ผลของการกระจายของขนาดอนุภาคต่อการเกิด Fat Bloom ในช็อกโกแลต

Effect of Particle Size Distribution on Fat Bloom Formation of Dark Chocolate

ปวิชญา โภชฌงค์ (Pawitchaya Podchong)* ชัชฎาพร จรุมเครือ (Chadchadaporn Jarumkrua)**
โสภาค สอนไว (Sopark Sonwai)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการกระจายของขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันต่อการเกิด fat bloom ในช็อกโกแลต โดยผลิตช็อกโกแลตที่มีขนาดของอนุภาคแตกต่างกันและทำการ tempering ให้ผลึกอยู่ในรูปแบบ V การเกิด fat bloom จะถูกชักนำโดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ภายใต้อุณหภูมิ 27°C สลับกับ 29°C และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีขาวบริเวณพื้นผิว ปริมาณไขมันที่เป็นของแข็งในรูปผลึก และคุณสมบัติในการหลอมเหลวทุกสัปดาห์ในระหว่างการเก็บรักษาจนกระทั่งมีค่าคงที่ การวัดสีขาวบริเวณพื้นผิวและปริมาณไขมันที่เป็นของแข็งในรูปผลึกแสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ซึ่งช็อกโกแลตที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่า จากนั้นการเพิ่มขึ้นจะลดลงจนกระทั่งถึงระดับที่คงที่ โดยขนาดอนุภาคของแข็งที่แตกต่างกันยังมีผลต่อคุณสมบัติในการหลอมเหลวของช็อกโกแลตซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนรูปแบบผลึกจาก V ไปเป็น VI จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันมีผลต่อการเกิด fat bloom ในช็อกโกแลต โดยช็อกโกแลตที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าจะมีการเกิด fat bloom เร็วกว่าช็อกโกแลตที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า

ABSTRACT

The aim of this research is to study effect of particle size distribution on fat bloom formation in dark chocolate. Dark chocolates varying in particle size (PS) were processed and tempered. Bloom was induced by storing the products under repeated temperature-cycling between 27 and 29°C, and changes in surface whiteness, solid fat content and melting properties were evaluated every week during six weeks of storage. Measurements on surface whiteness and solid fat content showed initial rapid increases, which the larger particle size chocolates show faster both changes, followed by gradually decreasing gradient until reaching asymptotic levels. Solid particle size also influenced the speed of polymorphic transition form from V to VI. The sample with smaller particle size transformed more slowly towards form VI, implying that less fat bloom was occurring. Overall, these findings suggest that different particle size exhibited strong effect on fat bloom formation of dark chocolate. Products containing larger particle size showed faster fat bloom formation than these with smaller particle size.

คำสำคัญ: การกระจายของขนาดอนุภาคของแข็ง ช็อกโกแลต การเคลื่อนที่ของไขมัน

Key Words: Particle size distribution, Chocolate, Fat migration

** มหาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยศิลปากร*

*** บัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยศิลปากร*

**** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยศิลปากร*

บทนำ

การเกิด Fat bloom ในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตเป็นข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่สำคัญที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตขนมหวานในปัจจุบัน เนื่องจากมีผลต่อลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของช็อกโกแลต ปรากฏการณ์ทางกายภาพนี้สามารถสังเกตได้จากลักษณะปรากฏสีขาวหรือสีเทาที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของช็อกโกแลต เนื่องจากการตกผลึกใหม่ของเนยโกโก้เมื่อช็อกโกแลตมีการ Tempering ที่ไม่เพียงพอหรือเมื่อมีการผันแปรอุณหภูมิเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาและหรือการกระจายสินค้า ทำให้ช็อกโกแลตมีลักษณะปรากฏที่ไม่เรียบเนียน สีไม่สว่าง และไม่มันเงา (Hartel, 1999; Beckett, 2008)

งานวิจัยจำนวนมากให้เหตุผลว่าการเคลื่อนที่ของไขมันส่วนใหญ่ถูกชักนำโดยการเกิดรูปแบบผลึกที่เสถียร (รูปแบบ V) ที่ไม่เพียงพอของเนยโกโก้ในระหว่างการ Tempering การเปลี่ยนรูปแบบผลึกจากรูปแบบ V ไปเป็นรูปแบบ VI ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และการหลอมเหลวและตกผลึกใหม่ของผลึกที่มีจุดหลอมเหลวต่ำโดยไม่มีการ Tempering ใหม่ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีผลต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Hartel, 1999; Talbot, 1999; Briones และ Aguilera, 2005; Lonchampt และ Hartel, 2006; Afoakwa และคณะ, 2008a; Beckett, 2008)

แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับ fat Bloom จะเป็นที่รู้จักเป็นอย่างดีและมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุและกลไกการเกิด fat bloom แต่ก็ยังไม่มีข้อมูลใดที่สามารถอธิบายผลของการกระจายของขนาดอนุภาคต่อการเกิด fat bloom และอัตราการเกิด fat bloom ในช็อกโกแลตได้อย่างชัดเจน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการกระจายของขนาดอนุภาคที่ต่างกันต่อการเกิด fat bloom ในช็อกโกแลต ซึ่งการผลิตช็อกโกแลตในระดับอุตสาหกรรมนั้นมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดของอนุภาคของแข็งแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับ (grade) ของช็อกโกแลตว่าเป็นระดับธรรมดาหรือ premium เป็นต้น

วิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมส่วนผสมที่ใช้ในการทำช็อกโกแลตโดยใช้อัตราส่วนดังตารางที่ 1 แล้วทำการบดส่วนผสมในหม้อบดเป็นเวลา 2, 4 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำไปผ่านการทำ tempering แล้วเทใส่พิมพ์ จากนั้นทำให้แข็งตัวที่อุณหภูมิ 3°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 27°C สลับกับอุณหภูมิ 29°C อย่างละ 12 ชั่วโมง ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 6 สัปดาห์

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของช็อกโกแลต

ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ [%(w/w)]
โกโก้แมส	43.18%
เนยโกโก้	13.04%
น้ำตาลทราย	43.40%
เลซิทิน	0.30%
วานิลิน	0.08%

ที่มา: Beckett (2008)

วิธีการวิเคราะห์

1. ศึกษาขนาดและการกระจายของขนาดอนุภาคของแข็งในช็อกโกแลตหลังการบด โดยใช้เครื่อง Particle Size Analyzer LS 100Q

2. ศึกษาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาคของแข็งในช็อกโกแลตหลังการบด โดยใช้เครื่อง Polarized Light Microscopy (PLM) (Olympus CH-2, Japan)

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีบนพื้นผิวของช็อกโกแลตในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้เครื่องวัดสี (Color-view™ Spectrophotometer, (D65), Gardner) ซึ่งจะให้ค่า L*, a*, และ b* จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า whiteness index (WI) ด้วย

สมการ WI = $100-[(100-L^*)^2+(a^{*2})+(b^{*2})]^{0.5}$ (Briones และ Aguilera, 2005)

4. ศึกษาระดับของการตกผลึกของไขมันในช็อกโกแลตในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้เครื่อง pulse- Nuclear Magnetic Resonance (p-NMR)

5. ศึกษาคุณสมบัติในการหลอมเหลวของช็อกโกแลตโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) Perkin Elmer DSC 8000 ทำการทดลองตามวิธีของ Afoakwa และคณะ (2008b) โดยนำตัวอย่างช็อกโกแลตที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 8 สัปดาห์ มาให้ความร้อนจาก 20°C ไปยัง 80°C ด้วย อัตรา 5°C/min เพื่อหา thermogram ที่แสดงการหลอมเหลวของตัวอย่าง

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคในช็อกโกแลต

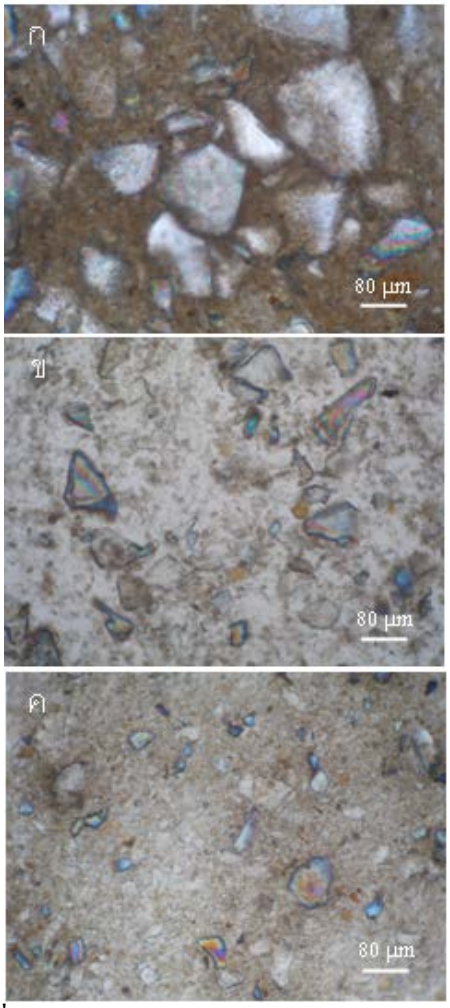
เมื่อศึกษาการกระจายของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่อง Particle Size Analyzer LS 100Q โดยประยุกต์ใช้วิธีของ Afoakwa และคณะ (2008a) ซึ่งกำหนดการกระจายของขนาดอนุภาคโดยใช้ค่า D_{90} (90% ของปริมาตรทั้งหมดของอนุภาคของแข็งมีขนาดเล็กกว่าขนาดนี้) พบว่าช็อกโกแลตที่ใช้ระยะเวลาในการบดต่างกันมีค่า D_{90} ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยช็อกโกแลตที่ใช้ระยะเวลาในการบดนานขึ้นจะมีค่า D_{90} ลดลง แสดงให้เห็นว่าช็อกโกแลตมีขนาดของอนุภาคเล็กลง

ตารางที่ 2 การกระจายขนาดอนุภาคของช็อกโกแลต

เวลาที่ใช้ในการบด (ช.ม.)	D_{90} (ไมโครเมตร)
2	123.60 ± 1.41
4	84.98 ± 1.52
10	48.12 ± 0.06

2. การศึกษาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาคในช็อกโกแลต

จากการศึกษาขนาดอนุภาคของแข็งในช็อกโกแลตหลังการบด โดยใช้เครื่อง PLM พบว่าช็อกโกแลตที่บดโดยใช้เวลา 2, 4 และ 10 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเล็กลงตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้จากภาพที่ 1 และมีรูปร่างแบบไม่แน่นอนหรือ irregular shapes

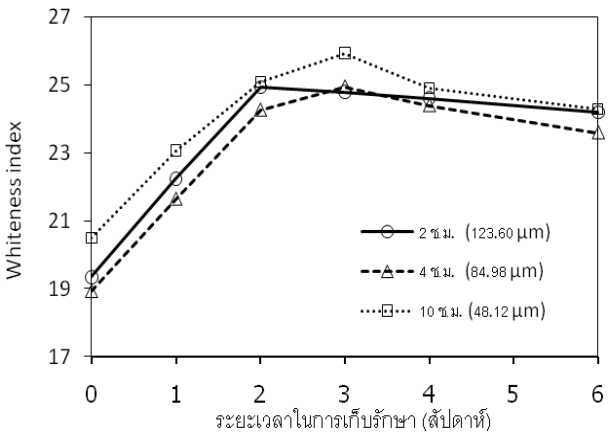


ภาพที่ 1 การกระจายของขนาดอนุภาคของช็อกโกแลตที่ได้จากเครื่อง PLM (ก) บด 2 ช.ม. (ข) บด 4 ช.ม. และ (ค) บด 10 ช.ม.

3. การวัดสี

การเกิด fat bloom ที่ผิวของช็อกโกแลตมีลักษณะเป็นจุดสีขาวกระจายอยู่ที่ผิวหน้า หรือเกิดการสูญเสียความมันเงาของผิวทำให้เห็นเป็นสีขาวหรือสีเทา (Nopens และคณะ, 2008) โดยเกิดจากไขมันเหลวเกิดการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างหรือรอยแยกเล็กๆมาที่ผิวหน้าของช็อกโกแลตแล้วเกิดการตกผลึกใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (>5 ไมโครเมตร) ซึ่งผลึกขนาดใหญ่จะเกิดการสะท้อนแสงและเห็นเป็นสีขาวเทา (Beckett, 2008)

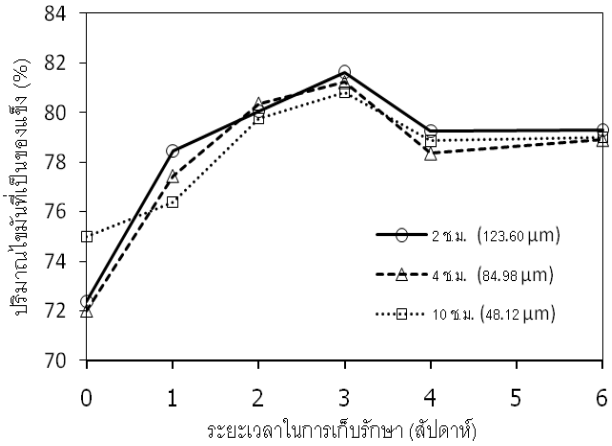
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในด้านสีบนพื้นผิวของช็อกโกแลต โดยใช้เครื่องวัดสี ซึ่งผลของการศึกษาจะแสดงในรูปของค่า whiteness index (WI) หรือค่าดัชนีความขาวที่สามารถแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของการเกิด fat bloom ที่ผิวของช็อกโกแลตได้ กล่าวคือเมื่อค่าความขาวของช็อกโกแลตเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิด fat bloom จะมีค่า WI เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า WI เปรียบเทียบกันระหว่างช็อกโกแลตที่มีการกระจายของขนาดอนุภาคแตกต่างกัน เมื่อทำการเก็บรักษาช็อกโกแลตที่อุณหภูมิ 27°C สลับกับอุณหภูมิ 29°C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จะเห็นว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 1 ค่า WI ของช็อกโกแลตที่แต่ละขนาดอนุภาคมีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 ค่า WI ของช็อกโกแลตที่บดโดยใช้เวลา 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง จะมีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันและมากกว่าช็อกโกแลตที่บดโดยใช้เวลา 10 ชั่วโมง จะเห็นว่าช็อกโกแลตที่มีขนาดของอนุภาคเล็กกว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของค่า WI น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่ามีการเกิด fat bloom ช้ากว่าช็อกโกแลตที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งคล้ายกับการเพิ่มขึ้นของสีขาวในช็อกโกแลตที่เกิด fat bloom ที่ได้เคยมีรายงานไว้ (Lonchampt และ Hartel, 2004; Lonchampt และ Hartel, 2006; Altimiras และคณะ, 2007) แต่เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นจะพบว่าค่า WI จะลดลงจนกระทั่งมีค่าคงที่ โดยรวมแล้วการเพิ่มขึ้นของค่า WI จากสัปดาห์ที่ 0 ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ของตัวอย่างที่ผ่านการบดนาน 2, 4 และ 6 ชั่วโมง เป็น 4.85, 4.67 และ 3.78 ตามลำดับ จะเห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านการบดนานที่สุดจนมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดนั้นมีการเพิ่มของค่า WI ต่ำที่สุด นั่นคือมีโอกาสเกิด bloom น้อยที่สุดนั่นเอง



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่า WI ระหว่างเก็บรักษา

4. การวิเคราะห์ระดับของการตกผลึก

Fat bloom เกิดจากไขมันเหลวเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างหรือรอยแยกเล็กๆมาที่ผิวหน้าของช็อกโกแลตแล้วเกิดการตกผลึกใหม่ (recrystallization) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (>5 ไมโครเมตร) การศึกษาระดับของการตกผลึกของไขมันในช็อกโกแลตจึงสามารถบ่งบอกการพัฒนาของ fat bloom ในช็อกโกแลตได้ จากการศึกษาระดับของการตกผลึกของไขมันในช็อกโกแลตโดยใช้เครื่อง p-NMR ติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันที่เป็นของแข็ง (SFC) โดยภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า SFC เปรียบเทียบกันระหว่างช็อกโกแลตที่มีการกระจายของขนาดอนุภาคแตกต่างกัน เมื่อทำการเก็บรักษาช็อกโกแลตที่อุณหภูมิ 27°C สลับกับอุณหภูมิ 29°C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จะพบว่าค่า SFC มีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่า SFC จากสัปดาห์ที่ 0 ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ของตัวอย่างที่ผ่านการบดนาน 2, 4 และ 6 ชั่วโมง เป็น 6.91, 6.89 และ 4.02 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่า WI ที่กล่าวไว้ข้างต้น จะเห็นว่าตัวอย่างช็อกโกแลตที่ผ่านการบดนานที่สุดจนมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดนั้นมีการเพิ่มของค่า SFC ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่ามีการเกิด fat bloom ช้ากว่าช็อกโกแลตที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ แต่เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นจะพบว่าปริมาณไขมันที่เป็นของแข็งของช็อกโกแลตที่มีการกระจายของขนาดอนุภาคแตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่

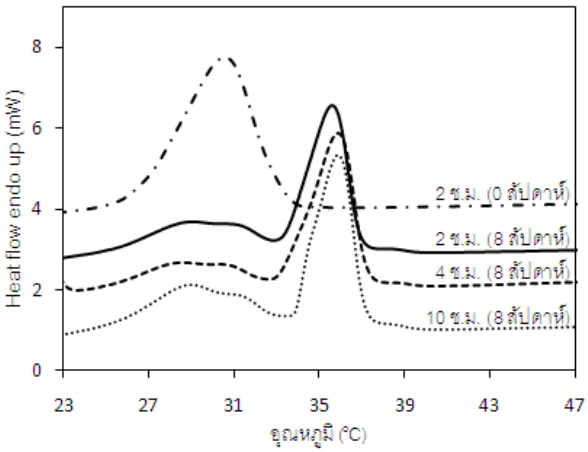


ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า SFC ระหว่างเก็บรักษา

5. การวิเคราะห์คุณสมบัติในการหลอมเหลว

การเกิด fat bloom จะมีการเปลี่ยนรูปแบบผลึกจากรูปแบบที่เสถียร (V) ไปเป็นรูปแบบที่เสถียรมากกว่า (VI) เนื่องจากรูปแบบผลึกของเนยโกโก้แต่ละรูปแบบจะมีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน การศึกษาคุณสมบัติในการหลอมเหลวของช็อกโกแลตจึงสามารถบ่งบอกการพัฒนาของ fat bloom ในช็อกโกแลตได้

จากการศึกษาคุณสมบัติในการหลอมเหลวของช็อกโกแลตโดยใช้เครื่อง DSC โดยภาพที่ 4 แสดง DSC thermogram ของช็อกโกแลตที่บดโดยใช้เวลา 2 ชั่วโมง หลังจากการ Tempering หรือที่สัปดาห์ที่ 0 พบว่ามี peak แสดงการหลอมเหลวเพียง peak เดียว โดยมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 30.5°C ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของผลึกรูปแบบ V ส่วน DSC thermogram ของช็อกโกแลตที่บดโดยใช้เวลา 4 และ 10 ชั่วโมงก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน และเมื่อนำช็อกโกแลตไปเก็บในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 27°C สลับกับอุณหภูมิ 29°C พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 8 สัปดาห์ ช็อกโกแลตที่บดโดยใช้เวลา 2, 4 และ 10 ชั่วโมง มี peak แสดงการหลอมเหลวอยู่ 2 peak โดย peak หลังมีตำแหน่งของจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 35.6, 35.8 และ 35.8°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของผลึกรูปแบบ VI โดยที่ทั้ง 3 ตัวอย่างยังคงแสดง peak การหลอมเหลวของผลึกรูปแบบ V อยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 29–31°C โดย peak ของผลึกรูปแบบ V จะหลงเหลืออยู่มากที่สุดสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการบดเป็นเวลา 10 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าหลังจากการ Tempering ช็อกโกแลตจะมีผลึกรูปแบบ V ทั้งหมด แต่เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นรูปแบบผลึกของช็อกโกแลตจะเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบ VI และมีรูปแบบ V หลงเหลืออยู่เป็นบางส่วน โดยช็อกโกแลตที่มีขนาดอนุภาคของแข็งที่ใหญ่กว่าจะมีการเปลี่ยนไปเป็นผลึกรูปแบบ VI มากกว่า (มีรูปแบบ V หลงเหลืออยู่น้อยกว่า) แสดงให้เห็นถึงการเกิด fat bloom ที่เร็วกว่า



ภาพที่ 4 DSC thermogram ของช็อกโกแลต

สรุปผลการวิจัย

อัตราของการเกิด fat bloom ของช็อกโกแลตที่ผ่านการ tempering ขึ้นอยู่กับการกระจายของขนาดอนุภาคของแข็งที่เป็นองค์ประกอบและระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยช็อกโกแลตที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าจะมีการเกิด fat bloom เร็วกว่าช็อกโกแลตที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการพัฒนาของ fat bloom มีสาเหตุมาจากแรง hydrodynamic ที่กระทำต่อไขมันที่เป็นของเหลวของผลึกไขมันที่ไม่เสถียร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ capillary ผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคและรูที่เชื่อมต่อกันมายังพื้นผิวของช็อกโกแลต ช็อกโกแลตที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ทำให้อัตราการพัฒนาของ fat bloom เกิดขึ้นเร็วกว่าช็อกโกแลตที่มีอนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีช่องว่างระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็ก

เอกสารอ้างอิง

Afoakwa, EO., Paterson, A. and Fowler, M. 2008a. Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. European Food Research and Technology. 226: 1259–1268.

Afoakwa, EO., Paterson, A., Fowler, M. and Vieira, J. 2008b. Characterization of melting properties in dark chocolates from varying particle size distribution and composition using differential scanning calorimetry. Food Research International. 41: 751–757.

Altimiras, P., Pyle, L. and Bouchon, P. 2007. Structure–fat migration relationships during storage of cocoa butter model bars: Bloom development and possible mechanisms. Journal of Food Engineering. 80: 600–610.

Beckett, ST. 2008. The Science of Chocolate, 2nd ed. London: Royal Society of Chemistry.

Briones, V. and Aguilera, JM. 2005. Image analysis of changes in surface color of chocolate. Food Research International. 38: 87–94.

Hartel, RW. 1999. Chocolate: fat bloom during storage. The influence of structural elements. The Manufacturing Confectioner. 79(5): 89–99.

Lonchampt, P. and Hartel, RW. 2004. Fat bloom in chocolate and compound coatings. European Journal of Lipid Science and Technology. 106: 241–274.

Lonchampt, P. and Hartel, RW. 2006. Surface bloom on improperly tempered chocolate. European Journal of Lipid Science and Technology. 108: 159–168.

Nopens, I., Foubert, I., Graef, VD., Laere, DV., Dewettinck, K. and Vanrolleghem, P. 2008. Automated image analysis tool for migration fat bloom evaluation of chocolate coated food products. Food Science and Technology. 41: 1884-1891.

Talbot, G. 1999. Chocolate temper. 3rd ed. In Beckett., ST. (ed.). Industrial Chocolate Manufacture and Use. Oxford: Blackwell Science.