

ผลขององค์ประกอบต่อเสถียรภาพของระบบอสัณฐานของน้ำตาลแอลกอฮอล์

Effect of Compositions on Stability of Amorphous Sugar Alcohol

ภคมณ ปภาศิริวาทย์¹ และชนินษฐา ธนาอนุวงศ์¹

Pakamon Pabhasiriwatt¹ and Kanitha Tananuwong¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบ ได้แก่ น้ำและน้ำตาลแอลกอฮอล์ต่อเสถียรภาพของระบบอสัณฐานของน้ำตาลแอลกอฮอล์ ซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิการเกิด glass transition (T_g) และพฤติกรรมการดูดความชื้น จากการศึกษาระบบอสัณฐานในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลทางการค้าพบว่า ตัวอย่างมีค่า T_g ต่างกันค่อนข้างมาก (33-45°C) ขึ้นอยู่กับความชื้น (1-2.5%) ชนิดและสัดส่วนของน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่เป็นส่วนผสม เมื่อศึกษาเสถียรภาพของระบบอสัณฐานจำลองที่มีไอโซมอลท์เป็นองค์ประกอบหลักพบว่า เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า T_g ของระบบลดลง และสามารถทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่า T_g และสัดส่วนโดยน้ำหนักของของแข็งแห้งในระบบตามสมการ Gordon-Taylor ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความชื้นเท่ากันเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำตาลแอลกอฮอล์กลุ่ม hydrogenated starch hydrolysates (HSH) ทำให้ค่า T_g ของระบบลดลง แต่ระบบที่ประกอบด้วย HSH 10% โดยน้ำหนักแห้ง มีค่า T_g ไม่ต่างจากระบบไอโซมอลท์บริสุทธิ์มากนัก และระบบทั้งสองให้ sorption isotherm ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงอาจนำระบบที่ประกอบด้วย HSH 10% และ ไอโซมอลท์ 90% โดยน้ำหนักแห้ง ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่สามารถคงสถานะแก้วที่เสถียรที่อุณหภูมิห้องในประเทศเขตร้อนได้

คำสำคัญ : ระบบอสัณฐาน ลูกกวาดเนื้อแข็ง, ไอโซมอลท์ hydrogenate starch, hydrolysates, glass transition, sorption isotherm

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effect of compositions, which were water and sugar alcohols, on the stability of amorphous sugar alcohol, determined by glass transition temperature (T_g) and sorption isotherm. According to the study in amorphous system in the form of commercial sugarless hard candy, the samples had different T_g (33-45°C) depending on moisture content (1-2.5%), type and fraction of sugar alcohols in the samples. Stability study of the model amorphous system having isomalt as a major ingredient showed that T_g of the system decreased with increasing moisture content. The relationship between T_g and weight fraction of dry matter in the system was predicted by Gordon-Taylor equation. Moreover, at the same moisture content, increasing HSH ratio caused a decrease in T_g . However, T_g of the system containing 10% HSH (w/w, dry basis) were not much different from that of the pure isomalt system. In addition, both systems had

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

similar sorption isotherm. Therefore, the system containing 10% HSH and 90% isomalt (w/w, dry basis) may be developed to the sugarless hard candy that can be in a stable glassy state at room temperature of tropical climate region.

Keywords : amorphous system, hard candy, isomalt, hydrogenate starch hydrolysates, glass transition, sorption isotherm

E-mail : p_pakamon@hotmail.com

คำนำ

ลูกกวาดเนื้อแข็งจัดเป็นผลิตภัณฑ์อสังฐาน (Hartel, 1987; Liu, Bhandari และ Zhou, 2006) เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เช่น เกิดการเหลวตัวหรือการตกผลึกเนื่องจากปรากฏการณ์ Glass transition (Levine และ Slade, 1988) ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเกิด Glass transition (T_g) ของผลิตภัณฑ์ ในการผลิตลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลจึงนิยมเลือกใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีค่า T_g สูง เช่น ไอโซมอลท์ และแลคทิทอล (Mitchell, 2006) เพื่อให้ได้ลูกกวาดเนื้อแข็งที่มีค่า T_g สูง และยังคงอยู่ในสถานะแก้ว (Glassy state) ที่มีเสถียรภาพสูงได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ยังคงพบปัญหาการเกิดผลึกระหว่างการเก็บรักษาลูกกวาดเนื้อแข็งที่ผลิตจากน้ำตาลแอลกอฮอล์กลุ่มดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาผลของการเติมน้ำตาลแอลกอฮอล์กลุ่ม Doctoring agent เช่น Hydrogenated Starch Hydrolysates (HSH) และ Hydrogenated polydextrose เพื่อช่วยเพิ่มความหนืดให้แก่ระบบและป้องกันหรือชะลอการเกิดผลึก (Raudonus และคณะ, 2000) จากการทบทวนเอกสารพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของ Doctoring agent ต่อคุณภาพและเสถียรภาพของลูกกวาดเนื้อแข็งไร้น้ำตาลยังมีจำกัดและยังให้ผลที่ขัดแย้งกัน (Raudonus และคณะ, 2000; McFetridge, Rades และ Lim, 2004) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบ ได้แก่ ปริมาณน้ำ ชนิดและสัดส่วนของน้ำตาลแอลกอฮอล์ต่อเสถียรภาพของระบบอสังฐานของน้ำตาลแอลกอฮอล์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่ยังคงอยู่ในสถานะแก้วที่เสถียรเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นดังเช่นประเทศไทยได้

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาล

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมและแหล่งผลิตของผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่ใช้ในงานวิจัยนี้

รหัสตัวอย่าง	น้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นส่วนผสม ^{1/}	ประเทศผู้ผลิต
SFC 1	ไอโซมอลท์ 95 % ซอร์บิทอล 0.61 %	ประเทศสวีเดน
SFC 2	ไอโซมอลท์ 92 %	ประเทศไทย
SFC 3	ไอโซมอลท์ 86.6 % มอลทิทอล 10 %	ประเทศเยอรมันนี
SFC 4	มอลทิทอล 99 %	ประเทศไทย

^{1/} ระบุบนฉลากผลิตภัณฑ์

การเตรียมตัวอย่างระบบออสฐานผสม

เตรียมตัวอย่างระบบออสฐานผสมระหว่างไอโซมอลท์บริสุทธิ์ (Palatinit, ประเทศเยอรมันนี) และ Hydrogenated starch hydrolysate (HSH) (ประกอบด้วย ซอร์บิทอลไม่เกิน 7% มอลทิทอล 43-53% และ น้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำตาลต่อกันมากกว่า 3 หน่วย 16-30%, Ueno Fine Chemicals, ประเทศไทย) แปร ปริมาณ HSH ในสัดส่วน 10% และ 20% โดยน้ำหนักแห้ง ผสมน้ำตาลแอลกอฮอล์และน้ำให้มีสัดส่วนของแข็ง 70% โดยน้ำหนัก ต้มเคี่ยวส่วนผสมภายใต้ความดันบรรยากาศจนถึงอุณหภูมิประมาณ 105-160°C เพื่อให้ได้ ตัวอย่างที่มีความชื้นสุดท้ายในช่วง 0-15% แล้วจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ความชื้นและค่า T_g ต่อไป

การวิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่างระบบออสฐานผสม

วิเคราะห์ความชื้นโดยใช้ Karl-Fischer coulometric titrator (795 KFT Titrino และ 703 Ti Stand, Metrohm, Switzerland) โดยใช้ตัวอย่างปริมาณ 0.1-0.5 กรัม (หากตัวอย่างเป็นของแข็งต้องบดตัวอย่างก่อน) ทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์อุณหภูมิการเกิด Glass transition (T_g)

วิเคราะห์ค่า T_g ของตัวอย่างด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) (model Diamond DSC, Perkin-Elmer, USA) โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิกรัม (หากตัวอย่างเป็นของแข็งต้องบดตัวอย่างก่อน) บรรจุลงใน Aluminium volatile sample pan (Perkin-Elmer, USA) ปิดฝาให้ความร้อนแก่ Sample pan และ Reference pan (pan เปล่า) ด้วยอัตรา 10°C/นาที จากอุณหภูมิ $T_g-30^\circ\text{C}$ ถึง $T_g+30^\circ\text{C}$ scan ตัวอย่าง ซ้ำ 2 ครั้ง ใช้ข้อมูลจากการ scan ครั้งที่ 2 เพื่อหาค่า T_g (°C) โดยใช้ Pyris software version 8.0 ในการหาค่า T_g จะใช้เทคนิค half C_p extrapolated ซึ่ง ค่า T_g ที่รายงานคือ ค่า T_g midpoint พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า T_g ของตัวอย่างระบบออสฐานผสมและสัดส่วนโดยน้ำหนักของของแข็งในระบบตามสมการของ Gordon-Taylor (Gordon และ Taylor, 1952) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ทดลอง 3 ซ้ำ

การศึกษาพฤติกรรมการดูดความชื้นของระบบออสฐานผสม

สร้าง Sorption isotherm ของตัวอย่างโดยดัดแปลงจากวิธีของ Hadjikinova, Menkov และ Hadjikinov (2003) ชั่งตัวอย่าง 0.5 ± 0.1 กรัม ใส่ในจานแก้ว และนำไปไว้ในโถบรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว 7 ชนิด (LiCl,

MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaNO₂, NaCl, KCl) ที่ให้ค่า Water activity (a_w) คงที่ในช่วง 0.11-0.84 เก็บตัวอย่างในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30±0.1°C จนระบบเข้าสู่สมดุลจึงนำตัวอย่างไปหาความชื้นโดยการอบที่อุณหภูมิ 105°C ทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความชื้นและค่า T_g ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาล

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่นำมาวิเคราะห์มีความชื้นใกล้เคียงกัน (1-2.5%) แต่มีค่า T_g ต่างกันค่อนข้างมาก (33-45°C) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีส่วนผสมของน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกันทั้งด้านชนิดและปริมาณ เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่มีความชื้นใกล้เคียงกันเช่น SFC 1 และ SFC 4 พบว่า ตัวอย่าง SFC 1 มีส่วนผสมหลักคือ ไอโซมอลท์ ส่วนตัวอย่าง SFC 4 มีส่วนผสมหลักคือ มอลทิทอล ซึ่งค่า T_g ของมอลทิทอลและไอโซมอลท์บริสุทธิ์ที่ปราศจากน้ำมีค่า 50°C และ 63.6°C ตามลำดับ (Siniti, Jabrane และ Letoffe, 1998; Raudonus และคณะ, 2000) จึงอาจเป็นผลให้ตัวอย่าง SFC 1 มีค่า T_g สูงกว่าตัวอย่าง SFC 4 อย่างไรก็ดีผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่นำมาวิเคราะห์อาจเกิด Glass transition ที่อุณหภูมิห้องของประเทศในเขตร้อนดังเช่นประเทศไทยได้

ตารางที่ 2 ความชื้นและค่า T_g ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาล^{1/}

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	T _g (°C)
SFC 1	1.97 ± 0.07	44.38 ± 1.41
SFC 2	2.27 ± 0.10	37.51 ± 0.47
SFC 3	2.48 ± 0.05	33.37 ± 0.24
SFC 4	1.86 ± 0.16	35.35 ± 2.11

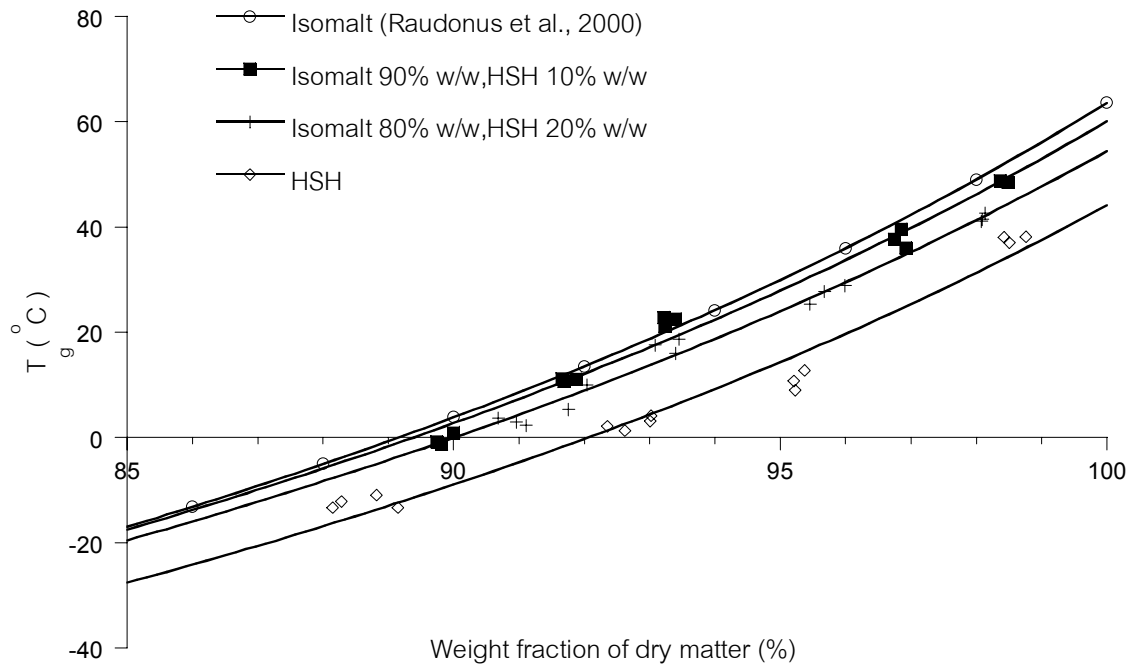
^{1/} แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลขององค์ประกอบต่อค่า T_g ของตัวอย่างระบบอสัณฐานผสม

จากภาพที่ 1 พบว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น (สัดส่วนของแข็งลดลง) จะส่งผลให้ค่า T_g ลดลง และที่ความชื้นเท่ากัน การเติม HSH กลับทำให้ค่า T_g ของระบบผสมมีค่าต่ำกว่า T_g ของระบบไอโซมอลท์บริสุทธิ์ แต่ยังสามารถทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่า T_g ของตัวอย่างระบบอสัณฐานผสมและสัดส่วนโดยน้ำหนักของของแข็งในระบบโดยใช้สมการของ Gordon-Taylor ได้ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$T_g = \frac{w_1 T_{g1} + k w_2 T_{g2}}{w_1 + k w_2} \quad (1)$$

โดย T_{g1} คือ T_g ของของแข็งบริสุทธิ์ที่ปราศจากน้ำ T_{g2} คือ T_g ของน้ำบริสุทธิ์ ในที่นี้กำหนดให้มีค่า -134°C (Johari, Hallbrucker และ Mayer, 1987) w₁ และ w₂ คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของของแข็งและน้ำในระบบตามลำดับ k คือ ค่าคงที่ แสดงถึงความไวของการเปลี่ยนแปลงค่า T_g เมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง



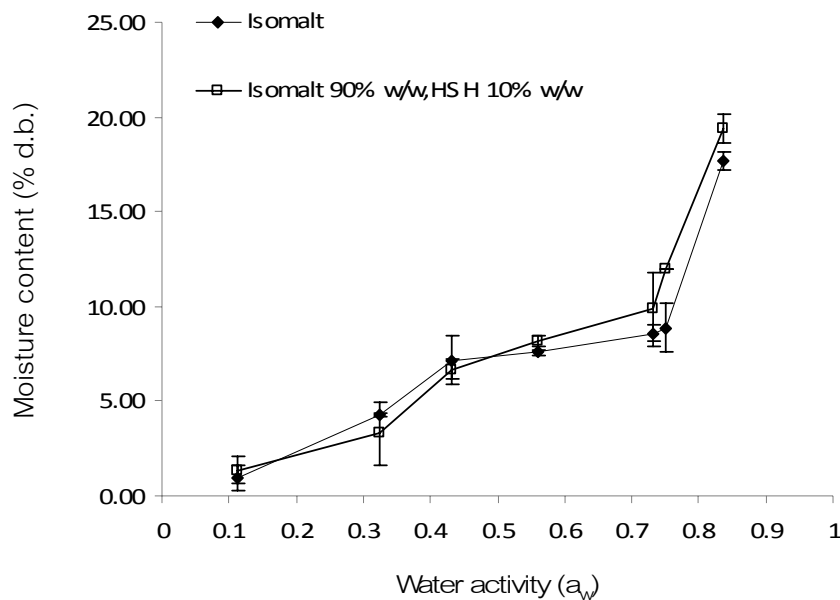
ภาพที่ 1 ค่า T_g ของระบบออสฐานที่ประกอบด้วยไอโซมอลท์บริสุทธิ์ HSH บริสุทธิ์ (อ้างอิงจาก Raudonus และคณะ, 2000) และระบบผสมระหว่างไอโซมอลท์และ HSH ในสัดส่วน 10% และ 20% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อมีสัดส่วนโดยน้ำหนักของของแข็งในระบบต่างกัน เส้นตรงแสดงค่าที่ทำนายได้จากสมการ Gordon-Taylor

เมื่อพิจารณาตารางที่ 3 พบว่าค่า T_g ของ HSH บริสุทธิ์ที่ปราศจากน้ำมีค่า 44.2°C ดังนั้นการแทนที่ HSH ในสัดส่วนที่มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่า T_g ของระบบผสมลดลงแต่ยังคงมีค่าสูงกว่า 44.2°C ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ McFetridge, Rades และ Lim (2004) ซึ่งพบว่าการแทนที่ HSH ที่มีค่า T_g ต่ำกว่าค่า T_g ของไอโซมอลท์ในทุกสัดส่วนจะส่งผลให้ระบบผสมมีค่า T_g ต่ำลง แต่ยังมีค่าอยู่ระหว่างค่า T_g ของ HSH บริสุทธิ์และไอโซมอลท์บริสุทธิ์ ส่วนค่า k ของระบบออสฐานผสมมีค่าใกล้เคียงกับค่า k ของระบบไอโซมอลท์บริสุทธิ์ เมื่อคำนวณค่า T_g ของระบบจากสมการ Gordon-Taylor ที่ความชื้น 2% ซึ่งใกล้เคียงกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งทางการค้า (ตารางที่ 1) พบว่าระบบที่ประกอบด้วย HSH 10% ยังมีค่า T_g สูงและไม่ต่างจากระบบไอโซมอลท์บริสุทธิ์ และเมื่อพิจารณาพฤติกรรมการดูดความชื้น (ภาพที่ 2) พบว่า Sorption isotherm ของระบบที่ประกอบด้วย HSH 10% ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากระบบของไอโซมอลท์บริสุทธิ์ โดยที่ค่า a_w 0.7-0.8 ระบบที่ประกอบด้วย HSH 10% มีความชื้นที่สมดุลสูงกว่าระบบไอโซมอลท์บริสุทธิ์ไม่เกิน 3.5% แสดงถึงความสามารถในการดูดความชื้นที่ใกล้เคียงกัน พฤติกรรมการดูดความชื้นของระบบที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดของน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบนี้มีรายงานไว้ในงานวิจัยของ Hadjikinova, Menkov และ Hadjikinov (2003) ซึ่งพบว่าที่ค่า a_w สูง (>0.75) ระบบ ออสฐานซอร์บิทอลมีความชื้นที่สมดุลสูงกว่าระบบออสฐานไอโซมอลท์ประมาณ 20% ความสามารถในการดูดความชื้นดีกว่าของระบบซอร์บิทอลนี้อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพต่ำลง เนื่องจากความสามารถในการเป็น plasticizer ของน้ำ ซึ่งจะลดค่า T_g ของระบบได้ดีเมื่อระบบมีความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของระบบเนื่องจากปรากฏการณ์ Glass transition ที่อุณหภูมิที่ต่ำลงได้

ตารางที่ 3 ค่า T_g และค่า k ของระบบบอัสฐานของไอโซมอลท์บริสุทธิ์ HSH บริสุทธิ์ และระบบผสมระหว่างไอโซมอลท์และ HSH ในสัดส่วน 10% และ 20% โดยน้ำหนักแห้ง

ส่วนประกอบ	k	T_g (°C) ^{1/}		R ²
		ระบบที่ปราศจากน้ำ	ระบบที่มีความชื้น 2%	
Isomalt ^{2/}	3.9	63.6	49.0	-
Isomalt 90%+HSH 10 %	3.8	60.1	46.1	0.991
Isomalt 80%+HSH 20 %	3.7	54.4	41.2	0.993
HSH 100%	3.8	44.2	31.4	0.984

^{1/} คำนวณจากสมการ Gordon-Taylor ^{2/} ข้อมูลจาก Raudonus และคณะ (2000)



ภาพที่ 2 Moisture sorption isotherm ของระบบบอัสฐานที่ประกอบด้วยไอโซมอลท์บริสุทธิ์ และระบบผสมระหว่างไอโซมอลท์และ HSH ในสัดส่วน 10% โดยน้ำหนักแห้ง

เมื่อพิจารณาค่า T_g ร่วมกับพฤติกรรมการดูดความชื้น พบว่าระบบบอัสฐานที่ประกอบด้วย HSH 10% อาจนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่สามารถคงสถานะแก้วที่อุณหภูมิห้องในประเทศเขตร้อนได้ ซึ่งการทดแทนไอโซมอลท์ด้วย HSH นอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้ว HSH อาจเป็น Doctoring agent ที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดผลึกของไอโซมอลท์ในลูกกวาดเนื้อแข็งได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันสมมติฐานดังกล่าว

สรุปผลและเสนอแนะ

ชนิดและปริมาณของน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลส่งผลต่อเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลทางการค้าที่นำมาวิเคราะห์มีค่า T_g อยู่ในช่วง 33-45°C ซึ่งอาจเกิด Glass transition ที่อุณหภูมิห้องของประเทศในเขตร้อนได้ เมื่อ

พิจารณาระบบอสัณฐานผสมระหว่างไอโซมอลท์และ HSH พบว่าที่ความชื้น 2% ระบบที่ประกอบด้วย HSH 10% มีค่า T_g ใกล้เคียงกับค่า T_g ของระบบไอโซมอลท์บริสุทธิ์ และ Sorption isotherm ของระบบที่ประกอบด้วย HSH 10% ยังมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากระบบของไอโซมอลท์บริสุทธิ์ ดังนั้นระบบอสัณฐานที่ประกอบด้วย HSH 10% อาจนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเนื้อแข็งสูตรไร้น้ำตาลที่สามารถคงสถานะแก้วที่อุณหภูมิห้องของประเทศไทยหรือประเทศเขตร้อนอื่นๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

- Gordon, M., and Taylor, J. S. 1952. Ideal copolymers and the second order transitions of synthetic rubbers I Non-crystalline copolymers. *Journal of Applied Chemistry* 2(9) : 493-500.
- Hadjikinova, M., Menkov, N., and Hadjikinov, D. 2003. Sorption characteristics of dietary hard candy. *Journal of Food Science* 21(3) : 97-99.
- Hartel, R. W. 1987. Sugar crystallization in confectionery products. *The Manufacturing Confectioner* 67(10) : 59-65.
- Johari, G. P., Hallbrucker, A., and Mayer, E. 1987. The glass-liquid transition of hypersequenced water. *Nature* 300 : 552-553.
- Levine, L., and Slade, L. 1988. *Food Structure - Its Creation and Evaluation*. London : Butterworths.
- Liu, Y., Bhandari, B., and Zhou, W. 2006. Glass transition and enthalpy relaxation of amorphous food saccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(16) : 5701-5717.
- McFetridge, J., Rades, T., and Lim, M. 2004. Influence of hydrogenated starch hydrolysates on the glass transition and crystallization of sugar alcohols. *Food Research International* 37(5) : 409-415.
- Mitchell, H. 2006. *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. Oxford : Blackwell publishing.
- Raudonus, J., Bernard, J., Janssen, H., Kowalczyk, J., and Carle, R. 2000. Effect of oligomeric or polymeric additives on glass transition, viscosity and crystallization of amorphous isomalt. *Food Research International* 33(1) : 41-51.
- Siniti, M., Jabrane, S., and Letoffe, J. M. 1998. Study of the respective binary phase diagrams of sorbitol. *Thermochimica Acta* 325(2) : 171-180