คุณสมบัติทางวิศวกรรมของสารละลายแป้งมันสำปะหลัง สำหรับการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน

Engineering Properties of Cassava Starch Solutions for the Design of Stirred Tank Reactor

โสภา แคนสี[1] คำนึง วาทโยธา ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์[2] และจันทนี อุริยะพงศ์สรรค์[3]

Sopa Cansee Cumnueng Watyotha Thavachai Thivavarnvongs and Jantanee Uriyapongson

Abstract

Engineering properties of foods, density and specific heat, are essential for the design and optimization of any process involving heat transfer at unsteady state. This paper presents a study on the density and specific heat of cassava starch solutions in order to design a stirred tank reactor for starch modification. The experimental values used for solution concentration and temperature range were 20-50% w/w and 30-50°C, respectively. Density of cassava starch solution was tested in a picnometer of 100 ml size, whereas the specific heat was determined by means of modified method of mixture. The result showed that density increased with increasing concentration of the solutions at any given temperature but it decreased with increasing temperature. The density was 1.044-1.120 g/cm^3. The specific heat of cassava starch solution was 1.173-2.926 Cal/g-°C and decreased with increasing concentration of the solution. A variance analysis indicated a relationship between the concentration of the solution and the temperature.

Key words: Density, specific heat, cassava starch solution

บทคัดย่อ

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของอาหารได้แก่ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบและการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในขณะที่อุณหภูมิไม่คงที่ ซึ่งในบทความนี้ได้เสนอการศึกษาความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของสารละลายแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนสำหรับการดัดแปรแป้ง โดยศึกษาในช่วงความเข้มข้นของสารละลาย 20-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิระหว่าง 30-50 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังทดสอบโดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ขณะที่ความร้อนจำเพาะใช้วิธีการผสมกับสารละลายมาตรฐาน พบว่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายแป้งทุกอุณภูมิทดสอบ แต่มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 1.044 ถึง 1.120 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขณะที่ความร้อนจำเพาะมีค่า 1.173 ถึง 2.926 Cal/g-°C และมีแนวโน้มลดลงกับความเข้มข้นของสารละลายแป้งมันสำปะหลัง การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิและความเข้มข้นที่ทดสอบนี้มีความสัมพันธ์กัน

คำสำคัญ ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ สารละลายแป้งมันสำปะหลัง

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลก โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่ (สิทธิโชค และ กล้าณรงค์, 2543) สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทยรายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังประมาณ 7 ล้านไร่และมีผลผลิตประมาณ 20 ล้านตัน ซึ่ง 50% ของผลผลิตที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในประเทศปริมาณสูงถึง 7-8 แสนตันต่อปี (สิทธิโชค และ กล้าณรงค์, 2543) และส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ อุตสาหกรรมที่มีการใช้แป้งมันสำปะหลังมากที่สุดคืออุตสาหกรรมแป้งดัดแปร ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแป้งดัดแปรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2544 ส่งออกปริมาณ 421,709 ตัน มูลค่า 7,440 ล้านบาท ปี พ.ศ. 2545

[1]นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

[2] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

[3]อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ส่งออกปริมาณ 458,408 ตัน มูลค่า 7,824 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2547) และประมาณ 80% ของแป้งดัดแปรทั้งหมดเป็นการดัดแปรทางเคมีและส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศประมาณ 95% (สุนีรัตน์, 2543)

เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนเป็นเครื่องจักรที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการดัดแปรแป้งโดยมีหน้าที่ทำให้ทำให้สารซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและแป้งผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาจนทำให้สามารถดัดแปรแป้งเป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ในการออกแบบจะต้องพิจารณาถึงขนาด รูปร่างของถังและใบกวน อุปกรณ์ต่างๆ ภายในตัวถังและการออกแบบจะต้องพิจารณาถึงกำลังที่ใช้ในการกวนด้วย ซึ่งระบบที่ดีควรใช้พลังงานในการกวนต่ำ ขณะที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนควรมีค่าสูง (สามารถ, 2541) โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของใบพัด ชุดปั่นกวนผสม การติดตั้งตำแหน่งชุดปั่นกวนซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์ ดังนั้นการศึกษาความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของสารละลายแป้งมันสำปะหลังจึงจำเป็นในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง

อุปกรณ์และวิธีการ

แป้งมันสำปะหลังได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทสงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด มีคุณสมบัติตามที่ผู้ผลิตรับรอง (whiteness 93.7%, pH 6.0, sulphur dioxide 27.6 ppm, viscosity 720 BU and pulp 0.02%) การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของสารละลายแป้งมันสำปะหลังได้แก่ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ ทำการศึกษาอิทธิพลของสองปัจจัยหลักคือความเข้มข้นของสารละลาย (20-50% w/w) และอุณหภูมิ (30-50°C) ซึ่งขอบเขตของปัจจัยทั้งสองดังกล่าวคลอบคลุมช่วงการศึกษาแป้งดัดแปรเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

ความหนาแน่นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังทำการศึกษา โดยการใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ (picnometer) ขนาด 100 มิลลิลิตร บรรจุสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่กำหนด และชั่งน้ำหนักที่ได้ ซึ่งศึกษาดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการขยายตัวของสารละลายแป้งตัวอย่าง ก่อนทำการทดสอบหาความหนาแน่นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังจะทำการสอบเทียบความหนาแน่นจากสารละลายมาตรฐาน (น้ำกลั่น) ที่อุณหภูมิ 30 40 50 60 และ 70°C การควบคุมและให้ความร้อนโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ (a water-and oil bath ,model WB/OB7-45, Memmert) การสอบเทียบความหนาแน่นได้ค่าผิดพลาดเฉลี่ย 0.43%

การหาความหนาแน่นของสารละลายแป้งมันสำปะหลัง โดยเตรียมแป้งมันสำปะหลังทำละลายกับน้ำกลั่นในบีกเกอร์โดยผสมแป้งมันสำปะหลังช้าๆ ในตัวทำละลายในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และกวนด้วยเครื่องกวน (stirred DLH, VELP) เพื่อป้องกันการตกตะกอน ขณะเดียวกันนำขวดพิคโนมิเตอร์ทำให้ร้อนเท่ากับอุณหภูมิควบคุมโดยตรวจสอบอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ปรอท เมื่อสารละลายแป้งมันสำปะหลังและขวดพิคโนมิเตอร์มีอุณหภูมิตามกำหนดจึงเทสารละลายแป้งตัวอย่างใส่ขวดพิคโนมิเตอร์อย่างรวดเร็วและปิดฝาเพื่อควบคุมให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน การปิดฝาต้องสนิทและไม่เกิดช่องว่างอากาศด้วย นำขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุสารละลายแป้งตัวอย่างที่ได้ขึ้นซับน้ำออกและชั่งน้ำหนักทันที (ADAM precision balance, 0.001 g) บันทึกน้ำหนักที่ได้ตามระดับความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิที่ทดสอบ

ความร้อนจำเพาะของสารละลายแป้งมันสำปะหลังทำการศึกษาด้วยวิธี Modified method of mixture ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ดัดแปลงตามวิธีการของ Murakami (1980) ประกอบด้วยภาชนะสุญญากาศ (vacuum flask) ขนาด 1000 มิลลิลิตร การหาค่าความร้อนจำเพาะโดยเตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 20-50% โดยน้ำหนัก จากปริมาตรน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตรและอุณหภูมิตามกำหนด และน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร ซึ่งทำให้ร้อนมากกว่าตัวอย่างสารละลายแป้งมันสำปะหลังอย่างน้อยประมาณ 20 °C (Murakami, 1980) ตัวอย่างสารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิตามกำหนดถูกบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนเพื่อป้องกันการผสมกันและใส่ในแคลอริมิเตอร์ เทน้ำกลั่นที่ทำอุณหภูมิได้แล้วลงในแคลอริมิเตอร์และปิดฝาทันที บันทึกอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัพเปิลต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (dataworker 10/40, ECD) ค่าความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์สอบเทียบจากน้ำกลั่นซึ่งทราบค่าความร้อนจำเพาะแล้ว โดยค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์เป็น 65.422 cal/°C การป้องกันการสูญเสียความร้อนของแคลอริมิเตอร์โดยการหุ้มฉนวนด้วยโฟม (Styrofoam) หนา 7 มิลลิเมตร และปรับแก้ค่าของการสูญเสียความร้อนจากอุณหภูมิสมดุล

ผลและวิจารณ์

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของสารละลายแป้งมันสำปะหลังได้แก่ ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะซึ่งศึกษาผลของสองปัจจัยที่สำคัญคือความเข้มข้นของสารละลาย 20-50% w/w และอุณหภูมิ 30-50 °C ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

ความหนาแน่นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังหาโดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร บรรจุสารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิตามกำหนด พบว่าความหนาแน่นสารละลายแป้งมันสำปะหลังมีค่าระหว่าง 1.044 ถึง 1.120 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเชิงเส้นต่อเนื่องกับความเข้มข้นของสารละลายแป้งทุกอุณหภูมิทดสอบ (Figure 1) ซึ่งความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C มีค่าสูงสุดเรียงตามลำดับ และเมื่อความหนาแน่นของสารละลายแป้งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ (Figure 2) พบว่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายแป้ง และที่ความเข้มข้นสารละลายแป้งเป็น 20 30 40 และ50%w/w ความหนาแน่นจะมากเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

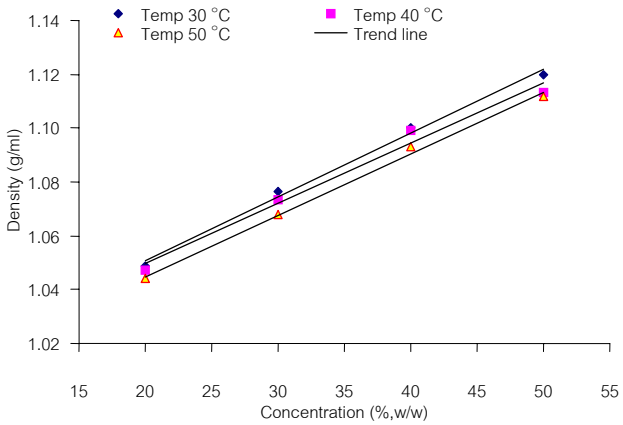

Figure 1 Density of starch solution as function of concentration

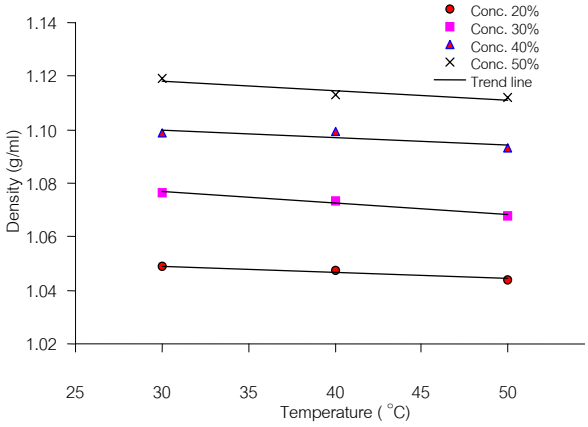

Figure 2 Density of starch solution as function of temperature

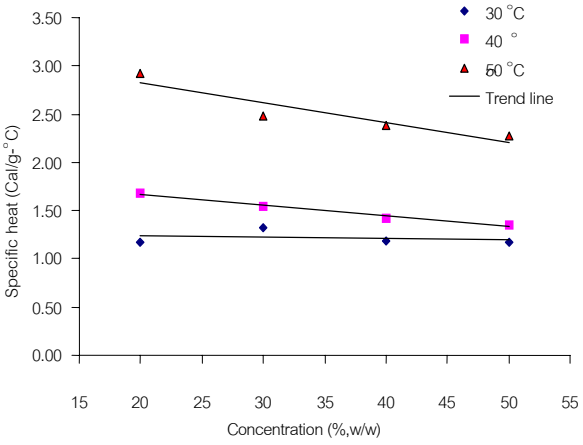

Figure 3 Specific heat of starch solution as function of concentration

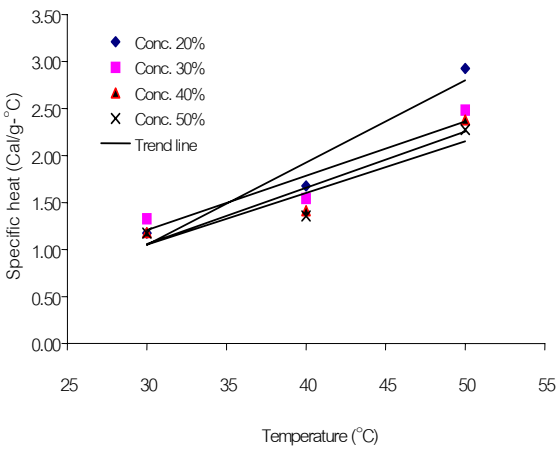

Figure 4 Specific heat of starch solution as function of temperature

ความร้อนจำเพาะของสารละลายแป้งมันสำปะหลังหาด้วยวิธี Modified method of mixture ซึ่งทำอุณหภูมิของตัวทำละลายมีค่ามากกว่าสารละลายแป้งอย่างน้อย 20 °C แล้วผสมในแคลอริมิเตอร์ซึ่งบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผสมเทียบกับเวลาจนอุณหภูมิผสมเข้าสู่สมดุลโดยสารละลายแป้งบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีน พบว่าค่าความร้อนจำเพาะของสารละลายแป้งมีค่าระหว่าง 1.173 ถึง 2.926 Cal/g-°C โดยความร้อนจำเพาะมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เพิ่มขึ้นทุกอุณหภูมิทดสอบ (Figure 3) ซึ่งอุณหภูมิผสมของน้ำกลั่นและสารละลายแป้งที่ความเข้มข้นมากขึ้นจะมีอุณหภูมิผสมเพิ่มขึ้นมากกว่าสารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นน้อย โดยที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50°C มีค่าความร้อนจำเพาะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ และเมื่อทดสอบความร้อนจำเพาะของสารละลายแป้งมันสำปะหลังเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ (Figure 4) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าความร้อนของสารละลายแป้งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของสารละลายแป้งมันสำปะหลังได้แก่ ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะ ซึ่งศึกษาผลของสองปัจจัยที่สำคัญคือความเข้มข้นของสารละลาย 20-50%w/w และอุณหภูมิ 30-50 °C พบว่าความหนาแน่นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้น โดยมีค่าระหว่าง 1.044 ถึง 1.120 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนาแน่นมีค่าลดลง ขณะที่ความร้อนจำเพาะมีค่าระหว่าง 1.173 ถึง 2.926 Cal/g-°C โดยค่าความร้อนจำเพาะมีแนวโน้มลดลงกับความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความร้อนจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมศุลกากร. 2547. อ้างใน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [serial online]. [6 มีนาคม 2547]. Available from: http://www.oae.go.th/statistic/index.html

สุนีรัตน์ หทัยรักษ์ธรรม. 2543. การวิเคราะห์ตลาดแป้งมันสำปะหลังดัดแปรของไทย [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตร]. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ . 212 น.

สามารถ มูลอามาตย์. 2541. ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบถังกวน. วิศวกรรมสาร มข. 25(1). 10 น.

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

Murakami E.G. 1980. Thermal properties of shredded coconut. [For the degree of master of engineering]. Asian institute of technology. Bangkok, Thailand. 41 p.