลวง่าย มีปริมาณหรือสัดส่วนของของแข็งที่อยู่ในรูปผลึก (SFC) ไม่เป็นอย่างที่ต้องการ
- ประสิทธิภาพการแยก Diacylglycerols (DAG) ออกไปต่ำ เมื่อมี DAG เหลืออยู่เยอะจะมีผลให้การตกผลึกของไขมันที่เราต้องการเกิดขึ้นได้ไม่ดี

การหาจุดที่เหมาะสมและให้ผลดีที่สุดในระบบ Multistage dry fractionation ของ น้ำมันปาล์มร่วมกับการพัฒนาในเรื่องระบบการตกผลึกที่ต่อต้านความหนืดและการแยกโดยใช้ membrane press filter ภายใต้อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่สามารถผลิต PMF ที่มีคุณภาพสูงพอกๆ กับที่ผลิตได้จาก solvent fractionation

ตารางที่ 6 คุณสมบัติที่แตกต่างกันของ CBE ที่มาจาก HPMF : Hard palm oil mid fraction ต่างๆ

|        | Iodine value | POP content [%] | SFC [% max.] at 35 °C |
|--------|--------------|-----------------|-----------------------|
| HPMF 1 | 28-30        | >80             | 6                     |
| HPMF 2 | 32-35        | >70             | 3-6                   |
| HPMF 3 | 35-37        | >60             | 2-5                   |
| HPMF 4 | 37-40        | >50             | 1-4                   |

ที่มา : Kellens และคณะ (2007)

เราสามารถแบ่งกระบวนการผลิต PMF ได้เป็น 2 วิธีการดังแสดงในภาพที่ 10 นั้นเป็นวิธีการที่ถูกลำเสนอในการผลิต PMF โดยวิธีการผลิตแบบ Olein route นั้นเป็นวิธีการพื้นฐานและง่ายในการปฏิบัติสำหรับพื้นที่ในแถบเอเชีย สำหรับวิธีการแบบ Stearin route นั้นมักใช้กันมากในแถบอเมริกาใต้ เนื่องจากความต้องการให้ได้ค่าไอโอดีนที่สูงในส่วนโอเลอินในการแยกลำดับส่วนตั้งแต่ขั้นตอนแรก CBE ที่ดีที่สุดนั้นจะได้จาก Olein route ที่ซึ่งมี SSU-SUS ที่ถูกทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้นและถูกแยกออกมาในส่วนของ Soft PMF ในขั้นตอนการแยกลำดับส่วนครั้งที่ 2 การนำเอาส่วน Soft PMF นี้ไปทำการแยกลำดับส่วนซ้ำ (Refractionation) นั้นจะได้ PMF ที่มีคุณภาพดีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเพิ่มส่วน SSU-SUS ซึ่งมีผลให้ SFC นั้นมีค่าสูงและเข้มข้นในทางปฏิบัติกระบวนการ dry fractionation จะให้ Soft PMF ที่ประกอบไปด้วย SSU-USU มากกว่า 73 เปอร์เซ็นต์, อัตราส่วน SSU-SUS ต่อ SUU-USU นั้นมีค่าประมาณ 3-4 และปริมาณ SSS ต่ำ การแยกลำดับส่วนซ้ำ (Refractionation) ของส่วน Soft PMF นั้นจะได้ palm mid fraction ที่มีคุณภาพดีมาก ซึ่งมีองค์ประกอบเป็น SSU-SUS ถึง 85-90 เปอร์เซ็นต์ โดยอัตราส่วน SSU-SUS ต่อ SUU-USU นั้นมีค่าประมาณ 9-12 และปริมาณ SSS ต่ำมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณ DAG สามารถรักษาให้อยู่ในระดับที่ต่ำพอเหมาะ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อกระบวนการตกผลึก (Gibon, 2006)

## 2.5 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม

### 2.5.1 วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้เพื่อประเมินลักษณะของไขมันปาล์มที่แยกได้

วิธีการวิเคราะห์หลากหลายนั้นถูกนำมาใช้ในการวัดลักษณะของไขมันปาล์มที่แยกได้ รวมทั้งการประเมินคุณภาพของกระบวนการแยกลำดับส่วน (Zaliba และคณะ, 2004) ซึ่งวิธีการต่างๆ เหล่านี้สามารถอ้างอิงถึง AOCS Official Methods and Recommended Practices handbook (Firestone, 1990) หรือ IUPAC Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives (IUPAC, 1979)

ค่าไอโอดีนนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ระดับของความไม่อิ่มตัว โดยปกติแล้วจะใช้การไตเตรต Wijs method (ตามรายละเอียดการวิเคราะห์ในภาคผนวก ก) ในระหว่างการตกผลึกนั้นความไม่อิ่มตัวจะมากขึ้นและเป็นผลให้ไตรกลีเซอไรด์ที่ให้จุดหลอมเหลวสูงมีความเข้มข้นสูงขึ้นในวัฏภาคของแข็งในทางกลับกันส่วนของโอเลอีนมีความไม่อิ่มตัวมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงในค่าไอโอดีนนั้นยังหมายถึงประสิทธิภาพของกระบวนการแยกด้วย จึงใช้เป็นค่าที่บอกคุณภาพของการแยกได้ ดังสมการที่ (1)

$$\text{Yield stearin (เปอร์เซ็นต์)} = (IV_{\text{olein}} - IV_{\text{Initial}} / IV_{\text{olein}} - IV_{\text{stearin}}) \times 100 \quad (1)$$

องค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ นั้นโดยปกติแล้วถูกวัดโดย High-pressure liquid chromatography (HPLC) หรือโดยการใช้ Gas Chromatography ตามวิธีการ Fatty acid Methyl esters (FAME) ตามวิธีการของ PORIM (PORIM, 1995) และเราสามารถนำกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบมาคำนวณค่า IV ได้ดังสมการที่ (2) ซึ่งศึกษาโดย

$$IV = 0.95 \times C16:1 + 0.860 \times C18:1 + 1.732 \times C18:2 + 2.616 \times C18:3 + 0.785 \times C20:1 + 0.723 \times C22:1 \quad (2)$$

ซึ่งศึกษาโดย Ham และคณะ (1998) อ้างโดย Brien (2009) ; Kellens และคณะ (2007)

ค่า CP ดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้และ Cold test (CT) ซึ่งหมายถึงการวัดเพื่อหาว่าน้ำมันจะเกิดผลึกที่อุณหภูมิต่ำมากน้อยเพียงใดทำได้โดยการนำน้ำมันไปแช่ไว้ในอ่างน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C นาน 5.5 ชม. สังเกตผลึกหรือความขุ่นที่เกิดขึ้น(นิธิยา, 2548) จะมีผลต่อพฤติกรรม การตกผลึก มันมีอิทธิพลมากที่สุดต่อคุณสมบัติของส่วนไขมันเหลว (liquid fraction) ค่า CP เป็น

ตัวบ่งชี้ถึงจุดเริ่มต้นของการตกผลึกภายใต้สภาวะการลดอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ในทางตรงกันข้ามสำหรับ CT นั้นเป็นการวัดการต้านต่อการสร้างผลึกของส่วนไขมันเหลวที่อุณหภูมิและระยะเวลาหนึ่งๆ ถ้าทำการเทียบค่าอย่างดีจะสามารถนำค่า CP มาทำนาย cold stability ได้ ในส่วนของสเตอรินนั้นวิธีการพื้นฐานที่ใช้ในการบอกถึงคุณสมบัติคือพฤติกรรมการหลอมเหลว เช่น Slip melting point, clear melting point, dropping point เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามค่าเหล่านี้จะบอกถึงจุดสุดท้ายของการหลอมเหลวเท่านั้น มันจะไม่สามารถบอกถึงภาพรวมของพฤติกรรมการหลอมเหลว การบ่งชี้โดยใช้ค่า Solid fat index (SFI) โดย dilatometry และ SFC โดย pulsed Nuclear magnetic resonance (p-NMR) จะบอกข้อมูลของ Solid phase behavior ของไขมันที่แตกต่างกันในเชิงปริมาณได้มากกว่า ปัจจุบันวิธีการแบบ SFC นั้นได้รับความนิยมมากกว่า SFI นั่นก็เพราะความแม่นยำที่สูงกว่าและการนำไปใช้งานที่ง่ายกว่า p-NMR นั้นยังสามารถนำไปใช้ในการวัดเชิงปริมาณของพฤติกรรมตกผลึกของไขมันและน้ำมันในระหว่างกระบวนการแยกลำดับส่วน ดังแสดงในภาพที่ 11 รวมทั้งมันยังถูกนำมาใช้ในการวัด stearin yield ได้อย่างรวดเร็วและง่าย โดยการวัด SFC ของ slurry ก่อนที่จะมีการกรองแยกเทียบกับก้อนสเตอริน (stearin cake) หลังจากกรองแยกแล้วและนำมาคำนวณตามสูตรในสมการ (3) (Kellens และคณะ, 2007)

$$\text{Yield Stearin (เปอร์เซ็นต์)} = (\text{SFC Slurry/SFC cake}) \times 100 \quad (3)$$

สำหรับ Differential scanning calorimetry (DSC) นั้นทำให้ทราบพฤติกรรมการหลอมเหลวและการตกผลึกของไขมันและน้ำมัน อย่างไรก็ตามการแปรผลนั้นไม่เป็นเรื่องที่ยั่งยืน เนื่องจากว่าการมีผลึกที่หลากหลายซึ่งอาจเกิดขึ้นในระหว่างการหลอมเหลวและการตกผลึก แม้ว่าเทคนิคนี้จะมีศักยภาพที่ค่อนข้างสูงแล้วก็ตามแต่การเทียบกับค่ามาตรฐานเป็นประจำนั้นยังจำเป็นต้องทำด้วยเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด (Kellens และคณะ, 2007)

### 2.5.2 การศึกษาพฤติกรรมการหลอมเหลวไขมันโดยการใช้ Solid fat content (SFC)

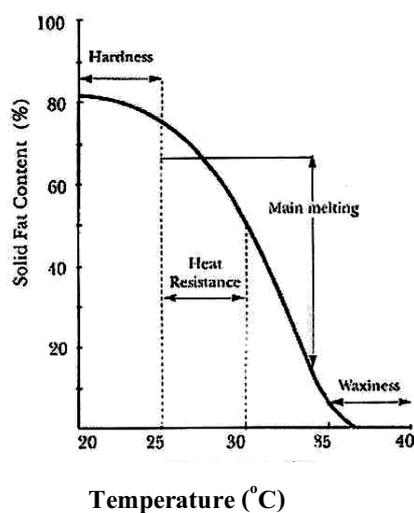
ความรู้ในเรื่อง SFC นั้นทำให้การนำไขมันไปใช้ในกระบวนการผลิตช็อกโกแลตนั้นง่ายขึ้น (Zwikstra, 1994) ในกระบวนการผลิตการวัดค่า SFC ของไขมัน และไขมันผสมนั้นมีความสำคัญมากต่อการควบคุมคุณภาพ เนื่องจากว่ามันสามารถบอกถึง SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยเสมือนเป็นตัวบอกลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่นคุณสมบัติเมื่อถูกเคี้ยว และความแข็ง (hardness) ภาพที่ 13 เป็นการแสดงถึง SFC ของเนยโกโก้ที่อุณหภูมิต่างๆ สำหรับค่าที่ได้นั้น

พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C นั้นเนยโกโก้มีลักษณะแข็ง ในขณะที่ค่า SFC ที่อยู่ระหว่างอุณหภูมิ 25-30 °C แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงที่เนยโกโก้ต้านทานต่อการละลายจากการให้ความร้อน (Resistance to heating) สำหรับในช่วง 27-33 °C นั้นเกิด intensive melting ทำให้เกิดความรู้สึกเย็นและเกิดการปลดปล่อยกลิ่นรสออกมา ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 °C หากมีส่วนของไขมันที่ไม่ละลายและเป็นสาเหตุให้เกิดความเป็นไข (Nillson, 1986)

กราฟ SFC นั้นมีประโยชน์มากในการที่จะให้ข้อมูลในการสร้างคุณลักษณะทางกายภาพและทำนายพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์สุดท้ายในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง (Zwikstra, 1994)

มากกว่า 3 ทศวรรษแล้วที่ p-NMR กลายเป็นเทคนิคหลักที่สำคัญและถูกนำมาใช้การวิเคราะห์ SFC ของไขมัน (Shukla และคณะ, 1999) NMR นั้นเป็นเพียงเทคนิคเดียวที่เป็นการวัด SFC โดยตรง (direct method) ไม่เหมือนกับเทคนิคอื่นที่วัดโดยอ้อม (Indirect methods) เช่น เทคนิคแบบ Differential thermal analysis (DTA), Differential scanning calorimetry (DSC) และ Dilatation ที่ซึ่งผลการวัดที่ได้นั้นมาจากการวัดจุดหลอมเหลว ที่ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของ specific volume อันเนื่องมาจากการละลายของส่วนวัฏภาคของแข็ง

Nuclear magnetic resonance นั้นถือเป็นเทคนิคทางด้าน Spectroscopy ที่สามารถใช้ในการศึกษาอะตอมซึ่งมีนิวเคลียสที่ให้ค่า magnetic moment จำเพาะได้ การวัดนี้อยู่บนพื้นฐานความจริงที่ว่าคุณลักษณะของโปรตอนของสสารในวัฏภาคของแข็งและของเหลวมีความแตกต่างกัน ในสนามแม่เหล็กที่มีความแรงสูง (Powerful magnetic field) โปรตอนจะแสดงตัวเสมือนกับแม่เหล็ก



ภาพที่ 13 กราฟ SFC ของเนยโกโก้ที่อุณหภูมิต่างๆ

ที่มา : Nelson (1986)

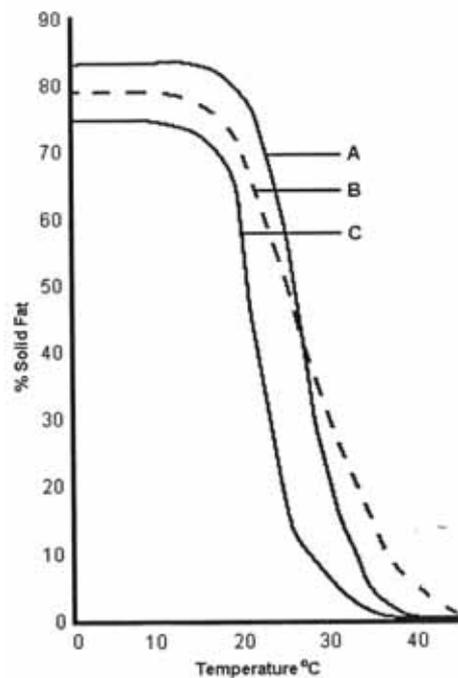
ขนาดเล็กซึ่งมีแวนโน้มที่จะจัดเรียงตัวในทิศทางของสนามแม่เหล็ก ถ้าพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นโดย Radio frequency pulse ที่มีความแรงสูงถูกส่งเข้ามา จะทำให้มุมของ precision มีการเปลี่ยนแปลงไป  $90^\circ$  ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณขึ้นที่ตัวรับสัญญาณ (receiver coil) ของตัวเครื่องวัด ซึ่งจะป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนโปรตอนในส่วนภูมิภาคของแข็งและภูมิภาคของเหลว เมื่อหยุดจ่ายพลังงานเข้าจะทำให้เริ่มเกิดการปลดปล่อย (relaxation) และการเคลื่อนที่ของนิวเคลียสจะกลับสู่สถานะพื้น (initial state) ประสิทธิภาพและความถี่ของการปลดปล่อยนั้นขึ้นกับการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลของสารนั้นๆ ของแข็งและของเหลวที่มีความหนืดนั้นมีร่างแหที่มีความหนาแน่นและความแข็งแล้วทำให้เกิดเวลาในการปลดปล่อยสั้น (short relaxation time) ประมาณ 10 microsecond ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการปลดปล่อยกรณีของของเหลวที่ไม่มี ความหนืดและสารละลายเจือจางนั้น จะใช้เวลานานกว่า ประมาณ 10 microsecond-10 second ความแตกต่างในส่วนเวลาที่ใช้ในการปลดปล่อยของโปรตอนที่มีในส่วนของโมเลกุลของแข็งกับของเหลวนั้นถือเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวัด SFC โดยวิธีนี้เมื่อสัญญาณหยุดโปรตอนในสถานะของแข็งจะเกิดการปลดปล่อยได้เร็วกว่าในสถานะของเหลว นั่นจึงทำให้สามารถบอกอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวในตัวอย่างที่ทำกรวัดได้ในทันที SFC นั้นถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เนยโกโก้และ CBE โดยในกระบวนการวิเคราะห์ต้องใช้การเตรียมที่จำเพาะเนื่องจากว่ามันมีรูปแบบผลึกที่หลากหลาย (ISO 8292 : 1991 ; Van, 1975)

SFC นั้นไม่เพียงแต่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งของช็อกโกแลตที่ผลิตได้เท่านั้นแต่ยังบอกถึงว่าเกิดอะไรขึ้นเมื่อช็อกโกแลตนั้นละลายในปาก ดังภาพที่ 14 นั้นแสดงตัวอย่างของไขมันผสม 3 ชนิดที่ให้ค่า SFC ต่างๆ กัน อันได้แก่ A, B และ C เมื่อพิจารณา SFC ที่อุณหภูมิห้องนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแข็งของช็อกโกแลตที่ได้ซึ่ง A จะให้ช็อกโกแลตที่แข็งที่สุด ส่วน C จะอ่อนที่สุด อุณหภูมิที่ SFC มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วขึ้นเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ต่อความร้อน ดังเช่นในภาพที่ 15 เนยโกโก้จากประเทศมาเลเซียจะมีค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ สูงกว่าจากบราซิล จึงทำให้เนยโกโก้จากมาเลเซียเหมาะที่จะใช้กับเมืองร้อนมากกว่า แต่อาจไม่เหมาะที่จะใช้ในการผลิตไอศกรีม สำหรับภาพที่ 14 นั้นไขมันผสมชนิด A ละลายยากกว่า C (Beckett, 2008)

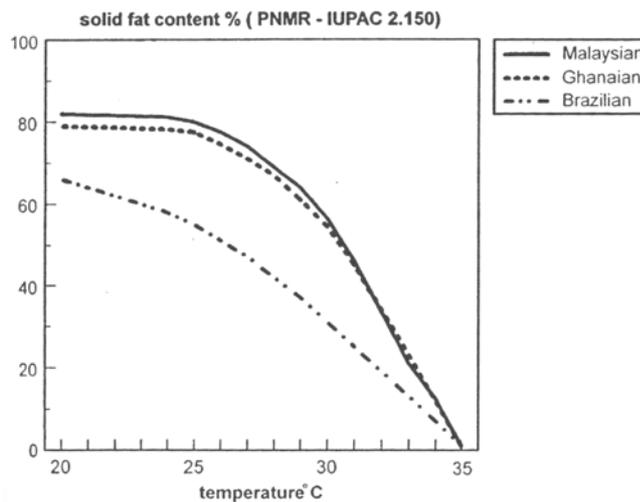
ความชันของ SFC จะมีผลต่อความเร็วในการละลาย โดยเปลี่ยนจากผลึกไขมันแข็งไปเป็นของเหลวซึ่งต้องใช้พลังงานสูง ซึ่งในขั้นตอนนี้เรียกพลังงานที่ใช้ว่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Latent heat) สำหรับเนยโกโก้มันจะมีค่า 157 จูลต่อกรัม เมื่อเทียบกับค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) นั่นคือค่าพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเนยโกโก้สูงขึ้น  $1^\circ\text{C}$  จะมีค่าเพียง 2 จูลต่อกรัม ดังนั้นเมื่อช็อกโกแลตละลายในปากจึงต้องใช้พลังงานจำนวนมากซึ่งมาจากในปากของเราเท่านั้น (โดยพลังงานส่วนหนึ่งทำให้อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นประมาณ  $20^\circ\text{C}$  และอีก

ส่วนหนึ่งจะทำให้ช็อกโกแลตละลาย รวมพลังงานที่ต้องใช้ คือ  $20 \times 2 + 157 = 197$  จูลต่อกรัม) ถ้า SFC นั้นมีความชันสูงการละลายจะเกิดขึ้นรวดเร็วจะทำให้รู้สึกเย็นในปาก ได้มีการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของไขมันอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้รูปแบบการละลายที่ดี ความรวดเร็วในการละลายของไขมันจะมีผลปรับเปลี่ยนความหนืดของช็อกโกแลตก่อนที่คนจะกลืนลงไป ซึ่งในระหว่างนั้นอนุภาคต่างๆ ก็สามารถจับกับ Flavor receptor ได้จึงทำให้การรับรู้กลิ่นรสเปลี่ยนไปตามภาพที่ 14 นั้นไขมันผสมชนิด A และ C จะให้ความรู้เย็นในปากในลักษณะเดียวกันซึ่งจะมากกว่าไขมันผสมชนิด B (Beckett, 2008)

ไขมันบางชนิดอย่างเช่นไขมันผสม B นั้นจะยังคงมีไขมันแข็งเหลืออยู่ในปากเพราะแม้ว่าที่อุณหภูมิสูง  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ก็ยังมีไขมันบางส่วนยังไม่ละลายทำให้รู้สึกเป็นไข ไขมันบางชนิดที่ใช้ในการทำช็อกโกแลตเคลือบก็มักประสบปัญหาแบบนี้ อาจแก้ไขได้โดยการผสมไขมันชนิดอื่นๆ ลงไปแล้วทำให้ไขมันผสมชนิดใหม่มีจุดหลอมเหลวต่ำลงเนื่องจาก eutectic effect ซึ่งต้องทำอย่างระมัดระวังและการผสมไขมันในลักษณะดังกล่าวอาจทำให้เกิด fat bloom ได้ (Beckett, 2008)



ภาพที่ 14 กราฟ SFC ของตัวอย่างไขมันผสม 3 ชนิด  
ที่มา : Beckett (2008)



ภาพที่ 15 กราฟ SFC ของเนยโกโก้ 3 ชนิดซึ่งมาจากมาเลเซีย กานา และบราซิล  
ที่มา : Beckett (2008)

## 2.6. ความสำคัญของการเลือกชนิดของไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติของช็อกโกแลต

ช็อกโกแลตที่มีคุณสมบัติที่ดีคืออยู่ในรูปของแข็งเป็นแท่งหรือเป็นก้อนที่อุณหภูมิห้อง (ที่ 25-30 °C) แต่ละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิร่างกายของคนประมาณ 37 °C เมื่อรับประทานในปาก มีความแข็งและความเปราะที่พอเหมาะ กัดตรงไหนแตกตรงนั้น และมีผิวสัมผัสที่เนียนเรียบเป็นมันวาวดังกล่าวไปแล้วขั้นต้นนั้น เป็นช็อกโกแลตที่เหมาะสมสำหรับวางขายในประเทศที่มีลักษณะภูมิอากาศที่หนาวเย็น เช่นประเทศทางแถบทวีปยุโรปและอเมริกาที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อนไม่เกิน 30°C ถ้ามีการนำเอาช็อกโกแลตดังกล่าวมาวางจำหน่ายในประเทศที่มีลักษณะภูมิอากาศที่ร้อน เช่นประเทศไทยที่มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยใกล้เคียงหรือสูงกว่าจุดหลอมเหลวของเนยโกโก้ ทำให้เกิดการละลายของไขมันบางส่วนหรือทั้งหมด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตมีลักษณะอ่อนนุ่ม เสียรูปร่างในระหว่างการเก็บรักษาและมีโอกาสเกิดลักษณะบกพร่อง (defect) ที่เรียกว่า fat bloom บนผิวของช็อกโกแลตในเวลาต่อมา ช็อกโกแลตที่มี fat bloom บนผิวนั้นจะมองเห็นเป็นสีขาวทั้งในแบบที่ขาวเป็นจุดๆ และขาวทั่วบริเวณผิว ทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่เข้าใจว่าลักษณะบกพร่องดังกล่าวเกิดจากเชื้อราและปฏิเสธที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ แม้ที่จริงแล้ว fat bloom บนผิวช็อกโกแลตเกิดจากการที่ไขมันหรือเนยโกโก้ในช็อกโกแลตเกิดการละลายเนื่องจากอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาที่สูงเกินไปหรือเกิดการแกว่งของอุณหภูมิ (temperature fluctuation) ระหว่าง

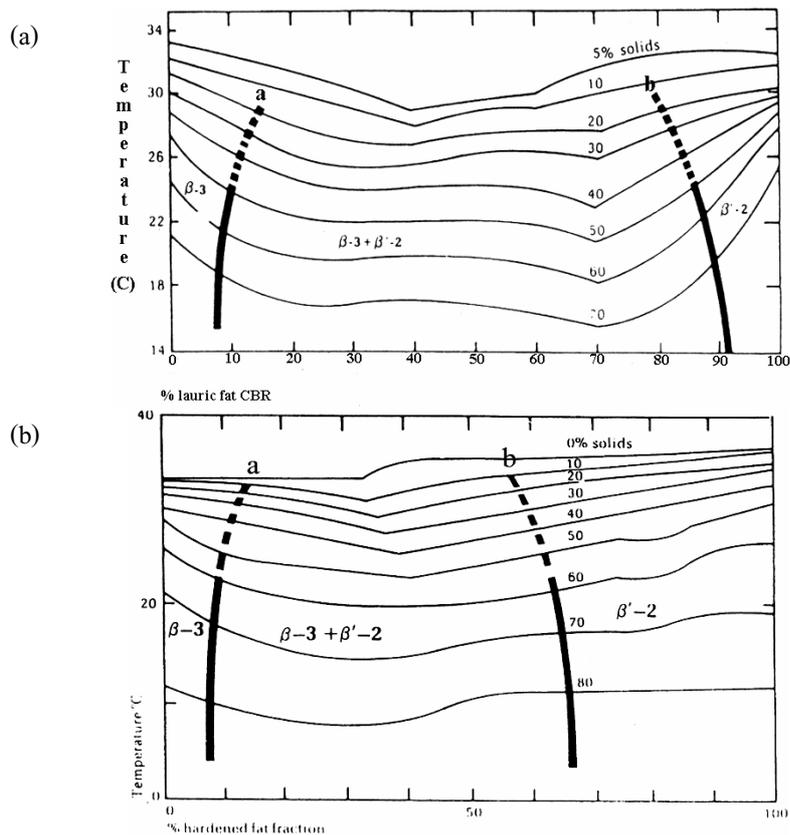
การเก็บรักษา ทำให้เกิดการตกผลึกอย่างช้าๆ ในเวลาต่อมา ได้เป็นผลึกไขมันที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป ผลึกขนาดใหญ่ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงตกกระทบในทิศทางที่แตกต่างไปจากผลึกขนาดเล็ก จึงทำให้มองเห็นเป็นสีขาว

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการละลายของไขมันในช็อกโกแลตที่อุณหภูมิของการเก็บรักษาค่อนข้างสูงซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาที่รุนแรงมากกว่าตามมาคือการเกิด fat bloom จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนชนิดของไขมันในช็อกโกแลตบางส่วนหรือทั้งหมดไปเป็นไขมันที่มีค่า SFC ที่วัดที่อุณหภูมิต่างๆ สูงกว่าของเนยโกโก้ แต่ยังคงมีพฤติกรรมการหลอมเหลวเหมือนกับของเนยโกโก้ คือเกิดการหลอมละลายในปากอย่างรวดเร็วจึงไม่ทำให้เกิดความรู้สึกเป็นไขเมื่อรับประทาน

ไขมันที่นำมาเติมลงไปพร้อมกับเนยโกโก้ในช็อกโกแลตนี้เรียกว่าไขมันทดแทนเนยโกโก้ หรือ cocoa butter replacer (CBR) ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้ง ชนิด lauric fat CBR (LCBR) และ non-lauric fat CBR (N-LCBR) ไขมันทั้งสองชนิดนี้มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือสามารถใช้เติมในผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนสุดท้ายของเนยโกโก้ต่อ CBR ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ LCBR และ N-LCBR ตามลำดับ มิฉะนั้นจะส่งผลให้เกิดปัญหา non-compatibility ซึ่งจะก่อให้เกิดผลในด้านลบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ในแง่ต่างๆ เช่น ความแข็ง ความเปราะ และทำให้ความต้านทานต่อ fat bloom ด้อยลงไป ปัญหา non-compatibility เกิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างโครงสร้างระดับโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ของเนยโกโก้ที่ติดมากับ cocoa mass หรือ cocoa powder และของไตรกลีเซอไรด์ของไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ LCBR และ N-LCBR ตัวอย่างเช่น ในการผลิตช็อกโกแลตเคลือบโดยใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ นั้น ปัญหา non-compatibility จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนของปริมาณ LCBR หรือ N-LCBR ต่อเนยโกโก้ในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตเคลือบตกอยู่ในระหว่างเส้นในแนวดิ่ง 2 เส้น (เส้น a และ b) ใน solid fat content diagram ของไขมันผสมระหว่าง CBR และเนยโกโก้ในรูปที่ 2(a) และ 2(b) ตามลำดับ ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าปัญหา non-compatibility จะส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณไขมันที่เป็นของแข็งในรูปผลึกหรือค่า SFC เนื่องจาก eutectic effect ทำให้ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตเคลือบเกิดการอ่อนตัวและเกิด fat bloom ในเวลาต่อมา (Talbot, 1999)

ข้อจำกัดในแง่ของปริมาณที่เติมได้ดังกล่าวข้างต้นส่งผลให้ LCBR สามารถใช้เติมลงไปผลิตภัณฑ์ที่ใช้ cocoa powder เป็นองค์ประกอบเท่านั้น ในขณะที่ N-LCBR สามารถใช้เติมลงไปผลิตภัณฑ์ที่ใช้ cocoa powder หรือ cocoa mass เป็นส่วนประกอบก็ได้ นอกจากนี้กฎหมายของทวีปอเมริกาเหนือ (ประเทศอเมริกาและแคนาดา) ไม่อนุญาตให้เติมไขมันชนิดอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากเนยโกโก้ลงในผลิตภัณฑ์ที่กำหนดโดยช็อกโกแลต ในขณะที่ทางทวีปยุโรปอนุญาตให้เติมไขมันทดแทนเนยโกโก้ได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

สุดท้ายส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติม LCBR และ N-LCBR ไม่สามารถใช้ชื่อว่าช็อกโกแลตในการวางจำหน่ายได้ ต้องเปลี่ยนไปใช้คำเรียกว่าขนมหวานรสช็อกโกแลต (chocolate-flavored confectionery) หรือ ช็อกโกแลตเคลือบแทน (สุวรรณ, 2543) ในประเทศไทยนั้น ได้มีการผลิตและนำผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตเคลือบมาใช้เคลือบบิสกิต เวเฟอร์ คุกกี้ ขนมเค้กและอื่นๆ ซึ่งช็อกโกแลตเคลือบดังกล่าวนี้มีส่วนประกอบที่เป็น CBR ชนิดที่ให้ระดับของค่า SFC ที่วัดที่อุณหภูมิต่างๆ สูงกว่าของเนยโกโก้ ทำให้มีความคงทนต่ออุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามช็อกโกแลตเคลือบเหล่านี้มักจะมีข้อเสียคือมีจุดหลอมเหลวที่เพิ่มขึ้นไปจากของเนยโกโก้ ทำให้ละลายได้ไม่หมดหรือละลายได้ช้าในและการที่มีผลึกไขมันอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงที่อุณหภูมิ 40 °C ส่งผลให้เกิดความรู้สึก waxiness ในปากเมื่อรับประทาน (Beckett, 2008)



ภาพที่ 16 Solid fat content diagram ของไขมันผสมระหว่าง: (a) LCBR และ cocoa butter,

(b) N-LCBR และ cocoa butter

ที่มา: Talbot (1999)

## 2.7 การเกิด fat bloom ในช็อกโกแลต

การเกิด fat bloom ในช็อกโกแลตนั้นเกิดขึ้นได้จาก 4 สาเหตุหลักด้วยกัน(Beckett, 2008) อันได้แก่

1. เนื่องการ Pre-Crystallization (Tempering) ไม่ถูกต้อง ทำให้ผลึกไขมันในรูปแบบ (IV)  $\beta'_1$  ไปเป็น (V)  $\beta_2$

2. เนื่องจากอายุการเก็บของช็อกโกแลตที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลึกไขมันในรูปแบบ (V)  $\beta_2$  เปลี่ยนไปเป็นรูปแบบ (VI)  $\beta_1$  ซึ่งในกรณีนี้อาจช่วยชะลอให้ช้าลงได้โดยการเติมไขมันนมลงไป

3. เกิดจากการที่ช็อกโกแลตเกิดการหลอมเหลวอันอาจเนื่องมาจากความร้อนหรือแสงแดดแล้วตกผลึกใหม่โดยไม่ผ่านการ Tempering อีกครั้ง ในกรณีนี้สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ด้วยการเติมไขมันที่มีรูปผลึกเหมือนกับเนยโกโก้แต่ต้องมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่ามากๆ ซึ่งผลึกไขมันชนิดนี้จะละลายได้ก็เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 50 °C ซึ่งปกติก็จะไม่ละลายและจะทำหน้าที่เป็นเหมือน seed ทำให้เกิดการตกผลึกใหม่อีกครั้งแล้วไม่ทำให้เกิด fat bloom ไขมันชนิดหนึ่งที่มีจุดหลอมเหลวสูงคือไขมันที่ใช้กรดไขมันชนิด Behenic Acid (C22:0) แทนที่กรดไขมันที่อิ่มตัวในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ โดยปกติกรดไขมันชนิดนี้ก็สามารถพบได้ในเนยโกโก้แต่มีในปริมาณน้อยไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น BOB(1,3-Behenoyl-2-oleoylglycerol) ซึ่งผลิตโดยบริษัท Fuji Oil ในประเทศญี่ปุ่น แต่ก็ยังไม่อนุญาตให้ใช้ในหลายๆ ประเทศ

4. กลไกสุดท้ายที่ทำให้เกิด fat Bloom เกิดจากการเคลื่อนที่ของไขมันที่อ่อน (soft fat) ไปในส่วนของช็อกโกแลต ซึ่งในกรณีมักเกิดขึ้นกับช็อกโกแลตที่มีใส่หลากหลายชนิด เช่น Hazelnuts ซึ่งจะมีส่วนของไขมันที่ส่วนใหญ่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ไขมันทั้งหมดจะปรับตัวเข้าสู่จุดสมดุล โดยที่ไขมันเหลวจากส่วนของใส่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนของช็อกโกแลตและเนื่องด้วย eutectic effect นี้จะทำให้ช็อกโกแลตอ่อนตัวและถ้ามากพออาจทำอาจทำให้เนยโกโก้บางส่วนละลาย ในอีกส่วนหนึ่งเนยโกโก้จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามเข้าสู่ใจกลางและทำให้ส่วนใจกลางแข็งมากขึ้น การที่ไขมันที่อ่อนเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าของช็อกโกแลตก็จะพาเอาส่วนของเนยโกโก้ไปด้วยซึ่งการตกผลึกของไขมันใหม่อีกครั้งนั้นก็จะเป็นสาเหตุให้เกิด fat bloom นอกจากนี้ไขมันชนิดอ่อนนั้นเมื่อผสมกับเนยโกโก้ก็จะเป็นสาเหตุเร่งให้เกิดการเปลี่ยนของผลึกในรูปแบบ (V)  $\beta_2$  เปลี่ยนไปเป็นรูปแบบ (VI)  $\beta_1$  เร็วขึ้นและนั่นก็เป็นสาเหตุของการเกิด fat bloom

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. ไขมัน palm stearin ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 35 และ palm mid fraction (PMF) ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 43 จากบริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน) การเตรียมไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นดังภาพที่ 35 ในภาคผนวก ง
2. เนยโกโก้จาก Delfi Cocoa (Malaysia) Sdn. Bhd. และ cocoa powder จาก Siam Cocoa Products Co. Ltd. นำเข้าและจำหน่ายโดยบริษัทซีโน-แปซิฟิก เทรดดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร
3. ไขมันทดแทนเนยโกโก้จาก Hydrogenated palm oil CT38 (HPO) จาก Kampas Edible Oil Sendirian Berhad , Malaysia
4. Whey powder (BBA) จาก Mintana Company limited
5. Lecithin (Toplecithin 50) จาก Gargill Texturizing Solution, USA
6. น้ำตาลทราย จาก บริษัทรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด
7. Vanillin powder จาก Rhodia (Thailand) Ltd.
8. Polyglycerol Polricinoleate (PGPR) จาก Danisco Malaysia Sdn. Bhd. จำหน่ายโดย Berly Jucker Public Co., Ltd
9. เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมี

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER รุ่น AE200
2. ชุดเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ค่า Acid Value, ค่าไอโอดีน และค่าสaponification
3. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT2i
4. เครื่องวัดสี Colour View Spectrophotometer ยี่ห้อ Gardner

5. เครื่อง Gas chromatography ยี่ห้อ Shimazu รุ่น GC 2010 ใช้คอลัมน์ชนิด AT-Wax
6. เครื่อง pulsed Nuclear magnetic resonance (p-NMR) ยี่ห้อ Bruker รุ่น Minispec mq
7. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Testo รุ่น 962 และ รุ่น T826
8. เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน Hotplate Stirrer ยี่ห้อ LMS รุ่น HTS -1003
9. อ่างควบคุมอุณหภูมิยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB 7
10. เครื่องบดซ็อกโกแลตขนาดทดลอง ยี่ห้อ Santha รุ่น Spectra 20
11. ชุดเครื่องกรองแยกไขมันแบบ Suction Flask, Porcelain และกระดาษกรอง Wattman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 ซม. ต่อพ่วงกับปั๊มสุญญากาศ (Gast รุ่น DOA-V502-BN)
12. ตู้บ่มแบบควบคุมอุณหภูมียี่ห้อ Hotpack รุ่น 355381
13. Datalogger สำหรับการบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ Testo รุ่น Logger 174

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไขมัน PMF กับ palm stearin สำหรับการผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไขมัน PMF กับ palm stearin สำหรับการผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ต่อไปนี้

3.3.1.1 เตรียมตัวอย่างสำหรับการใช้ในการศึกษา คือ ไขมันผสมระหว่าง PMF ต่อ palm stearin ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่างๆ ต่อไปนี้คือ 100:0, 95:5, 90:10 และ 80:20

3.3.1.2 วิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ของไขมันแข็งที่อยู่ในรูปผลึก (Solid fat content : SFC) และพฤติกรรมการหลอมเหลวด้วยเครื่อง p-NMR ของตัวอย่างไขมันผสม เปรียบเทียบกับของเนยโกโก้และ HPO โดยทำการเตรียมตัวอย่างตามกรรมวิธีของ PORIM test method no. p4.9, 1995 (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1)

3.3.1.3 นำค่า SFC ที่วัดได้มาพล็อตกราฟกับอุณหภูมิ จากนั้นเลือกไขมันผสมมา 2 อัตราส่วนที่ให้ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ สูงกว่าของเนยโกโก้และของไขมันที่ผลิตจาก HPO และมีพฤติกรรมการหลอมเหลวที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับของเนยโกโก้มา (โดยการสังเกตจากความเร็วในการลดลงของค่า SFC เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25°C ไปจนถึง 40°C) เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้

### 3.3.2 ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วนเทียบกับเนยโกโก้และ HPO

วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบกรดไขมันในไขมันทดแทนเนยโกโก้ในอัตราส่วนที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วน เทียบกับของ HPO และ Cocoa butter ด้วยเครื่อง GC-FID โดยการวิเคราะห์ Fatty acid Methyl esters (FAME) ตามวิธีการของ PORIM (PORIM, 1995) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก2)

### 3.3.3 การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีของไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้เทียบกับเนยโกโก้และ HPO

วิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีของไขมันทดแทนเนยโกโก้ในอัตราส่วนที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วน เทียบกับของ HPO และ Cocoa butter อันได้แก่

3.3.3.1 Slip melting point (SMP) ตามกรรมวิธีของ PORIM test method no. p4.2, 1995 (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก3)

3.3.3.2 การวิเคราะห์สaponification value (Saponification value) ตามวิธีของ IUPAC (1979) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก4)

3.3.3.3 การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value) ตามวิธีของ AOAC (1990) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก5)

3.3.3.4 วิเคราะห์ค่า Acid Value อ้างตามการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Fatty acid value) ตามวิธี IUPAC (1979) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก6)

### 3.3.4 ผลิตช็อกโกแลตเคลือบโดยใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วน

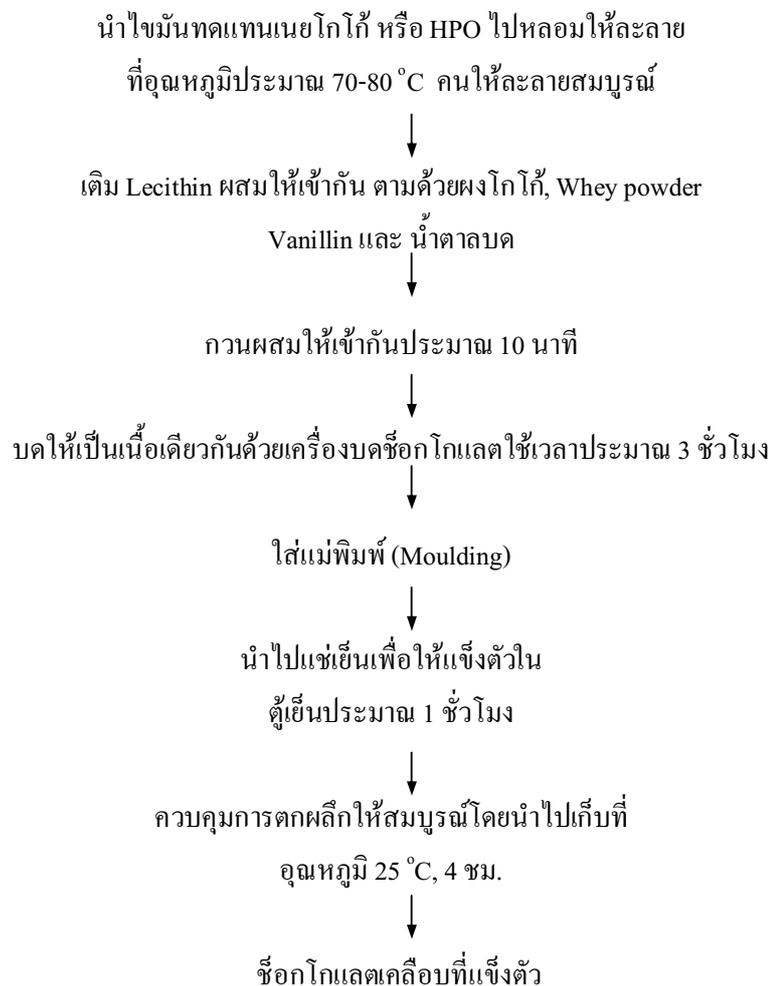
3.3.4.1 นำไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วนที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.3 และ HPO มาทำการผลิตช็อกโกแลตเคลือบในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องบดช็อกโกแลตขนาดทดลอง ซึ่งผลิตช็อกโกแลตเคลือบนั้นมีส่วนผสมในการผลิตคือ น้ำตาลบด ไขมันทดแทนเนยโกโก้ whey powder, cocoa powder, lecithin และ vanillin ขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลตเคลือบในงานวิจัยนี้เป็นไปดังภาพที่ 17

3.3.4.2 ทำการวัดค่าคุณสมบัติด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบต่างๆ สัปดาห์  
ได้แก่ SFC ณ อุณหภูมิการเก็บรักษาด้วยเครื่อง p-NMR (โดย ค่า SFC ในซ็อกโกแลตเคลือบนั้นได้  
จากการวัดค่าของแข็งทั้งหมดในซ็อกโกแลตที่วัดโดยใช้เครื่อง p-NMR ณ อุณหภูมิเก็บรักษา) ทำ  
การวัดค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสคัดแปลงจากวิธีของ Ali และ  
คณะ(2001) และการวัดการเกิดฝ้าขาว (fat bloom formation) ด้วยเครื่องวัดสี เพื่อให้ได้ค่า  $L^*$ ,  $a^*$   
และ  $b^*$  แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า whiteness index (WI) โดยใช้สมการ (4) ตามวิธีของ Bolin  
และ Huxsoll (1991) อ้างโดย Lohman และ Hartel (1994)

$$WI = 100 - \left[ (100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

โดยตัวอย่างจะถูกแบ่งเป็น 2 ชุดเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิอยู่ระหว่าง  
29.5-33.4 °C) และอุณหภูมิ 30 °C ทำการวัดคุณสมบัติด้านต่างๆ จนครบ 10 สัปดาห์ ซึ่งการศึกษา  
คุณสมบัติต่างๆ ในข้อนี้ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design โดยทำการ  
ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ สำหรับคุณสมบัติด้านต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์  
ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS V.9.0 และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่าง  
ชุดการทดลองด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.3.4.3 ประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของซ็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตได้ใน  
หัวข้อ 3.3.7.1 หลังจากผลิตเสร็จใหม่และหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 30 °C  
เป็นเวลา 10 สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบกับซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่มีการใช้ HPO ที่ทางโรงงานฯ ใช้  
อยู่ด้วยวิธีพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis: QDA) โดยทดสอบ 7  
คุณลักษณะ อันได้แก่ สี กลิ่นซ็อกโกแลต กลิ่นหืนของไขมัน ความละเอียดของเนื้อซ็อกโกแลต  
ความแข็ง การหลอมละลายในปาก และการปราศจากกลิ่นผิดปกติ โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 15 คน ที่  
ผ่านการฝึกฝนแล้ว(วิธีการและแบบประเมินดังแสดงในภาคผนวก ค1 และค2 ตามลำดับ)แล้วนำมา  
วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้แผนการทดสอบแบบ Randomized Complete Block Design  
(RCBD) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS V.9.0 และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง  
ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลตเคลือบในงานวิจัย

หมายเหตุ : ดัดแปลงจากขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลตเคลือบของ บริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด

### 3.3.5 เลือกช็อกโกแลตเคลือบ

เลือกช็อกโกแลตเคลือบที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ในอัตราส่วนของ PMF ต่อ stearin ที่ให้ SFC ณ อุณหภูมิการเก็บรักษาใกล้เคียงกับหรือสูงกว่าของช็อกโกแลตเคลือบสูตรที่มีการใช้ HPO และมีคะแนนโดยรวมจากการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับของช็อกโกแลตเคลือบสูตรที่มีการใช้ HPO เพื่อนำมาผลิตเป็นช็อกโกแลตเคลือบแบบทนอุณหภูมิสูงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

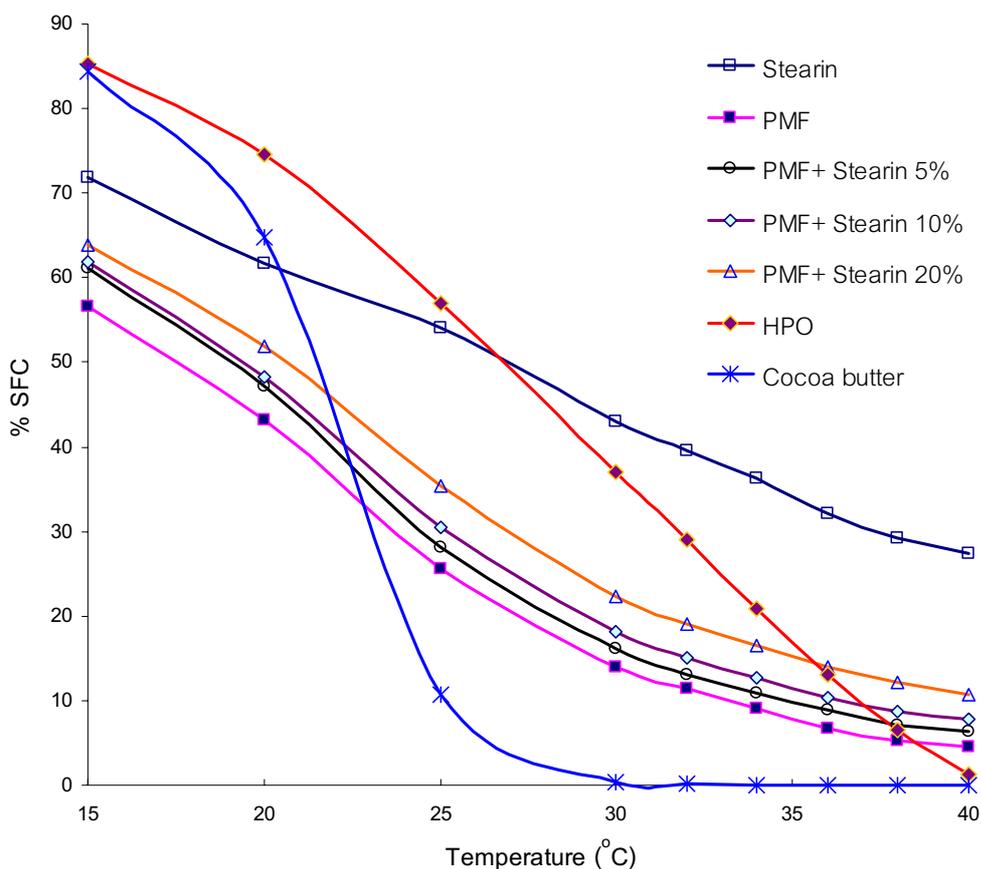
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไขมัน PMF กับ palm stearin สำหรับการผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้

จากการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไขมัน PMF กับ palm stearin สำหรับการผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้ นั้น หลังจากเตรียมตัวอย่างสำหรับใช้ในการศึกษาคือไขมันผสมระหว่าง PMF ต่อ palm stearin ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่างๆ ต่อไปนี้คือ 100:0, 95:5, 90:10 และ 80:20 แล้วทำการทดสอบเบื้องต้นโดยการสังเกตด้วยสายตา สัมผัสด้วยมือและการชิม พบว่าไขมันผสมระหว่าง PMF ที่มีค่าไอโอดีน 43.41 กับ palm stearin ที่มีค่าไอโอดีน 35.50 ในอัตราส่วนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นยังคงมีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสโดยรวมแตกต่างจาก HPO ที่มีค่าไอโอดีน 49.91 ที่ใช้งานอยู่และมีลักษณะที่อ่อนตัวกว่าค่อนข้างมาก เมื่อนำไปวิเคราะห์ SFC และพฤติกรรมการหลอมเหลวด้วยเครื่อง p-NMR ของตัวอย่างไขมันผสมเปรียบเทียบกับของเนยโกโก้ที่มีค่าไอโอดีน 36.01 และ HPO ซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นดังตารางที่ 15 (ภาคผนวก จ) และเมื่อนำค่า SFC ที่วัดได้มาพล็อตกราฟกับอุณหภูมิได้ดังแสดงในภาพที่ 18 จากภาพที่ 18 พบว่ายังมีไขมันผสมระหว่าง PMF และ palm stearin อัตราส่วนใดเลยที่มีพฤติกรรมการหลอมเหลวใกล้เคียงกับของเนยโกโก้และ HPO ที่ใช้งานอยู่ โดยเนยโกโก้มีค่า SFC ที่ค่อนข้างสูงมากที่อุณหภูมิต่ำเช่นที่อุณหภูมิ 15 °C มีค่า 84.37 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่ 20-25 °C เนยโกโก้จะเกิดละลายอย่างรวดเร็วและละลายจนเกือบหมดที่อุณหภูมิ 30 °C ส่วน HPO จะมีค่า SFC ที่ค่อนข้างสูงมากที่อุณหภูมิต่ำเช่นเดียวกับเนยโกโก้ เช่นที่อุณหภูมิ 15 °C มีค่า SFC 84.92 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อุณหภูมิที่หลอมละลายได้ดีในช่วง 25-35 °C และละลายจนเกือบหมดที่อุณหภูมิ 40 °C ซึ่งเหลือ SFC เพียง 0.89 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณา PMF 100 เปอร์เซ็นต์ตั้งต้นที่นำมาใช้ในการผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้ นั้นพบว่าที่อุณหภูมิต่ำก็ไม่ได้เป็นของแข็งทั้งหมดเช่น ที่ 15 °C มี SFC 56.67 เปอร์เซ็นต์และในขณะที่อุณหภูมิ 40 °C ก็ยังมี SFC อยู่ 4.46 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า PMF มีช่วงการหลอมเหลวที่กว้างมาก และหากนำมาใช้โดยตรงและรวมถึงกรณีที่ผสมกับ palm stearin ที่ทุกอัตราส่วนของการผสมเข้าไปด้วยแล้วจะยังคงให้ช่วงของหลอมเหลวที่กว้าง มีลักษณะอ่อนตัว ในขณะที่เดียวกันก็ยังคงให้ทำให้ความรู้สึกเป็นไขมากเกินไปเมื่อรับประทานเนื่องจากมีผลึกไขมัน

เหลืออยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงที่อุณหภูมิ 40 °C ไขมันเหล่านี้จะไม่ละลายในปากและทำให้เกิดความรู้สึกเป็นไข (Beckett, 2008)



ภาพที่ 18 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมันผสมชนิดต่างๆ

เมื่อปริมาณของ palm stearin ในไขมันผสมระหว่าง PMF กับ palm stearin มากขึ้นนั้น จะช่วยปรับปรุงค่า SFC ให้สูงขึ้นและทำให้ไขมันผสมมีความคงตัวมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 40 °C นั้นทำให้มีค่า SFC สูงขึ้นตามไปด้วย ดังเช่นในไขมันผสมในอัตราส่วน PMF ต่อ palm tearin เป็น 80:20 โดยน้ำหนักให้ค่า SFC ที่อุณหภูมิ 25 °C สูงขึ้นจากเดิมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมียค่า SFC อยู่ที่ 35.31 เปอร์เซ็นต์แต่ก็ยังมีค่าน้อยกว่าของ HPO ที่อุณหภูมิเดียวกัน อยู่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ในลักษณะเช่นเดียวกันที่อุณหภูมิ 40 °C ก็ให้ค่า SFC สูงขึ้นเป็น 10.73 เปอร์เซ็นต์จึงยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้เนื่องจากว่าอาจทำให้ได้ ซ็อกโกแลตเคลือบที่ได้ไม่แข็งตัวหรือละลายที่อุณหภูมิห้องแต่ก็ไม่สามารถละลายที่อุณหภูมิใน

ปากได้ทั้งหมด จากการทดลองนี้จึงยังไม่สามารถเลือกไขมันผสมมา 2 อัตราส่วนที่ให้ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ สูงกว่าของเนยโกโก้และ HPO แต่มีพฤติกรรมการหลอมเหลวที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับของเนยโกโก้มาเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ได้

จากข้อเสนอโครงการวิจัยที่จะต้องใช้ PMF ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 36 แต่มีข้อจำกัดว่า PMF ที่ผลิตได้ในเมืองไทยขณะนี้ (โดย บริษัท มรกต อินดัสทรี จำกัด) นั้นมีค่าไอโอดีนประมาณ 43-44 ดังแสดงการแยกลำดับส่วนในภาพที่ 35 (ภาคผนวก ง) ซึ่งสูงกว่าที่ต้องการแต่เนื่องจากการไม่มีการผลิตหรือแยกลำดับส่วนจนได้ PMF ที่เราตั้งไว้ ซึ่งข้อจำกัดในเรื่องนี้ทำให้ PMF ที่นำมาใช้งานให้รูปแบบการหลอมเหลวที่แต่ละอุณหภูมิดังแสดงในภาพที่ 18 นั้นซึ่งยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้หรือผสมกับ palm stearin เพื่อใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาในจุดนี้แนวทางต่อไปที่จะดำเนินการคือการนำ PMF ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 43-44 นี้มาทำการแยกลำดับส่วนโดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนต่อเพื่อให้ได้ไขมันที่มีค่าไอโอดีนที่ต่ำลงซึ่งอาจจะอยู่ในช่วง 35-37 และมีช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลวที่แคบลง ดังขั้นตอนในข้อ 4.1.1 โดยภาพประกอบและรายละเอียดเพิ่มเติมได้แสดงในภาคผนวก ง

#### 4.1.1 ขั้นตอนการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน

4.1.1.1 นำ PMF ใส่ Beaker ให้ความร้อนเพื่อให้ละลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 °C จนเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด เพื่อทำลายผลึก (Zaliha และคณะ, 2004) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

4.1.1.2 จากนั้นนำ PMF ที่ละลายอย่างสมบูรณ์แล้วมาตกผลึกแยกลำดับส่วนแบบ Dry fractionation ขั้นที่ 1 ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิสูงเช่นที่ 40 °C (ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดที่จุดตรงกลางของไขมันเหลวในบีกเกอร์เพื่อเป็นข้อมูลประกอบ) ให้การลดลงของอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้าๆ เพราะอัตราการลดอุณหภูมิต่ำจะช้าจะมีผลให้เกิดผลึกขนาดใหญ่ ในขณะที่ถ้ามีการลดอุณหภูมิต่ำอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดผลึกขนาดเล็กกว่า (Kellens และคณะ, 2007) ซึ่งหากเกิดผลึกขนาดเล็กจะทำให้การแยกมีประสิทธิภาพต่ำ โดยลักษณะรูปแบบการลดลงของอุณหภูมินี้มันไม่การทดลองนี้ได้แสดงในภาพที่ 34 (ภาคผนวก ง) ทั้งนี้เพื่อตกผลึกแยกลำดับส่วนไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงออกไปเนื่องจากส่วนนี้ทำให้เกิดความรู้สึกเป็นไขที่มาก หลังจากทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. ทำให้ได้ไขมันที่ตกผลึกผสมรวมอยู่กับน้ำมันที่ไม่เกิดการตกผลึกในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry)

4.1.1.3 แยกเอาส่วนไขมันที่เกิดการตกผลึกจากข้อ 4.1.1.2 ออกจากน้ำมันเหลวที่ไม่เกิดเป็นผลึกโดยใช้ชุดเครื่องกรองแยกไขมันแบบ Suction Flask , Porcelain และกระดาษกรอง Wattman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 ซม. ต่อพ่วงกับปั๊มสุญญากาศ

4.1.1.4 จากนั้นนำส่วนของน้ำมันเหลวใส่ Beaker ให้ความร้อนให้ละลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาทีเพื่อทำลายผลึกทั้งหมดอีกครั้ง แล้วนำมาตกผลึกแยกลำดับส่วนแบบ Dry fractionation ขั้นที่ 2 ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำเช่นที่ 30 °C โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับ 4.1.1.2 ที่ใช้เวลาประมาณ 24 ชม.

4.1.1.5 แยกเอาส่วนไขมันที่เกิดการตกผลึกจากข้อ 4.1.1.4 ออกจากน้ำมันเหลวที่ไม่เกิดเป็นผลึกโดยใช้ชุดเครื่องกรองแยกไขมันแบบ Suction Flask , Porcelain และกระดาษกรอง Wattman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 ซม. ต่อพ่วงกับปั๊มสุญญากาศ

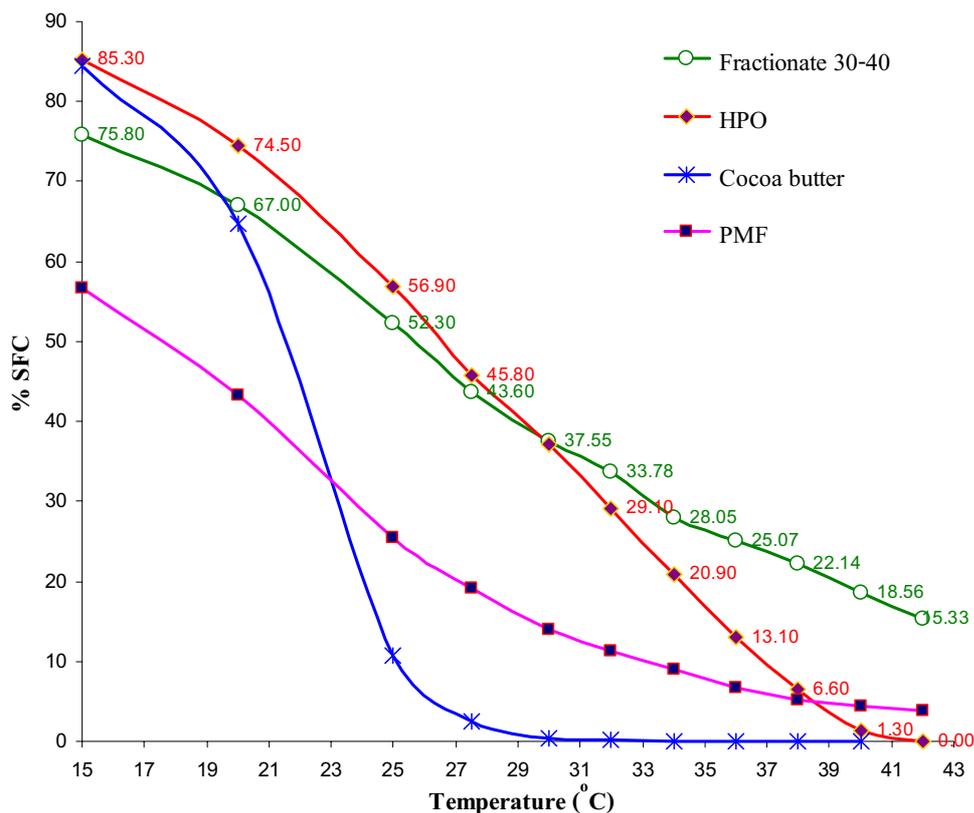
4.1.1.6 นำไขมันแข็งที่ได้จากตกผลึกแยกลำดับส่วนแบบ dry fractionation ในขั้นที่ 2 ไปศึกษาตามขั้นตอน 3.3.1.2 และ 3.3.1.3 เพื่อคัดเลือกเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทร้อนต่อไป

4.1.1.7 คำนวณ yield ของไขมันส่วนที่มีคุณสมบัติตามต้องการเทียบกับปริมาณไขมันตั้งต้นเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบว่าเหมาะสมต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและการใช้งานจริงหรือไม่

#### 4.1.2 การแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน

หลังจากการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนในครั้งแรกตามขั้นตอน 4.1.1.1-4.1.1.5 โดยใช้อุณหภูมิขั้นที่ 1 ที่ 40 °C และอุณหภูมิขั้นที่ 2 ที่ 30 °C แล้วนำไขมันแข็งที่ได้จากตกผลึกแยกลำดับส่วนแบบ dry fractionation ในขั้นที่ 2 หรือในที่นี้เรียกว่า Fractionate 30-40 ไปวิเคราะห์ค่า SFC และพฤติกรรมการหลอมเหลวด้วยเครื่อง p-NMR เปรียบเทียบกับของเนยโกโก้และ HPO เมื่อนำค่า SFC ที่วัดได้มาพล็อตกราฟกับอุณหภูมิได้ผลดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งพบว่าในช่วงอุณหภูมิต่ำๆ (0-30 °C) นั้น Fractionate 30-40 ให้รูปแบบการหลอมเหลวของไขมันใกล้เคียงกับ HPO ที่ใช้อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 25 °C นั้นมีค่า SFC อยู่ที่ 52.30 เปอร์เซ็นต์ซึ่งใกล้เคียงกับ HPO ที่มีค่า SFC 56.9 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านั้นพบว่าพฤติกรรมการหลอมเหลวกลับแตกต่างกัน โดย Fractionate 30-40 มีพฤติกรรมการหลอมเหลวที่ช้ากว่าและให้ค่า SFC ที่สูงกว่ามากโดยที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่า SFC สูงถึง 18.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ HPO ให้ค่า SFC ต่ำเป็น 1.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่มีผลึกไขมันเหลืออยู่ที่อุณหภูมิมากกว่า 40 °C

ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงไขมันเหล่านี้จะไม่ละลายในปากและทำให้เกิดความรู้สึกเป็นไข (Beckett, 2008) ซึ่งจากภาพที่ 19 คาดได้ว่า Fractionate 30-40 จะทำให้เกิดความรู้สึกเป็นไขที่มากเกินไปเมื่อรับประทาน และไม่สามารถยอมรับได้เมื่อนำไปใช้ทำช็อกโกแลตเคลือบ



ภาพที่ 19 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมัน Fractionate 30-40 เปรียบเทียบกับ PMF, HPO และเนยโกโก้

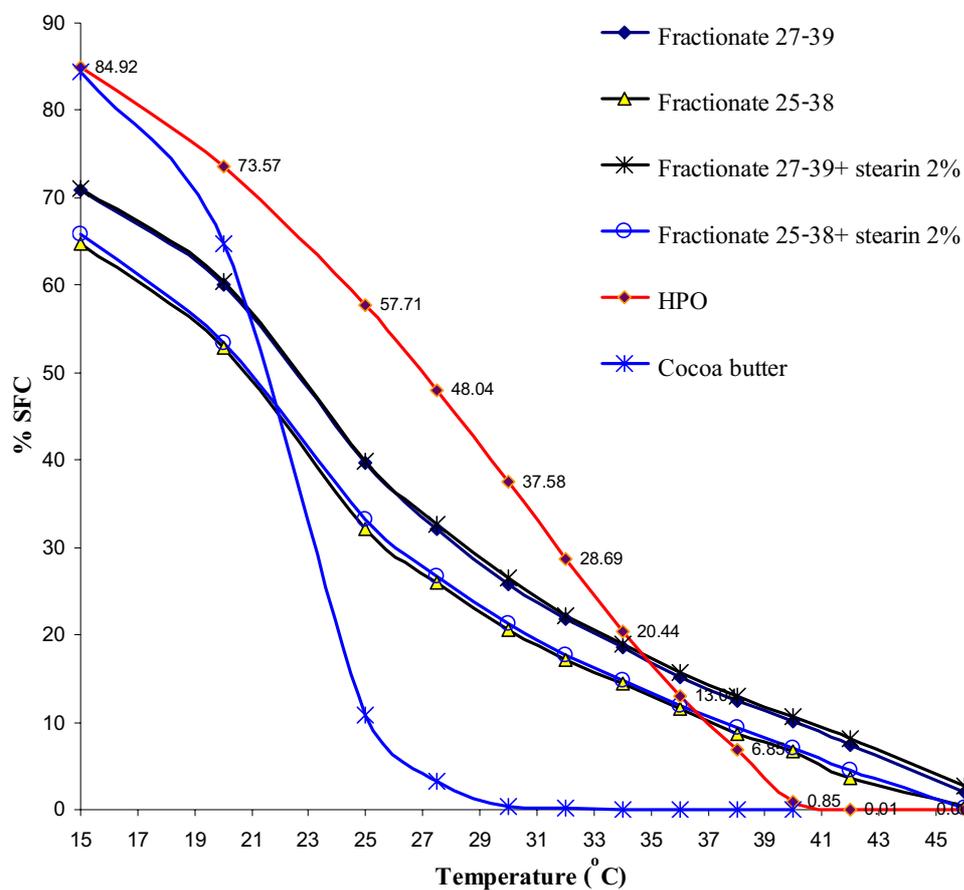
ดังนั้นควรหาสถานะอื่นๆ ในการทำการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนเพื่อให้ได้ไขมันที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าโดยไขมันที่แยกได้ควรมีค่า SFC ในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 40 °C น้อยลงกว่า Fractionate 30-40 และไม่ควรมีความแตกต่างจาก HPO มากนัก จึงได้ทำการแยกลำดับส่วนแบบ 2 ขั้นตอนตามสถานะดังต่อไปนี้

1. dry fractionation ที่ 38 °C และ 25 °C (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 25-38)
2. dry fractionation ที่ 39 °C และ 27 °C (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 27-39)

3. dry fractionation ที่ 38 °C และ 25 °C แล้วนำมาผสมกับ palm stearin 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 25-38 + stearin 2 %)

4. dry fractionation ที่ 39 °C และ 27 °C แล้วนำมาผสมกับ palm stearin 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 27-39 + stearin 2 %)

จากนั้นนำไขมันที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ค่า SFC และพฤติกรรมการหลอมเหลวด้วยเครื่อง p-NMR เปรียบเทียบกับ HPO เมื่อนำค่า SFC ที่วัดได้มาพล็อตกราฟกับอุณหภูมิได้ผลดังแสดงในภาพที่ 20 ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 °C นั้น Fractionate 25-38 และ Fractionate 27-39



ภาพที่ 20 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมันที่ได้จากการทำ dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนในช่วงอุณหภูมิต่างๆ และเมื่อมีการผสม palm stearin 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

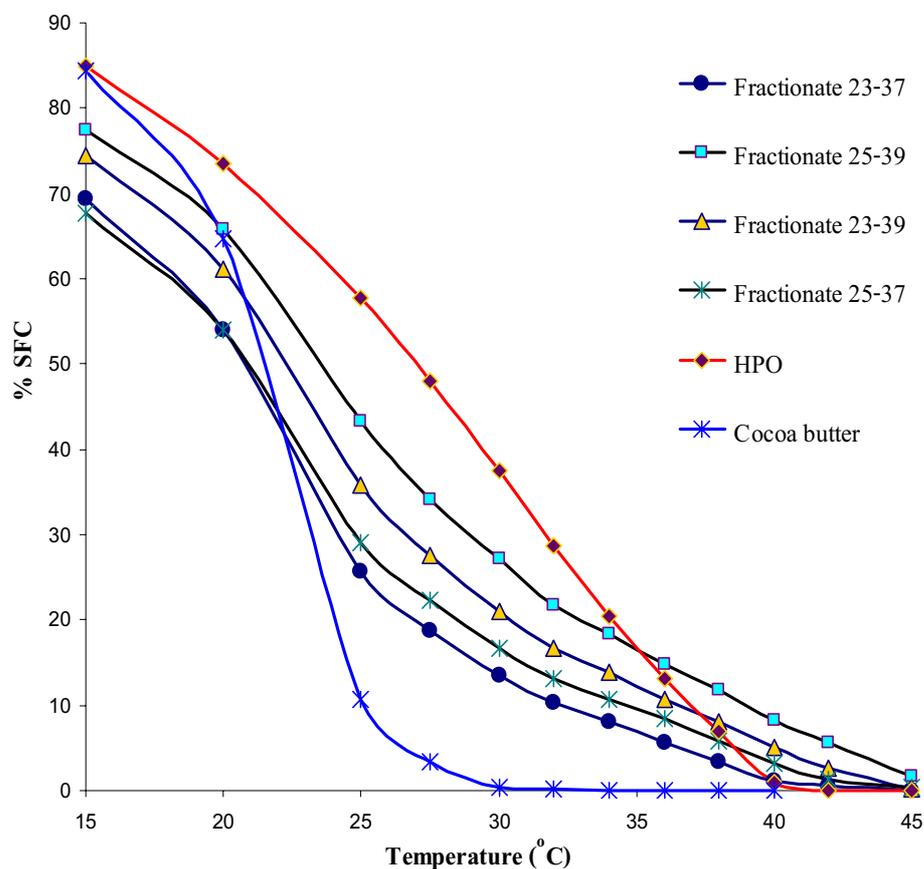
นั้นมีค่า SFC ที่สูงกว่า HPO แต่ก็ไม่สูงมากเกินไป โดยที่อุณหภูมิ 40 °C นั้นมีค่า SFC 6.58 เเปอร์เซ็นต์และ 10.13 เเปอร์เซ็นต์ตามลำดับ คาดว่าน่าจะทำให้คุณสมบัติที่ร้อนได้ดีกว่า HPO และไม่น่าจะให้ความรู้สึกเป็นไขที่มากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาช่วงอุณหภูมิ 20-30°C ซึ่งเป็นค่าที่แสดงพฤติกรรมของไขมันทั่วไปที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิการวางจำหน่ายช็อกโกแลตในประเทศไทยพบว่า Fractionate ทั้ง 2 ชนิดนั้นกลับมีค่า SFC ที่แต่ละอุณหภูมิต่ำกว่าของ HPO ก่อนข้างมากและแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่นที่อุณหภูมิ 25 °C นั้น Fractionate 25-38 และ Fractionate 27-39 นั้นมีค่า SFC 32.10 และ 39.68 เเปอร์เซ็นต์ตามลำดับแสดงว่าไขมันส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเหลว ในขณะที่ HPO มีค่า SFC 57.7 เเปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิเดียวกัน ทำให้คาดการณ์ได้ว่าหากนำ Fractionate ทั้ง 2 ชนิดไปใช้ทำช็อกโกแลตเคลือบจริงๆ แล้วนั้นจะได้ช็อกโกแลตเคลือบที่อ่อนตัวมากและค่อนข้างเหลวที่อุณหภูมิการเก็บและจำหน่าย

สำหรับกรณีที่ทำกรผสม palm stearin 2 เเปอร์เซ็นต์โดยนำหนักลงไป ใน Fractionate ทั้ง 2 ชนิดเพื่อปรับปรุง SFC ของไขมันที่ได้ให้มากขึ้นนั้น เมื่อนำ Fractionate ที่ผสม palm stearin แล้วไปวัดค่า SFC นั้นพบว่ามีค่าสูงขึ้นไปตลอดทุกๆ อุณหภูมิเมื่อเทียบกับไขมันชนิดเดียวกันที่ไม่มีการเติม palm stearin โดยเฉลี่ยแล้วการเติม palm stearin เพิ่มลงไป 2 เเปอร์เซ็นต์ในไขมันทั้ง 2 ชนิด ทำให้ SFC เพิ่มขึ้นประมาณ 1 เเปอร์เซ็นต์ที่แต่ละอุณหภูมิที่ทำกรวัด อย่างไรก็ตามในกรณีนี้แม้จะมีผลในการปรับปรุงคุณภาพของไขมันที่อุณหภูมิต่ำๆ (ต่ำกว่า 35 °C) โดยทำให้เส้นกราฟ SFC ของ Fractionate ทั้ง 2 ชนิดนั้นเลื่อนสูงขึ้นแต่ก็ทำให้ค่า SFC ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 35 °C นั้นเลื่อนสูงตามขึ้นไปด้วยและอาจมีผลให้เกิดความรู้สึกเป็นไขมากขึ้น ดังนั้นการปรับปรุง SFC ของไขมันที่ได้จากการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนโดยการเติม palm stearin ลงไปบางส่วนจึงไม่เหมาะสม และอาจไม่มีความจำเป็นต้องใช้ palm stearin ในการทดลองในขั้นต่อไป

จากผลการทดลองที่ได้ในครั้งที่ 2 ซึ่งแสดงผลได้ดังภาพที่ 20 ดังได้กล่าวไปแล้วนั้นจึงทำให้ต้องมีการหาหาสภาวะอื่นๆ ที่เหมาะสมมากกว่าเพื่อทำการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation ให้ได้ไขมันที่ให้ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ สูงกว่าหรือใกล้เคียงของไขมันที่ผลิตจาก HPO โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 °C และต้องมีพฤติกรรมการการหลอมเหลวคล้ายกัน จึงทำการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน เพิ่มเติมอีก 4 สภาวะดังต่อไปนี้

1. dry fractionation ที่ 37 °C และ 23 °C (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 23-37)
2. dry fractionation ที่ 37 °C และ 25 °C (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 25-37)
3. dry fractionation ที่ 39 °C และ 23 °C (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 23-39)
4. dry fractionation ที่ 39 °C และ 25 °C (ในที่นี้เรียกว่า Fractionate 25-39)

จากนั้นนำไขมันที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ค่า SFC และพฤติกรรมการหลอมเหลวด้วยเครื่อง p-NMR เปรียบเทียบกับ HPO และเนยโกโก้ เมื่อนำค่า SFC ที่วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 15 (ภาคผนวก จ) มาพล็อตกราฟกับอุณหภูมิได้ดังแสดงในภาพที่ 21 ซึ่งพบว่าไขมันที่ได้จากการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนในช่วงอุณหภูมิ 23 °C กับ 37 °C และในช่วงอุณหภูมิ 25 °C กับ 37 °C ได้เป็น Fractionate 23-37 และ Fractionate 25-37 นั้นมีค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ต่ำเกินไปและเมื่อเทียบกับ HPO แล้วนั้นให้ค่า SFC ที่ต่ำกว่าที่ทุกอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดซึ่งคาดว่าจะมีสมบัติที่ทนร้อนน้อยกว่า และเมื่อนำไปผลิตเป็นช็อกโกแลตเคลือบจะทำให้อ่อนตัว ไม่ทนร้อนและหลอมละลายที่อุณหภูมิเก็บและจำหน่ายได้ง่ายกว่าการใช้ HPO จึงไม่เหมาะสม

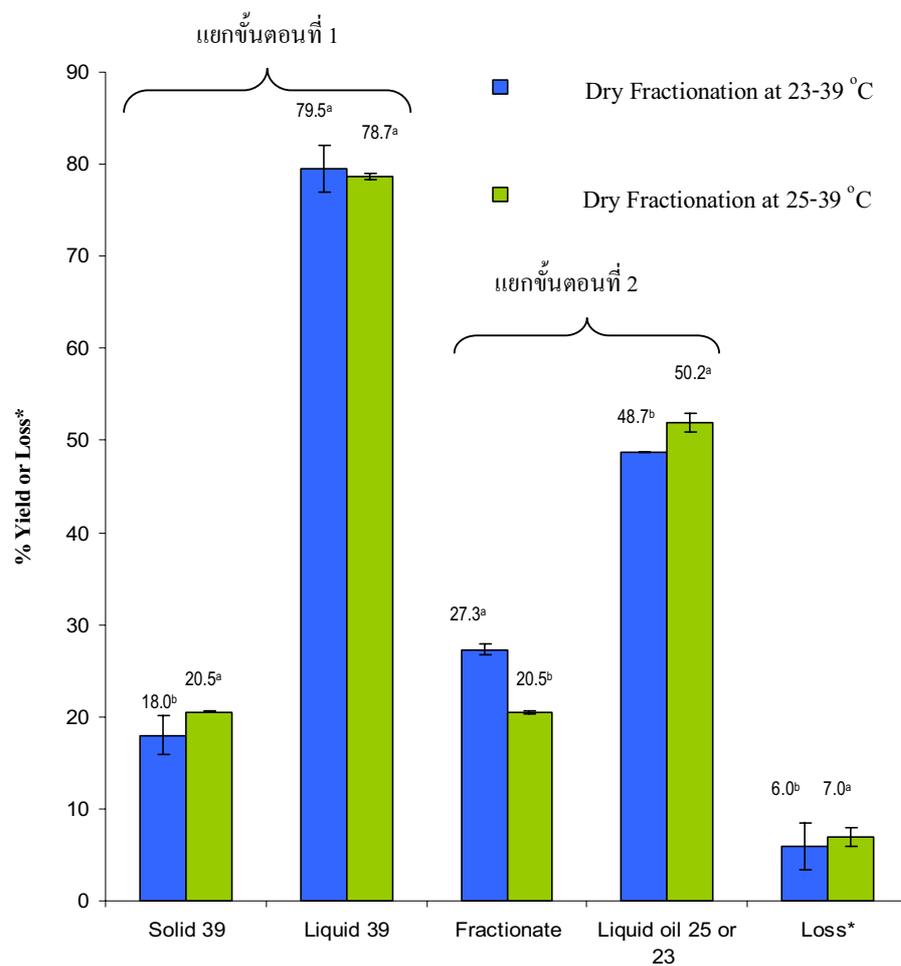


ภาพที่ 21 SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของไขมันที่ได้จากการทำ dry fractionation ที่ช่วงอุณหภูมิ 23-37, 25-37, 25-39 และ 23-39 เทียบกับ HPO และเนยโกโก้ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

สมที่จะเลือกใช้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่า Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นที่อุณหภูมิมากกว่า 36 °C นั้นไขมันทั้ง 2 ชนิดมีค่า SFC ที่สูงกว่า HPO และไม่สูงมากเกินไป โดยที่อุณหภูมิ 40 °C นั้นมีค่า SFC 5.07 เปอร์เซนต์และ 8.17 เปอร์เซนต์ตามลำดับ ซึ่งน่าจะให้คุณสมบัติที่ร้อนได้ดีกว่า HPO และไม่ทำให้ความรู้สึกที่เป็นไขมากเกินไป และเมื่อพิจารณาในช่วงอุณหภูมิ 20-30 °C ซึ่งเป็นค่าที่แสดงพฤติกรรมการหลอมละลายของไขมันต่างๆ ไปที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิการวางจำหน่ายช็อกโกแลตในประเทศไทยพบว่าค่า SFC ของ Fractionate ทั้ง 2 ชนิดนั้นให้ค่าที่แต่ละอุณหภูมิต่ำกว่าของ HPO แต่ไม่มากนัก เช่นที่อุณหภูมิ 25 °C นั้นไขมันชนิด Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีค่า SFC 35.90 และ 43.22 เปอร์เซนต์ตามลำดับ ในขณะที่ HPO ให้ SFC 57.71 เปอร์เซนต์ที่อุณหภูมิเดียวกัน ทำให้คาดการณ์ได้ว่าหากนำ Fractionate ทั้ง 2 ชนิดไปใช้ทำช็อกโกแลตเคลือบจริงๆ แล้วนั้นจะได้ช็อกโกแลตเคลือบที่อาจจะอ่อนตัวมากกว่า HPO ที่อุณหภูมิการเก็บและจำหน่ายแต่ก็ไม่น่าจะมากนักและขณะเดียวกันน่าจะให้คุณสมบัติที่ร้อนมากกว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 36 °C เป็นต้นไป จากข้อมูลข้างต้น Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 น่าจะให้คุณสมบัติที่ร้อนได้ดีกว่า HPO ซึ่งอาจจะแก้ปัญหาการละลายของช็อกโกแลตเคลือบในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทยได้

ข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการศึกษาในครั้งนี้คือในกระบวนการแยกผลึกไขมันออกจากร้ำมันเหลวนั้นใช้ชุดเครื่องกรองแยกไขมันแบบ Suction flask ต่อพ่วงกับปั๊มสุญญากาศ ซึ่งเป็นกระบวนการแยกที่มีประสิทธิภาพไม่สูงเหมือนกับที่มีการใช้ในระดับอุตสาหกรรมจริง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ระบบแยกแบบ Membrane press filter โดยในระบบการกรองแบบนี้ผลึกสเตอรินถูกทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นโดย filter chamber รวมทั้งการบีบอัดหรือรีดด้วย inflatable membrane ซึ่งทำให้การแยกน้ำมันโอเลอินที่ยึดติดอยู่กับสเตอรินนั้นทำได้ดีและได้โอเลอิน yield สูงกว่าเมื่อเทียบกับการกรองแยกแบบสุญญากาศ จากรายงานของ Kellen และคณะ (2007) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าจาก palm oil ที่มีค่าไอโอดีน 52 เมื่อผ่านกระบวนการแยกแบบ Vacuum filtration (rotary drum) ให้ palm stearin ที่มีค่าไอโอดีนเป็น 40-42 ในขณะที่การแยกจาก palm oil ตั้งต้นเหมือนกันโดยวิธี Membrane press filtration จะให้ palm stearin ที่มีค่าไอโอดีน 30-32 ซึ่งในกรณีนี้ทำให้ได้ไขมันที่แยกได้จาก Membrane press filtration มีความไม่อิ่มตัวน้อยกว่าและน่าจะให้ SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ สูงกว่า ซึ่งคาดว่าในงานวิจัยนี้หากใช้กระบวนการแยกแบบ Membrane press filtration ที่เหมือนกับที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรมนั้นจะช่วยปรับปรุงให้ SFC ของทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 °C ให้สูงขึ้นได้ซึ่งจะมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้นคือ แข็งตัวและทนร้อนมากขึ้น

จากการวัดค่า yield ของไขมันส่วนที่มีคุณสมบัติตามต้องการเทียบกับเทียบกับปริมาณ PMF ตั้งต้น พบว่า Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นให้ค่าเปอร์เซ็นต์ yield เป็น 27.32 และ 20.45 ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 22 ซึ่งทำให้มีความน่าสนใจในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม สำหรับไขมันและน้ำมันส่วนที่แยกออกไปและไม่ได้นำมาใช้ในการผลิตช็อกโกแลต นั้นอันได้แก่ Solid 39 (สเตอรินที่เกิดการตกผลึกเมื่อทำการตกผลึกแบบ dry fractionation ในครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 39 °C) จากการวิเคราะห์พบว่ามีความไอโอดีน 33.09 สามารถนำไปผลิตอาหารสัตว์หรือ



ภาพที่ 22 Yield ของไขมันที่ได้จากการแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน  
หมายเหตุ : a, b หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันของเปอร์เซ็นต์ yield หรือ loss ในแต่ละขั้นตอนของการแยกลำดับส่วนที่ 2 สภาวะเปรียบเทียบกันซึ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ส่วนผสมในการผลิตมาการีนหรือ shortening ใต้ (Kellen และคณะ, 2007) โดยค่าไอโอดีนของตัวอย่างทั้ง 3 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 7

ส่วน Liquid oil 25 และ Liquid oil 23 (Olein ที่ได้จากการแยกลำดับส่วนของไขมันแข็งออกไปหลังจากตกผลึกแบบ dry fractionation ในครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 25 และ 23 °C ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าไอโอดีน 47.19 และ 49.16 ตามลำดับนั้นสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตมาการีน รวมทั้งการใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอด (Kellen และคณะ, 2007) สำหรับการสูญเสีย (Loss) นั้นเกิดจากการที่ตัวอย่างของน้ำมันหรือไขมันติดค้างอยู่กับกระดาษกรอง ติดค้างอยู่กับบีกเกอร์ Suction flask และ Porcelain ที่ใช้กรองตัวอย่าง

ตารางที่ 7 ค่าไอโอดีนของไขมันและน้ำมันส่วนที่ต้องแยกออกไปจากขั้นตอนการแยกลำดับส่วน PMF

| ชนิดของไขมันหรือน้ำมัน | Iodine Value (gI <sub>2</sub> /100g) |
|------------------------|--------------------------------------|
| Solid 39               | 33.09 ± 0.42                         |
| Liquid oil 25          | 47.19 ± 0.76                         |
| Liquid oil 23          | 49.16 ± 0.74                         |

มาถึงตรงนี้สรุปได้ว่าไขมันที่เลือกใช้เพื่อการผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทนร้อนสำหรับนำไปผลิตช็อกโกแลตเคลือบนั้นได้แก่

ก. ไขมันที่ได้จากการตกผลึก PMF แบบ dry fractionation ที่ช่วงอุณหภูมิ 39 °C และ 25 °C หรือ Fractionate 25-39 และ

ข. ไขมันที่ได้จากการตกผลึก PMF แบบ dry fractionation ที่ช่วงอุณหภูมิ 39 °C และ 23 °C Fractionate 23-39

#### 4.2 ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วนเทียบกับเนยโกโก้และ HPO

ตารางที่ 8 และภาพที่ 23 แสดงชนิดและ ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันทดแทนเนยโกโก้ในที่เลือกไว้ 2 ตัวอย่าง เทียบกับของเนยโกโก้ PMF และของไขมันที่ผลิตจาก HPO ด้วยเครื่อง GC-FID โดยการวิเคราะห์ Fatty acid Methyl esters (FAME) ตามวิธีการของ PORIM (PORIM, 1995) แสดงในภาคผนวก ก2 เพื่อหาชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง

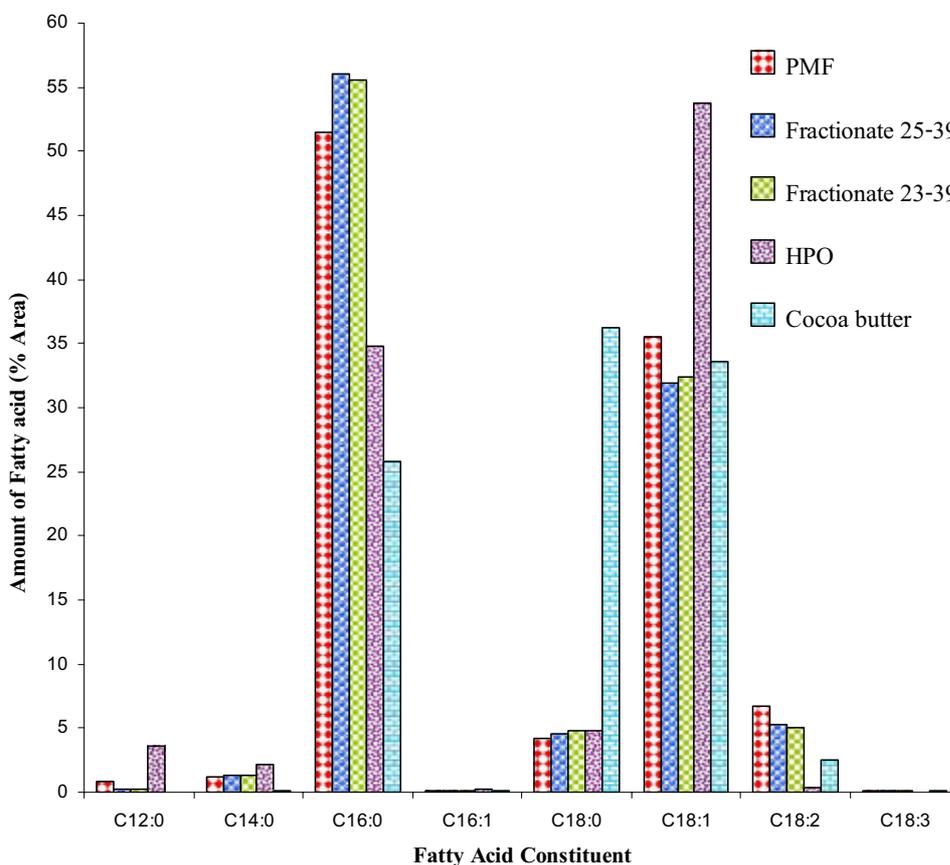
ตารางที่ 8 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 เปรียบเทียบกับ PMF เนยโกโก้ และ HPO

| ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ |                  | ตัวอย่างไขมัน |              |              |                   |                   |
|----------------------------------|------------------|---------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|
| จำนวนคาร์บอน                     | ชื่อ             | HPO           | Cocoa butter | PMF          | Fractionate 23-39 | Fractionate 25-39 |
| อะตอม : จำนวนพันธะคู่            |                  |               |              |              |                   |                   |
| C12:0                            | กรดลอริก         | 3.66 ± 0.14   | 0.00 ± 0.00  | 0.87 ± 0.15  | 0.25 ± 0.00       | 0.25 ± 0.02       |
| C14:0                            | กรดไมริสติก      | 2.14 ± 0.04   | 0.08 ± 0.06  | 1.15 ± 0.04  | 1.38 ± 0.01       | 1.36 ± 0.02       |
| C16:0                            | กรดปาล์มิติก     | 34.79 ± 0.07  | 25.75 ± 0.15 | 51.48 ± 0.11 | 55.54 ± 0.13      | 56.07 ± 0.11      |
| C16:1                            | กรดปาล์มิตอเลอิก | 0.23 ± 0.08   | 0.17 ± 0.10  | 0.01 ± 0.00  | 0.08 ± 0.00       | 0.08 ± 0.00       |
| C18:0                            | กรดสเตียริก      | 4.74 ± 0.01   | 36.29 ± 0.15 | 4.22 ± 0.05  | 4.76 ± 0.02       | 4.60 ± 0.04       |
| C18:1                            | กรดโอเลอิก       | 53.71 ± 0.24  | 33.63 ± 0.20 | 35.49 ± 0.12 | 32.36 ± 0.13      | 31.89 ± 0.10      |
| C18:2                            | กรดลิโนเลอิก     | 0.30 ± 0.02   | 2.51 ± 0.18  | 6.76 ± 0.03  | 5.05 ± 0.02       | 5.24 ± 0.02       |
| C18:3                            | กรดลิโนเลนิก     | 0.00 ± 0.00   | 0.15 ± 0.05  | 0.11 ± 0.02  | 0.09 ± 0.00       | 0.07 ± 0.04       |
| C20:0                            | กรดอะราคิติก     | 0.28 ± 0.01   | 0.96 ± 0.20  | 0.29 ± 0.01  | 0.30 ± 0.01       | 0.29 ± 0.00       |
| C22:0                            | กรดบีฮีนิก       | 0.04 ± 0.02   | 0.21 ± 0.05  | 0.04 ± 0.02  | 0.07 ± 0.01       | 0.04 ± 0.00       |
| C24:0                            | กรดลิกโนซีริก    | 0.10 ± 0.04   | 0.23 ± 0.02  | 0.07 ± 0.02  | 0.12 ± 0.01       | 0.09 ± 0.03       |

หมายเหตุ : ปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดคิดจากร้อยละของพื้นที่ใต้ peak ของกรดไขมันเทียบกับพื้นที่ใต้ peak รวมของกรดไขมันทุกชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี FAME

จากตารางที่ 8 และภาพที่ 23 พบว่าเนยโกโก้มีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดไขมันอิ่มตัวชนิดปาร์มีติก (C16:0) 25.75 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิ่มตัวชนิดสเตียริก (C18:0) 36.29 เปอร์เซ็นต์และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิก (C18:1) 33.63 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ Pease (1985) คือ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเนยโกโก้คือ กรดไขมัน อิ่มตัวชนิดปาร์มีติก (C16:0) 25.2 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิ่มตัวชนิดสเตียริก 35.5 เปอร์เซ็นต์และ กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิก 35.2 เปอร์เซ็นต์

สำหรับ PMF นั้นมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันอิ่มตัวชนิดปาร์มีติก 51.48 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิ่มตัวชนิดสเตียริก 4.22 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิก 35.49



ภาพที่ 23 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 เปรียบเทียบกับ PMF เนยโกโก้ และ HPO  
หมายเหตุ C20:0, C22:0 และ C24:0 มีปริมาณน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ในไขมันทุกชนิดจึงไม่ได้แสดงในลักษณะกราฟแท่ง

เปอร์เซ็นต์และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดลิโนเลอิก (C18:2) 6.76 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านการแยกลำดับ ส่วน PMF โดยวิธี dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนแบบ 2 ขั้นตอนจนได้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นพบว่าไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวชนิดปาร์ มิติกเพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิกมีค่าลดลงส่วนสัดส่วนของกรดไขมันชนิด อื่นๆ นั้นไม่พบเปลี่ยนแปลงมากนักและเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Fractionate 23-39 กับ Fractionate 25-39 พบว่าเมื่อทำการตกผลึกแยกลำดับส่วน PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน ที่ อุณหภูมิการตกผลึกในครั้งที่ 2 คือที่ 23 °C สำหรับ Fractionate 23-39 เมื่อเทียบกับ 25 °C สำหรับ Fractionate 25-39 แล้วนั้นพบว่าที่อุณหภูมิการตกผลึกในครั้งที่ 2 ที่ต่ำกว่านั้นปริมาณกรดไขมัน อิ่มตัวชนิดปาร์มิติก จะมีค่าลดลงจาก 56.07 เปอร์เซ็นต์ ใน Fractionate 25-39 เป็น 55.54 เปอร์เซ็นต์ใน Fractionate 23-39 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิก นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 31.89 เปอร์เซ็นต์ใน Fractionate 25-39 เป็น 32.36 เปอร์เซ็นต์ใน Fractionate 23-39 ซึ่งสัดส่วนการเพิ่ม และลดของกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้สอดคล้องกับรายงานของ Zaliha และคณะ (2004) ที่พบว่าการ แยกลำดับส่วนน้ำมันปาล์ม ไม่ว่าจะเป็นแบบหนึ่งหรือสองขั้นตอนก็ตามเมื่ออุณหภูมิการตกผลึก ต่ำลงส่วนของไขมันแข็งที่ได้จะมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวชนิดปาร์มิติกมีสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันจากไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดกับ HPO นั้นพบว่ามีความแตกต่างอย่างชัดเจนในปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวชนิดปาร์มิติกที่มี 34.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดอย่างชัดเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ในทางกลับกัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิกนั้นมี 53.71 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าไขมันทดแทนเนยโกโก้ ทั้ง 2 อย่างชัดเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดลิโนเลอิกและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดลิโนเลนิก (C18:3) นั้นแทบไม่พบเลย นอกจากนี้ HPO ยังประกอบด้วยกรดไขมัน อิ่มตัวชนิดลอริก (C12:0) 3.66 เปอร์เซ็นต์และกรดไขมันอิ่มตัวชนิดไมริสติก (C14:0) 2.41 เปอร์เซ็นต์ซึ่งโดยปกติแล้วนั้นไม่พบกรดไขมันอิ่มตัวชนิดลอริกในน้ำมันปาล์มส่วนกรดไขมัน อิ่มตัวไมริสติกนั้นพบในปริมาณน้อย ประมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์ (Brien, 2009) จึงเป็นไปได้ว่าเพื่อ ปรับปรุงคุณสมบัติของ HPO ทางผู้ผลิตได้มีการเติมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel oil) ที่ โดยทั่วไปประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวชนิดลอริก 48.2 เปอร์เซ็นต์และกรดไขมันอิ่มตัวชนิดไม ริสติก 16.2 เปอร์เซ็นต์ (Brien, 2009) ลงไปด้วยบางส่วน สำหรับกรดไขมันชนิดอื่นๆ ใน HPO พบว่ามีปริมาณที่ไม่แตกต่างจากไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่า SFC ของ HPO ที่อุณหภูมิห้องสูงกว่าไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิด ทั้งๆ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว ชนิดปาร์มิติกต่ำกว่าและปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิกสูงกว่า น่าจะเป็นเพราะกรดไขมัน

ไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิก (C18:1) ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของทรานส์-ไอโซเมอร์ โดยกรดไขมันที่อยู่ในรูปทรานส์-ไอโซเมอร์จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันชนิดเดียวกันที่อยู่ในรูปซิส-ไอโซเมอร์ ดังนั้นจึงทำให้กรดไขมันมีสถานะเป็นของแข็งมากขึ้น (นิธิยา, 2548) กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิกที่อยู่ในรูปซิส-ไอโซเมอร์นั้นมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่  $13.4^{\circ}\text{C}$  แต่เมื่ออยู่ในรูปทรานส์-ไอโซเมอร์หรือเรียกชื่อว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอีไลดิก (Elaidic fatty acid) จะมีจุดหลอมเหลวสูงถึง  $43.7^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้ทรานส์ไอโซเมอร์มีผลที่จะทำให้ไขมันมีลักษณะแข็งที่อุณหภูมิต่ำแต่อ่อนตัวได้เร็วที่อุณหภูมิสูงทำให้กราฟของหลอมเหลวมีความชันสูง (Brien, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับค่า SFC และรูปแบบการหลอมเหลวของ HPO ดังได้แสดงในภาพที่ 21 ที่พบว่าที่อุณหภูมิ  $30-40^{\circ}\text{C}$  เกิดการลดลงของค่า SFC และละลายอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ความแตกต่างของค่า SFC และของรูปแบบการหลอมเหลวระหว่าง HPO กับไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดนั้นน่าจะเกิดจากการที่ HPO มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดลิโนเลอิก (C18:2) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่  $-6.5^{\circ}\text{C}$  (Brien, 2009) เพียง 0.30 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-35 มีปริมาณแตกต่างกันมากและซึ่งมีค่าเป็น 5.05 และ 5.24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 8 นั้นก็ยังทำให้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดที่ได้คัดเลือกไว้นั้นมีพฤติกรรมการหลอมเหลวที่ต่างจาก HPO และค่อนข้างอ่อนตัวมากกว่าที่อุณหภูมิห้อง

ด้วยกระบวนการดัดแปลงที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบใน HPO ซึ่งผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันกับไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านกระบวนการแยกลำดับส่วน PMF โดยวิธี dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนนั้นแตกต่างกัน และเป็นการยากที่กระบวนการดัดแปลงทางกายภาพผ่านการแยกลำดับส่วนโดย dry fractionation จะทำให้ได้ไขมันที่มีทั้งชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบเหมือนกับที่ได้จากกระบวนการดัดแปลงทางเคมีแบบไฮโดรจีเนชัน ซึ่งการที่มีชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบที่ต่างกันนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและการนำไปใช้งาน

## 4.2 การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีของของไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้เทียบกับเนยโกโก้และ HPO

ผลการวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีของไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้เปรียบเทียบกับเนยโกโก้และ HPO ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 เปรียบเทียบกับ PMF เนยโกโก้ และ HPO

| ชนิดของไขมัน      | คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ        |                                      |                          |                           |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                   | Saponification Value (mgKOH/g) | Iodine Value (gI <sub>2</sub> /100g) | Acid Value (%)           | Slip Melting point (°C)   |
| PMF               | 202.35 ± 1.16 <sup>B</sup>     | 43.41 ± 0.50 <sup>B</sup>            | 0.18 ± 0.01 <sup>B</sup> | 35.27 ± 0.21 <sup>C</sup> |
| Cocoa butter      | 198.48 ± 1.83 <sup>C</sup>     | 36.01 ± 0.35 <sup>C</sup>            | 1.95 ± 0.01 <sup>A</sup> | 26.53 ± 0.59 <sup>D</sup> |
| HPO               | 206.00 ± 1.62 <sup>A</sup>     | 49.91 ± 0.53 <sup>A</sup>            | 0.06 ± 0.01 <sup>E</sup> | 36.93 ± 1.21 <sup>C</sup> |
| Fractionate 23-39 | 203.04 ± 1.06 <sup>B</sup>     | 36.04 ± 0.89 <sup>C</sup>            | 0.15 ± 0.01 <sup>C</sup> | 39.97 ± 0.40 <sup>B</sup> |
| Fractionate 25-39 | 202.48 ± 1.55 <sup>B</sup>     | 35.59 ± 0.15 <sup>C</sup>            | 0.13 ± 0.01 <sup>D</sup> | 45.23 ± 1.00 <sup>A</sup> |

หมายเหตุ A,B หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 4.3.1 ค่าสaponนิฟิเคชัน (Saponification Value : SV)

ค่าสaponนิฟิเคชันของไขมันหรือน้ำมัน คือ จำนวนน้ำหนักของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นมิลลิกรัม ที่ใช้ในการสaponนิไฟด์ (การไฮโดรไลซิสด้วยด่าง) ไขมันหรือน้ำมันจำนวน 1 กรัม ค่าสaponนิฟิเคชันของไขมันหรือน้ำมัน เป็นตัวชี้บ่งให้ทราบถึงขนาดหรือน้ำหนักของโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในไตรเอซิลกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน โดยไตรเอซิล กลีเซอไรด์ที่โมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือขนาดของโมเลกุลเล็ก หรือ มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยจะมีค่าสaponนิฟิเคชันสูง ถ้าไตรเอซิลกลีเซอไรด์มีโมเลกุล

ขนาดใหญ่หรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากจะมีค่าสaponification index ต่ำ ดังนั้นเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะต้องใช้ต่างจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ค่าสaponification index จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน (นิธิยา, 2548)

จากตารางที่ 9 เห็นได้ว่าค่าสaponification index ของ PMF ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดคือ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) สำหรับ HPO มีค่าสูงที่สุดส่วนเนยโกโก้มีค่าต่ำกว่าไขมันอื่นทั้งหมดที่นำมาทำการทดสอบ จากการวิเคราะห์นี้ค่าสaponification index ของเนยโกโก้ที่ได้สอดคล้องกับที่รายงานโดย Minifie (1999) ที่มีค่า 198.0 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม และเมื่อพิจารณากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันแต่ละชนิดพบว่ามีความสอดคล้องกับค่าสaponification index โดยเนยโกโก้ซึ่งมีกรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่หรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากซึ่งพบว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดสเตียริก (C18:0) กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิก (C18:1) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดลิโนเลอิก (C18:2) รวมกันในปริมาณสูงกว่าไขมันชนิดอื่นๆ ที่ได้ทำการทดสอบจึงมีค่าสaponification index สูงที่สุด ส่วน HPO ซึ่งมีค่าสaponification index ต่ำที่สุดนั้นน่าจะเป็นเพราะมีกรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กหรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อย เช่น กรดไขมันอิ่มตัวชนิดลอริก (C12:0) และกรดไขมันอิ่มตัวชนิดไมริสติก (C14:0) เป็นองค์ประกอบในปริมาณรวมสูงกว่าในไขมันชนิดอื่นๆ ที่ทำการทดสอบ

#### 4.3.2 ค่าไอโอดีน (Iodine Value : IV)

ค่าไอโอดีนเป็นการวิเคราะห์เพื่อชี้บ่งจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอไรด์ที่ผสมรวมกันอยู่ในไขมันหรือน้ำมันตัวอย่าง คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซึม (absorb) โดยไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม ไอโอดีนจะถูกดูดซึมเข้าไปที่ตำแหน่งพันธะคู่ ถ้ามีจำนวนพันธะคู่มาก ไอโอดีนจะถูกดูดซึมมาก ดังนั้นค่าไอโอดีนจึงเป็นตัวชี้บ่ง degree of unsaturation ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอไรด์ที่รวมกันเป็นไขมันและน้ำมัน ทั้งยังสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันอีกด้วยเพราะไขมันซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องจะเป็นไตรเอซิลกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากซึ่งตรงกันข้ามกับน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูงมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอไรด์มากและมีจุดหลอมเหลวดำ (นิธิยา, 2548)

สำหรับค่าไอโอดีนของตัวอย่างไขมันชนิดต่างๆ ดังแสดงผลในตารางที่ 9 นั้นพบว่า เมื่อนำ PMF ที่มีค่าไอโอดีน 43.41 มาผ่านกระบวนการตกผลึกแยกลำดับส่วน โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน ทั้ง 2 สภาวะจะทำให้ได้ค่าไอโอดีนลดลงโดย Fractionate 23-39 มีค่าไอโอดีน 36.04 ส่วน Fractionate 25-39 ให้ค่าไอโอดีน 35.59 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแต่ Fractionate 23-39 แต่มีแนวโน้มสูงกว่าเล็กน้อยซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการที่ Fractionate 23-39 นั้นมีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิกมากกว่าใน Fractionate 25-39 อยู่เล็กน้อย สำหรับ HPO นั้นมีค่าไอโอดีนสูงสุดจากไขมันทั้งหมดที่นำมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบเนื่องจาก HPO มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเลอิกมากกว่าในไขมันชนิดอื่นๆ และมีปริมาณสูงถึง 53.71 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในเนยโกโก้ที่พบว่ามีค่า 36.01 ซึ่งใกล้เคียงกับ 37.0 ที่ Minifie (1999) เคยรายงานไว้

ค่าไอโอดีนของไขมันชนิดต่างๆ ในตารางที่ 9 พบว่ามีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าไอโอดีนที่ได้จากการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในไขมันแต่ละชนิดตามสมการที่ (2) คือ

$$IV = 0.95 \times C16:1 + 0.860 \times C18:1 + 1.732 \times C18:2 + 2.616 \times C18:3 + 0.785 \times C20:1 + 0.723 \times C22:1 \quad (2)$$

ซึ่งศึกษาโดย Ham และคณะ (1998) อ้างโดย Brien (2009) ; Kellens และคณะ (2007) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** ค่าไอโอดีนของไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบจากวิธี Wijs method กับการคำนวณจากกรดไขมันไม่อิ่มตัว

| ชนิดของไขมัน      | ค่าไอโอดีนที่ได้จากการคำนวณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (gI <sub>2</sub> /100g) | ค่าไอโอดีน ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้สารละลาย Wijs (gI <sub>2</sub> /100g) | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง |
|-------------------|---|---|------------------------|
| PMF               | 42.61   | 43.41 <sup>B</sup> ± 0.50   | 1.84                   |
| Cocoa butter      | 39.43   | 36.01 <sup>C</sup> ± 0.35   | 9.50                   |
| HPO               | 46.93   | 49.91 <sup>A</sup> ± 0.53   | 5.97                   |
| Fractionate 23-39 | 36.77   | 36.04 <sup>C</sup> ± 0.89   | 2.03                   |
| Fractionate 25-39 | 36.88   | 35.59 <sup>C</sup> ± 0.15   | 3.62                   |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.3.3 ค่า Slip melting point (SMP)

เป็นอุณหภูมิที่ไขมันเมื่อได้รับความร้อนจะหลอมเหลวเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวใส่ วัดโดยใช้ Capillary tube การวัดจุดหลอมเหลวโดยวิธี SMP นี้จะอ่านค่าอุณหภูมิที่จุดที่ไขมันในหลอดเริ่มเลื่อนขึ้น (PORIM, 1995)

จากผลการวิเคราะห์ค่า SMP ดังแสดงในตารางที่ 9 นั้นพบว่าค่า SMP ของไขมันปาล์มไม่ว่าจะเป็น HPO ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดและ PMF มีค่าที่สอดคล้องกับกับค่าไอโอดีน โดยพบว่ายิ่งค่าไอโอดีนในไขมันปาล์มมีค่าน้อยก็ยังมีค่า SMP ที่สูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่า SMP กับค่า SFC ที่ได้วิเคราะห์ดังข้อมูลดิบของค่า SFC ที่เป็นตัวเลขแสดงไว้ในตารางที่ 15 (ภาคผนวก ฉ) และแสดงดังภาพที่ 21 พบว่าค่า SFC ของไขมันทุกชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์และกราฟรูปแบบการหลอมเหลวนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันค่า SMP ที่ได้แสดงดังตารางที่ 9 โดยไขมันที่มีค่า SFC หรือผลึกไขมันแข็งที่ไม่ละลายเหลือมากที่อุณหภูมิสูงก็จะมีค่า SMP สูงด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น Fractionate 25-39 ที่มีค่า SFC 8.17 เปอร์เซนต์ที่อุณหภูมิ 40 °C ซึ่งสูงที่สุดพบว่ามีค่า SMP 45.23 °C ซึ่งสูงที่สุดเช่นกัน สำหรับ HPO ซึ่งมีค่า SFC 0.85 เปอร์เซนต์ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่า SMP 36.93 °C ส่วนเนยโกโก้ซึ่งมีค่า SFC จนเกือบเป็น 0 เปอร์เซนต์ตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 30 °C จึงมีค่า SMP 26.53 °C ต่ำที่สุด

#### 4.3.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value : AV)

เป็นการตรวจสอบการสลายตัวและการหืนของไขมันและน้ำมัน AV ของไขมันหรือน้ำมันที่วิเคราะห์ได้ใช้เป็นตัวชี้บ่งชี้ว่าไตรเอซิลกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำลายเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอไรด์ถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก มี hydrolytic rancidity เกิดขึ้นที่ไขมันหรือน้ำมันนั้นซึ่งความร้อนและแสงช่วยเร่งให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น (นิธิยา, 2548)

จากผลการวิเคราะห์ค่า AV ดังแสดงในตารางที่ 9 นั้นจากตัวอย่างไขมันทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์พบว่าเนยโกโก้ให้ค่าสูงที่สุดที่ 1.95 เปอร์เซนต์ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย (Minifi, 1999) ส่วน HPO ให้ค่าต่ำที่สุดคือ 0.06 เปอร์เซนต์และเมื่อเปรียบเทียบค่า AV ของไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดนั้นกับ HPO พบว่ามีค่า AV ที่สูงกว่า HPO อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากวัตถุดิบตั้งต้นคือ PMF ที่มีค่า AV 0.18 เปอร์เซนต์ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงจึงส่งผลต่อไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดที่มีค่า AV สูงตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อ

นำ PMF มาผ่านกระบวนการแยกลำดับส่วนโดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนจนได้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้งชนิดคือ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 แล้วนั้นค่า AV มีระดับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในไขมันทั้ง 2 ชนิดเมื่อเทียบกับ PMF ดั้งเดิม ซึ่งอาจจะเป็นเพราะกรดไขมันอิสระส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของน้ำมันเหลวที่ไม่เกิดการตกผลึกจึงถูกแยกออกจากไขมันที่ตกผลึกไปโดยกระบวนการกรอง

#### 4.4 การผลิตช็อกโกแลตเคลือบโดยใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้ 2 อัตราส่วน

##### 4.4.1 การผลิตช็อกโกแลตเคลือบในห้องปฏิบัติการ

ทำการผลิตช็อกโกแลตเคลือบในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องบดช็อกโกแลตขนาดทดลองจากไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกไว้จากข้อ 4.1.2 คือ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 ด้วยส่วนผสมในการผลิตดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 เปรียบเทียบกับช็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตโดยใช้ HPO ในอัตราส่วนเดียวกัน ขั้นตอนการผลิตเป็นดังภาพที่ 17

##### ตารางที่ 11 สูตรของการผสมช็อกโกแลตเคลือบ

| สูตรช็อกโกแลตเคลือบ                                   | สัดส่วน (เปอร์เซ็นต์) |
|---|-----------------------|
| Pulverized Sugar และ Whey Powder                      | 60.5                  |
| HPO หรือ ไขมันทดแทนเนยโกโก้                           | 35.5                  |
| Cocoa Powder DF 780, Cocoa Powder DF 800 และ Vanillin | 3.44                  |
| เลซีทีน   | 0.5                   |

ที่มา : ดัดแปลงจากสูตรของการผลิตช็อกโกแลตเคลือบของบริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด

หลังจากทดลองผลิตช็อกโกแลตเคลือบโดยใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้เพียงชนิดเดียวคือ Fractionate 25-39 ด้วยสูตรมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 11 พบปัญหาที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้

ก. ความหนืดของช็อกโกแลตเคลือบขณะบดสูงมาก มีลักษณะคล้ายครีม ซึ่งทำให้การบดเพื่อให้ละเอียดทำได้ยากโดยจะเกิดการแข็งตัวก่อนครบเวลาที่กำหนดไว้ และการเทลงแม่พิมพ์ทำได้ยากมาก

ข. มีการดักฟองอากาศไว้กับช็อกโกแลตเนื่องจากความหนืดสูง ทำให้ฟองอากาศไม่สามารถเคลื่อนออกไปได้ เมื่อนำไปเทใส่แม่พิมพ์ทำให้เกิดรูพรุนและช็อกโกแลตเคลือบมีเนื้อไม่แน่น และสีของช็อกโกแลตเคลือบอ่อน

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงไม่สามารถใช้สูตรมาตรฐานในการผลิตช็อกโกแลตเคลือบที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ตัวใหม่แทนที่ HPO ได้ทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 จำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการทำช็อกโกแลตเคลือบใหม่ รวมทั้งมีการปรับวิธีการในการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการด้วยดังต่อไปนี้

4.4.1.1 ลดความหนืดของช็อกโกแลตเคลือบที่เกิดขึ้นโดยการเติม Polyglycerol polricinoleate (PGPR) ซึ่งเป็น Partial Esterification ของ condensed castor oil fatty acids กับ Polyglycerol (Wilson และคณะ, 1998) การเติม PGPR ในช็อกโกแลตจะช่วยลดความหนืดแบบ yield stress ซึ่งคือ ค่าพลังงานต่ำสุดที่ต้องกระทำต่อช็อกโกแลตก่อนเพื่อที่จะทำให้ช็อกโกแลตไหลได้ (Beckett, 2008) ได้มากกว่าช็อกโกแลตที่มีการเติมเลซิทิน แต่อย่างไรก็ตามจะลดความหนืดแบบ plastic viscosity ซึ่งคือ ค่าพลังงานที่ให้แก่ช็อกโกแลตที่เริ่มเคลื่อนที่แล้วให้เคลื่อนที่ต่อไปเรื่อยๆ (Beckett, 2008) ได้เพียงเล็กน้อย (Rousset และคณะ, 2002) โดยสูตรที่เหมาะสมนั้นต้องเติมทั้ง PGPR และเลซิทินร่วมกัน จากการศึกษาของ Birgit และ Haraald (2005) พบว่าใน dark chocolate ที่ใช้ PGPR และเลซิทินร่วมกันในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้ความหนืดต่ำสุดที่ความเข้มข้นของ PGPR และเลซิทินรวมอยู่ระหว่าง 4-6 กรัมต่อกิโลกรัมของช็อกโกแลต (0.4-0.6 เปอร์เซ็นต์) แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองกับเครื่องบดช็อกโกแลตในห้องปฏิบัติการนั้นสำหรับสูตรที่ทำการศึกษาและใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดที่เลือกไว้คือ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 จะต้องใช้ emulsifier รวมสูงกว่าเล็กน้อยคืออยู่ที่ประมาณ 10 กรัมต่อกิโลกรัมของช็อกโกแลต (1 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วนของ PGPR ต่อ เลซิทิน เป็น 1:1 นั่นคือ PGPR 5 กรัมต่อกิโลกรัมและเลซิทิน 5 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีผลให้ความหนืดของช็อกโกแลตเคลือบลดลง การดักฟองอากาศน้อยลง สีเข้มขึ้นและทำให้สามารถบดช็อกโกแลตเคลือบอย่างต่อเนื่องได้ตลอดระยะเวลาการบด 3 ชั่วโมงจนช็อกโกแลตเคลือบมีเนื้อที่ละเอียดตามที่ต้องการ

4.4.1.2 ควบคุมอุณหภูมิของช็อกโกแลตเคลือบก่อนการเทลงแม่พิมพ์ โดยถ่ายช็อกโกแลตเคลือบจากเครื่องบดลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มล. ในปริมาณ 250 มล. แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °C เป็นเวลา 10 นาทีโดยมีการคนเป็นระยะๆ

4.4.1.3 หลังจากนั้นจึงนำไปเทใส่พิมพ์ตามต้องการ

4.4.1.4 เพื่อทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนชนิดไขมันเป็นไขมันตัวใหม่และผลกระทบของการเติม PGPR ลงไปด้วยนั้นในการทดลองจึงประกอบไปด้วยช็อกโกแลตเคลือบทั้งหมด 4 สูตร คือ

- สูตรมาตรฐานที่ใช้ HPO
- สูตรมาตรฐานที่ใช้ HPO ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ (เพื่อศึกษาผลของการเติม PGPR)
- สูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 แทน HPO ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์
- สูตรที่ใช้ Fractionate 25-39 แทน HPO ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์

โดยทั้ง 4 สูตรมี เลซิทินเป็นส่วนผสมอยู่แล้ว 0.5 เปอร์เซ็นต์ตามสูตรเดิมที่แสดงไว้ในตารางที่ 11

#### 4.4.2 การวัดค่าคุณสมบัติด้านต่างๆ ของช็อกโกแลตเคลือบ

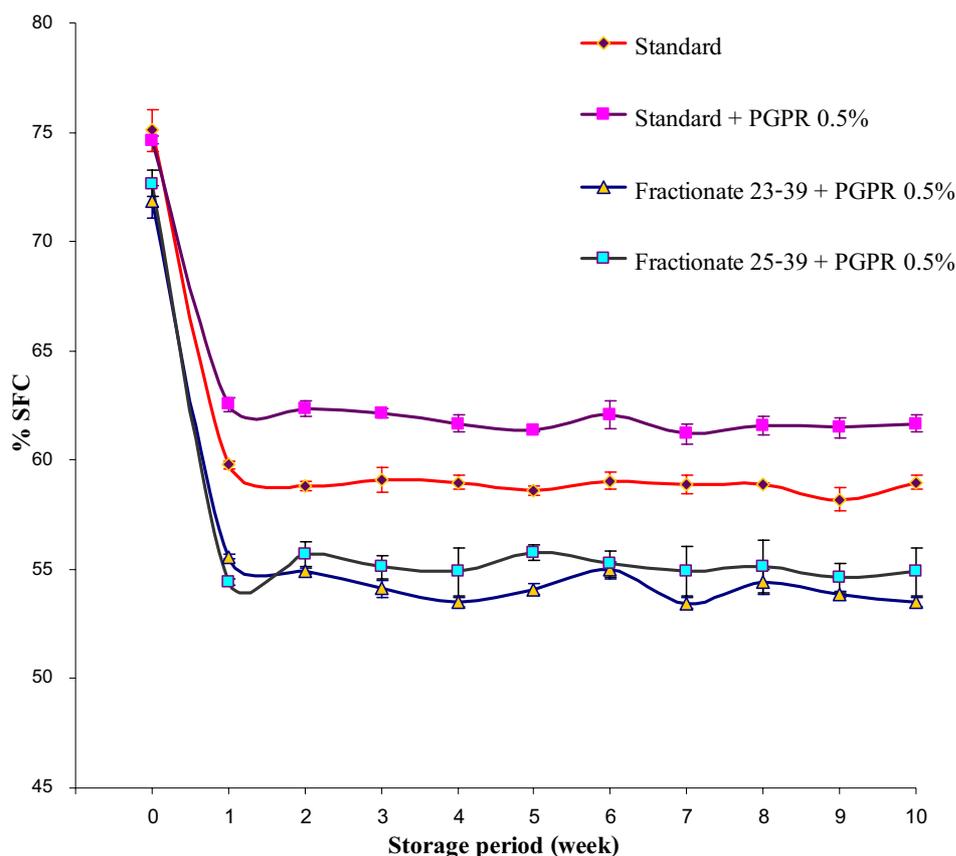
ทำการวัดค่าคุณสมบัติด้านต่างๆ หลังจากผลิตเสร็จใหม่และทุกๆ สัปดาห์หลังจากนั้นเป็นเวลา 10 สัปดาห์โดยทำการวัดค่า SFC ณ อุณหภูมิการเก็บรักษาด้วยเครื่อง p-NMR ค่าความแข็งของช็อกโกแลตเคลือบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและการวัดการเกิดฝ้าขาว (fat bloom formation) ด้วยเครื่องวัดสี เพื่อให้ได้ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า whiteness index โดยตัวอย่างจะถูกแบ่งเป็น 2 ชุด เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C และอุณหภูมิห้อง การศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ในข้อนี้ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ สำหรับคุณสมบัติด้านต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS V.9.0 และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

##### 4.4.2.1 การศึกษาค่า SFC ของช็อกโกแลตเคลือบ

จากการศึกษาค่า SFC ของช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C และอุณหภูมิห้อง ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 24 และ 25 ตามลำดับ (ข้อมูลดิบของค่า SFC ที่เป็นตัวเลขและผลวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 18 และตารางที่ 19 ตามลำดับในภาคผนวก ข) เมื่อเปรียบเทียบค่า SFC ระหว่างช็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตเสร็จใหม่แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (สัปดาห์ที่ 0) กับสัปดาห์ที่ 1 นั้น ไม่ว่าจะเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C หรืออุณหภูมิห้องก็ตามพบว่า

ซ็อกโกแลตเคลือบทุกสูตรมีค่า SFC ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แสดงว่าอุณหภูมิเก็บรักษาทั้ง 2 มีผลต่อค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบ นั่นคืออุณหภูมิการเก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะสูงกว่า  $25^{\circ}\text{C}$  ทำให้ไขมันบางส่วนเกิดการละลายส่งผลให้ซ็อกโกแลตเคลือบมีค่า SFC ลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 ไป 1

สำหรับซ็อกโกแลตเคลือบทุกสูตรหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนครบ 10 สัปดาห์ พบว่ามีค่า SFC ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ( $P > 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $29.5\text{-}33.4^{\circ}\text{C}$ ) นั้นกลับให้ผลแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาผลของค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นพบว่ามีความที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $P < 0.05$ ) ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิห้องที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นตลอดเวลาของการเก็บรักษาจนครบ 10 สัปดาห์ดังกราฟ

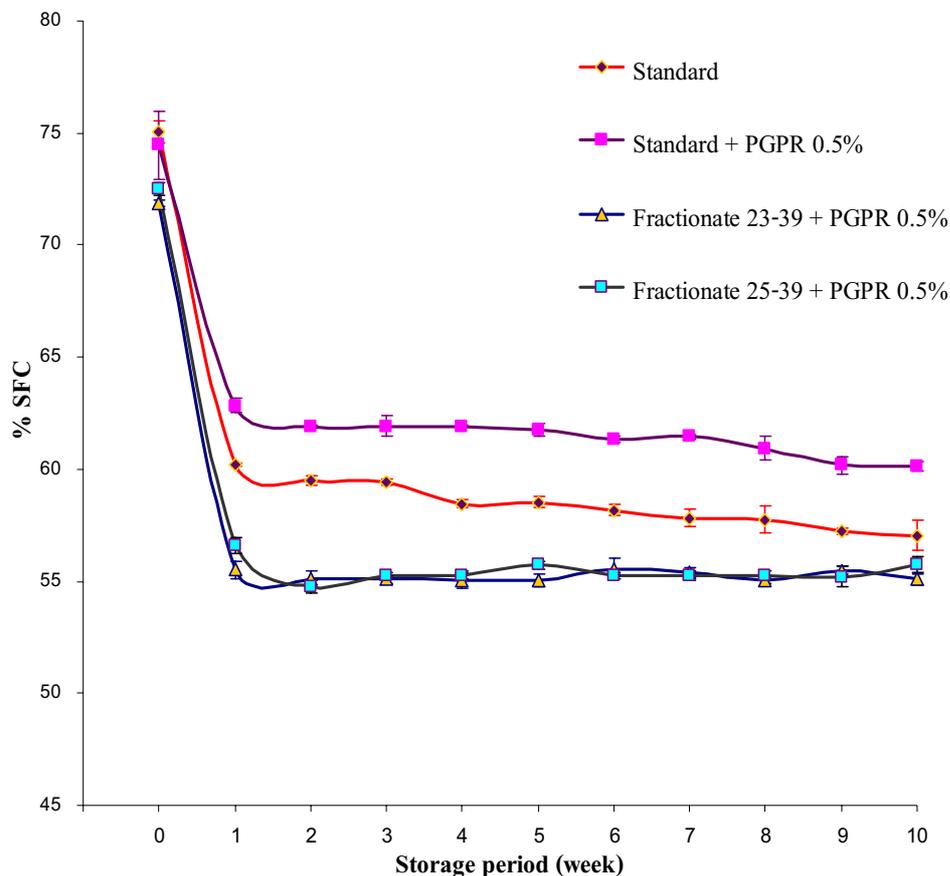


ภาพที่ 24 ค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$

หมายเหตุ : สัปดาห์ที่ 0 วัดผลหลังจากเก็บตัวอย่างไว้ที่  $25^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชม.

แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องระหว่างที่ทำการเก็บรักษาซ็อกโกแลตเคลือบในภาพที่ 37 (ภาคผนวก จ) จึงทำให้ไขมันบางส่วนเกิดการละลายส่งผลให้ซ็อกโกแลตเคลือบมีค่า SFC ลดลง จากเริ่มต้นที่สัปดาห์ที่ 0 ในทางกลับกันค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บไม่ว่าอุณหภูมิห้องที่เก็บรักษา จะเพิ่มขึ้นก็ตาม แสดงให้เห็นได้ว่าซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีความสามารถในการต้านทานต่อความร้อนหรืออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าทั้งซ็อกโกแลตเคลือบ สูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์

สำหรับผลของการเติม PGPR ต่อค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตเสร็จใหม่



ภาพที่ 25 ค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

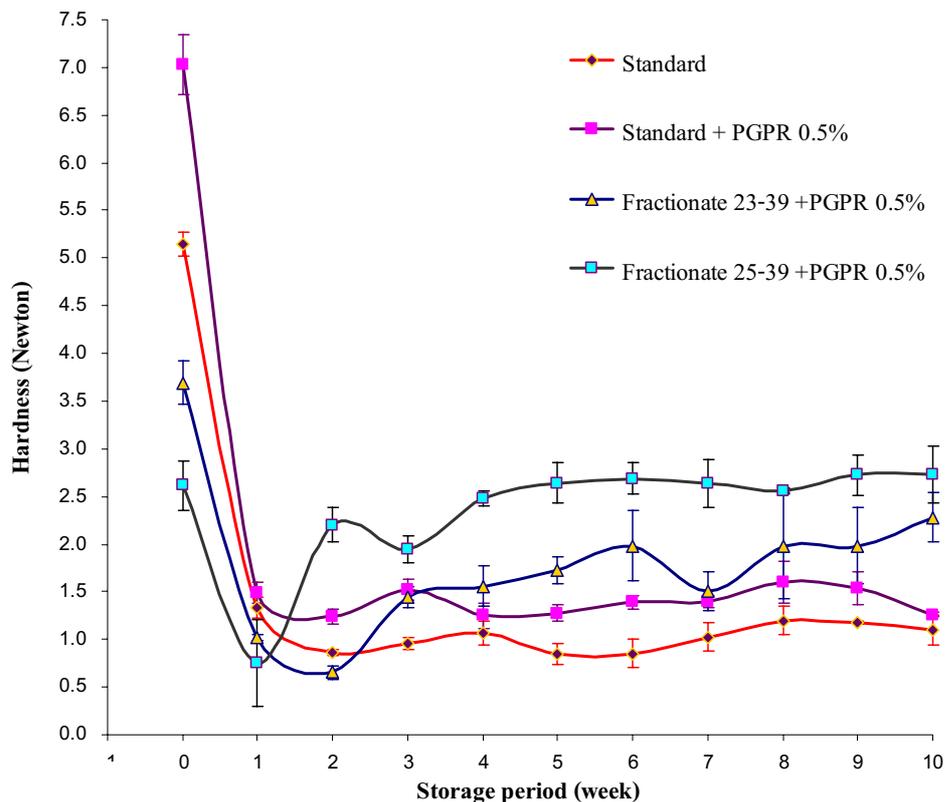
หมายเหตุ : สัปดาห์ที่ 0 วัดผลหลังจากเก็บตัวอย่างไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 4 ชม.

(สัปดาห์ที่ 0) นั้นยังไม่สามารถสังเกตผลได้ชัดและพบว่าซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์มีค่า SFC ที่ไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) แต่ในระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 เป็นต้นไปจนครบ 10 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นพบว่าทั้ง 2 สภาวะที่ทำการเก็บรักษา ซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นมีค่า SFC ที่สูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) แม้ยังไม่ทราบแน่ชัดว่า PGPR นั้นมีบทบาทอย่างไรต่อซ็อกโกแลตเคลือบนอกเหนือจากความสามารถในการลดค่า yield stress ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.4.1.1 แต่จากผลของค่า SFC ที่มีค่าสูงขึ้นในสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นสันนิษฐานได้ว่า PGPR น่าจะมีผลส่งเสริมให้เกิดการตกผลึกของไขมันได้ดีขึ้น โมเลกุลของ PGPR อาจมีผลให้เกิดการจับกับของโครงข่ายผลึกไขมันดีมากขึ้นและต่อต้านการละลายที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสม PGPR เมื่อเปรียบเทียบจากซ็อกโกแลตเคลือบที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิดเดียวกันแต่ไม่มีการผสม PGPR ลงไป

#### 4.4.2.2 การศึกษาค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบ

จากการศึกษาค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิห้อง ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 26 และ 27 ตามลำดับ (ข้อมูลดิบของค่าความแข็งที่เป็นตัวเลขและผลวิเคราะห์ทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 20 และตารางที่ 21 ตามลำดับในภาคผนวก ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างซ็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตเสร็จใหม่แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (สัปดาห์ที่ 0) กับสัปดาห์ที่ 1 นั้นไม่ว่าจะเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ก็ตามพบว่าซ็อกโกแลตเคลือบทุกสูตรมีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) แสดงว่าอุณหภูมิเก็บรักษาทั้ง 2 มีผลต่อค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบ นั่นคืออุณหภูมิการเก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะสูงกว่า  $25^{\circ}\text{C}$  ทำให้ไขมันบางส่วนเกิดการละลายส่งผลให้เนื้อซ็อกโกแลตเคลือบมีความแข็งลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 ไป 1 จากภาพที่ 26 พบว่าที่สภาวะการเก็บที่  $30^{\circ}\text{C}$  หลังจากสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไปจนครบ 10 สัปดาห์นั้นทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นมีความแข็งที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบทั้ง 2 สูตรหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนครบ 10 สัปดาห์ ทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์มีค่า SFC ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ( $P>0.05$ ) ดังแสดงผลในภาพที่ 24 ในทางกลับกันพบว่าที่สภาวะการเก็บที่  $30^{\circ}\text{C}$  นั้นหลังจากสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บ

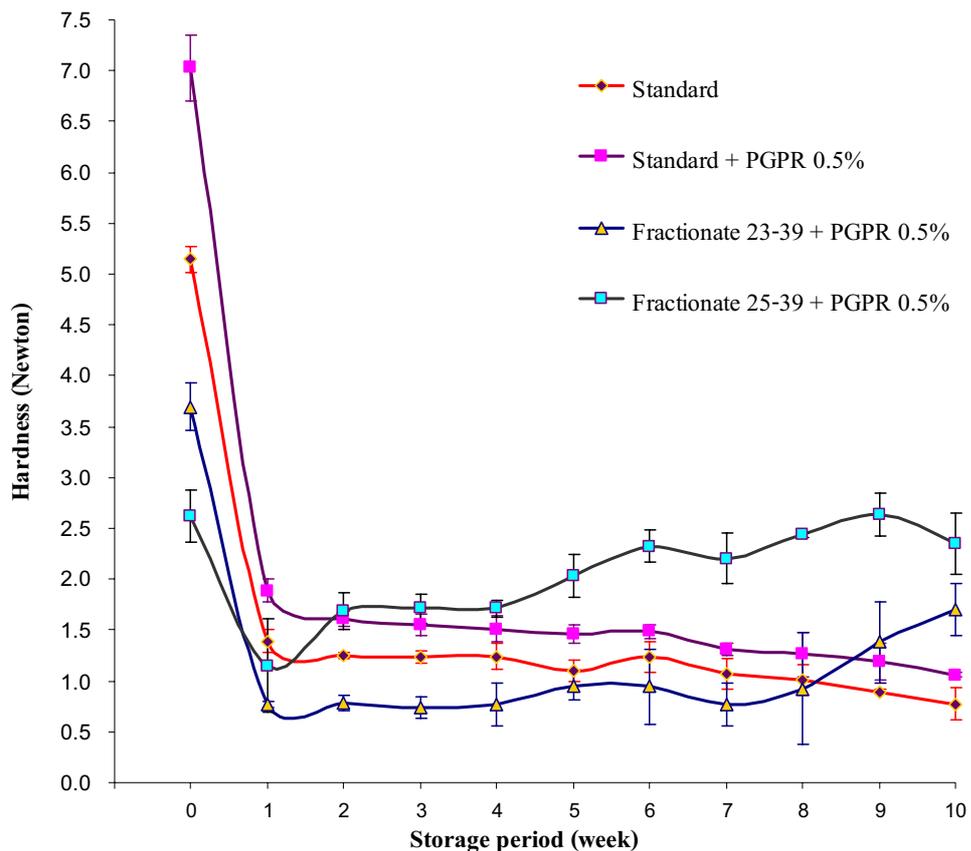
รักษาเป็นต้นไปจนครบ 10 สัปดาห์นั้นทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยที่การ



ภาพที่ 26 ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C  
หมายเหตุ : สัปดาห์ที่ 0 วัดผลหลังจากเก็บตัวอย่างไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 4 ชม.

เปลี่ยนแปลงของค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ผลดังแสดงในภาพที่ 24 นั้นทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ทั้งนี้สาเหตุที่ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ผลิตจาก Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่ค่า SFC กลับคงที่นั้นอาจจะเป็นเพราะซ็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตจากไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิดใหม่ทั้ง 2 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเป็นโครงสร้างที่เสถียรมากขึ้นส่งผลให้มีความหนาแน่นของโครงข่ายผลึกเพิ่มขึ้นและมีการอัดตัวที่แน่นขึ้น (Mullin, 2001) ในระหว่างการเก็บรักษาแล้วทำให้ซ็อกโกแลตเคลือบมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นโดยที่ค่า SFC ของ

ซ็อกโกแลตเคลือบไม่เปลี่ยนแปลง ในสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 แต่อาจไม่เกิดขึ้นในซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ นั้นอาจเพราะชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันทดแทนชนิด Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 แตกต่างไปจากชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันชนิด HPO ดังแสดงในตารางที่ 8 จึงทำให้มีพฤติกรรมของการตกผลึกที่แตกต่างกัน โดยมีความเป็นไปได้ว่าไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่เลือกมาทั้ง 2 ชนิดจะมีความเสถียรสูงเมื่อตกผลึกอยู่ในโครงสร้างเบต้า ( $\beta$ ) ในขณะที่ไขมัน HPO มีความเสถียรสูงเมื่อตกผลึกอยู่ในโครงสร้างเบต้าพราวม ( $\beta'$ ) ทำให้ไขมันชนิด Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นเบต้า ( $\beta$ ) ระหว่างการเก็บรักษาแต่ HPO ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเพราะอยู่ในโครงสร้างที่เสถียรอยู่แล้วคือเบต้าพราวม ( $\beta'$ ) อย่างไรก็ตามเพื่อให้ทราบชนิดของโครงสร้างผลึกที่แท้จริงอาจต้องมีการศึกษาโดยใช้เทคนิค X-ray diffraction ในอนาคต



ภาพที่ 27 ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง  
หมายเหตุ : สัปดาห์ที่ 0 วัดผลหลังจากเก็บตัวอย่างไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 4 ชม.

นอกจากนี้ในขั้นตอนการลดอุณหภูมิลงเพื่อทำให้ซ็อกโกแลตเคลือบแข็งตัวอาจทำที่อุณหภูมิต่ำเกินไป (อุณหภูมิตู้เย็นอยู่ที่ 1-2 °C) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตกผลึกของไขมันในซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเกินไป และเกิดเป็นผลึกที่มีโครงสร้างไม่เสถียร เมื่อนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นคือที่ 30 °C และที่อุณหภูมิห้อง (29.5-33.4 °C) จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกไปเป็นรูปแบบที่เสถียรมากขึ้นทำให้ซ็อกโกแลตเคลือบมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นดังกล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งในกรณีนี้สามารถปรับปรุงได้โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิในการทำความเย็นซ็อกโกแลตเคลือบให้สูงขึ้นให้อยู่ในช่วงประมาณ 7-10 °C ซึ่งจากการทดลองเพิ่มเติมพบว่า การเปลี่ยนอุณหภูมิในการแช่เย็นทำให้ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 มีค่าที่สูงตั้งแต่เตรียมเสร็จใหม่แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (วันที่ 0) และมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรเดียวกันที่ทำความเย็นที่อุณหภูมิ 1-2 °C นอกจากนี้เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 13 วันแล้วนำมาวัดค่าความแข็งพบค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบที่ใช้อุณหภูมิในการทำความเย็นทั้ง 2 สภาวะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แต่ก็พบว่าค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบที่ผ่านการทำความเย็นที่ 7-10 °C นั้นมีค่ามากกว่าค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบที่ผ่านการทำความเย็นที่ 1-2 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 17 (ภาคผนวก ฉ)

จากภาพที่ 27 ซึ่งแสดงค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีค่าความแข็งที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า SFC ในซ็อกโกแลตเคลือบในระหว่างเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ โดยทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า SFC ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงผลในภาพที่ 25 แต่ในทางกลับกันพบว่าที่สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้องนั้นหลังจากการเก็บรักษาจนครบ 10 สัปดาห์นั้นทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีค่ามีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยที่การเปลี่ยนแปลงของค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนครบ 10 สัปดาห์นั้นทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ในลักษณะเช่นเดียวกันกับซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C

สำหรับค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีค่าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $P < 0.05$ ) ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิห้องที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นตลอดเวลาของการเก็บรักษาจนครบ 10 สัปดาห์ ดังกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องระหว่างที่ทำการเก็บรักษาซ็อกโกแลตเคลือบในภาพที่ 37 (ภาคผนวก จ) ซึ่งสอดคล้องกับค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบทั้ง 2 สูตรที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.4.2.1 ซึ่งเมื่อค่า SFC ลดลงก็ส่งผลให้ความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบลดลงเช่นกัน ในทางกลับกันค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยที่ค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บไม่ว่าอุณหภูมิห้องที่เก็บรักษาจะเพิ่มขึ้นก็ตาม แสดงให้เห็นได้ว่าซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีความสามารถในการต้านทานต่อความร้อนหรืออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์

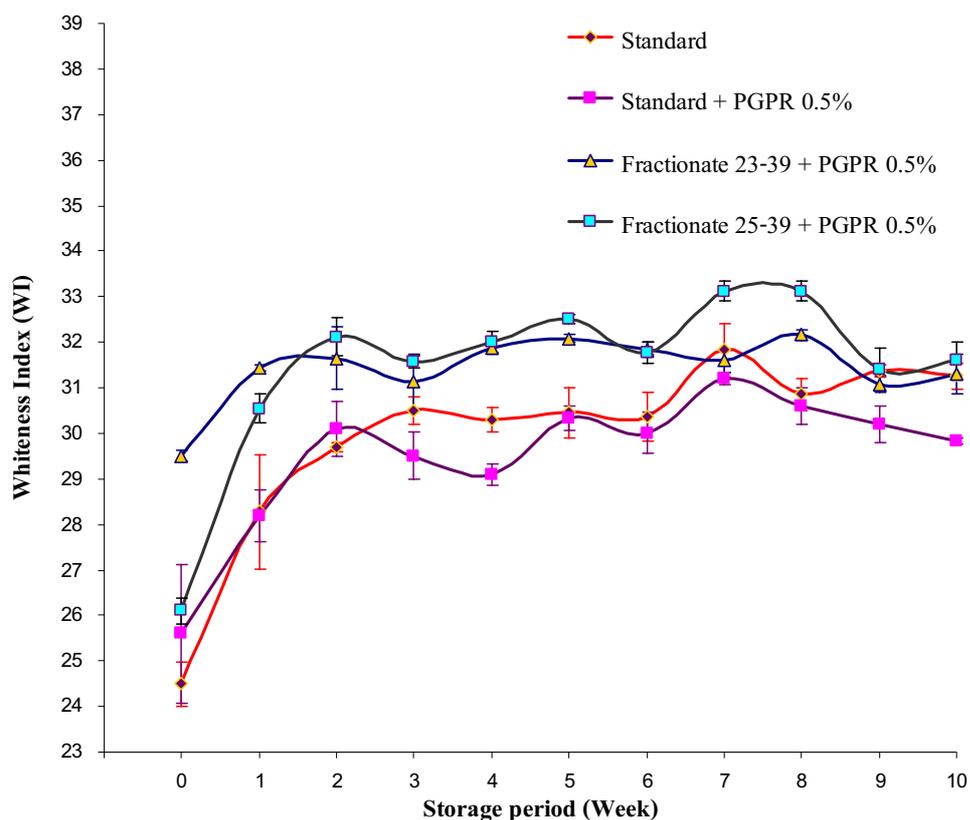
สำหรับผลของการเติม PGPR ต่อค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตเสร็จใหม่ (สัปดาห์ที่ 0) นั้นสามารถสังเกตผลได้ชัดและพบว่าซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์มีค่าความแข็งที่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐานและในระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 เป็นต้นไปจนครบ 10 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นพบว่าทั้ง 2 สถานะที่ทำการเก็บรักษา ซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นมีค่าความแข็งที่สูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้ น่าจะอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับกับค่า SFC ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.4.2.1 โดย PGPR น่าจะมีผลส่งเสริมให้เกิดการตกผลึกของไขมันได้ดีขึ้น อาจมีผลให้เกิดการจับกับของโครงข่ายผลึกไขมันแน่นมากขึ้นและต่อต้านการละลายที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าสูตรที่ไม่มีการผสม PGPR จึงทำให้ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ผสม PGPR มีค่าความแข็งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบจากซ็อกโกแลตเคลือบที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิดเดียวกันแต่ไม่มีการผสม PGPR ลงไป

#### 4.4.2.3 การศึกษาการเกิดฝ้าขาวในซ็อกโกแลตเคลือบ

สำหรับผลการศึกษาการเกิดฝ้าขาวเนื่องจากการเกิด fat bloom ในซ็อกโกแลตเคลือบด้วยเครื่องวัดสีได้แสดงในรูปของ whiteness index (WI) โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า WI ของซ็อกโกแลตเคลือบในระหว่างการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C และอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10

สัปดาห์นั้นแสดงไว้ในภาพที่ 28 และ 29 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงไว้ในตารางที่ 22 และ 23 (ภาคผนวก ข) ตามลำดับ

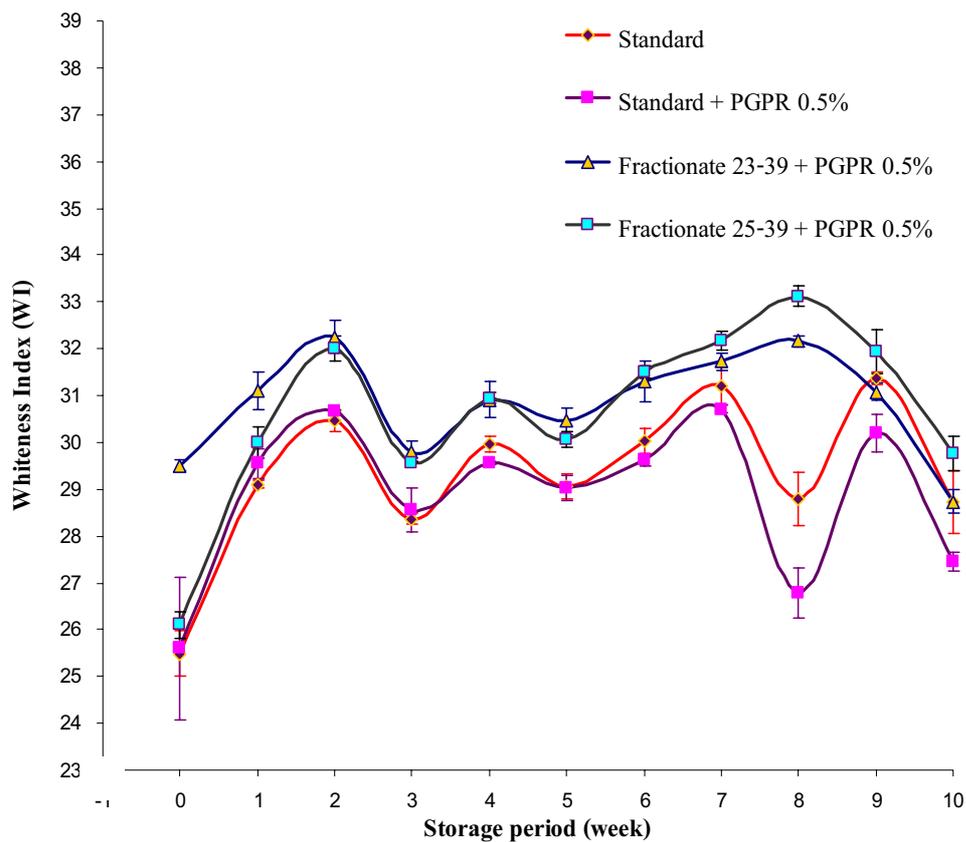
จากภาพที่ 28 และ 29 พบว่าซ็อกโกแลตเคลือบทุกสูตรเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 °C และอุณหภูมิห้องนั้นมีการเพิ่มขึ้นของ WI ตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยค่า WI เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 0-2 สัปดาห์ทั้งสองสภาวะที่ทำการเก็บรักษา หลังจากนั้นค่า WI เพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า WI ของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 นั้นมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ ณ จุดเริ่มต้นซึ่งมีค่า 29.51 ซึ่งน่าจะเกิดจากคุณสมบัติของไขมันที่ใช้ทำให้สีเข้มน้อยกว่าสูตรอื่นซึ่งอาจปรับปรุงความเข้มของสีโดยการปรับสูตรในการผลิต ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาในลำดับต่อไป และเมื่อพิจารณาค่า WI ที่



ภาพที่ 28 Whiteness Index ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C  
หมายเหตุ : สัปดาห์ที่ 0 วัดผลหลังจากเก็บตัวอย่างไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 4 ชม.

เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เปรียบเทียบกับค่าตั้งต้นแล้วนั้นพบว่า ซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 นั้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า WI น้อยที่สุด และสูตรมาตรฐานมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า WI มากที่สุด ดังแสดงผลในรูปของ  $\Delta$ WI ในตารางที่ 12

สำหรับอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า WI หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในช่วงการเก็บรักษา 0-7 สัปดาห์นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับจากค่าตั้งต้นแล้วนั้นพบว่า ซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 นั้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า WI น้อยที่สุดเช่นเดียวกัน และสูตรมาตรฐานก็มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า WI มากที่สุดเช่นเดียวกับกรณีที่เก็บรักษาไว้ที่ 30°C หลังจากสัปดาห์ที่ 7 เป็นต้นไปพบว่าค่า WI มีแนวโน้มลดลงในซ็อกโกแลตเคลือบทุกๆ สูตรและทำให้ค่า  $\Delta$ WI ของซ็อกโกแลตเคลือบสูตร Fractionate 23-39 นั้นมีค่าติดลบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิห้องในช่วงดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 32.0-33.4 °C ดังแสดงในภาพที่ 37 (ภาคผนวก จ) ซึ่งสูงกว่าช่วง 0-7



ภาพที่ 29 Whiteness Index ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง  
หมายเหตุ : สัปดาห์ที่ 0 วัดผลหลังจากเก็บตัวอย่างไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 4 ชม.

สัปดาห์ของการเก็บรักษา การที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นนี้น่าจะมีผลให้ผลึกของไขมันบริเวณผิวหน้าของช็อกโกแลตเคลือบที่มีขนาดเล็กๆ เกิดการละลายทำให้ค่า WI ลดลง (Mullin, 2001)

**ตารางที่ 12** การเปลี่ยนแปลงของ WI ( $\Delta$ WI) หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 10 สัปดาห์เทียบกับค่าตั้งต้น

| สูตรช็อกโกแลตเคลือบ          | การเปลี่ยนแปลงของ WI หลังจากรักษา 10 สัปดาห์ |                                    |
|------------------------------|--|------------------------------------|
|                              | ( $\Delta$ WI)                               |                                    |
|                              | ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ<br>30 °C          | ตัวอย่างที่เก็บที่<br>อุณหภูมิห้อง |
| Standard                     | 5.77 ± 0.67 <sup>A</sup>                     | 3.24 ± 0.82 <sup>AB</sup>          |
| Standard + PGPR 0.5%         | 4.25 ± 1.58 <sup>A</sup>                     | 1.19 ± 1.49 <sup>B</sup>           |
| Fractionate 23-39 +PGPR 0.5% | 1.78 ± 0.38 <sup>B</sup>                     | -0.78 ± 0.25 <sup>C</sup>          |
| Fractionate 25-39 +PGPR 0.5% | 5.49 ± 0.45 <sup>A</sup>                     | 3.67 ± 0.36 <sup>A</sup>           |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

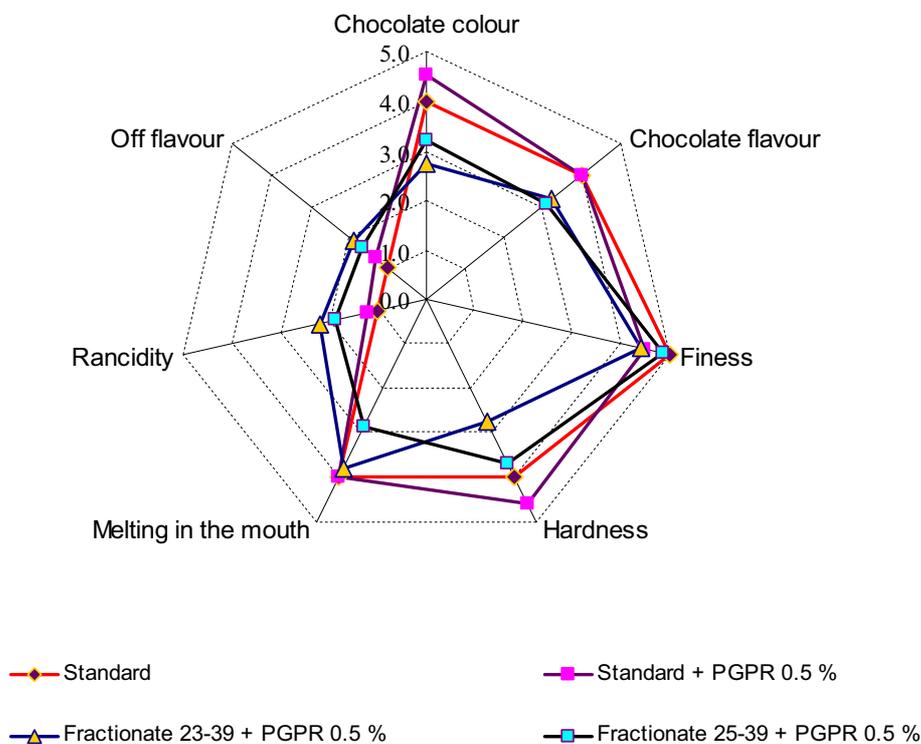
#### 4.4.3 การศึกษาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบ

หลังจากนำช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ ไปทำการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสแบบ Qualitative Descriptive Analysis โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คนตามแบบประเมินในภาคผนวก ค2 แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS V.9.0 และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 24 และ 25 (ภาคผนวก ข) ส่วนกราฟไขแมงมุมของคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 30 โดยพบว่าช็อกโกแลตเคลือบทั้งสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีคะแนนในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นของช็อกโกแลต น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน และสูตรมาตรฐานที่มีการผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับระดับคะแนนใน

คุณลักษณะด้านสีของซ็อกโกแลตเคลือบที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีคะแนนน้อยกว่านั้นน่าจะเป็นผลมาจากตัวของไขมันเองที่ทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีความหนืดสูงมากขณะบดและเทลงแม่พิมพ์อาจมีผลต่อความเรียบเนียนของผิวและทำให้มีผลต่อสีของซ็อกโกแลตเคลือบที่ได้ ส่วนคุณลักษณะด้านกลิ่นของซ็อกโกแลตเคลือบนั้นสอดคล้องกับค่า SFC และรูปแบบการหลอมเหลวของไขมันดังแสดงในภาพที่ 21 ที่ทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีความรวดเร็ว (สังเกตได้จากความชันของกราฟ) ในการละลายของไขมันในช่วง 30-37 °C นั้นน้อยกว่า HPO ซึ่งจะมีผลให้ละลายในปากได้ช้ากว่าทำให้ความหนืดของซ็อกโกแลตเคลือบในปากสูงกว่า และมีผลต่อการรับรู้กลิ่นรส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Beckett (2008) คือ ความรวดเร็วในการละลายของไขมันจะมีผลเปลี่ยนความหนืดของซ็อกโกแลตก่อนที่คนจะกลืนลงไป ซึ่งในระหว่างนั้นอนุภาคของสารที่ให้กลิ่นรสต่างๆ ก็สามารถจับกับ Flavor receptors ด้วยความรวดเร็วที่ต่างไปจึงทำให้การรับรู้กลิ่นรสเปลี่ยนไป

ส่วนคะแนนในด้านกลิ่นหืนของไขมันนั้นซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ไขมันทดแทนชนิด Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มีคะแนนที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่มีการผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ น่าจะเป็นผลมาจากการที่ไขมันทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีค่า Acid Value สูงกว่า HPO ดังแสดงในตารางที่ 9 เมื่อพิจารณาในด้านกลิ่นผิดปกติพบว่าซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ไขมัน Fractionate 23-39 มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ไขมัน Fractionate 25-39 มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐานแต่ไม่มีความแตกต่างกับสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการมีกลิ่นผิดปกติจนผู้ประเมินสามารถตรวจจับได้นั้นซึ่งพบในซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นน่าจะเป็นผลมาจาก PGPR ที่เติมลงไปซึ่งหากเติมเกินกว่า 0.3 เปอร์เซ็นต์ จะมีกลิ่นเฉพาะตัวคล้ายน้ำมันวาร์นิชสำหรับทาเฟอร์นิเจอร์ (สุวรรณ, 2543) ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุทำให้ผู้ประเมินสามารถตรวจสอบการมีกลิ่นผิดปกติได้

สำหรับด้านความละเอียดของเนื้อซ็อกโกแลตสูตรต่างๆ นั้นพบว่าซ็อกโกแลตเคลือบจากสูตรที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิด Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีคะแนนความละเอียดของเนื้อซ็อกโกแลตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรมาตรฐาน ( $P > 0.05$ ) แต่ในทางกลับกันสูตรมาตรฐานที่มีการเติม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ลงไปร่วมด้วยนั้นกลับให้คะแนนความละเอียดของเนื้อซ็อกโกแลตที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ



ภาพที่ 30 กราฟไเบเมงมของคะแนนทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ หลังจากผลิตเสร็จใหม่ประเมินด้วยวิธีพรรณาเชิงปริมาณ (QDA)

สูตรมาตรฐาน ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากการเตรียมช็อกโกแลตเคลือบโดยปกติที่ใช้ HPO นั้นไม่จำเป็นต้องมีการเติม PGPR ลงไป เพียงแค่เติมเลซิทีน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถลดความเหนียวให้เหมาะสมกับสภาวะการบดและการเทลงแม่พิมพ์ได้แล้ว การเติม PGPR เพิ่มลงไปอีก 0.5 เปอร์เซ็นต์ นั้นจะมีผลให้ความเหนียวของระบบลดลงมากซึ่งน่าจะส่งผลให้เกิดการเสียดสีกับเครื่องบดได้น้อยลงในระหว่างการบดทำให้ ประสิทธิภาพของการบดลดลงและส่งผลกระทบต่ออนุภาคมีขนาดใหญ่แม้ว่าจะใช้ความเร็วรอบและเวลาในการบดเท่ากันก็ตาม และจากการที่ผู้ประเมินสามารถตรวจพบได้ชัดเจนนั้นแสดงว่าขนาดของอนุภาคของช็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานที่มีการเติม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นมีขนาดมากกว่า 30 ไมครอน อ้างจากรายงานของ Minifie (1989) ที่ว่าขนาดอนุภาคของน้ำตาลทรายและโกโก้จะมีความสำคัญต่อคุณภาพของช็อกโกแลตในด้านเนื้อ

สัมผัสและความรู้สึกในปาก (mouth feel) ที่ดี ซึ่งต้องบดให้ขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 20-30 ไมครอน ถ้าอนุภาคใหญ่เกินไปทำให้มีความรู้สึกหยาบเมื่อรับประทานและเนื้อสัมผัสเป็นทรายอย่างชัดเจน

คุณลักษณะในด้านความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบทั้ง 4 สูตรนั้นพบว่าสูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ นั้นได้คะแนนความแข็งสูงสุด ตามมาด้วยสูตรมาตรฐานและสูตรที่ใช้ Fractionate 25-39 ที่ได้คะแนนความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ส่วนสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 นั้นได้คะแนนความแข็งน้อยที่สุด ทั้งนี้ค่าคะแนนที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสนี้สอดคล้องกับค่าความแข็งที่วัดได้จากเครื่อง Texture Analyzer และค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบที่สัปดาห์ที่ 1 หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องคงแสดงในภาพที่ 26 และ 27 ตามลำดับ (เนื่องจากการทดสอบนี้ทำหลังจากเตรียมซ็อกโกแลตเสร็จแล้วในช่วง 5-7 วัน เพราะเนื่องจากข้อจำกัดของเวลา สถานที่ และผู้ประเมินทำให้ไม่สามารถทดสอบได้ในทันทีที่เตรียมเสร็จ)

คุณลักษณะการหลอมละลายในปากของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐาน สูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 นั้นได้คะแนนการหลอมละลายในปากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่ทั้ง 3 สูตรดังกล่าวได้คะแนนการหลอมละลายในปากที่มากกว่าสูตร Fractionate 25-39 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) เป็นเพราะผู้ประเมินสามารถตรวจจับความเป็นไขในซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 25-39 ได้ชัดเจนกว่าสูตรอื่นๆ และจากการศึกษานี้ระดับคะแนนในเรื่องการหลอมละลายในปากสอดคล้องกับค่า SFC ของไขมันแต่ละชนิดที่ใช้ในการผลิตซ็อกโกแลตเคลือบ ณ อุณหภูมิ 38 °C ดังแสดงในตารางที่ 16 (ภาคผนวก ก) จากการศึกษาพบว่าที่ระดับของค่า SFC ที่ไม่เกินกว่า 8.14 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิด Fractionate 23-39 เมื่อนำไปผลิตเป็นซ็อกโกแลตเคลือบ ทำให้ผู้ประเมินให้คะแนนในระดับที่ไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐาน แต่เมื่อค่า SFC เพิ่มขึ้นไปที่ 11.86 ณ อุณหภูมิ 38 °C ของ Fractionate 25-39 นั้นพบว่าเมื่อนำไปผลิตเป็นซ็อกโกแลตเคลือบผู้ประเมินสามารถตรวจจับความเป็นไขได้ชัดเจนและทำให้คะแนนที่ได้จากการประเมินน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน

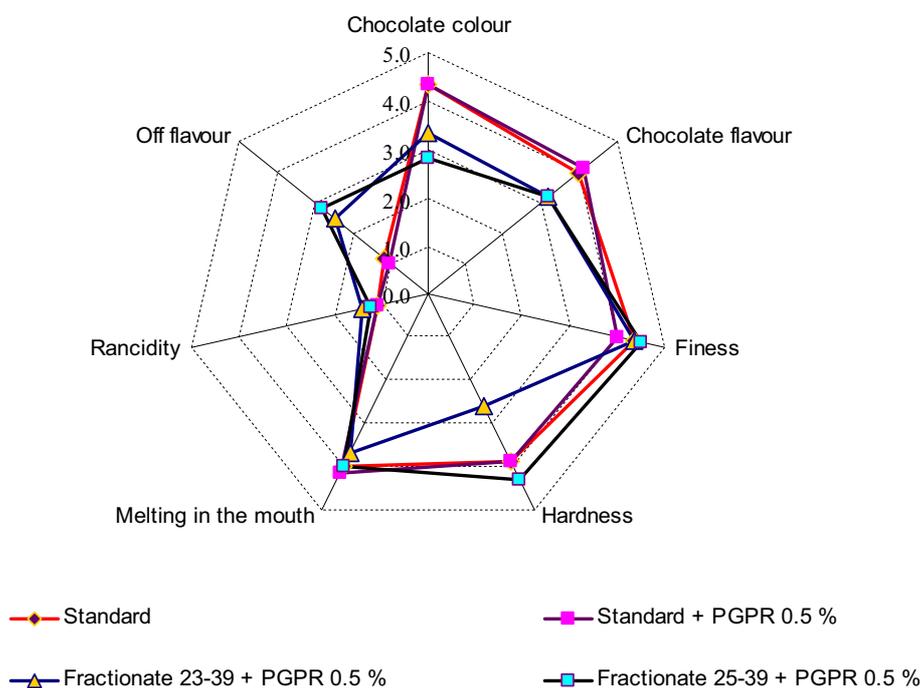
หลังผลิตซ็อกโกแลตเคลือบเสร็จทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ชุดและทำการเก็บรักษาตัวอย่างซ็อกโกแลตเคลือบไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C และอุณหภูมิห้อง (29.5-33.4 °C) เป็นเวลา 10 สัปดาห์หลังจากนั้นนำซ็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ ไปทำการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสแบบ QDA อีกครั้งหนึ่งโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คนซึ่งเป็นผู้ประเมินชุดเดิมกับที่ประเมินซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากผลิตเสร็จใหม่ในครั้งแรก ตามแบบประเมินในภาคผนวก ก2

ในลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบในซ็อกโกแลตเคลือบที่ผลิตเสร็จใหม่ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS V.9.0 และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำหรับตัวอย่างซ็อกโกแลตเคลือบที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 26 และ 27 (ภาคผนวก ข) ส่วนกราฟไฮแมกนัมของคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 31 จากภาพจะพบว่าซ็อกโกแลตเคลือบทั้ง 4 สูตรนั้นมีแนวโน้มและระดับของคะแนนเช่นเดียวกับซ็อกโกแลตเคลือบที่เตรียมเสร็จใหม่ ในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่นซ็อกโกแลต กลิ่นหืนของไขมัน ความละเอียดของเนื้อซ็อกโกแลต และกลิ่นผิดปกติ แต่มีแนวโน้มและระดับคะแนนที่เปลี่ยนไปในคุณลักษณะด้านความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบโดยพบว่าสูตรที่ใช้ Fractionate 25-39 นั้น ได้รับคะแนนสูงสุดและมากกว่าอย่างมีนัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) จากสูตรอื่นๆ แทนที่สูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์ที่ได้รับคะแนนสูงสุดในด้านนี้ในการประเมินหลังผลิตเสร็จใหม่ ทั้งนี้ผลการประเมินที่ได้สอดคล้องกับค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ซึ่งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 25-39 นั้นให้ค่าความแข็งสูงสุดที่สัปดาห์ที่ 10 ของการเก็บรักษา สำหรับสูตรมาตรฐาน สูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์ และสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 นั้นได้คะแนนในคุณลักษณะความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

สำหรับอีกคุณลักษณะที่แนวโน้มและระดับของคะแนนจากการประเมินแตกต่างจากการประเมินซ็อกโกแลตเคลือบซึ่งผลิตเสร็จใหม่คือ ด้านการหลอมละลายในปาก โดยพบว่าระดับคะแนนของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์ นั้นไม่แตกต่างจากซ็อกโกแลตเคลือบในสูตรเดียวกันที่ผลิตเสร็จใหม่แต่พบว่าระดับคะแนนของซ็อกโกแลตเคลือบจากสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีระดับคะแนนสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับทั้งซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์ และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบละลายไปส่วนหนึ่งสอดคล้องกับค่า SFC ในซ็อกโกแลตเคลือบดังแสดงในตารางที่ 22 ซึ่งพบว่าที่สัปดาห์ที่ 10 ของการเก็บรักษาซ็อกโกแลตเคลือบสูตร Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีค่าลดลง 18.33 และ 17.75 เปอร์เซนต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับค่า SFC เริ่มต้น (ซึ่งวัดจากการเก็บตัวอย่างไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นสถานะเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างก่อนทดสอบทางประสาทสัมผัสนั้น และการลดลงนี้มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับการลดลงของค่า SFC ของตัวอย่าง

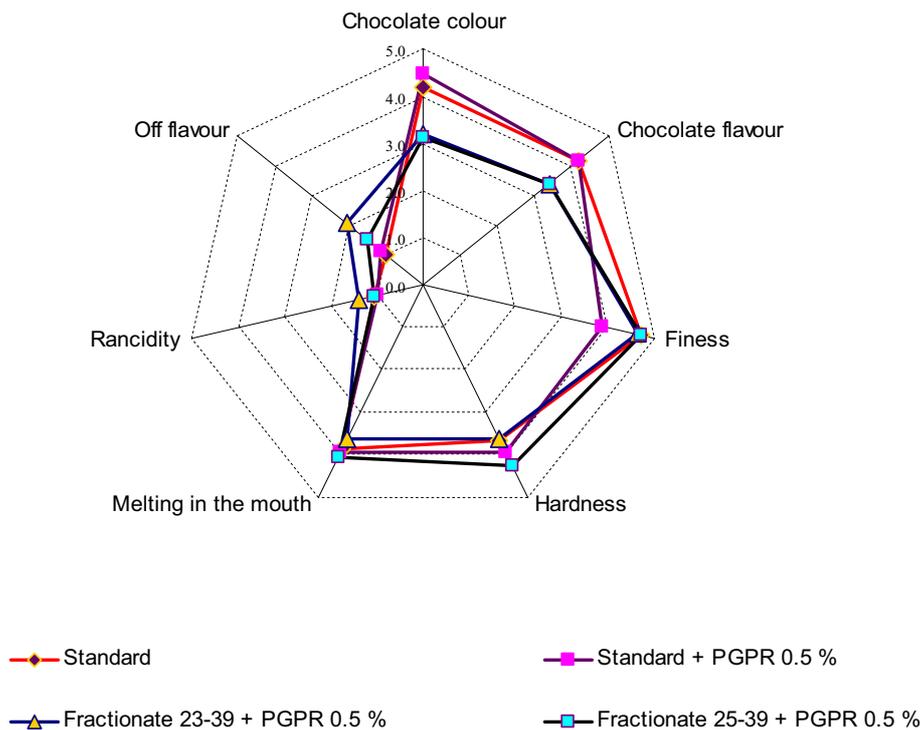
ช็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์นั้นพบว่ามีการลดลงมากกว่า จึงเป็นไปได้ว่าเมื่อค่า SFC ในช็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดมีค่าลดลงมากและอยู่ในระดับต่ำๆ จึงทำให้ผู้ประเมินตรวจจับความเป็นไขได้น้อยลงและทำให้มีระดับคะแนนที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) เมื่อเทียบกับช็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานและสูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์



**ภาพที่ 31** กราฟไยแมงมุมของคะแนนทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ หลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ประเมินด้วยวิธีพรรณนาเชิงปริมาณ (QDA)

สำหรับตัวอย่างช็อกโกแลตเคลือบที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 28 และ 29 (ภาคผนวก ข) ส่วนกราฟไยแมงมุมของคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 32 พบว่าคุณลักษณะคุณภาพในลักษณะด้านสี กลิ่นช็อกโกแลต กลิ่นหีนของไขมัน ความละเอียดของเนื้อช็อกโกแลต และกลิ่นผิดปกติ ของช็อกโกแลตเคลือบทั้ง 4 สูตรนั้นมีแนวโน้มและระดับของคะแนนเช่นเดียวกับช็อกโกแลตเคลือบที่เตรียมเสร็จใหม่ และมี

แนวโน้มเช่นเดียวกันกับช็อกโกแลตเคลือบที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C ดังที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้แล้ว ส่วนการเปลี่ยนแปลงคะแนนในคุณลักษณะด้านความแข็งและการหลอมละลายในปากเป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกันกับช็อกโกแลตเคลือบที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C



ภาพที่ 32 กราฟไฟแมนจุมของคะแนนทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตเคลือบสูตรต่างๆ หลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ประเมินด้วยวิธีพหุประมาเชิงปริมาณ (QDA)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. เมื่อนำ PMF ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 43 และ palm stearin ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 35 มาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ พบว่ายังไม่มีอัตราส่วนใดเลยที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้เพื่อทดแทนการใช้ HPO ได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดที่ PMF เริ่มต้นที่นำมาใช้งานซึ่งมีการผลิตในเมืองไทยมีค่าไอโอดีนสูงเกินไปและมีช่วงการหลอมเหลวที่กว้าง

2. การนำ PMF ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 43 มาทำการแยกลำดับส่วนต่อเพื่อให้ได้ค่าไอโอดีนที่ต่ำลงและมีช่วงการหลอมเหลวที่แคบลงจึงเป็นอีกแนวทางที่จะได้มาซึ่งไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่ต้องการ

3. เมื่อทำการแยกลำดับส่วน PMF ที่มีค่าไอโอดีนประมาณ 43 แบบ 2 ขั้นตอนในช่วงอุณหภูมิ 39 และ 25 °C และช่วงอุณหภูมิ 39 และ 23 °C นั้นทำให้ได้ Fractionate 25-39 และ Fractionate 23-39 ซึ่งมีคุณสมบัติ คือพฤติกรรมการหลอมเหลวใกล้เคียงกับ HPO และมีค่า SFC ที่ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 35 °C นั้นมากกว่า HPO เล็กน้อย จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทนร้อน

4. เมื่อนำไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดคือ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 มาศึกษากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบเปรียบเทียบกับ HPO และ เนยโกโก้พบว่าไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิดประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิด ปาร์มิติก โอเลอิก ลิโนเลอิก และสเตียริก เป็นส่วนใหญ่ แต่ระดับของสเตียริกไม่สูงเท่ากับในเนยโกโก้ ส่วนระดับของโอเลอิกต่ำกว่าใน HPO แต่มีระดับของปาร์มิติกสูงกว่า ส่วนลิโนเลอิกนั้นยังพบในระดับที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระดับที่พบใน HPO

5. ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของไขมันทดแทนเนยโกโก้ทั้ง 2 ชนิด HPO และเนยโกโก้ส่วนใหญ่สอดคล้องกับชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ยกเว้น HPO ที่เนื่องจากมีประกอบที่เป็นกรดไขมันชนิดทรานส์

6. ไขมันทดแทนเนยโกโก้ที่แยกได้จากการแยกลำดับส่วน dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอนนั้นทั้ง Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 เมื่อนำมาผลิตช็อกโกแลตเคลือบพบว่าทำให้มีความหนืดสูงขณะบด ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการเติม PGPR ลงไป 0.5 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีส่วนลดค่า yield stress

7. ค่าความแข็งของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 และ Fractionate 25-39 นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และต้านต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงไม่มีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) สำหรับสูตรที่ใช้ HPO ในทางกลับกันสูตรที่ใช้ HPO ทั้ง 2 สูตรนั้นค่าความแข็งกลับลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น

8. ค่า SFC ของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรมาตรฐานซึ่งใช้ HPO และสูตรมาตรฐานที่ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  แต่กรณีเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องพบว่าค่า SFC มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในสูตรที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิดใหม่ทั้ง 2 สูตร

9. ค่า WI ของซ็อกโกแลตเคลือบทุกสูตรเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาไม่ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  หรืออุณหภูมิห้อง แต่เมื่อพิจารณาในอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า WI ( $\Delta\text{WI}$ ) ที่สัปดาห์ที่ 10 เทียบกับค่าเริ่มต้นพบว่าของซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 มีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

10. Fractionate 23-39 ที่ผลิตเสร็จใหม่ให้คุณลักษณะในด้านสี กลิ่นของซ็อกโกแลต ความแข็ง และการหลอมละลายในปาก ที่น้อยกว่าสูตรมาตรฐาน ส่วนกลิ่นหืนและกลิ่นที่ผิดปกติมากกว่าสูตรมาตรฐานแต่ในคุณลักษณะด้านความละเอียดของซ็อกโกแลต ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ทั้ง 2 สภาวะ ทำให้คะแนนความแข็งและการหลอมละลายมีค่าสูงขึ้นและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรมาตรฐาน ( $P > 0.05$ )

11. สำหรับซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 25-39 นั้นยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานเนื่องจากมีอัตราการเกิด fat bloom สูงเกินไป และการหลอมละลายในปากค่อนข้างยากกว่าสูตรมาตรฐานและมีคะแนนต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

12. เมื่อพิจารณาจากคะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสประกอบการดำเนินการเปลี่ยนของค่า SFC ต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่าความแข็งที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่างสถิติ ( $P < 0.05$ ) หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์และอัตราการเปลี่ยนของค่า WI ( $\Delta\text{WI}$ ) ที่ต่ำสุด ซ็อกโกแลตเคลือบสูตรที่ใช้ Fractionate 23-39 นั้นจึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเพื่อใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทร้อนต่อไปในระดับอุตสาหกรรม

13. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาสูตรของซ็อกโกแลตเคลือบที่ใช้ Fractionate 23-39 เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะในด้านสี เพิ่มกลิ่นของซ็อกโกแลต อาจมีการเติมสารกันหืนเพื่อลดอัตราการเกิดกลิ่นหืน ปรับลดปริมาณการใช้ PGPR เพื่อลดการเกิดกลิ่น

ผิดปกติและควรทำการทดลองเคลือบกับผลิตภัณฑ์เวเฟอร์จริงๆ และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคเทียบกับสูตรมาตรฐานที่ทางโรงงานใช้อยู่ในลำดับต่อไป

14. เนื่องจากต้องมีการเพิ่มขึ้นตอนจากกระบวนการที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อทำการตกผลึกลำดับส่วนให้ได้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิด Fractionate 23-39 ดังนั้นเป็นไปได้ว่าต้นทุนการผลิตอาจสูงขึ้น จึงควรต้องทำการศึกษาเรื่องต้นทุนการดำเนินการเพิ่มเติมก่อนการดำเนินการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม

### บรรณานุกรม

- นิธิยา รัตนปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารของไขมันและน้ำมัน. ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 244 หน้า.
- ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. หน้า 165-168.
- สุวรรณ สุภิมารส. 2543. เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. 393 หน้า.
- Ali, A., Selamat, J., Che Man, Y.B. and Suria, A.M. 2001. Effect of storage temperature on texture, polymorphic structure, bloom formation and sensory attributes of filled dark chocolate. *Food Chemistry*. 72 : 491-497.
- Alpaslan, M. and Karaali, A. 1998. The Interesterification-Induced Changes in Olive and Palm Oil Blends. *Food Chemistry*. 61: 301-305.
- Bannon, C.D., Craske, J.D., Hai, N.T., Harper, N.L. and O' Rourke, K.L., 1982. Analysis of Fatty Acid Methyl Esters with Accuracy and Reliability. *Journal of Chromatography*. 247: 63-69.
- Beckett, S. T. 2000. *The Science of Chocolate*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (England).
- Beckett, S. T. 2008. *The Science of Chocolate*. 2<sup>nd</sup> edition The Royal Society of Chemistry. Cambridge (England) : 80-124.
- Brien, O. 2009. *Fats and Oils : formulation and processing for application*. 3<sup>rd</sup> edition CRC press. New York.
- FDA Regulation : 21 CFR 101.9. 2003. Food Labeling; Trans Fatty Acids in Nutrition Labeling; Consumer Research to Consider Nutrient Content and Health Claims and Possible Footnote or Disclosure Statements; Final Rule and Proposed Rule.
- Gibon, V. 2006. Etude du polymorphisme et de l'intersolubilité de triglycérides constitutifs des matières grasses végétales. Ph.D. Thesis, FUNDP, Namur (Belgium).

- Hernqvist, L. 1998. Crystal structures of fats and fatty acids. In : Crystallization and Polymorphism of Fats and Fatty Acids. Eds. N. Garti, K. Sato, Marcel Dekker Inc., New York, NY (USA) : 97–137.
- Holde, D. and Strange, M. 1901. Ber Bunsenges Phys Chem. 34 , 2401.
- Innovative centrifugal technology. 2006. Sedicanter. Internal Documentation, Flottweg Separation Technology, Flottweg GmbH & Co. KGaA, Vilsbiburg (Germany).
- ISO 8292 : 1991 (E).
- IUPAC. 1979. Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives. Blackwell Scientific Publications, Pergamon Press, Oxford (UK).
- Kellens, M. 1991. Polymorphism of saturated monoacid triglycerides. Ph.D. Thesis, KUL, Leuven (Belgium).
- Kellens, M. 1998<sup>a</sup>. Etat des lieux et évaluation des procédés demodification des matières grasses par combinaison de l'hydrogénation, de l'interestérisation et du fractionnement. OCL : 384–391.
- Kellens, M. 1998<sup>b</sup>. Etat des lieux et évaluation des procédés demodification des matières grasses par combinaison de l'hydrogénation, de l'interestérisation et du fractionnement (suite). OCL : 421-226.
- Kellens, M., Gibon, V., Hendrix, M. and Greyt, W.D. 2007. Palm Oil Fractionation, European Journal of Lipid Science and Technology. 109 : 336-349.
- Krishnamurthy, R. and Kellens, M. 1996. Fractionation and winterization . Bailey's industrial oils and fat products. 5th Edn. Ed. Hui, Y. Wiley, J. and Sons, Inc., Hoboken, NJ (USA). 4 : 301-337.
- Lipp, M. and Anklam, E. 1998. Review of Cocoa Butter and Alternative Fats for Use in Chocolate-Part A. Compositional Data, Food Chemistry. 62:73-97.
- Lonchamp, P. and Hartel R. W. 2004: Fat Bloom in Chocolate and Compound Coatings, European Journal of Lipid Science and Technology. 106 : 241-274.
- Maes, P. J. and Dijkstra, A. 1985. Process for separating solids from oils. US Patent 4 542 036, assigned to N.V. Vandemoortele International.
- Minifie, B.W. 1989. Chocolate Cocoa and Confectionery : Science and Technology. 3<sup>rd</sup> ed. AVI Book Publishing Company. Inc. New York.

- Miquel, M.E., Carti, S., Couzens, P.J., Wille, H.J. and Hall, D. 2001. Kinetics of the Migration of Lipids in Composite Chocolate Measured by Magnetic Resonance Imaging, *Food Engineering*. 34: 773-781.
- Mozaffarian, D., Katan, M.B., Ascherio A., Stampfer, M.J. and Willett, W. C. 2006. Trans Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *New Eng Jour of Med*. 354 (15) : 1601-1613.
- Mullin, J.W. 2001. Crystallization, 4<sup>th</sup> edition Butterworth-Heinemann.
- Nelson, J. 1986. *Manufacturing confectionery*. 5 : 88-91.
- Nopens, T., Foubert, I., Graef, V.D., Laere, D.V., Dewttinck, K. and Vanrolleghem, P. 2008. Automated image analysis tool for migration fat bloom evaluation of chocolate coated food product. *Food Science and Technology*. 41 : 1884-1891.
- Ollivon, M. 1992. Propriétés physiques des corps gras: Triglycerides. In: *Manuel des Corps Gras*. Ed. A. Karleskind, Lavoisier Tec. and Doc., Paris (France) : 469-503.
- Pease, J. J. 1985. Confectionery Fats from Palm Oil and Lauric Oil, *JAOC*. 62 : 426-230.
- PORIM, 1995. Palm oil Research Institute of Malaysia (PORIM) Test Method, Selangor, Bangi, Kuala Lumpur.
- Ralph E. T. 2005. Fractional Crystallization- the Fat Modification Process for the 21<sup>st</sup> Century, *European Journal of Lipid Science and Technology*. 107 : 48-57.
- Rossell, J. B. 1967. Phase diagrams of triacylglycerol systems. In: *Advances in Lipid Research*. Eds. R. Paoletti, D. Kretchevsky, New York Academic Press, New York, NY (USA) : 353-408.
- Sato, K. 2001. Crystallization behaviour of fats and lipid-a review. *Chemical Engineering Science*. 56 : 2255-2265.
- Soon, W. 1991. Speciality Fats Versus Cocoa Butter. *Petaling Jaya, Selangor (Malaysia)*. 14 : 33-36.
- Schantz, B. and Rohm, H. 2005. Influence of Lecithin-PGPR blends on the rheological properties of chocolate. *Lebensm.-Wiss. U-Technol*. 38 : 41-45.
- Smith, K.W. 2001. Cocoa Butter and Cocoa Butter Equivalents, In *Structured and Modified Lipids*, edited by F. D. Gunstone, Marcel Dekker Inc., New York : 401-422.
- Stewart, I.M. and Timms, R.E. 2002. Fat for Chocolate and Sugar Confectionery, In *Fat in Food Technology*, London: 159-191.

- Solis-Fuentes, J.A. and Duran-de-Bazua, M.C., 2004. Mango Seed Uses: Thermal Behaviour of Mango Seed Almond Fat and Its Mixtures with Cocoa Butter, *Bioresource Technology*. 92: 71–78.
- Sonwai, S. and Rousseau, D. 2006. Structure Evaluation and Bloom Formation in Tempered Cocoa Butter during Long-Term Storage, *European Journal of Lipid Science and Technology*. 108 : 735-745.
- Tablot, G. 1994. Vegetable fats. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. (Beckett, S.T. ed.). Blackie Academic&Professional. Glasgow. p. 242-257
- Tablot, G. 1999. Vegetable fats. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. Third Edition by Beckett, S.T. Blackie Academic&Professional. Oxford. p. 307-322.
- Tirtiaux, A. and Gibon, V. 1998. El fractionamiento en seco la via limpia a bajos trans. *Aniame*. 6 : 41-49.
- Van, P. K. 1975. Pulsed NMR as a routine method in the fat and margarine industry II, Uniliver Research-Vlaardinge, Bruker minispec application note 5.
- Wainwright, R.E. 1996. Oils and fats in confections. In *Bailey's Industrial Oil and Fat product*. Vol.3. (Hui, Y.H., ed). Jon Wiley and Sons, Inc. New York. p. 353-407.
- Wesdorp, L.H. 1990. Liquid multiple solid phase equilibria in fats, theory and experiments. Ph.D. Thesis, Delft University, Delft (The Netherlands).
- Wille, R. and Lutton. L. 1966. E. S. Polymorphism of Cocoa Butter, *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 43: 491-496.
- Wilp, C. 2001. Dry fractionation of fats and oils by means of centrifugation. Internal documentation, Westfalia Separator Food Tec GmH, Oelde (Germany).
- Zaidul, I.S.M., Norulaini, N.A., Mohd Omar, A.K. and Smith Jr, R.L., 2007. Blending of Supercritical Carbon Dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) Extracted Palm Kernel Oil Fractions and Palm Oil to Obtain Cocoa Butter Replacers, *Journal of Food Engineering*. 78: 1397-1409.
- Zainal, Z and Yosoff, M.S.A. 1999. Enzymatic interesterification of palm stearin and palm kernel olein. *JAACS*.76.
- Zaliha, O., Chong, C.L., Cheow, C.S., Norzzah, A.R. and Kellens, M.J.2004. Crystallization properties of palm oil by dry fractionation. *Food Chemistry*. 86 : 245-250.

Zwikstra, N. 1994. The production of confectionery fats from enzymically modified high oleic sunflower, *Loders Croklaan* 5.

<http://www.andritz.com>, September, 18 2008.

<http://www.sgconsulting.co.za>, September, 18 2008.

<http://www.soci.org/SCI/groups/oil>, September, 18 2008.

## ภาคผนวก ก

### 1. ปริมาณไขมันแข็ง (Solid fat content, SFC)

การเตรียมตัวอย่างไขมันและน้ำมันก่อนวัดตามกรรมวิธีของ AOCS Cd 16b-93 revised in 2000; Direct Method และการวัดค่า Solid fat content โดยเครื่อง pulsed Nuclear magnetic resonance

1. ให้ความร้อนกับตัวอย่างไขมันที่อุณหภูมิ 80-100 °C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ตัวอย่างเกิดการละลาย
2. บรรจุตัวอย่างลงในหลอดทดลองสำหรับเทคนิค p-NMR (เส้นผ่าศูนย์กลาง = 10 มม.) ให้มีระดับของตัวอย่างสูงประมาณ 4 เซนติเมตร
3. ให้ความร้อนกับตัวอย่างที่บรรจุในหลอดทดลองจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 °C เป็นเวลามากกว่า 5 นาทีแต่ไม่เกิน 15 นาที เพื่อทำการละลายผลึกไขมันที่เป็นของแข็งทั้งหมด
4. ลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วไปที่ประมาณ 0 °C เป็นเวลา 60 นาที ( $\pm 2$  นาที)
5. เพิ่มอุณหภูมิไปที่อุณหภูมิที่ต้องการวัดค่า SFC แล้วทำการคงไว้ที่อุณหภูมินั้น 30-35 นาที เพื่อให้ตัวอย่างไขมันเข้าสู่สภาวะสมดุล
6. ทำการวัดค่า SFC ด้วยเครื่อง p-NMR
7. การพลอตกราฟระหว่างค่า SFC กับอุณหภูมิ (°C)
8. เพื่อเปรียบเทียบค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ และพฤติกรรมการหลอมเหลว

### 2. การเตรียมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันที่เป็น

องค์ประกอบโดยวิธี Gas Chromatography ตาม AOAC Official Method 969.33 Fatty acids in oils and fats

#### 2.1 อุปกรณ์

1. flask ขนาด 50 และ 125 มล.
2. condenser

#### 2.2 สารเคมี

1. Boron trifluoride 125 g  $\text{BF}_3$  + Methyl alcohol
2. Methanolic sodium hydroxide 0.5 M หรือ 2 กรัม NaOH ต่อ 100 มล. MtOH ( $\leq$  0.5เปอร์เซ็นต์  $\text{H}_2\text{O}$ )
3. Pure n-Heptane
4.  $\text{N}_2 < 5$  มก.  $\text{O}_2$ / กก.

5. Saturated NaCl solution

6. Anhydrous Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### 2.3 การเตรียม

1. ไม่ต้องชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน เพราะขนาดตัวอย่างบอกเพียงขนาดภาชนะและปริมาณสารที่จะใช้วิเคราะห์เท่านั้น โดยให้ใช้ตามตารางที่ 13

**ตารางที่ 13** ขนาด flask และปริมาณสารที่ใช้จากขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

| Test sample, mg | Flask, ml | 0.5 M NaOH, ml | BF <sub>3</sub> reagent, ml |
|-----------------|-----------|----------------|-----------------------------|
| 100-250         | 50        | 4              | 5                           |
| 250-500         | 50        | 6              | 7                           |
| 500-750         | 100       | 8              | 9                           |
| 750-1000        | 100       | 10             | 12                          |

2. ต้องการตัวอย่างสำหรับฉีด GC ประมาณ 350 mg

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไขมันหรือน้ำมัน

1. ชั่งตัวอย่างลง flask ประมาณ 0.40 mg เติม NaOH/MtOH 6 ml และ boiling chip

2. ต่อเข้ากับ condenser และ reflux จนกระทั่งหยดน้ำมันหายไป 10 นาที

3. เติม BF<sub>3</sub> 7 ml ผ่าน condenser ต้มต่อ 2 นาที

4. เติม Heptane 5 ml ผ่าน condenser ต้มต่อ 1 นาทีหรือนานกว่า แล้วทิ้งให้เย็นเพื่อให้

เกิดการควบแน่น

5. เติมสารละลายเกลืออิ่มตัวประมาณ 15 ml ปิดฟาส์กและเขย่าอย่างรุนแรงเป็นเวลา

15 วินาที ขณะที่สารละลายยังอุ่นอยู่

6. เติมสารละลายเกลืออิ่มตัวจุนชั้นของ Heptane ขึ้นมาที่คอฟาส์ก

7. เปิดสารละลายส่วนบนไปที่ Glass stopper test tube

8. เติม Anhydrous Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เล็กน้อยเพื่อกำจัด H<sub>2</sub>O

9. ถ้าจำเป็นให้เจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้น 5-10เปอร์เซ็นต์สำหรับ GC

### คำเตือน

1. ทำงานภายใน Hood ล้างเครื่องแก้วทันทีหลังใช้
2. ถ้ากรดไขมันมีพันธะคู่มากกว่า 2 พันธะ ให้กำจัดอากาศจาก methyl alcohol และ flask โดยใช้  $N_2$  2-3 นาที
3. Methyl ester ควรถูกวิเคราะห์ทันทีที่เตรียมเสร็จ
4. ถ้าจำเป็นควรเก็บ Heptane ภายใต้ก๊าซ  $N_2$  ในตู้เย็น ถ้าเก็บเป็นเวลานานให้ปิดผนึกใน ampule แห้งแข็งเก็บไว้ หรือเติม equivalent of 0.005เปอร์เซ็นต์ 2,6-di-tert-butyl-methylphenol (BHT)
5. สำหรับการวิเคราะห์ด้วย GC ความเข้มข้นของสารละลายที่ความเหมาะสมเท่ากับ 5-10 เปอร์เซ็นต์

### 2.4 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบโดยเครื่อง Gas

#### Chromatography FID

วิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

#### Injection Port SPL

|                |               |
|----------------|---------------|
| Injection Mode | : Split       |
| Temperature    | : 210.0 °C    |
| Carrier gas    | : He          |
| Column Flow    | : 0.50 ml/min |
| Split Ratio    | : 100.0       |

#### Column Oven Temperature Program

|                    |                  |                    |
|--------------------|------------------|--------------------|
| Total program time | : 77 mins        |                    |
| Rate (°C/min)      | Temperature (°C) | Holding time (min) |
| -                  | 120.0            | 3.00               |
| 10.0               | 220.0            | 30.00              |
| 5.0                | 240.0            | 30.00              |

#### Column information

Column name : AT-Wax

|                |               |
|----------------|---------------|
| Film Thickness | : 0.20 micron |
| Column length  | : 50.0 m      |
| Inner diameter | : 0.25 mm ID  |

#### Detector Channel FID

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Temperature         | : 280 °C              |
| Make up gas         | : N <sub>2</sub> /Air |
| Make up flow        | : 30.0 ml/min         |
| H <sub>2</sub> flow | : 40.0 ml/min         |
| Air flow            | : 400.0 ml/min        |

### 3. การหาค่า Slip Melting Point (SMP)

เป็นการหาอุณหภูมิที่ตัวอย่างเกิดการหลอมเหลวอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน โดยใช้ capillary tubes เป็นหลอดสำหรับบรรจุตัวอย่างซึ่งมีขึ้นตอนตาม PORIM test method no. p 4.2, 1995 ดังนี้

1. ละลายตัวอย่างและกรองด้วยกระดาษกรอง
2. นำ capillary tubes ที่สะอาด 3 หลอด จุ่มลงในตัวอย่างเหลวให้ตัวอย่างในหลอดสูง 10 มิลลิเมตร
3. จุ่มและกวนหลอดตัวอย่างในอ่างน้ำแข็งเพื่อให้ตัวอย่างแข็งตัว (ระวังไม่ให้ปลายเปิดด้านที่ไข มันสัมผัสกับน้ำแข็ง)
4. เช็ดปลายหลอดอย่างรวดเร็วด้วยทิชชู ใส่หลอดตัวอย่างในหลอดทดลองและจุ่มในบีกเกอร์ที่มีน้ำเย็นอุณหภูมิ  $10 \pm 0.1$  °C ซึ่งแช่ในเครื่องทำความเย็น
5. นำหลอดทดลองออกมาใส่เครื่องทำความเย็นที่อุณหภูมิเดียวกัน ( $10 \pm 0.1$  °C) เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
6. นำหลอดตัวอย่างออกมารัดติดกับเทอร์โมมิเตอร์ให้ปลายของหลอดตัวอย่างและเทอร์โมมิเตอร์มีระดับเท่ากัน
7. นำไปจุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ให้ปลายลึก 30 มิลลิเมตร
8. ปรับอุณหภูมิของบีกเกอร์ให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่าค่า SMP ของตัวอย่าง 5-10 °C โดยใช้น้ำแข็ง

9. กวนน้ำในบีกเกอร์ด้วย magnetic stirrer แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา  $1 \pm 0.1$  °C ต่อ นาที
10. เมื่อถึง slip point ลดอัตราการให้ความร้อนลงเหลือ  $0.5 \pm 0.1$  °C ต่อ นาที
11. ให้ความร้อนจนกระทั่งระดับของไขมันในหลอดสูงขึ้น จุดอุณหภูมิของน้ำ ณ จุด นั้นและคำนวณหาค่าเฉลี่ย

#### 4. การวิเคราะห์ค่า Acid Value อ้างตามการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Fatty acid value) ตามวิธี IUPAC (1979)

##### สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้นร้อยละ 1
3. สารผสมระหว่างเอทานอล (ร้อยละ 95) กับไดเอทิลอีเทอร์อัตราส่วน 1 ต่อ 1

##### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 2 กรัม ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารผสมระหว่างเอทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์ให้เป็นกลางในการเติม สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด และปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละ หยด พร้อมทั้งเขย่าจนได้สารละลายเป็นสีชมพูถาวร
3. เติมสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลง ในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในสารผสม
4. ไตเตรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ขณะไตเตรตต้อง เขย่าอย่างแรงจนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที
5. คำนวณค่ากรดไขมันอิสระจากสูตร

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{ปริมาณค่าที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นค่า (นอร์มอล)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

$$\text{Acid Value (AV)} = 2.19 \times \text{เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ (ในรูปของกรดปาร์มิติก) (นิธิยา, 2548)}$$

## 5. การวิเคราะห์สaponification value) ตามวิธีของ IUPAC (1979)

### สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้นร้อยละ 1

### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ใส่ในขวดลั่นที่สะอาดและแห้ง
2. เติมสารละลายแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 25 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปตและเติมลูกแก้ว
3. จัดเครื่องกลั่นพร้อมเปิดน้ำหล่อชุดควบคุมรีฟลักซ์สารละลาย (ให้เดือดเบาๆ) นาน 1 ชั่วโมง
4. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
5. คำนวณค่าสaponification จากสูตร

$$\text{ค่าสaponification} = \frac{(B - A) \times N \times 56.1}{W}$$

- โดย
- B = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)
  - A = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
  - N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)
  - W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## 6. การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value) ตามวิธีของ AOAC (1990)

### สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายยวีส ความเข้มข้นร้อยละ 10
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10
3. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
4. คาร์บอนเตตราคลอไรด์

### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ในกรณีตัวอย่างเป็นของแข็งให้หลอมและกรองก่อนชั่ง
2. เติมคาร์บอนเตตราคลอไรด์ 15 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายวิจิส 25 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต (ให้ปลายปิเปตจรดข้างขวดด้วยจำนวนครั้งที่แน่นอนและเท่ากันทุกครั้งที่ทำกรทดลอง)
4. เขย่าและตั้งไว้ในที่มืด 1 – 2 ชั่วโมง
5. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 20 มิลลิลิตร และน้ำดื่มที่ต้มใหม่ซึ่งเย็นแล้ว 150 ลิตร
6. ไตรเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เขย่าอย่างสม่ำเสมอจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน แล้วเติมน้ำแข็ง 2 – 3 หยด จะกลายเป็นสีน้ำเงินแล้วไตรเตรทต่อไปจนสีน้ำเงินหมดไป ก่อนปฏิกิริยาถึงจุดยุติให้ปิดขวดด้วยจุกยางแล้วเขย่าอย่างแรง เพื่อให้ไอโอดีนที่เหลืออยู่ในชั้นของคาร์บอนเตตราคลอไรด์ถูกดึงออกมาหมด
7. เติร์ยม blank
8. คำนวณค่าไอโอดีนจากสูตร

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(b - a) \times N \times 12.69}{W}$$

- โดยที่
- b = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไอซัลเฟตที่ไตรเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)
  - a = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไอซัลเฟตที่ไตรเตรทกับ ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
  - N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไอซัลเฟต (นอร์มอล)
  - W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

### 7. วัดการเกิดผลขาวบนผิวหนังที่ช็อกโกแลต (Fat bloom)

(ตามวิธีของ Bolin และ Huxsoll (1991) อ้างโดย Lohman และ Hartel (1994) )

ใช้ Colour View Spectrophotometer วัดการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวหนังที่ช็อกโกแลต ในรูป Whitess Index (WI)

#### วิธีการ

1. ก่อนวัดตัวอย่างต้อง calibrate เครื่องด้วย black-and-white standard plate

2. วางตัวอย่างช็อกโกแลตบนแผ่นวัดสี ทำการวัดการสีขาวซึ่งอ่านในรูป L a และ b Value แล้วคำนวณออกมาในรูป Whiteness Index (WI) โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

### 8. วัดความแข็งของช็อกโกแลต คัดแปลงจากวิธีของ Ali และคณะ, 2001

วิธีการ

วัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัวชนิด PN2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 250 มิลลิเมตร (ความยาว) สูง 150 มิลลิเมตร



ภาพที่ 33 ลักษณะของขึ้นและความสูงช็อกโกแลตเคลือบ ที่ใช้ทดสอบค่าความแข็ง

#### Parameter ที่ใช้ในการวัด

|                    |   |              |
|--------------------|---|--------------|
| 1. Pre Test Speed  | = | 1.0 mm/sec.  |
| 2. Test Speed      | = | 1.1 mm/sec.  |
| 3. Post Test Speed | = | 10.0 mm/sec. |
| 4. Distance        | = | 5.0 mm       |
| 5. Time            | ~ | 1-2 min      |
| 6. Room Temperture | = | 25-28 °C     |

อ่านค่าความแข็งจากจุดสูงสุดของ peak (Max Force) ที่วัดได้ ซึ่งหน่วยในการวัดเป็น นิวตันของแรงที่ตัดต่อความหนาขึ้นช็อกโกแลตเคลือบ

## ภาคผนวก ข

### การเตรียมสารละลาย

#### 1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล

##### วิธีการเตรียม

เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 45 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน

วิธีการหาความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

1. ชั่งโซเดียมเทตราโบเรตให้มีน้ำหนักที่แน่นอน 2 กรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วละลายโซเดียมเทตราโบเรตให้หมด
3. หยดเมทิลเรด (อินดิเคเตอร์) 3 หยด ไตเตรทด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมไว้ (สีสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูที่จุดยุติ)
4. คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)} = \frac{\text{น้ำหนักของโซเดียมเทตราโบเรต (กรัม)}}{\text{ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร)} \times 0.1907}$$

โดยที่ สูตรโมเลกุลของโซเดียมเทตราโบเรต (Borax :  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )  
 สมมูลของโซเดียมเทตราโบเรต = 190.72

#### 2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 และ 0.05 นอร์มอล

2.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

วิธีการเตรียมสารละลาย

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 4 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล

วิธีการเตรียมสารละลาย

น้ำสารละลาย

น้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลที่เตรียมไว้ มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 2 เท่า

#### วิธีการหาความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. นำโพแทสเซียมแอสซิคาทาเลทมาอบที่ 120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักโพแทสเซียมแอสซิคาทาเลทที่แน่นอน 0.4 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นที่ปลอดคาร์บอนไดออกไซด์ (น้ำกลั่นต้มให้เดือด 15 นาที) 2.5 มิลลิลิตร
3. หยดฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้นร้อยละ 1-2-3 หยดแล้วไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้
4. คำนวณความเข้มข้นมาตรฐานจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นมาตรฐาน (นอร์มอล)} = \frac{\text{น้ำหนักโพแทสเซียมแอสซิคาทาเลท (กรัม)}}{\text{ปริมาตรสารละลายต่างที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร)} \times 0.2042}$$

โดยที่ สูตรโมเลกุลของโพแทสเซียมแอสซิคาทาเลท คือ  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$   
 สมมูลของโพแทสเซียมแอสซิคาทาเลท = 204.2

### 3. การเตรียมแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล

#### วิธีการเตรียม

1. ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์น้ำหนัก 40 กรัม ใส่ในบีกเกอร์
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 ลิตร แล้วคนจนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด
3. ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยเอทานอลร้อยละ 95 แล้วเก็บสารละลายทิ้งไว้ 5 วันก่อนนำไปใช้

หมายเหตุ สารละลายที่ได้ควรมีสีเหลืองฟางหรือไม่มีสี

### 5. การเตรียมสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

#### วิธีการเตรียม

1. ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 25 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำก่อน

2. ปรับปริมาณสารละลายให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำไปต้มให้เดือดเบาๆ 5 นาที เทใส่ในขวดสีชาขณะร้อน แล้วนำไปเก็บในที่มืดและเย็น

**หมายเหตุ** อย่าเทสารละลายที่ใช้แล้วกลับลงในขวดอีก

**วิธีการหาความเข้มข้นมาตรฐาน**

1. อบโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2C_2O_7$ ) ที่  $100^\circ C$  เป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมตให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วใส่ในฟลาสก์ 3 ใบ ใบละ 0.1 กรัม

3. นำฟลาสก์แต่ละใบมาเติมน้ำกลั่นที่มีโพแทสเซียมไอโอไดด์ละลายอยู่ 2 กรัม ปริมาตร 80 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในที่มืดทันที เป็นเวลา 10 นาที

4. ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่เตรียมไว้ (ใช้น้ำแบ่งร้อยละ 1 เป็นสารแสดงจุดยุติ ซึ่งจะเติมน้ำแบ่งเมื่อปฏิกิริยาเกือบถึงจุดยุติ และที่จุดยุติสีน้ำเงินจะหมดไป) แล้วนำมาคำนวณตามสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของโซเดียมไซโอซัลเฟต (นอร์มอล)} = \frac{\text{น้ำหนักโพแทสเซียมไดโครเมต (กรัม)}}{\text{ปริมาตรโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ไตเตรท} \times 0.0490}$$

**หมายเหตุ** สมมูลของโพแทสเซียมไดโครเมต = 49.032

## 6. การเตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้นร้อยละ 1

**วิธีการเตรียม**

ชั่งฟีนอล์ฟทาลีนให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1 กรัม ละลายในเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

## ภาคผนวก ค การประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของซ็อกโกแลตเคลือบ

### 1. การเตรียมก่อนการทดสอบ

ผู้ทำการทดสอบเป็นเจ้าหน้าที่ประกันคุณภาพ วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ของบริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งมีความคุ้นเคยและถูกฝึกฝนในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส มาก่อน แต่อย่างไรก็ตามก่อนทำการประเมินต้องมีการฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อให้สามารถแยกความแตกต่างของซ็อกโกแลตแต่ละตัวอย่างได้ โดยทำการฝึกฝนผู้ทดสอบจำนวน 15 คนซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ผู้ทำการทดสอบเดียวกันสำหรับทุกการทดสอบ ด้วยวิธี Quantitative descriptive analysis (QDA) ตามแบบทดสอบดั้งแบบทดสอบ (ภาคผนวก ค2) เช่นเดียวกับการทดสอบจริง ซึ่งการฝึกฝนครั้งแรกจะนำตัวอย่างซ็อกโกแลตเคลือบทั้ง 4 ชุดการทดลอง ให้ผู้ทดสอบได้สังเกต คมกลิ่น ชิม เปรียบเทียบความแตกต่าง และฝึกการให้คะแนน กับแบบทดสอบจริงเพื่อจะได้คุ้นเคยกับตัวอย่างและระดับคะแนนและความหมายของคำอธิบายต่างๆ ในแบบทดสอบ

2. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส แบบพรรณนาเชิงปริมาณ เพื่อประเมินคุณลักษณะของ  
ช็อกโกแลตเคลือบ

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส  
Quantitative Descriptive Analysis (QDA)

ระดับคะแนนคุณภาพ ของ Chocolate เคลือบรหัส .....

ชื่อผู้ชิม .....

ชุดที่ .....

1. สี

|                        |                        |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <input type="text"/> 5 | <input type="text"/> 4 | <input type="text"/> 3 | <input type="text"/> 2 | <input type="text"/> 1 |
| สีเข้ม ปกติ            | สีเข้ม ค่อนข้างปกติ    | สีเข้มปานกลาง          | สีค่อนข้างอ่อน         | สีอ่อนมากเกินไป        |

2. กลิ่นช็อกโกแลต

|                        |                        |                           |                                |                                     |
|------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="text"/> 5 | <input type="text"/> 4 | <input type="text"/> 3    | <input type="text"/> 2         | <input type="text"/> 1              |
| หอมและให้กลิ่น<br>เข้ม | หอมและให้กลิ่น<br>ปกติ | หอมและให้กลิ่น<br>ปานกลาง | หอมและให้กลิ่น<br>ค่อนข้างอ่อน | ไม่มีกลิ่นหอมและ<br>ให้กลิ่นอ่อนมาก |

3. กลิ่นหืน

|                            |                                    |                            |                                 |                            |
|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <input type="text"/> 5     | <input type="text"/> 4             | <input type="text"/> 3     | <input type="text"/> 2          | <input type="text"/> 1     |
| มีกลิ่นหืนของ<br>น้ำมันมาก | มีกลิ่นหืนของน้ำมัน<br>ค่อนข้างมาก | มีกลิ่นหืน<br>ของน้ำมันปาน | มีกลิ่นหืนของน้ำมัน<br>เล็กน้อย | ไม่มีกลิ่นหืน<br>ของน้ำมัน |

4. ความละเอียดของเนื้อช็อกโกแลต

|                        |                        |                        |                            |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| <input type="text"/> 5 | <input type="text"/> 4 | <input type="text"/> 3 | <input type="text"/> 2     | <input type="text"/> 1 |
| ละเอียดดี              | ละเอียดแต่             | ละเอียดปานกลาง         | ไม่ค่อยละเอียด             | หยาบและสามารถ          |
| ไม่รู้รู้สึกสากลิ้นเลย | รู้สึกสากลิ้นเล็กน้อย  | รู้สึกสากลิ้นได้       | และรู้สึกสากลิ้นได้<br>ชัด |                        |
|                        |                        | พอสมควร                |                            |                        |

## 5. ความแข็ง

|                        |                        |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <input type="text"/> 5 | <input type="text"/> 4 | <input type="text"/> 3 | <input type="text"/> 2 | <input type="text"/> 1 |
| แข็งดีมาก              | แข็งดี                 | แข็งปานกลาง            | ค่อนข้างนุ่ม           | นุ่มเกินไป             |

## 6. การหลอมละลายในปาก

|                                    |   |  |  |                                |
|------------------------------------|---|--|--|--------------------------------|
| <input type="text"/> 5             | <input type="text"/> 4                  | <input type="text"/> 3                 | <input type="text"/> 2                           | <input type="text"/> 1         |
| ละลายได้รวดเร็ว<br>และไม่เป็นไขเลย | ละลายได้รวดเร็ว<br>รู้สึกเป็นไขเล็กน้อย | ละลายได้รวดปาน<br>กลาง<br>รู้สึกเป็นไข | ละลายหมดได้<br>ค่อนข้างช้า<br>รู้สึกเป็นไขชัดเจน | ละลายหมดช้ามาก<br>และเป็นไขมาก |

## 7. กลิ่นติดปาก

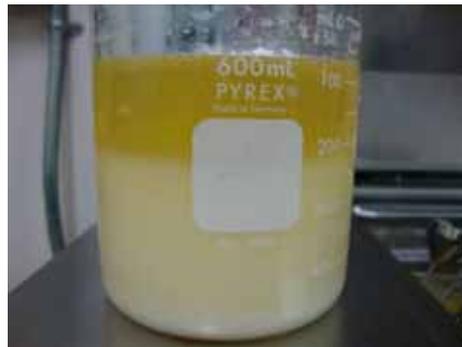
|                        |                        |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <input type="text"/> 5 | <input type="text"/> 4 | <input type="text"/> 3 | <input type="text"/> 2 | <input type="text"/> 1 |
| พบชัดเจนมาก            | พบมาก                  | พบปานกลาง              | พบเล็กน้อย             | ไม่พบเลย               |

## ภาคผนวก ง

### 1. ขั้นตอนในการตกผลึกแยกลำดับส่วนไขมันจาก Palm Mid Fraction โดย Dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน

1.1 นำ PMF ใส่ Beaker ให้ความร้อนเพื่อให้ละลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 °C จนเป็นเนื้อเดียวกันเพื่อทำลายผลึกทั้งหมด (Zaliha และคณะ, 2004) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

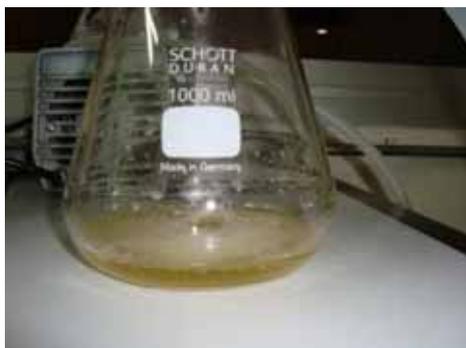
1.2 จากนั้นนำ PMF ที่ละลายอย่างสมบูรณ์แล้วมาตกผลึกแยกลำดับส่วนแบบ Dry fractionation ขั้นที่ 1 ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิสูงเช่นที่ 39 °C (ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดที่จุดตรงกลางของไขมันเหลวในบีกเกอร์เพื่อเป็นข้อมูลประกอบ) ให้การลดลงของอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้าๆ หลังจากทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. ทำให้ได้ไขมันที่ตกผลึกผสมรวมอยู่กับน้ำมันที่ไม่เกิดการตกผลึกในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Slurry)



1.3 แยกเอาส่วนไขมันที่เกิดการตกผลึกจากข้อ 1.2 ออกจากน้ำมันเหลวที่ไม่เกิดเป็นผลึกโดยใช้ชุดเครื่องกรองแยกไขมันแบบ Suction Flask , Porcelain และกระดาษกรอง Wattman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 ซม. ต่อฟังกับปั๊มสุญญากาศ

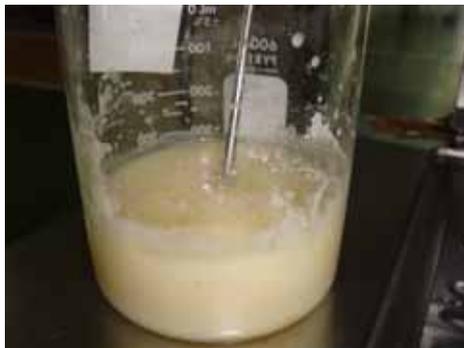


1.4 จากนั้นนำส่วนของน้ำมันเหลวใส่ Beaker ให้ความร้อนเพื่อให้ละลายอย่างสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาทีเพื่อทำลายผลึกทั้งหมดอีกครั้ง แล้วนำมาตกผลึกแยก ลำดับส่วนแบบ Dry fractionation ขั้นที่ 2 ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำเช่นที่  $23^{\circ}\text{C}$  วิธีการ เช่นเดียวกับ 1.2 ที่ใช้เวลาประมาณ 24 ชม.





2.5 ลักษณะของไขมันหลังจากตกผลึกที่ 23 °C หลังจากผ่านไปประมาณ 24 ชั่วโมง

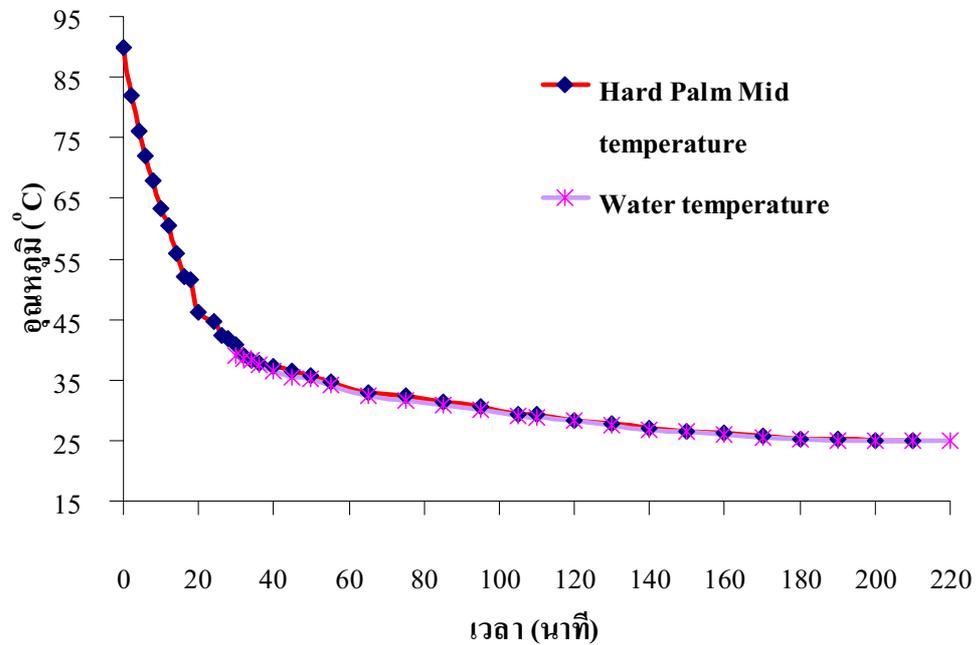


1.6 แยกเอาส่วนไขมันที่เกิดการตกผลึกจากข้อ 1.4 ออกจากน้ำมันเหลวที่ไม่เกิดเป็นผลึกโดยใช้ชุดเครื่องกรองแยกไขมันแบบ Suction Flask , Porcelain และกระดาษกรอง Wattman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 ซม. ต่อฟังกับปั๊มสุญญากาศ

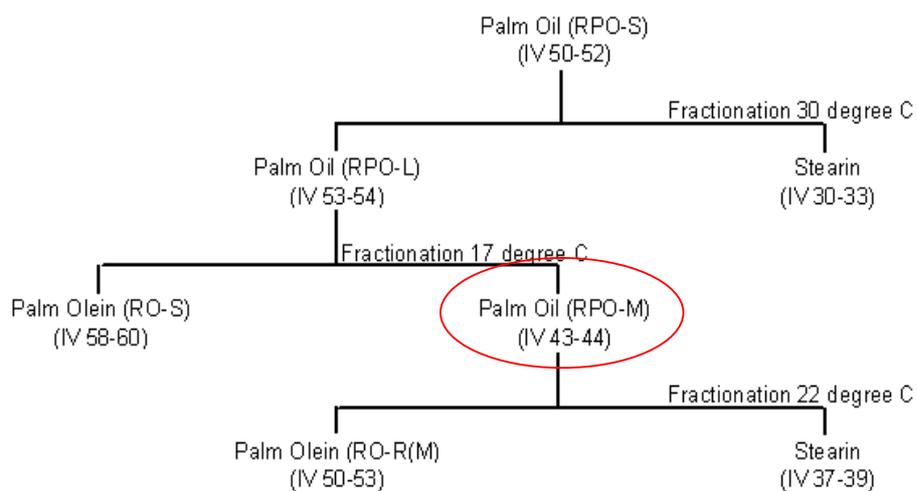


1.7 นำไขมันแข็งที่ได้จากตกผลึกแยกลำดับส่วนแบบ dry fractionation ในขั้นที่ 2 ไปศึกษาตามขั้นตอน เพื่อคัดเลือกเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้แบบทนร้อนต่อไป

1.8 คำนวณ yield ของไขมันส่วนที่มีคุณสมบัติตามต้องการเทียบกับเทียบกับปริมาณไขมันตั้งต้นเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบว่าเหมาะสมต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและการใช้งานจริงหรือไม่



ภาพที่ 34 ลักษณะรูปแบบการลดลงของอุณหภูมิในขั้นตอนการตกผลึกแยกลำดับส่วนไขมันจาก PMF โดย dry fractionation แบบ 2 ขั้นตอน (ตัวอย่างสำหรับอุณหภูมิตกผลึกที่ 25 °C)

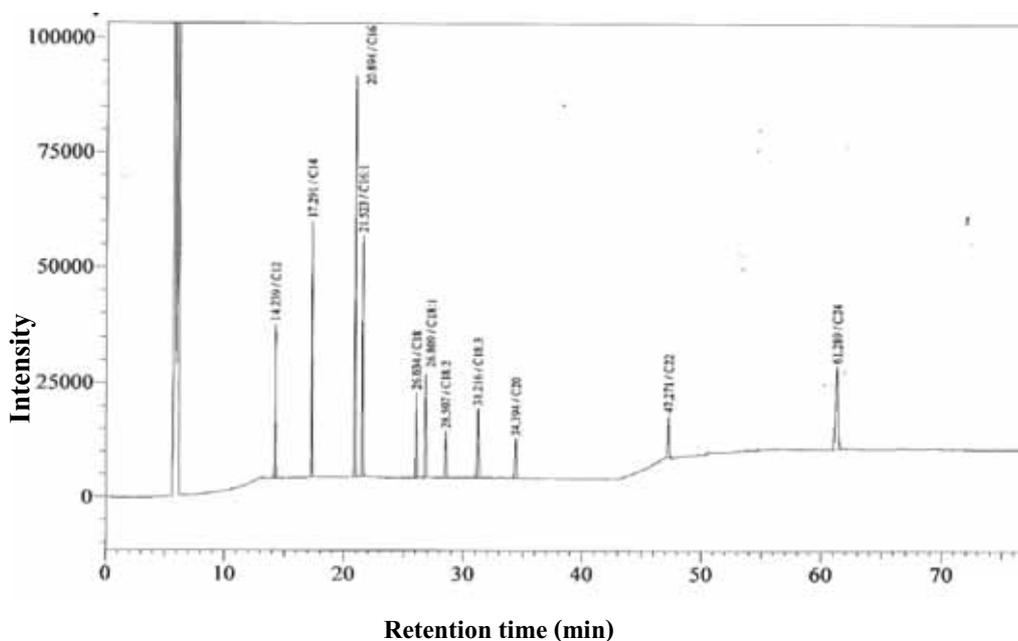


ภาพที่ 35 ขั้นตอนของการแยกลำดับส่วน palm oil (ค่าไอโอดีน 50-52) จนได้ Palm Oil (ค่าไอโอดีน 43-44) ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการศึกษาวิจัย

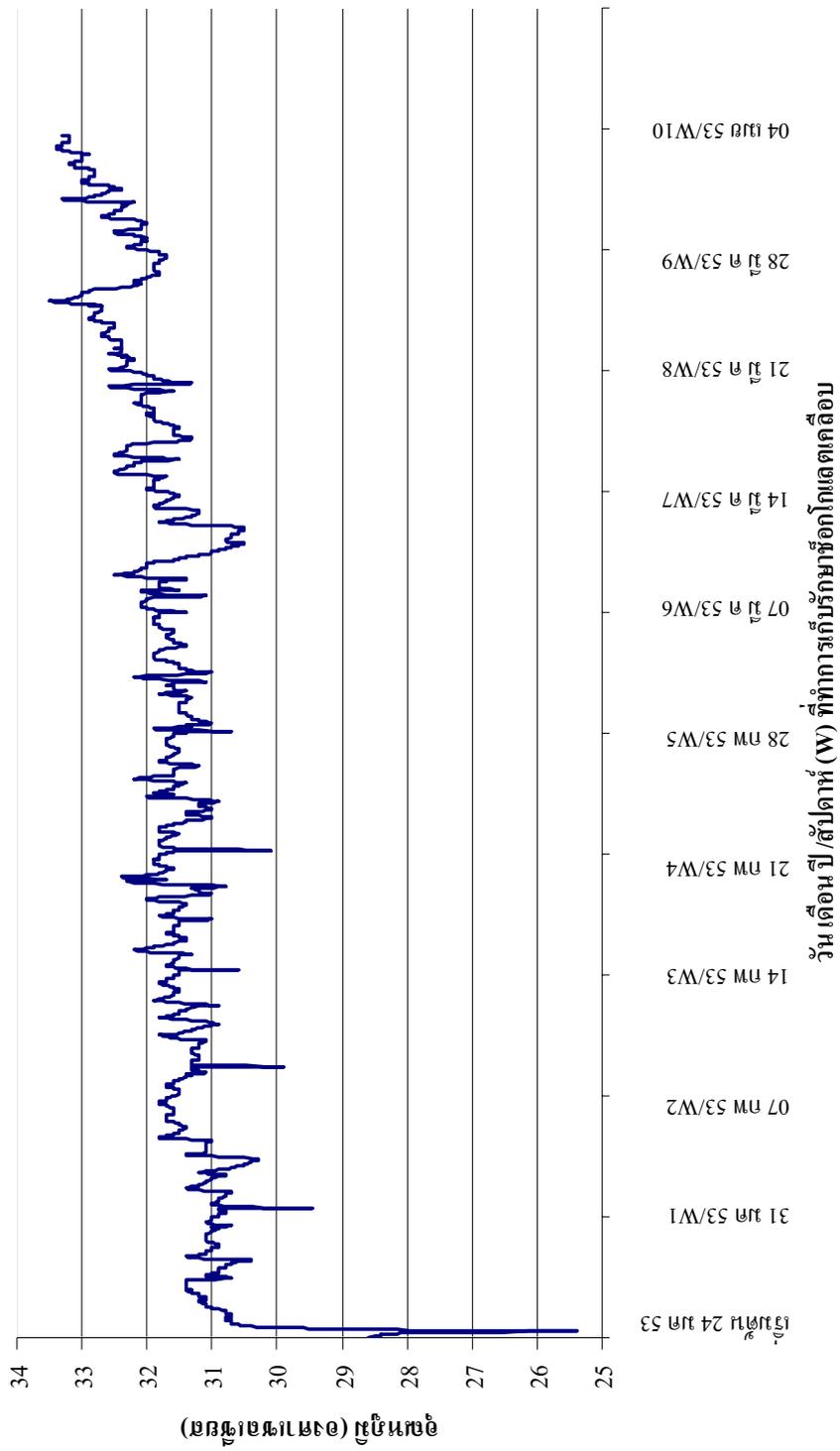
## ภาคผนวก จ

ตารางที่ 14 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของกรดไขมันแต่ละชนิดผ่านคอลัมน์

| ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ | ชื่อ             | เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (นาที) |
|----------------------------------|------------------|---|
|                                  |                  | : Retention time ( mins)                    |
| C12                              | กรดลอริก         | 14.39 ± 0.01                                |
| C14                              | กรดไมริสติก      | 17.46 ± 0.01                                |
| C16                              | กรดปาล์มิติก     | 21.13 ± 0.03                                |
| C16:1                            | กรดปาล์มิโตเลอิก | 21.76 ± 0.02                                |
| C18                              | กรดสเตียริก      | 26.40 ± 0.03                                |
| C18:1                            | กรดโอเลอิก       | 27.18 ± 0.02                                |
| C18:2                            | กรดลิโนเลอิก     | 28.92 ± 0.03                                |
| C18:3                            | กรดลิโนเลนิก     | 31.71 ± 0.03                                |
| C20                              | กรดอะราคิติก     | 35.01 ± 0.05                                |
| C22                              | กรดบีฮีนิก       | 47.93 ± 0.05                                |
| C24                              | กรดลิกโนซีริก    | 62.24 ± 0.06                                |



ภาพที่ 36 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมัน โดยวิธี GC-FID



ภาพที่ 37 กราฟแสดงอุณหภูมิห้องระหว่างที่ทำการเก็บรักษาชื่อโกแผลตเคียบเป็นเวลา 10 สัปดาห์ โดยเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบDatalogger

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 15 ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ palm stearin, PMF ผสม palm stearin เปรียบเทียบกับ เนยโกโก้และ HPO

| ชนิดของไขมัน       | ร้อยละของไขมันที่อยู่ในรูปผลึก (Solid fat content :SFC) ที่อุณหภูมิต่างๆ (องศาเซลเซียส) |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
|--------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
|                    | 15  | 20           | 25           | 30           | 32           | 34           | 36           | 38           | 40           |  |
| Palm stearin       | 71.82 ± 0.11  | 62.71 ± 0.91 | 54.05 ± 0.02 | 43.08 ± 0.27 | 39.51 ± 0.12 | 36.27 ± 0.16 | 32.04 ± 0.17 | 29.23 ± 0.03 | 27.47 ± 0.19 |  |
| Palm mid fraction  | 56.67 ± 0.21  | 43.19 ± 0.25 | 25.25 ± 0.06 | 13.90 ± 0.13 | 11.36 ± 0.55 | 9.01 ± 0.11  | 6.79 ± 0.12  | 5.25 ± 0.11  | 4.46 ± 0.12  |  |
| PMF ผสม 5% Stearin | 61.22 ± 0.82  | 47.22 ± 0.08 | 28.21 ± 0.05 | 16.09 ± 0.11 | 13.01 ± 0.09 | 10.89 ± 0.09 | 8.85 ± 0.08  | 7.16 ± 0.12  | 6.37 ± 0.11  |  |
| PMF ผสม 10%        |   |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Stearin            | 61.82 ± 0.72  | 48.32 ± 0.36 | 30.55 ± 0.21 | 18.17 ± 0.05 | 15.04 ± 0.12 | 12.63 ± 0.14 | 10.37 ± 0.07 | 8.80 ± 0.15  | 7.77 ± 0.11  |  |
| PMF ผสม 20%        |   |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Stearin            | 63.89 ± 0.21  | 51.97 ± 0.12 | 35.31 ± 0.07 | 22.35 ± 0.14 | 18.99 ± 0.26 | 16.42 ± 0.08 | 14.04 ± 0.10 | 12.11 ± 0.10 | 10.73 ± 0.06 |  |
| HPO                | 84.92 ± 0.57  | 73.56 ± 0.73 | 57.71 ± 0.24 | 48.04 ± 0.51 | 37.58 ± 0.12 | 28.69 ± 0.75 | 20.44 ± 0.24 | 13.04 ± 0.14 | 6.85 ± 0.08  |  |
| Cocoa butter       | 84.37 ± 0.20  | 64.78 ± 0.23 | 10.76 ± 0.10 | 0.44 ± 0.15  | 0.12 ± 0.45  | 0.03 ± 0.05  | 0.02 ± 0.04  | 0.09 ± 0.11  | 0.00 ± 0.00  |  |

**ตารางที่ 16** ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ Fractionate ต่างๆ เปรียบเทียบกับ HPO และ เนยโกโก้

| ชนิดของไขมัน | เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่อยู่ในรูปผลึก (Solid fat content :SFC) ที่อุณหภูมิต่างๆ (องศาเซลเซียส) |            |            |             |             |             |             |             |             |           |           |             |  |  |  |
|--------------|---|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|--|--|--|
|              | 15  | 20         | 25         | 27.5        | 30          | 32          | 34          | 36          | 38          | 40        | 42        | 45          |  |  |  |
| Fractionate  |   |            |            |             |             |             |             |             |             |           |           |             |  |  |  |
| 23-37        | 69.45±0.40  | 53.94±0.36 | 25.71±0.48 | 18.73±0.15  | 13.57±0.26  | 10.26±0.09  | 8.03±0.17   | 5.63 ± 0.09 | 3.42±0.06   | 1.07±0.01 | 0.47±0.04 | 0.00±0.03   |  |  |  |
| Fractionate  |   |            |            |             |             |             |             |             |             |           |           |             |  |  |  |
| 25-39        | 77.52±0.09  | 65.87±0.53 | 43.22±0.11 | 34.19±0.84  | 27.17±0.05  | 21.77±0.08  | 18.41±0.14  | 14.89±0.03  | 11.86±0.19  | 8.17±0.23 | 5.6±0.14  | 1.75±0.10   |  |  |  |
| Fractionate  |   |            |            |             |             |             |             |             |             |           |           |             |  |  |  |
| 23-39        | 74.52±0.12  | 61.06±0.40 | 35.90±0.17 | 27.56±0.17  | 20.95±0.04  | 16.65±0.08  | 13.81±0.19  | 10.75±0.14  | 8.14±0.08   | 5.07±0.28 | 2.58±0.04 | 0.23±0.12   |  |  |  |
| Fractionate  |   |            |            |             |             |             |             |             |             |           |           |             |  |  |  |
| 25-37        | 67.76±1.09  | 54.06±0.93 | 29.05±0.20 | 22.28±0.20  | 16.73±0.25  | 13.20±0.12  | 10.73±0.25  | 8.36±0.21   | 5.72±0.17   | 3.12±0.25 | 1.30±0.05 | 0.30±0.17   |  |  |  |
| HPO          | 84.92±0.57  | 73.56±0.73 | 57.71±0.24 | 48.04±0.51  | 37.58±0.12  | 28.69±0.75  | 20.44±0.24  | 13.04±0.14  | 6.85±0.08   | 0.85±0.02 | 0.01±0.15 | 0.00±0.06   |  |  |  |
| Cocoa butter | 0.20  | 64.78±0.23 | 10.76±0.10 | 3.36 ± 0.14 | 0.44 ± 0.15 | 0.12 ± 0.45 | 0.03 ± 0.05 | 0.02 ± 0.04 | 0.09 ± 0.11 | 0.00±0.00 | 0.00±0.00 | 0.00 ± 0.00 |  |  |  |
|              |   |            | 84.37 ±    |             |             |             |             |             |             |           |           |             |  |  |  |

**ตารางที่ 17** ค่าความแข็งของซ็อก โกลแดตเคลือบสูตรที่ใช้ไขมันทดแทนเนยโกโก้ชนิด Fractionate 23-39 ผสม PGPR 0.5 เมื่อใช้สภาวะในการทำความเย็นแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน) | อุณหภูมิที่ใช้ในการทำความเย็นซ็อก โกลแดตเคลือบหลังผลิตเสร็จ |
|---------------------------|---|
|                           | 1-2 °C  |
|                           | 7-10 °C   |
| 0*                        | 7.49 ± 0.31 <sup>Ba</sup>                                   |
| 13                        | 0.37 ± 0.11 <sup>Bb</sup>                                   |
|                           | 10.89 ± 0.49 <sup>Aa</sup>                                  |
|                           | 0.53 ± 0.01 <sup>Ab</sup>                                   |

หมายเหตุ \* : วัดหลังจากผลิตเสร็จใหม่และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (34-36 °C)  
 A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามจำนวนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95  
 a,b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ**

**ตารางที่ 18** ค่า SFC ในซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C

| ระยะเวลาการเก็บรักษา(สัปดาห์) | ค่า SFC ในซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C |                              |                                |                                |
|-------------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                               | สูตรมาตรฐาน  | สูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5      | Fractionate 23-39 ผสม PGPR 0.5 | Fractionate 25-39 ผสม PGPR 0.5 |
| 0                             | 75.09 ± 0.97 <sup>Aa</sup>                                 | 74.62 ± 0.18 <sup>Aa</sup>   | 71.84 ± 0.75 <sup>Ba</sup>     | 72.64 ± 0.60 <sup>Ba</sup>     |
| 1                             | 59.78 ± 0.17 <sup>Bb</sup>                                 | 62.54 ± 0.30 <sup>Ab</sup>   | 55.58 ± 0.12 <sup>Cb</sup>     | 54.41 ± 0.14 <sup>De</sup>     |
| 2                             | 58.80 ± 0.20 <sup>Bcd</sup>                                | 62.33 ± 0.36 <sup>Ab</sup>   | 54.91 ± 0.16 <sup>Cc</sup>     | 55.70 ± 0.56 <sup>Che</sup>    |
| 3                             | 59.13 ± 0.57 <sup>Bbc</sup>                                | 62.17 ± 0.21 <sup>Abc</sup>  | 54.12 ± 0.38 <sup>Cd</sup>     | 55.12 ± 0.54 <sup>Che</sup>    |
| 4                             | 58.99 ± 0.34 <sup>Bc</sup>                                 | 61.67 ± 0.37 <sup>Ade</sup>  | 53.51 ± 0.19 <sup>Def</sup>    | 54.89 ± 1.11 <sup>Che</sup>    |
| 5                             | 58.61 ± 0.23 <sup>Bcd</sup>                                | 61.35 ± 0.04 <sup>Ac</sup>   | 54.10 ± 0.22 <sup>Dde</sup>    | 55.79 ± 0.36 <sup>Cb</sup>     |
| 6                             | 59.03 ± 0.39 <sup>Bbc</sup>                                | 62.08 ± 0.63 <sup>Abcd</sup> | 54.96 ± 0.40 <sup>Cc</sup>     | 55.24 ± 0.57 <sup>Che</sup>    |
| 7                             | 58.89 ± 0.43 <sup>Bcd</sup>                                | 61.19 ± 0.48 <sup>Ac</sup>   | 53.46 ± 0.25 <sup>Df</sup>     | 54.90 ± 1.12 <sup>Che</sup>    |
| 8                             | 58.90 ± 0.06 <sup>Bcd</sup>                                | 61.57 ± 0.42 <sup>Ade</sup>  | 54.40 ± 0.57 <sup>Ccd</sup>    | 55.13 ± 1.20 <sup>Che</sup>    |
| 9                             | 58.21 ± 0.56 <sup>Bd</sup>                                 | 61.49 ± 0.47 <sup>Ade</sup>  | 53.85 ± 0.16 <sup>Cdef</sup>   | 54.61 ± 0.68 <sup>Che</sup>    |
| 10                            | 58.99 ± 0.34 <sup>Bc</sup>                                 | 61.67 ± 0.37 <sup>Ade</sup>  | 53.51 ± 0.19 <sup>Def</sup>    | 54.89 ± 1.11 <sup>Che</sup>    |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95  
a,b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 19 ค่า SFC ในซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

| ระยะเวลาการเก็บรักษา(สัปดาห์) | ค่า SFC ในซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง |                            |  |  |
|-------------------------------|--|----------------------------|--|--|
|                               | สูตรมาตรฐาน  | สูตรมาตรฐานผสม PGPR        | Fractionate 23-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | Fractionate 25-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| 0                             | 75.04 ± 0.97 <sup>Aa</sup>                               | 74.47 ± 0.18 <sup>Aa</sup> | 71.89 ± 0.75 <sup>Ba</sup>                 | 72.53 ± 0.60 <sup>Ba</sup>                 |
| 1                             | 60.21 ± 0.11 <sup>Bb</sup>                               | 62.83 ± 0.56 <sup>Ab</sup> | 55.51 ± 0.07 <sup>Bb</sup>                 | 56.60 ± 0.14 <sup>Cb</sup>                 |
| 2                             | 59.47 ± 0.19 <sup>Bde</sup>                              | 61.90 ± 0.43 <sup>Ab</sup> | 55.13 ± 0.09 <sup>Cb</sup>                 | 54.75 ± 1.66 <sup>Cc</sup>                 |
| 3                             | 59.42 ± 0.16 <sup>Bde</sup>                              | 61.90 ± 0.60 <sup>Ac</sup> | 55.13 ± 0.33 <sup>Cb</sup>                 | 55.26 ± 0.84 <sup>Cc</sup>                 |
| 4                             | 58.46 ± 0.44 <sup>Bde</sup>                              | 61.91 ± 0.16 <sup>Ac</sup> | 55.05 ± 0.19 <sup>Cb</sup>                 | 55.25 ± 0.51 <sup>Cc</sup>                 |
| 5                             | 58.52 ± 0.38 <sup>Bd</sup>                               | 61.74 ± 0.13 <sup>Ac</sup> | 55.05 ± 0.35 <sup>Cb</sup>                 | 55.72 ± 0.63 <sup>Cc</sup>                 |
| 6                             | 58.18 ± 0.32 <sup>Bdef</sup>                             | 61.32 ± 0.65 <sup>Ac</sup> | 55.57 ± 0.45 <sup>Cb</sup>                 | 55.26 ± 0.78 <sup>Cc</sup>                 |
| 7                             | 57.83 ± 0.29 <sup>Befg</sup>                             | 61.45 ± 0.52 <sup>Ac</sup> | 55.41 ± 0.39 <sup>Cb</sup>                 | 55.27 ± 0.77 <sup>Cc</sup>                 |
| 8                             | 57.76 ± 0.28 <sup>Bfg</sup>                              | 60.91 ± 0.40 <sup>Ad</sup> | 55.05 ± 0.19 <sup>Cb</sup>                 | 55.25 ± 0.51 <sup>Cc</sup>                 |
| 9                             | 57.23 ± 0.21 <sup>Bgh</sup>                              | 60.17 ± 0.21 <sup>Ac</sup> | 55.48 ± 0.04 <sup>Cb</sup>                 | 55.21 ± 0.71 <sup>Cc</sup>                 |
| 10                            | 57.04 ± 0.05 <sup>Bh</sup>                               | 60.14 ± 0.16 <sup>Ac</sup> | 55.09 ± 0.18 <sup>Cb</sup>                 | 55.75 ± 0.63 <sup>Cc</sup>                 |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

a,b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

ตารางที่ 20 ค่าความแข็งของซ็อก โกลแลคทีโอซหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C

| ระยะเวลาการเก็บรักษา<br>(สัปดาห์) | ค่าความแข็ง (นิวตัน) ของซ็อก โกลแลคทีโอซหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C |                               |   |   |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|---|---|
|                                   | สูตรมาตรฐาน  | สูตรมาตรฐานผสม                | Fractionate 23-39 ผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | Fractionate 25-39 ผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| 0                                 | 5.15 ± 0.13 <sup>Ba</sup>  | 7.03 ± 0.32 <sup>Aa</sup>     | 3.69 ± 0.23 <sup>Ca</sup>                     | 2.62 ± 0.26 <sup>Da</sup>                     |
| 1                                 | 1.34 ± 0.11 <sup>ABb</sup>   | 1.48 ± 0.11 <sup>Abcd</sup>   | 1.02 ± 0.03 <sup>BcF</sup>                    | 0.75 ± 0.46 <sup>Cd</sup>                     |
| 2                                 | 0.86 ± 0.03 <sup>Ch</sup>  | 1.24 ± 0.08 <sup>Bc</sup>     | 0.65 ± 0.07 <sup>Df</sup>                     | 2.20 ± 0.18 <sup>Abc</sup>                    |
| 3                                 | 0.96 ± 0.06 <sup>Cde</sup>   | 1.52 ± 0.11 <sup>Bbc</sup>    | 1.44 ± 0.11 <sup>Cef</sup>                    | 1.94 ± 0.14 <sup>Ac</sup>                     |
| 4                                 | 1.07 ± 0.13 <sup>Ccde</sup>  | 1.25 ± 0.13 <sup>Cde</sup>    | 1.56 ± 0.21 <sup>Bede</sup>                   | 2.48 ± 0.08 <sup>Aab</sup>                    |
| 5                                 | 0.84 ± 0.11 <sup>De</sup>  | 1.28 ± 0.09 <sup>Cde</sup>    | 1.73 ± 0.14 <sup>Bcd</sup>                    | 2.64 ± 0.21 <sup>Aa</sup>                     |
| 6                                 | 0.85 ± 0.15 <sup>De</sup>  | 1.39 ± 0.07 <sup>Chvate</sup> | 1.98 ± 0.37 <sup>Bbc</sup>                    | 2.69 ± 0.16 <sup>Aa</sup>                     |
| 7                                 | 1.02 ± 0.15 <sup>Ccde</sup>  | 1.40 ± 0.06 <sup>Bhvate</sup> | 1.51 ± 0.21 <sup>Bde</sup>                    | 2.63 ± 0.25 <sup>Aa</sup>                     |
| 8                                 | 1.20 ± 0.15 <sup>Chc</sup>   | 1.61 ± 0.22 <sup>Bb</sup>     | 1.97 ± 0.55 <sup>Bbcd</sup>                   | 2.56 ± 0.02 <sup>Aab</sup>                    |
| 9                                 | 1.18 ± 0.02 <sup>Chcd</sup>  | 1.54 ± 0.18 <sup>Bb</sup>     | 1.98 ± 0.40 <sup>Bbc</sup>                    | 2.73 ± 0.21 <sup>Aa</sup>                     |
| 10                                | 1.10 ± 0.16 <sup>Ccd</sup>   | 1.26 ± 0.02 <sup>Cd</sup>     | 2.28 ± 0.26 <sup>Bb</sup>                     | 2.73 ± 0.30 <sup>Aa</sup>                     |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95  
a,b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 21 ค่าความแข็งแรงของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

| ระยะเวลาการเก็บรักษา<br>(สัปดาห์) | ค่าความแข็งแรง (นิวตัน) ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง |                                     |  |  |
|-----------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|
|                                   | สูตรมาตรฐาน  | สูตรมาตรฐานผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | Fractionate 23-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | Fractionate 25-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| 0                                 | 5.15 ± 0.13 <sup>Ba</sup>  | 7.03 ± 0.32 <sup>Aa</sup>           | 3.69 ± 0.23 <sup>Ca</sup>                  | 2.62 ± 0.26 <sup>Da</sup>                  |
| 1                                 | 1.39 ± 0.06 <sup>Bb</sup>  | 1.89 ± 0.17 <sup>Ab</sup>           | 0.77 ± 0.04 <sup>Dd</sup>                  | 1.15 ± 0.08 <sup>Cf</sup>                  |
| 2                                 | 1.25 ± 0.06 <sup>Bbbd</sup>  | 1.61 ± 0.06 <sup>Ac</sup>           | 0.78 ± 0.02 <sup>Cd</sup>                  | 1.68 ± 0.19 <sup>Ac</sup>                  |
| 3                                 | 1.23 ± 0.19 <sup>Bcde</sup>  | 1.55 ± 0.11 <sup>Ac</sup>           | 0.74 ± 0.05 <sup>Cd</sup>                  | 1.71 ± 0.07 <sup>Ade</sup>                 |
| 4                                 | 1.24 ± 0.09 <sup>Bbc</sup>   | 1.51 ± 0.18 <sup>Acde</sup>         | 0.77 ± 0.03 <sup>Cd</sup>                  | 1.71 ± 0.09 <sup>Ade</sup>                 |
| 5                                 | 1.10 ± 0.01 <sup>Cdef</sup>  | 1.46 ± 0.06 <sup>Bcde</sup>         | 0.96 ± 0.11 <sup>Cd</sup>                  | 2.04 ± 0.15 <sup>Ac</sup>                  |
| 6                                 | 1.24 ± 0.11 <sup>Bbcd</sup>  | 1.49 ± 0.06 <sup>Bcde</sup>         | 0.95 ± 0.16 <sup>Cd</sup>                  | 2.32 ± 0.17 <sup>Aabc</sup>                |
| 7                                 | 1.07 ± 0.05 <sup>Cef</sup>   | 1.31 ± 0.14 <sup>Bdef</sup>         | 0.76 ± 0.03 <sup>Dd</sup>                  | 2.20 ± 0.20 <sup>Abc</sup>                 |
| 8                                 | 1.01 ± 0.07 <sup>Bfg</sup>   | 1.26 ± 0.10 <sup>Bef</sup>          | 0.92 ± 0.15 <sup>Bd</sup>                  | 2.43 ± 0.37 <sup>Aab</sup>                 |
| 9                                 | 0.89 ± 0.09 <sup>Cgh</sup>   | 1.19 ± 0.09 <sup>Bf</sup>           | 1.38 ± 0.16 <sup>Bc</sup>                  | 2.64 ± 0.09 <sup>Aa</sup>                  |
| 10                                | 0.77 ± 0.04 <sup>Ch</sup>  | 1.06 ± 0.13 <sup>Cf</sup>           | 1.70 ± 0.24 <sup>Bb</sup>                  | 2.35 ± 0.27 <sup>Aabc</sup>                |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

a,b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

ตารางที่ 22 Whiteness Index ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 °C

| ระยะเวลาการเก็บรักษา<br>(สัปดาห์) | Whiteness Index ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C |  |   |
|-----------------------------------|--|--|---|
|                                   | สูตรมาตรฐาน  | สูตรมาตรฐานผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | Fractionate 23-39 ผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| 0                                 | 24.49 ± 0.48 <sup>Bg</sup>   | 25.60 ± 1.53 <sup>Bf</sup>             | 29.51 ± 0.13 <sup>Ag</sup>                    |
| 1                                 | 28.28 ± 1.26 <sup>Bf</sup>   | 28.18 ± 0.57 <sup>Be</sup>             | 31.43 ± 0.07 <sup>Acdef</sup>                 |
| 2                                 | 29.69 ± 0.09 <sup>Be</sup>   | 30.10 ± 0.61 <sup>Bbcd</sup>           | 31.65 ± 0.7 <sup>Aabdc</sup>                  |
| 3                                 | 30.49 ± 0.31 <sup>Bbcde</sup>  | 29.51 ± 0.51 <sup>Ccd</sup>            | 31.13 ± 0.6 <sup>ABef</sup>                   |
| 4                                 | 30.29 ± 0.27 <sup>Bbde</sup>   | 29.10 ± 0.23 <sup>Cd</sup>             | 31.88 ± 0.15 <sup>Aabc</sup>                  |
| 5                                 | 30.46 ± 0.55 <sup>Bbcde</sup>  | 30.34 ± 0.27 <sup>Babc</sup>           | 32.08 ± 0.08 <sup>Ab</sup>                    |
| 6                                 | 30.37 ± 0.53 <sup>Bcde</sup>   | 30.01 ± 0.44 <sup>Bbcd</sup>           | 31.84 ± 0.18 <sup>Aabcd</sup>                 |
| 7                                 | 31.83 ± 0.59 <sup>Ba</sup>   | 31.20 ± 0.12 <sup>Ba</sup>             | 31.59 ± 0.25 <sup>Bbcdef</sup>                |
| 8                                 | 30.85 ± 0.36 <sup>Chcd</sup>   | 30.61 ± 0.4 <sup>Cab</sup>             | 32.16 ± 0.12 <sup>Ba</sup>                    |
| 9                                 | 31.36 ± 0.13 <sup>ABab</sup>   | 30.20 ± 0.4 <sup>Cabc</sup>            | 31.08 ± 0.19 <sup>Bf</sup>                    |
| 10                                | 31.26 ± 0.29 <sup>Aabc</sup>   | 29.84 ± 0.07 <sup>Bbcd</sup>           | 31.29 ± 0.44 <sup>Adef</sup>                  |
|                                   |  |  | Fractionate 25-39 ผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
|                                   |  |  | 26.10 ± 0.29 <sup>Bf</sup>                    |
|                                   |  |  | 30.54 ± 0.31 <sup>Ae</sup>                    |
|                                   |  |  | 32.12 ± 0.41 <sup>Abc</sup>                   |
|                                   |  |  | 31.58 ± 0.13 <sup>Ad</sup>                    |
|                                   |  |  | 32.01 ± 0.23 <sup>Abcd</sup>                  |
|                                   |  |  | 32.49 ± 0.1 <sup>Ab</sup>                     |
|                                   |  |  | 31.76 ± 0.24 <sup>Acd</sup>                   |
|                                   |  |  | 33.12 ± 0.21 <sup>Aa</sup>                    |
|                                   |  |  | 33.12 ± 0.21 <sup>Aa</sup>                    |
|                                   |  |  | 31.39 ± 0.47 <sup>Acd</sup>                   |
|                                   |  |  | 31.59 ± 0.41 <sup>Ad</sup>                    |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

a,b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 23 Whiteness Index ของซ็อก โกลเดตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

| ระยะเวลาการเก็บรักษา<br>(สัปดาห์) | Whiteness Index ของซ็อก โกลเดตเคลือบหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง |  |   |   |
|-----------------------------------|--|--|---|---|
|                                   | สูตรมาตรฐาน  | สูตรมาตรฐานผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | Fractionate 23-39 ผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | Fractionate 25-39 ผสม<br>PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| 0                                 | 25.49 ± 0.48 <sup>Be</sup>   | 25.60 ± 1.53 <sup>Bf</sup>             | 29.51 ± 0.13 <sup>Ae</sup>                    | 26.10 ± 0.29 <sup>Bf</sup>                    |
| 1                                 | 29.10 ± 0.09 <sup>Cc</sup>   | 29.55 ± 0.32 <sup>Bc</sup>             | 31.10 ± 0.39 <sup>Ae</sup>                    | 29.99 ± 0.34 <sup>Be</sup>                    |
| 2                                 | 30.45 ± 0.22 <sup>Bb</sup>   | 30.65 ± 0.06 <sup>Ba</sup>             | 32.24 ± 0.35 <sup>Aa</sup>                    | 32.01 ± 0.26 <sup>Ab</sup>                    |
| 3                                 | 28.36 ± 0.12 <sup>Bd</sup>   | 28.56 ± 0.46 <sup>Bd</sup>             | 29.81 ± 0.23 <sup>Ae</sup>                    | 29.57 ± 0.01 <sup>Ae</sup>                    |
| 4                                 | 29.97 ± 0.17 <sup>Bb</sup>   | 29.57 ± 0.04 <sup>Bbc</sup>            | 30.91 ± 0.39 <sup>Acd</sup>                   | 30.94 ± 0.12 <sup>Ad</sup>                    |
| 5                                 | 29.05 ± 0.26 <sup>Bc</sup>   | 29.02 ± 0.27 <sup>Bcd</sup>            | 30.45 ± 0.28 <sup>Ad</sup>                    | 30.06 ± 0.17 <sup>Ad</sup>                    |
| 6                                 | 30.03 ± 0.27 <sup>Bb</sup>   | 29.62 ± 0.12 <sup>Bbc</sup>            | 31.30 ± 0.43 <sup>Abc</sup>                   | 31.50 ± 0.12 <sup>Ac</sup>                    |
| 7                                 | 31.20 ± 0.41 <sup>Ca</sup>   | 30.71 ± 0.09 <sup>Da</sup>             | 31.72 ± 0.20 <sup>Bab</sup>                   | 32.17 ± 0.21 <sup>Ab</sup>                    |
| 8                                 | 28.78 ± 0.57 <sup>Ccd</sup>  | 26.79 ± 0.53 <sup>De</sup>             | 32.16 ± 0.12 <sup>Ba</sup>                    | 33.12 ± 0.21 <sup>Aa</sup>                    |
| 9                                 | 31.36 ± 0.13 <sup>ABa</sup>  | 30.20 ± 0.40 <sup>Cab</sup>            | 31.08 ± 0.19 <sup>Bc</sup>                    | 31.93 ± 0.47 <sup>Abc</sup>                   |
| 10                                | 28.73 ± 0.66 <sup>Bcd</sup>  | 27.45 ± 0.19 <sup>Cc</sup>             | 28.73 ± 0.25 <sup>Bf</sup>                    | 29.77 ± 0.36 <sup>Ae</sup>                    |

หมายเหตุ A,B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95  
a,b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวโน้มแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส  
ด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากผลิตเสร็จใหม่

| คุณลักษณะ                        | SV              | DF | SS    | MS   | F    | Pr>F     |
|----------------------------------|-----------------|----|-------|------|------|----------|
| สี                               | Model           | 17 | 36.55 | 2.15 | 6.62 | <0.0001* |
|                                  | Error           | 42 | 13.63 | 0.32 |      |          |
|                                  | Corrected total | 59 | 50.18 |      |      |          |
| กลิ่นซ็อกโกแลต                   | Model           | 17 | 24.13 | 1.42 | 3.59 | 0.0004*  |
|                                  | Error           | 42 | 16.60 | 0.40 |      |          |
|                                  | Corrected total | 59 | 40.73 |      |      |          |
| กลิ่นหื่นของ<br>ไขมัน            | Model           | 17 | 24.43 | 1.44 | 2.97 | 0.0021*  |
|                                  | Error           | 42 | 20.30 | 0.48 |      |          |
|                                  | Corrected total | 59 | 44.73 |      |      |          |
| ความละเอียดของ<br>เนื้อซ็อกโกแลต | Model           | 17 | 8.15  | 0.48 | 2.28 | 0.0153*  |
|                                  | Error           | 42 | 8.83  | 0.21 |      |          |
|                                  | Corrected total | 59 | 16.98 |      |      |          |
| ความแข็ง                         | Model           | 17 | 32.88 | 1.93 | 7.84 | <0.0001* |
|                                  | Error           | 42 | 10.37 | 0.25 |      |          |
|                                  | Corrected total | 59 | 43.25 |      |      |          |
| การหลอมละลาย<br>ในปาก            | Model           | 17 | 22.03 | 1.29 | 2.82 | 0.0032*  |
|                                  | Error           | 42 | 19.30 | 0.46 |      |          |
|                                  | Corrected total | 59 | 41.33 |      |      |          |

| คุณลักษณะ    | SV              | DF | SS    | MS   | F    | Pr>F     |
|--------------|-----------------|----|-------|------|------|----------|
| กลิ่นผิดปกติ | Model           | 17 | 21.47 | 1.26 | 4.63 | <0.0001* |
|              | Error           | 42 | 11.47 | 0.27 |      |          |
|              | Corrected total | 59 | 32.94 |      |      |          |

หมายเหตุ ns : ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

\* : มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

( $P < 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 25

**ตารางที่ 25** ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากผลิตเสร็จใหม่

| คุณลักษณะ                    | สูตรมาตรฐาน       | สูตรมาตรฐาน              | Fractionate                    | Fractionate                    |
|------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                              |                   | ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | 23-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | 25-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| สี                           | 4.00 <sup>b</sup> | 4.53 <sup>a</sup>        | 2.73 <sup>d</sup>              | 3.20 <sup>c</sup>              |
| กลิ่นซ็อกโกแลต               | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup>        | 3.20 <sup>b</sup>              | 3.07 <sup>b</sup>              |
| กลิ่นหืนของไขมัน             | 1.00 <sup>b</sup> | 1.20 <sup>b</sup>        | 2.20 <sup>a</sup>              | 1.87 <sup>a</sup>              |
| ความละเอียดของเนื้อซ็อกโกแลต | 5.00 <sup>a</sup> | 4.47 <sup>b</sup>        | 4.40 <sup>b</sup>              | 4.86 <sup>a</sup>              |
| ความแข็ง                     | 4.00 <sup>b</sup> | 4.60 <sup>a</sup>        | 2.73 <sup>c</sup>              | 3.67 <sup>b</sup>              |
| การหลอมละลายในปาก            | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup>        | 3.80 <sup>a</sup>              | 2.87 <sup>c</sup>              |
| กลิ่นผิดปกติ                 | 1.00 <sup>c</sup> | 1.33 <sup>bc</sup>       | 1.86 <sup>a</sup>              | 1.67 <sup>ab</sup>             |

หมายเหตุ a,b หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตารางที่ 26** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์

| คุณลักษณะ                        | SV              | DF | SS    | MS   | F    | Pr>F      |
|----------------------------------|-----------------|----|-------|------|------|-----------|
| สี                               | Model           | 17 | 39.30 | 2.31 | 8.59 | < 0.0001* |
|                                  | Error           | 42 | 11.30 | 0.27 |      |           |
|                                  | Corrected total | 59 | 50.60 |      |      |           |
| กลิ่นซ็อกโกแลต                   | Model           | 17 | 6.62  | 0.39 | 2.16 | < 0.0008* |
|                                  | Error           | 42 | 7.57  | 0.18 |      |           |
|                                  | Corrected total | 59 | 14.19 |      |      |           |
| กลิ่นหืนของ<br>ไขมัน             | Model           | 17 | 4.35  | 0.26 | 1.62 | 0.1021    |
|                                  | Error           | 42 | 6.63  | 0.16 |      |           |
|                                  | Corrected total | 59 | 10.98 |      |      |           |
| ความละเอียดของ<br>เนื้อซ็อกโกแลต | Model           | 17 | 20.72 | 1.22 | 4.46 | < 0.0001* |
|                                  | Error           | 42 | 11.47 | 0.27 |      |           |
|                                  | Corrected total | 59 | 32.19 |      |      |           |
| ความแข็ง                         | Model           | 17 | 38.05 | 2.24 | 3.67 | 0.0003*   |
|                                  | Error           | 42 | 25.60 | 0.61 |      |           |
|                                  | Corrected total | 59 | 63.65 |      |      |           |
| การหลอมละลาย<br>ในปาก            | Model           | 17 | 16.38 | 0.96 | 2.46 | 0.0091*   |
|                                  | Error           | 42 | 16.47 | 0.39 |      |           |
|                                  | Corrected total | 59 | 32.85 |      |      |           |

| คุณลักษณะ    | SV              | DF | SS    | MS   | F    | Pr>F      |
|--------------|-----------------|----|-------|------|------|-----------|
| กลิ่นผิดปกติ | Model           | 17 | 49.18 | 2.89 | 5.94 | < 0.0001* |
|              | Error           | 42 | 20.47 | 0.49 |      |           |
|              | Corrected total | 59 | 69.65 |      |      |           |

หมายเหตุ ns : ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

\* : มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P<0.05) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์

| คุณลักษณะ           | สูตรมาตรฐาน        | สูตรมาตรฐาน              | Fractionate                    | Fractionate                    |
|---------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                     |                    | ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | 23-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ | 25-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| สี                  | 4.33 <sup>a</sup>  | 4.33 <sup>a</sup>        | 3.33 <sup>b</sup>              | 2.80 <sup>c</sup>              |
| กลิ่นซ็อกโกแลต      | 4.00 <sup>a</sup>  | 4.13 <sup>a</sup>        | 3.20 <sup>b</sup>              | 3.20 <sup>b</sup>              |
| กลิ่นหื่นของไขมัน   | 1.07 <sup>b</sup>  | 1.07 <sup>b</sup>        | 1.40 <sup>a</sup>              | 1.20 <sup>ab</sup>             |
| ความละเอียดของเนื้อ |                    |                          |                                |                                |
| ซ็อกโกแลต           | 4.33 <sup>ab</sup> | 4.00 <sup>b</sup>        | 4.33 <sup>ab</sup>             | 4.47 <sup>a</sup>              |
| ความแข็ง            | 3.87 <sup>a</sup>  | 3.87 <sup>a</sup>        | 2.60 <sup>b</sup>              | 4.27 <sup>a</sup>              |
| การหลอมละลายในปาก   | 4.00 <sup>a</sup>  | 4.13 <sup>a</sup>        | 3.67 <sup>a</sup>              | 4.00 <sup>a</sup>              |
| กลิ่นผิดปกติ        | 1.13 <sup>b</sup>  | 1.00 <sup>b</sup>        | 2.47 <sup>a</sup>              | 2.80 <sup>a</sup>              |

หมายเหตุ a,b หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตารางที่ 28** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน  
ต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 สัปดาห์

| คุณลักษณะ                        | SV              | DF | SS    | MS   | F    | Pr>F                 |
|----------------------------------|-----------------|----|-------|------|------|----------------------|
| สี                               | Model           | 17 | 30.48 | 1.79 | 4.49 | < 0.0001*            |
|                                  | Error           | 42 | 16.77 | 0.40 |      |                      |
|                                  | Corrected total | 59 | 47.25 |      |      |                      |
| กลิ่นซ็อกโกแลต                   | Model           | 17 | 3.90  | 0.23 | 1.91 | < 0.0443*            |
|                                  | Error           | 42 | 5.03  | 0.12 |      |                      |
|                                  | Corrected total | 59 | 8.93  |      |      |                      |
| กลิ่นหืนของ<br>ไขมัน             | Model           | 17 | 21.47 | 1.26 | 4.63 | <0.0001*             |
|                                  | Error           | 42 | 11.47 | 0.27 |      |                      |
|                                  | Corrected total | 59 | 32.93 |      |      |                      |
| ความละเอียดของ<br>เนื้อซ็อกโกแลต | Model           | 17 | 15.95 | 0.94 | 5.71 | < 0.0001*            |
|                                  | Error           | 42 | 6.90  | 0.16 |      |                      |
|                                  | Corrected total | 59 | 22.85 |      |      |                      |
| ความแข็ง                         | Model           | 17 | 16.07 | 0.95 | 1.38 | 0.1976 <sup>ns</sup> |
|                                  | Error           | 42 | 28.86 | 0.69 |      |                      |
|                                  | Corrected total | 59 | 44.93 |      |      |                      |
| การหลอมละลาย<br>ในปาก            | Model           | 17 | 8.67  | 0.51 | 1.32 | 0.2297 <sup>ns</sup> |
|                                  | Error           | 42 | 16.26 | 0.39 |      |                      |
|                                  | Corrected total | 59 | 24.93 |      |      |                      |

| คุณลักษณะ | SV              | DF | SS    | MS   | F    | Pr>F    |
|-----------|-----------------|----|-------|------|------|---------|
| กลิ่น     | Model           | 17 | 18.07 | 1.06 | 3.04 | 0.0017* |
| ผิดพลาด   | Error           | 42 | 14.67 | 0.35 |      |         |
|           | Corrected total | 59 | 32.73 |      |      |         |

หมายเหตุ ns : ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

\* : มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

( $P < 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 29

**ตารางที่ 29** ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของซ็อกโกแลตเคลือบหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 สัปดาห์

| คุณลักษณะ           | สูตรมาตรฐาน        | สูตรมาตรฐาน             | Fractionate                   | Fractionate                   |
|---------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                     |                    | ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์ | 23-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์ | 25-39 ผสม PGPR 0.5 เปอร์เซนต์ |
| สี                  | 4.20 <sup>a</sup>  | 4.47 <sup>a</sup>       | 3.20 <sup>b</sup>             | 3.13 <sup>b</sup>             |
| กลิ่นซ็อกโกแลต      | 4.20 <sup>a</sup>  | 4.20 <sup>a</sup>       | 3.40 <sup>b</sup>             | 3.40 <sup>b</sup>             |
| กลิ่นหื่นของไขมัน   | 1.07 <sup>b</sup>  | 1.00 <sup>b</sup>       | 1.40 <sup>a</sup>             | 1.07 <sup>b</sup>             |
| ความละเอียดของเนื้อ |                    |                         |                               |                               |
| ซ็อกโกแลต           | 4.67 <sup>a</sup>  | 3.87 <sup>b</sup>       | 4.60 <sup>a</sup>             | 4.67 <sup>a</sup>             |
| ความแข็ง            | 3.67 <sup>ab</sup> | 3.93 <sup>ab</sup>      | 3.60 <sup>b</sup>             | 4.26 <sup>a</sup>             |
| การหลอมละลายในปาก   | 3.87 <sup>a</sup>  | 3.93 <sup>a</sup>       | 3.60 <sup>a</sup>             | 4.07 <sup>a</sup>             |
| กลิ่นผิดพลาด        | 1.00 <sup>c</sup>  | 1.13 <sup>bc</sup>      | 2.07 <sup>a</sup>             | 1.53 <sup>b</sup>             |

หมายเหตุ a,b หมายถึงตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## ประวัติผู้วิจัย

|                    |  |
|--------------------|--|
| ชื่อ-สกุล          | นาย บุญญรัตน์ ชูเนตร์  |
| ภูมิลำเนา          | 57 หมู่ 5 ต. นาหมื่นเห็ด อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง 92140  |
| ที่อยู่ปัจจุบัน    | 1/123 หมู่ 2 ต.ท่าทราย อ.เมือง จ. สมุทรสาคร 74000  |
| ที่ทำงาน           | บริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด นิคมอุตสาหกรรม จ.สมุทรสาคร<br>โทรศัพท์ (034) 490031-3 ต่อ 333    |
| ประวัติการศึกษา    |  |
| พ.ศ. 2542          | สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา<br>เทคโนโลยีชีวภาพ จากมหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร |
| พ.ศ. 2550          | ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร<br>บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร                  |
| ประวัติการทำงาน    |  |
| พ.ศ. 2542-2545     | หัวหน้าแผนกฆ่าเชื้อ บริษัท นิโปร (ประเทศไทย) จำกัด<br>จ. พระนครศรีอยุธยา                           |
| พ.ศ. 2545-2550     | หัวหน้าแผนกควบคุมและประกันคุณภาพ บริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย)<br>จำกัด จ. สมุทรสาคร                 |
| พ.ศ. 2550-ปัจจุบัน | ผู้ช่วยผู้จัดการแผนกควบคุมและประกันคุณภาพ บริษัท ยูอาร์ซี<br>(ประเทศไทย) จำกัด จ. สมุทรสาคร        |