

ชื่อผลงานวิจัย: บทบาทของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและเกาะตัวกันของนมผงที่ผ่านระบบเครื่องพ่นฝอย

Title Research: Role of Protein and Carbohydrate Components on Mechanical Properties and Stickiness of Spray-Dried Milk Solids

ชื่อเจ้าของผลงาน: นางสาวณัฏฐิกา ศิลาสาย และ Professor Yrjö H. Roos

แหล่งทุนอุดหนุน: Food Institutional Research Measure (FIRM), Department of Agriculture, Food and Fisheries ภายใต้ชื่อโครงการ "Investigation of stickiness of milk powder for the purpose of improved process control in milk powder manufacture" (06RDTMFRC443)

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)

Stickiness is a significant problem for spray drying process and handling in food powder industries. Stickiness correlates with changes in mechanical properties and often results from glass transition and solids composition. The objectives of the study was to investigate mechanical properties of skim milk solids and mixtures of powders with added proteins and maltodextrins around glass transition and to reduce stickiness behavior of powders during the processes and storage. The magnitudes of changes in mechanical properties were less pronounced in milk solids with high protein and milk solids with maltodextrin. Stickiness was reduced with increasing protein content and maltodextrin content due to miscibility of protein and maltodextrin with lactose, which was responsible for the change in mechanical properties around the glass transition. Therefore, the mixes of milk solids with protein and maltodextrin could improve dehydration characteristics and powder stability.

Key Word: Glass Transition, Mechanical Properties, Stickiness

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

การเกาะตัวกันของนมผงเป็นปัญหาสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมนมผงสำหรับกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องพ่นฝอย โดยองค์ประกอบของของแข็งในอาหารมีผลต่อการค่าอุณหภูมิ T_g เกาะตัวกันของนมผงและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลที่บริเวณอุณหภูมิ T_g วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นครั้งนี้คือ เพื่อศึกษาอิทธิพลของโปรตีนและมอลโตเดกซ์ทรินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและการเกาะตัวกันของนมผง จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและการเกาะตัวกันของนมผงลดลง เมื่อมีการเติมสารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ของโปรตีนและมอลโตเดกซ์ทรินลงไป เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้จะไปลดหรือขัดขวางการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของแลคโตสในนมผงนั่นเอง

คำสำคัญ: อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน สมบัติทางกล การเกาะตัวกันของนมผง

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจับเกาะตัวกันของนมผงเป็นปัญหาสำคัญอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรมนมผงสำหรับกระบวนการผลิตนมผงด้วยเครื่องพ่นฝอย (spray dryer) โดยคุณลักษณะที่เกิดขึ้นนั้นไม่เป็นที่ต้องการให้เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากนำไปสู่การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ผลผลิตที่ได้ลดลงและยังก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต การตรวจสอบการเกาะกันของนมผงสามารถวัดได้หลายวิธี เช่น โดยวิธีทางตรงหรือทางอ้อม แต่การวัดการเกาะตัวกัน

ของนมผงด้วยวิธีทางตรง มักต้องใช้ปริมาณนมผงจำนวนมากในการวัดและค่อนข้างใช้เวลานาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการเสนอวิธีการวัดการเกาะตัวกันของนมผงด้วยวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นดัชนีลดการเกาะตัวกันของนมผงในระหว่างกระบวนการผลิต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อต้องการนำวิธี DMA มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของนมผงที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันมาเป็นดัชนีวัดการเกาะตัวกันของนมผง และเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลขององค์ประกอบของแข็งที่ส่งผลต่อการเกาะตัวกันของนมผงด้วย

นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

การเกาะตัวกันของนมผง (Stickiness) คือการที่อนุภาคของนมผงที่อยู่ใกล้กันเกิดการเกาะติดกันและจับตัวกันเป็นก้อนในระหว่างการผลิตหรือการเก็บรักษา

กรอบแนวคิดในการวิจัยและวรรณกรรมสนับสนุนกรอบแนวคิด

น้ำตาลนมหรือที่เรียกกันว่าแลคโตสเป็นน้ำตาลที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการทำให้เกิดการจับเกาะตัวกันของนมผง (Stickiness) ในระหว่างการผลิตและเก็บรักษา (Rennie et al., 1999) ซึ่งการจับเกาะตัวกันของนมผงจะสังเกตได้ที่อุณหภูมิที่ปลดความเหนียวของผิวอนุภาคนมผงให้ต่ำกว่าจุดวิกฤต ซึ่งจุดนี้ถูกเรียกว่า อุณหภูมิที่ให้นมผงจับตัวกัน หรือ 'Sticky-point temperature' (Downton et al., 1982) โดยค่า sticky-point temperature มีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) โดยอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเกาะกันเป็นก้อนนั้นเกิดที่อุณหภูมิเหนืออุณหภูมิ T_g ประมาณ 10-20 องศาเซลเซียส (Roos and Karel, 1991) นอกจากนั้นยังพบว่าค่า T_g มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล (Mechanical properties) หรือเรียกว่า α -Relaxation ซึ่ง Dynamic-mechanical analysis (DMA) เป็นวิธีหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลบริเวณอุณหภูมิค่า T_g (Roudaut et al., 2001) แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบในอาหารเองก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า T_g และสมบัติทางกลของอาหารด้วยเช่นกัน

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบในการศึกษา: ในการทดลองครั้งนี้วัตถุดิบที่ใช้คือ แลคโตส (lactose) นมผงที่มีปริมาณที่มีปริมาณโปรตีนสูง (MPC-55) และนมผงที่มีการเติมมอลโตเด็คซ์ตริน (SMP-MD) ซึ่งผ่านการผลิตด้วยเครื่องพ่นฝอย (spray dryer) ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์จาก Moorepark Technology Ltd, Fermoy, Co. Cork ประเทศไอร์แลนด์ โดยปริมาณ 1 กรัมของตัวอย่างแต่ละชนิด ถูกทำให้แห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (WTC binder, Tuttlingen, Germany) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปเก็บในโถสุญญากาศที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity; RH) ต่างๆ (11, 23, 33 และ 44% RH) จากนั้นตัวอย่างเหล่านี้ถูกนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล อุณหภูมิ T_g และการเกาะตัวกันของนมผง สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล ตัวอย่างนมผง (60 มิลลิกรัม) ถูกบรรจุลงในแผ่นสเทลเลส (Triton Technology Ltd.) แล้วพับครึ่งคล้ายๆกับแซนวิช ซึ่งตัวอย่างถูกวิเคราะห์จากอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสไปจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ของค่า T_g ด้วยอัตราเร็ว 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ค่าที่ถูกบันทึกคือ storage modulus (E') ที่ความถี่ 0.5, 1, 5, 10 และ 20 Hz ส่วนการวิเคราะห์อุณหภูมิ T_g ทำโดยใช้เครื่อง DSC (Mettler Toledo, Schwerzenbach, Switzerland) ซึ่งตัวอย่าง (5-15 มิลลิกรัม) ถูกบรรจุในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 40 ไมโครลิตร และถ้วยเปล่าถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง

(reference) ในการวิเคราะห์ ซึ่งตัวอย่างและตัวอย่างถูกเพิ่มอุณหภูมิครั้งแรกในอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีเหนือค่า T_g ของของแข็งในตัวอย่าง แล้วทำให้เย็นด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสของค่า T_g จากนั้นก็จะเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียสของค่า T_g ของของแข็งในตัวอย่างนมผง ส่วนการวิเคราะห์การเกาะตัวกันของนมผงนั้นวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น R/S Rheometer (Harlow Essex CM195TJ, England) ซึ่งปรับปรุงตามวิธีการทดลองของ Özkan et al. (2002) โดยใช้ตัวอย่างนมผงประมาณ 50 กรัมในการวิเคราะห์ อุณหภูมิใช้ในการวิเคราะห์คือ 20-80 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของใบพัด (spindle) คือ 0.3 rpm เป็นเวลา 40 วินาที โดยใบพัดที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์นมผงนี้เป็นใบพัดรูปตัว L ที่ปรับปรุงขึ้นมาตามการทดลองของ Özkan et al. (2002)

ผลการวิจัย

องค์ประกอบของแข็งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของนมผง โดยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล (mechanical properties) ของนมผงจะได้รับกระทบมาจากปริมาณแลคโตส อย่างไรก็ตามค่า T_α จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมโปรตีนและมอลโตเด็คซ์ตริน และการเคลื่อนไหวของโมเลกุลแลคโตสบริเวณ T_g ลดลงเมื่อปริมาณโปรตีนและมอลโตเด็คซ์ตรินเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของ modulus ซึ่งการเพิ่มปริมาณโปรตีนและมอลโตเด็คซ์ตรินสามารถลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตในนมผงลง ทำให้การเคลื่อนไหวของโมเลกุลแลคโตสถูกจำกัด นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของ modulus ยังมีความสัมพันธ์กับการเกิด stickiness บริเวณ T_g ของนมผงด้วย ดังนั้นการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบของของแข็งที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์นมผงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและการเกาะตัวกันของนมผง นอกจากนั้นการใช้ DMA เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการเกาะตัวกันของนมผงในระหว่างการผลิต

การอภิปรายผล

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล (mechanical properties) ของนมผงสามารถดูได้จากค่า storage modulus (E') บริเวณอุณหภูมิค่า T_g (FIG. 1) พบว่าค่า storage modulus ของนมผงจะลดลงอย่างมากที่บริเวณอุณหภูมิค่า T_g ซึ่งการลดลงนี้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลบริเวณอุณหภูมิค่า T_g (Champion et al., 2000; Roudaut et al., 2004) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของ modulus จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในนมผงด้วย โดยนมผงที่ประกอบด้วยโปรตีนสูงและมอลโตเด็คซ์ตรินนั้นแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลเพียงเล็กน้อยซึ่งสังเกตได้จากค่าการลดลงของ storage modulus ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลและความสามารถในการเคลื่อนไหวของโมเลกุลใหญ่ โดยโปรตีนและมอลโตเด็คซ์ตรินเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งอาจแทรกรวมตัวกับสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็กจึงเพิ่มความหนืดของของผสม (Frere and Gramain, 1992; Hin and Nam, 2002; Kalichevsky et al., 1993; Lopez-Diez and Bone, 2000) ส่งผลต่อการขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแลคโตสและให้การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลที่ลดลงนั่นเอง การเกาะจับตัวกันของนมผงสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Torque และอุณหภูมิ (FIG. 2) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าค่า Torque ของแลคโตสมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ในขณะที่ค่า Torque ของนมผงที่เพิ่มโปรตีนและมอลโตเด็คซ์ตรินมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในบริเวณค่า T_g ทั้งนี้เนื่องมาจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของแลคโตสในนมผงที่เติมโปรตีนและมอลโตเด็คซ์ตรินถูกจำกัดการเคลื่อนไหวส่งผลให้เกิดการลดลงของการเกาะตัวกันของนมผงนั่นเอง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล นอกจากนั้นความสัมพันธ์ของการเกาะตัวกัน (stickiness) ของนมผงสามารถอธิบายร่วมกับค่า T_g และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล (α -Relaxation) ได้แสดงใน FIG. 3 โดยใช้สมการ Gordon-Taylor (G-T) ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง T_g ,

α -Relaxation และ Stickiness ของนมผง พบว่าค่า T_α และ Stickiness เกิดที่อุณหภูมิเหนือค่า T_g และค่าเหล่านี้จะลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจาก water plasticization (Roos and Karel, 1991b; Bhandari et al., 1997) และการเกาะตัวกันของอนุภาคนมผงหรือ stickiness เกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g ประมาณ 20 องศาเซลเซียส (Roos and Karel, 1991a) ในการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า T_α ที่วัดได้จาก DMA มีค่าสูงกว่า T_g แต่จะเกิดใกล้ๆกับอุณหภูมิของการเกาะติดกันของนมผง (sticky-point) นั้นหมายความว่าค่า α -Relaxation เกิดขึ้นพร้อมๆกับการเกิด stickiness บริเวณค่า T_g ของนมผง และค่า α -Relaxation ยังได้รับผลกระทบจากองค์ประกอบของของแข็งอย่างโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในนมผงอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ควรทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมในเรื่องของลักษณะทางรูปพรรณสัณฐาน (Morphology) ของอนุภาคตัวอย่างนมผงโดยใช้ Scanning Electron Microscopy (SEM) รวมไปถึงการใช้ Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy เพื่อศึกษาถึงโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างนมผงและสามารถนำมาใช้อธิบายประกอบเพิ่มเติมและยืนยันผลได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Rennie, P.R., Chen, X.D., Hargreaves, J.B., Mackereth, A.R. (1999). A study of the cohesion of dairy of powders. *Journal of Food Engineering* 39: 277-284.
- [2] Downton, G.E., Flores-Luna, J.L., King, C.J. (1982). Mechanism of stickiness in hygroscopic amorphous powders. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals* 21: 447-451.
- [3] Roos, Y.H., Karel, M. (1991a). Phase transition of mixtures of amorphous polysaccharides and sugars. *Biotechnology Progress* 7: 49-53.
- [4] Roudaut, G., Simatos, D., Champion, D., Contreras-Lopez, E., Le Meste, M. (2004). Molecular mobility around the glass transition temperature. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 127-134.
- [5] Özkan, N., Walisinghe, N., Chen, X.D. (2002). Characterization of stickiness and cake formation in whole milk and skim milk powders. *Journal of Food Engineering* 55: 293-303.
- [6] Champion, D., Le Meste, M., Simatos, D. (2000). Towards and improved understanding of glass transition and relaxations in foods: Molecular mobility in the glass transition range. *Trends in Food Science and Technology* 11: 41-55.
- [7] Frere, Y., Gramain, P. (1992). Reaction kinetics of polymer substituents. Macromolecular steric hindrance effect in quaternization of polymer(vinylpyridines). *Macromolecules* 25:3184 – 3189.

- [8] Hin, M., Nam, S. (2002). Thermodynamic and rheological variation in polysulfone solution by PVP and its effect in the preparation of phase inversion membrane. *Journal of Membrane Science* 202:55 – 61.
- [9] Kalichevsky, M.T., Blanshard, J.M.V., Tokarczuk, P.F. (1993). Effect of water content and sugars on the glass transition of casein and sodium caseinate. *International Journal of Food Science and Technology* 28: 139-151.
- [10] Lopez-Diez, E., Bone, S. (2000). An investigation of the water-binding properties of protein + sugar systems. *Physics in Medicine and Biology* 45: 3577–3588.
- [11] Roos, Y.H., Karel, M. (1991b). Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food model. *Journal of Food Science* 56: 38–43.
- [12] Bhandari, B.R., Datta, N., Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology* 15(2): 671–84.

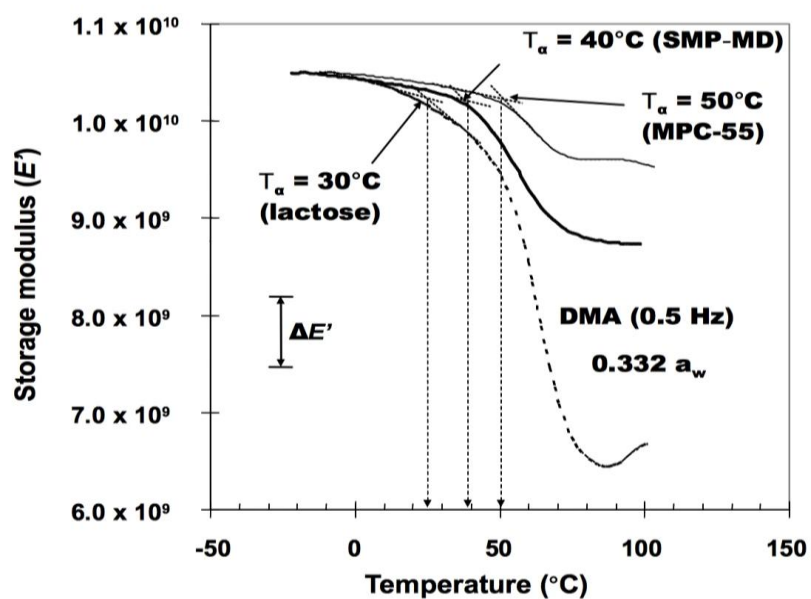


FIG. 1. Changes in storage modulus of lactose and milk powders contained high protein and maltodextrin.

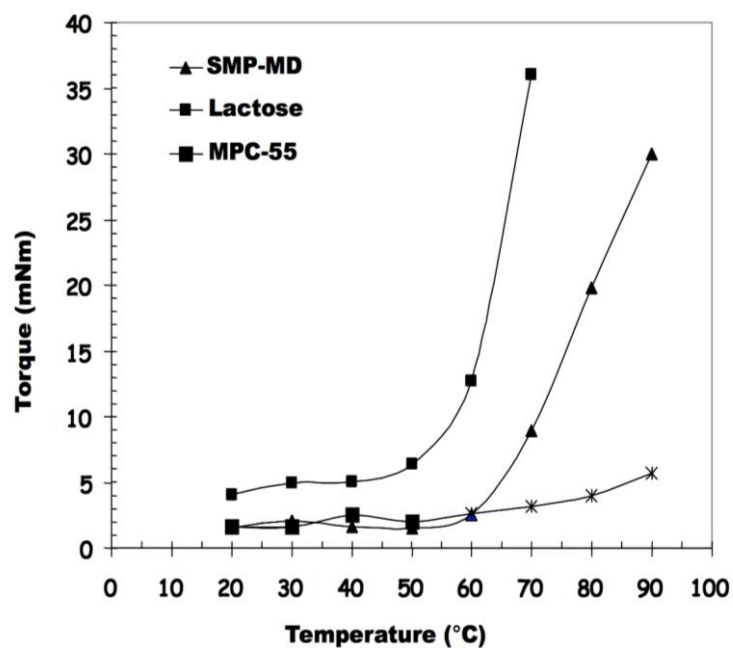


FIG. 2. Torque values of lactose and milk powders contained high protein content and maltodextrin.

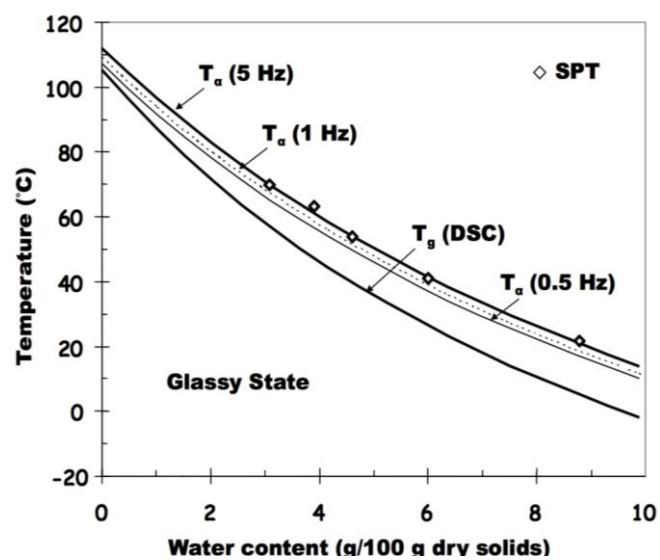


FIG. 3. Correlation of sticky-point (SPT), glass transition (T_g), and α -relaxation (T_α) temperature as a function of water content.