Agricultural Sci. J. 37 : 5 (Suppl.) : 256-259 (2006) ว. วิทย. กษ. 37 : 5 (พิเศษ) : 256-259 (2549)

การนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลัง
Thermal conductivity of cassava starch

โสภา แคนสี[1] คำนึง วาทโยธา[1] ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์[1] จันทนี อุริยะพงศ์สรรค์[2] และจาตุพงศ์ วาฤทธิ์[3]
Sopa Cansee, Cumnueng Watyotha, Thavachai Thivavarnvongs, Jantanee Uriyapongson and Jatuphong Varith

Abstract

Thermal conductivity is very an important property to the simulation of food processing operations as thermal processing and drying. In this study, thermal conductivity of cassava starch was measured by a probe of the line heat source technique. The cassava starch solutions and granules at a function of moisture contents were used. The cassava starch solutions were 20 to 50 %w/w and the moisture contents of granular starches were 0 to 45.30 %w.b. The temperature ranges of starch solution were below gelatinous points,30 to 50 °C. The conductivity of the cassava starch solutions decreased with increasing of concentrations and temperatures, 0.351 to 0.312 W/m °C. The conductivity of granular starches at ambient temperatures increased gradually with increasing of moisture contents, 0.220 to 0.335 W/m °C.

Key words: Thermal conductivity, Cassava starch

บทคัดย่อ

การนำความร้อนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการจำลองแบบปฏิบัติการแปรรูปอาหารเช่นการแปรรูปด้วยความร้อนและการอบแห้ง การศึกษาการนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลังถูกวัดด้วยหัววัดแบบเข็มจากการให้ความร้อนคงที่ต่อเนื่องกับตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังซึ่งอยู่ในรูปสารละลายและความชื้นต่างๆ โดยสารละลายมีความเข้มข้น 20 ถึง 50 %w/w และเม็ดแป้งมีความชื้นระหว่าง 0 ถึง 45.30%w.b. อุณหภูมิของสารละลายมีค่า 30 ถึง 50 °C พบว่าการนำความร้อนของสารละลายแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยมีค่าระหว่าง 0.351 ถึง 0.312 W/m °C และการนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับความชื้นมีค่าระหว่าง 0.220 to 0.335 W/m °C

คำสำคัญ: การนำความร้อน, แป้งมันสำปะหลัง

คำนำ

การนำความร้อนเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญมากของคุณสมบัติทางความร้อนของกระบวนการอาหารหรือชีววัสดุเช่นการอบแห้ง และการแปรรูปด้วยความร้อน ซึ่งมีความจำเป็นมากในระหว่างกระบวนการถ่ายเทความร้อน (Sablani et al., 2002) ข้อมูลของการนำความร้อนมีความจำเป็นต่อการคำนวณแบบจำลองและการจำลองแบบของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทความชื้น (Rask, 1989) Opoku et al. (2006) รายงานถึงวิธีการหาค่านำความร้อนแบบหัวเข็ม (heat probe method) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานการให้ความร้อนต่อเนื่องจากแหล่งความร้อนคงที่ผ่านเข็มวัดไปยังวัสดุตัวกลางที่ต้องการหาค่าการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิกระจายสม่ำเสมอและอุณหภูมิที่ตำแหน่งกลางเข็มถูกบันทึกค่า และหลังจากนั้นพล็อต กราฟของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและล็อกฐานสองของเวลาเพื่อหาค่าความชันของกราฟดังกล่าวและสามารถนำแทนสมการเพื่อหาค่าการนำความร้อนแสดงดังสมการที่ (1) (Gonnet et al., 1987; Renaud et al., 1992) โดยวิธีนี้ได้รับการยอมรับและประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากสะดวกรวดเร็วและความชื้นของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลง

$$T = (Q/4\pi k) \ln t + A \quad (1)$$

โดย Q แทนฟลักซ์ความร้อนต่อหน่วยความยาวเข็มวัด และ A เป็นค่าคงที่

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
[1] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 4002
[2] ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
[2] Department of Food Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, 40002
[3] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290
[3] Department of Agricultural and Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai, 50290

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลก โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่ (สิทธิโชค วัลลภาทิตย์, กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2543) สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทยรายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังประมาณ 7 ล้านไร่และมีผลผลิตประมาณ 20 ล้านตัน ซึ่ง 50% ของผลผลิตที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในประเทศปริมาณสูงถึง 7-8 แสนตันต่อปี (สิทธิโชค วัลลภาทิตย์, กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2543) และส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมอาหารและทั่วไปมีมากเพิ่มขึ้นทั้งในรูปแป้งดิบและแป้งดัดแปร จากการตรวจสอบเอกสารเกี่ยวกับการศึกษาค่านำความร้อนของแป้งชนิดต่างๆ และต่างสถานะดังนี้ แป้งที่เป็นเจล แป้งข้าวโพดเจล (Drusas et al., 1986) แป้งข้าวโพดเคลือบ (Fiedorowcz and Rebilas, 2002) เม็ดแป้งมันฝรั่ง (Szymonska and Wodnicka, 2004) หัวมันสำปะหลัง แว่นกล้วย (plantain fruit) หัวมันเทศ (Njie et al., 1998) เจลแป้งที่มีอัตราส่วนน้ำต่างกัน (Morley and Miles, 1997) แอปเปิล ลูกเพีย (pear) และแป้งข้าวโพด (Rahman et al., 1997) การศึกษาเกี่ยวกับค่าการนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลังในรูปสารละลายและความชื้นยังไม่ปรากฏ ดังนั้นการศึกษาค่าการนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลังนี้มุ่งเน้นในรูปสารละลายและความชื้น โดยมีขอบเขตในการประยุกต์ใช้สำหรับการดัดแปรแป้งและส่วนประกอบของอาหารที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือความเข้มข้นของสารละลายแป้งมันสำปะหลัง 20-50 %w/w ที่อุณหภูมิระหว่าง 30-50 °C และความชื้นของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่มีสภาพแห้งถึงอิ่มตัวด้วยน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

แป้งมันสำปะหลังได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทสงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด มีคุณสมบัติตามที่บริษัทผู้ผลิตรับรอง (ความขาว 93.7%, pH 6.0, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 27.6 ppm, ความหนืด 720 BU และอื่นๆ 0.02%) การนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลังทดสอบด้วยวิธีเข็มวัดซึ่งหัวเข็มวัด (Thermological Corpoation, model number TC-18) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 มิลลิเมตร ยาว 36.87 มิลลิเมตร ภายในบรรจุลวดความร้อนตลอดความยาวและลวดเทอร์โมคัพเปิล (Type E, chromel-constantan) โดยปลายเทอร์โมคัพเปิลอยู่ที่ตำแหน่งกลางเข็มสำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตัวอย่าง ปลายด้านหนึ่งของลวดความร้อนต่อเชื่อมกับเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 0-12 V และกระแส 5 A ส่วนลวดเทอร์โมคัพเปิลต่อเชื่อมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger, Testo350-454) และชุดคอมพิวเตอร์ การศึกษาการนำความร้อนนี้ใช้ความต่างศักย์ 2.66 V และกระแสไฟฟ้า 58.9 mA โดยคิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ให้กับเข็มวัดเป็น 4.25 W/m โดยก่อนทำการทดลองสอบเทียบอุณหภูมิของเข็มวัดกับจุดเยือกแข็ง จุดเดือดของน้ำกลั่นและจุดเดือดของแอลกอฮอล์ และสอบเทียบค่าการนำความร้อนของกลีเซอรีน สารละลาย 1% agar และแป้งอิ่มตัว

การเตรียมตัวอย่างสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 20 30 40 และ 50 %w/w และควบคุมอุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, model WB/OB7-45) และตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ปรอท กวนสารละลายตลอดเวลาเพื่อป้องกันการตกตะกอน เมื่ออุณหภูมิของสารละลายแป้งตามต้องการสุ่มตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกปริมาตร 33.34 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ที่หุ้มด้วยโฟมเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน หลังจากนั้นจึงใช้เข็มวัดอุณหภูมิสารละลายแป้งโดยจุ่มให้ความยาวเข็มทั้งหมดอยู่ในตัวอย่าง จากนั้นจึงให้ความร้อนแก่สารละลายและบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ วินาที และการเตรียมตัวอย่างแป้งขึ้นทำโดยเพิ่มปริมาณน้ำกับแป้งมันสำปะหลังที่ทราบความชื้นแล้วทำการคลุกเคล้าให้แป้งและน้ำในอัตราส่วนต่างๆ เข้ากันดี และเพิ่มปริมาณน้ำจนแป้งอิ่มตัวด้วยน้ำ เก็บตัวอย่างในถุงพลาสติก และเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลาหนึ่งคืนเพื่อให้การกระจายความชื้นทั่วเม็ดแป้ง หลังจากนั้นจึงสุ่มตัวอย่างแป้งเพื่อบรรจุใส่ขวดพลาสติกและชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของตัวอย่างดังกล่าวด้วย จากนั้นจึงทำการทดสอบค่าการนำความร้อนของแป้งชื้นที่อุณหภูมิห้องและเก็บตัวอย่างแป้งที่ทดสอบเพื่อหาความชื้นที่แน่นอนด้วยวิธีตู้อบลมร้อน

ผลและวิจารณ์

ค่าการนำความร้อนของสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่วัดด้วยเข็มที่ให้กำลังแก่เข็มวัดต่อเนื่อง 4.25 W/m เป็นเวลา 20 ถึง 40 วินาที โดยความร้อนจะแผ่กระจายออกจนชนขอบภาชนะซึ่งสังเกตจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ นำค่าที่ได้พล็อตกราฟของล็อกฐานสองของเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น หาค่าความชันของกราฟดังกล่าวอย่างน้อย 10 ช่วงค่าโดยเลือกช่วงค่าที่ความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นตรงสูงสุดโดยพิจารณาจาก R^2 มีค่ามากกว่า 0.990 ทั้งนี้เพื่อป้องกันผลด้านข้างของภาชนะที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนและนำค่าแทนในสมการ ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ได้แสดงดังตารางที่ 1 มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่าง

0.351 ถึง 0.312 W/m °C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง 0.004 ถึง 0.023 ค่าการนำความร้อนของสารละลายแป้งทดสอบอยู่ในช่วงของค่าการนำความร้อนของแป้งแห้งมีค่า 0.216 W/m °C (Mattea et al., 1986) และน้ำ 0.590 W/m °C สอดคล้องกับ Choi and Okos (1983) ศึกษาการนำความร้อนของน้ำมะเขือเทศที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าค่าการนำความร้อนจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของของแข็งเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C และความเข้มข้นสารละลาย 20 ถึง 50 %w/w ค่าการนำความร้อนมีค่าลดลงตามลับ

ค่าการนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลังที่เป็นฟังก์ชันของความชื้นแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีความชื้นระหว่าง 0 ถึง 45.30 %w.b. สอดคล้องกับสภาพแป้งแห้งกระทั่งอิ่มตัวด้วยน้ำ ค่าการนำความร้อนมีค่าระหว่าง 0.220 ถึง 0.335 W/m °C โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 1 และทดสอบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าระหว่าง 0.002 ถึง 0.01 Mattea et al. (1986) แป้งแห้งและอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าการนำความร้อนเป็น 0.216 และ 0.3486 W/m °C ตามลำดับ นอกจากนี้นำตัวอย่างแป้งชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นพบว่ามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยก่อนเพิ่มขึ้นต่อเนื่องเมื่อความชื้นแป้งเพิ่มขึ้น

Table 1 Thermal conductivities of cassava starch solution at various temperatures and concentrations

Temperature (°C)	Concentration (%)	k (W m^{-1} $°C^{-1}$)	Standard deviation
30	20	0.351	0.014
	30	0.348	0.023
	40	0.343	0.005
	50	0.341	0.007
40	20	0.337	0.018
	30	0.328	0.006
	40	0.327	0.013
	50	0.318	0.017
50	20	0.333	0.005
	30	0.324	0.014
	40	0.316	0.004
	50	0.312	0.008

Table 2 Thermal conductivities of cassava starch at various moisture contents

Moisture content (%w.b.)	k (W m^{-1} $°C^{-1}$)	Standard deviation	Density (kg/m^3)
0.00	0.220	0.002	531.72
11.54	0.224	0.003	518.67
17.86	0.231	0.003	493.93
24.13	0.234	0.004	514.25
30.22	0.244	0.005	628.07
35.11	0.257	0.002	649.60
39.51	0.274	0.02	740.40
43.23	0.279	0.004	796.79
45.30	0.335	0.01	1245.50

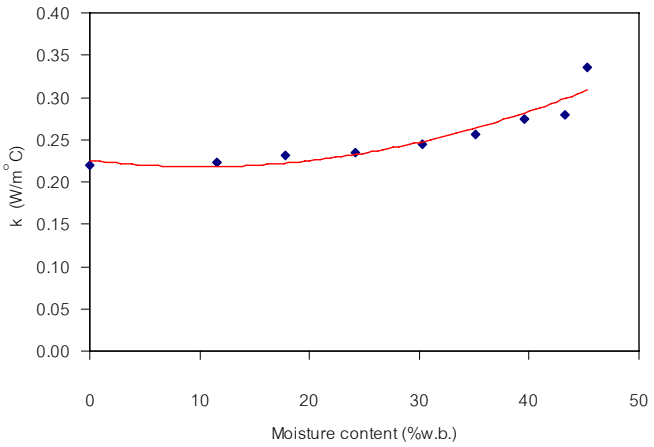

Figure 1 Thermal conductivities of cassava starch at various moisture contents at ambient temperature

สรุป

ค่าการนำความร้อนของสารละลายแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 20 ถึง 50 %w/w ที่อุณหภูมิ 30 ถึง 50 °C มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 0.351 ถึง 0.312 W/m °C ขณะที่ค่าการนำความร้อนของแป้งมันสำปะหลังสภาพแห้งถึงอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าระหว่าง 0.220 ถึง 0.335 W/m °C และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับความชื้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ทุนสนับสนุน การศึกษาวิจัยนี้ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

สิทธิโชค วัลลภาทิตย์, กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2543. การพัฒนากระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทย. 24 ปี สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทยร่วมพัฒนาชาติไทย. กรุงเทพฯ. 129 น.

Choi, Y. and Okos, M.R. (1983). Themal properties of tomato juice concentrates. Transactions of the ASAE. : 305-311.

Drusas, A., Tassopoulos, M. and Saravacos, G.D. (1986). Thermal conductivity of starch gels. In Food engineering and process applications, ed. M. Le Maguer and P. Jelen. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Lodon, pp. 141-149.

Fiedorowcz, M. and Rebilas, K. (2002). Physicochemical properties of waxy corn starch and corn amylopectin illuminated with linearly polarised visible light. Carbohydrate Polymers. 50(3): 315-319.

Gonnet, E., Andrieu, J. and Laurent, M. (1987). Intrinsic thermal conductivities of basic food components. High Temperatures-HighPressures. 19: 323-330.

Mattea, M., Urbicain, M.J. and Rotstein, R. (1986). Prediction of thermal conductivity of vegetable foods by the effective medium theory. J. of Food science. 51: 113-134.

Morley, MJ. And Miles, C.A. (1997). Modelling the thermal conductivity of starch-water gels. J. of Food Engineering. 33: 1-14.

Njie, D.N., Rumsey, T.R. and Singh R.P. (1998). Thermal properties of Cassava, Yam and Plantain. J. of Food Engineering. 37: 63-76.

Opoku, A., Tabil, L.G., Crerar, B. and Shaw, M.D. (2006). Thermal conductivity and thermal diffusivity of timothy hay. Canadian Biosystems Engineering. 48: 3.1-3.7.

Rask, C. (1989). Thermal properties of dough and bakery products: A review of published data. J. of Food Engineering. 9:167-193.

Renaud, T., Briery, P., Andrieu, J. and Laurent, M. (1992). Thermal properties of model foods in the frozen state. J. of Food Engineering. 15: 83-97.

Rahman, M.S., Chen, X.D. and Perera, C.O. (1997). An improved thermal conductivity prediction model for fruits and vegetables as a function of temperature, water content and porosity. J. of Food Engineering. 31: 163-170.

Sablani, S.S., Baik, O.D. and Marcotte, M. (2002). Neural networks for predicting thermal conductivity of bakery products. J. of FoodEngineering. 52: 299-304.

Willix, J., Lovatt, S.J. and Amos, N.D. (1998). Additional thermal conductivity values of foods measured by a guarded hot plate. J. of Food Enginnering. 37: 159-174.