บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ทฤษฎีและสมมติฐานในการทดลอง

3.1.1 การหาค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture หรือ indirect mixing method ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะจะคำนวณได้จากสมการสมดุลทางความร้อนระหว่างความร้อนที่น้ำและแคลอริมิเตอร์ได้รับหรือสูญเสียกับความร้อนที่ตัวอย่างได้รับหรือสูญเสีย ดังสมการ (17) เหตุผลในการพิจารณาเลือกใช้วิธีนี้ในการหาค่าความร้อนจำเพาะ เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีการพิจารณาถึงการได้รับความร้อนหรือการสูญเสียความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (L) ในกรณีที่ขณะทดลองอุณหภูมิที่จุดสมดุลต่างจากอุณหภูมิของบรรยากาศ นอกจากนั้นยังมีการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากระบบ โดยใช้แคลอริมิเตอร์ที่มีลักษณะเป็น vacuum jacket ซึ่งมีฉนวนหุ้มอย่างเพียงพอ (Hwang และ Hayakawa, 1979)

$$C_{PS}W_S T_S + C_{PW}W_W T_W + H_C T_C = C_{PS}W_S T_F + C_{PW}W_W T_F + H_C T_F - L \quad ..(17)$$

เมื่อ $L = (C_{PW}W_W + H_C + C_{PS}W_S)\,(dT/dt)\,t_F$

เหตุผลที่ไม่ใช้วิธีอื่นในการหาค่าความร้อนจำเพาะ เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการ กล่าวคือ วิธี method of mixture นั้นไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับตัวอย่างที่มีความชื้นสูงอย่างมะละกอและมะม่วง ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างอาจละลายในสารตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนได้ สำหรับวิธี differential scanning calorimeter ก็จะต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ส่วนวิธี comparison calorimeter ต้องใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลวเท่านั้น

3.1.2 การหาค่าสภาพนำความร้อน

ในการหาค่าสภาพนำความร้อนใช้ thermal conductivity probe ซึ่งอาศัยหลักการที่ว่า แหล่งให้ความร้อนจะมีความยาวไม่จำกัด มีเส้นผ่านศูนย์กลางเข้าใกล้ศูนย์ และมีการให้ความร้อนในปริมาณคงที่แก่ตัวอย่างขนาดใหญ่ซึ่งมีความสม่ำเสมอทั่วกันทั้งชิ้นที่อยู่ในภาวะสมดุลกับระบบ (Chowdary, 1988) สำหรับสมการแสดงการถ่ายโอนความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน คือ

$$\partial T/\partial t = \alpha[\partial^2 T/\partial r^2 + (1/r)(\partial T/\partial r)] \quad .....(18)$$

เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนที่มีความยาวไม่จำกัดและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างคือ

$$T = (q/2\pi k) \int_{\beta}^{\infty} [(\exp(-r^2)\, dr)/r] \quad .....(19)$$

ถ้า T เป็นอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อนที่มีปริมาณความร้อน q และ β มีค่าน้อยกว่า 0.16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากเวลา t_1 ไปยัง t_2 เป็น

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (q/4\pi k)[\ln(t_2/t_1)] \quad .....(20)$$

ดังนั้น

$$k = [q/4\pi(T_2 - T_1)] \ln(t_2/t_1) \quad .....(21)$$

สาเหตุที่ไม่ใช้วิธี steady state ในการหาค่าสภาพนำความร้อนของมะละกอและมะม่วง เนื่องจากใช้เวลานาน และค่าที่ได้อาจเกิดการผิดพลาดเนื่องจากเกิด moisture migration รวมทั้งอาจเกิดการสูญเสียความร้อนจากเครื่องมืออีกด้วย ส่วนการหาค่าสภาพนำความร้อนด้วย Fitch method จะได้ค่าที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อน สำหรับการใช้ probe จะมีข้อได้เปรียบวิธีเหล่านั้น กล่าวคือ ใช้เวลาในการทดลองน้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ใช้ได้กับอาหารที่มีความชื้นสูงและอาหารแช่แข็ง อีกทั้งไม่มีการสูญเสียความร้อนขณะทดลอง

3.1.3 การหาค่าสภาพแพร่ความร้อน

เนื่องจากการใช้ thermal conductivity probe ในการหาค่าสภาพแพร่ความร้อนจะต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยาก และคอมพิวเตอร์ในการทดลอง วิธีที่เลือกใช้ในการหาค่าสภาพแพร่ความร้อนคือการใช้ thermal diffusivity tube ที่มีการถ่ายโอนความร้อนและมีการเพิ่มอุณหภูมิอย่างคงที่ $(\partial T/\partial t = A)$ รวมทั้งมีผลต่างของอุณหภูมิ $(T_R - T_o)$ คงที่ ณ เวลาใด ๆ (Dickerson, 1965) โดยสมมติว่ามีการแพร่ความร้อนในแนวรัศมีของท่อเท่านั้น ซึ่งจะหาค่าสภาพแพร่ความร้อนได้จากสมการ (18) และเมื่อกำหนดให้ A คืออัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ทุกตำแหน่งในทรงกระบอก ดังนั้นฟังก์ชัน $\partial T/\partial t$ จึงไม่ขึ้นกับเวลา และสมการ (18) จึงเป็น

$$d^2T/dr^2 + (1/r)(dT/dr) = A/\alpha \qquad .....(22)$$

จึงได้

$$T = (Ar^2/4\alpha) + C_1 \ln (r) + C_2 \qquad .....(23)$$

เมื่อ C_1 และ C_2 คือค่าคงที่ และแทนค่า boundary condition จะได้สมการ

$$T_R - T_r = (A/4\alpha)(R^2 - r^2) \qquad .....(24)$$

ถ้า $r = 0$ ดังนั้น

$$\alpha = AR^2/4(T_R - T_o) \qquad .....(25)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

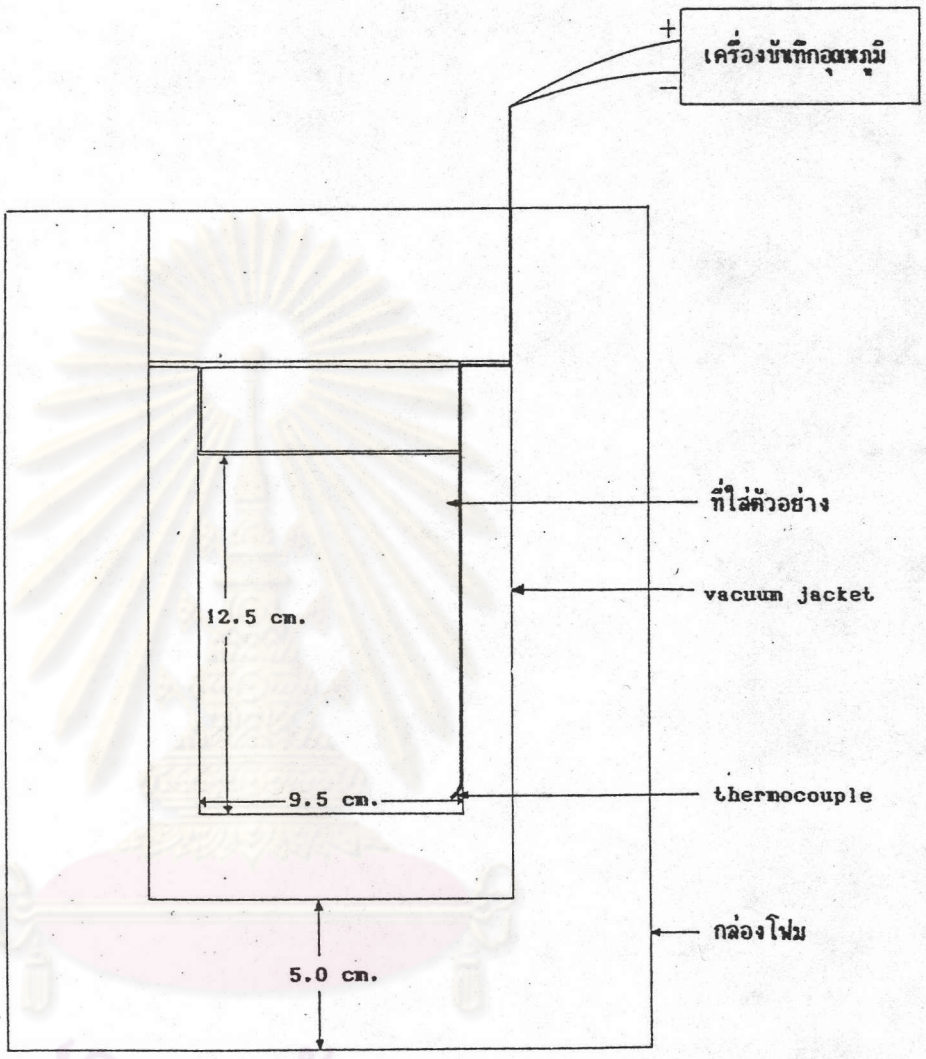
3.2 ลักษณะของเครื่องมือสำหรับหาสมบัติทางความร้อนของมะละกอและมะม่วง

3.2.1 ค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture หรือ indirect mixing method เครื่องมือที่ใช้คือแคลอริมิเตอร์ (ดังรูปที่ 3.1) ที่ประกอบขึ้นโดยใช้กระติกน้ำร้อนที่มีลักษณะเป็น vacuum jacket ซึ่งช่องบรรจุตัวอย่างจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร สูง 12.5 เซนติเมตร ภายในกระติกน้ำร้อนจะใส่น้ำกลั่นซึ่งมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส เป็นสารตัวกลางทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน และใช้ thermocouple type T (copper-constantan) ต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (CHINO model DR 015 accuracy $\pm$ 0.1 องศาเซลเซียส) วัดอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ และอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างซึ่งบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนขนาดกว้าง 11.5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร แคลอริมิเตอร์มีการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากระบบโดยหุ้มด้วยโฟมหนา 2 นิ้ว และมีเม็ดโฟมบรรจุบริเวณช่องว่างระหว่างกระติกน้ำร้อนกับแผ่นโฟม

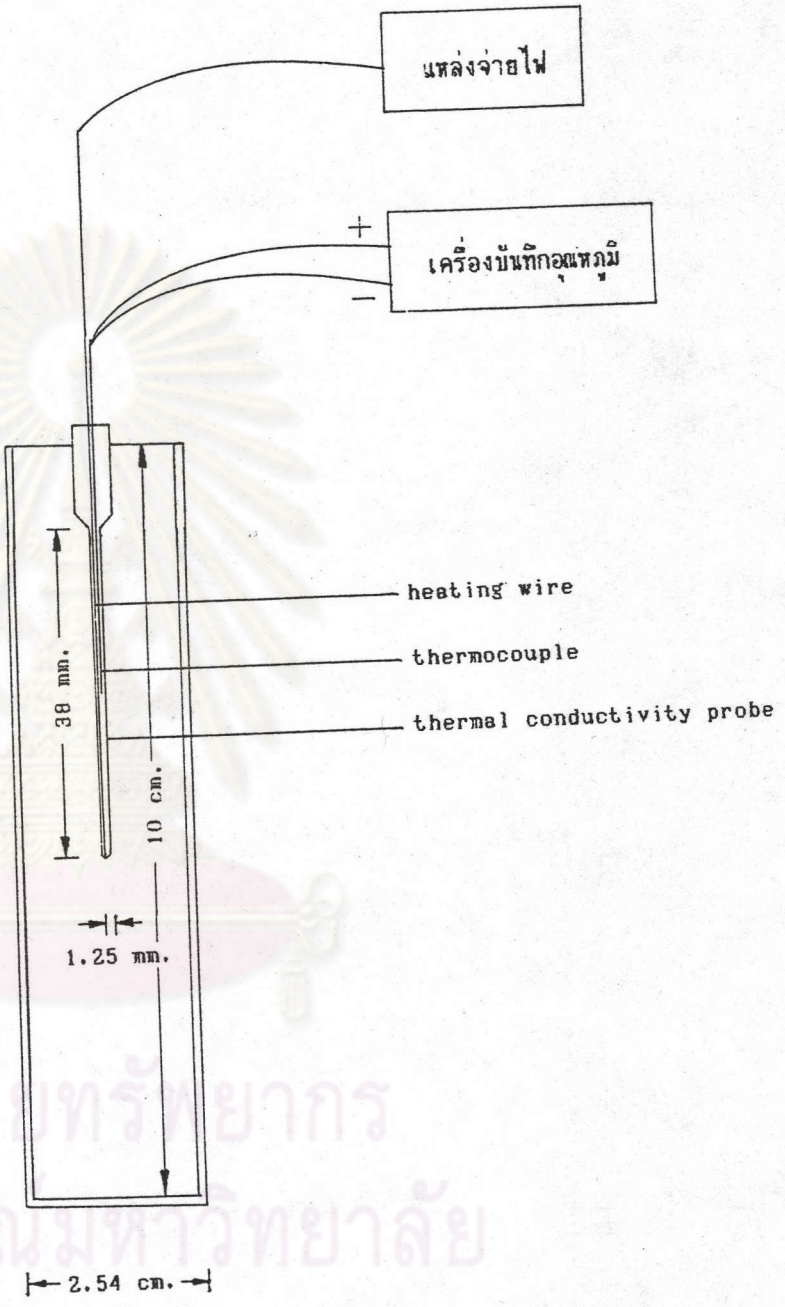
3.2.2 ค่าสภาพนำความร้อน

ใช้ thermal conductivity probe ที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.2 ในการหาค่าสภาพนำความร้อนของมะละกอและมะม่วง probe ที่ใช้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sweat (1974) โดยตัว probe ประกอบด้วยเข็มฉีดยาเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร ยาว 38 มิลลิเมตร ซึ่งภายในมี thermocouple type T ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง copper และ constantan เท่ากับ 0.20 และ 0.10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ปลายด้านหนึ่งของ thermocouple อยู่บริเวณกึ่งกลาง probe ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ภายใน probe ยังมี nichrome heating wire ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 มิลลิเมตร ซึ่งมีปลายด้านหนึ่งอยู่ปลาย probe และปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงความต่างศักย์ 1.5 โวลต์ ช่องว่างภายใน probe บรรจุปรอทเพื่อแทนที่อากาศที่มีค่าสภาพนำความร้อนต่ำ



รูปที่ 3.1 ภาพตัดขวางของแคลอริมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ภาพตัดขวางของ thermal conductivity probe

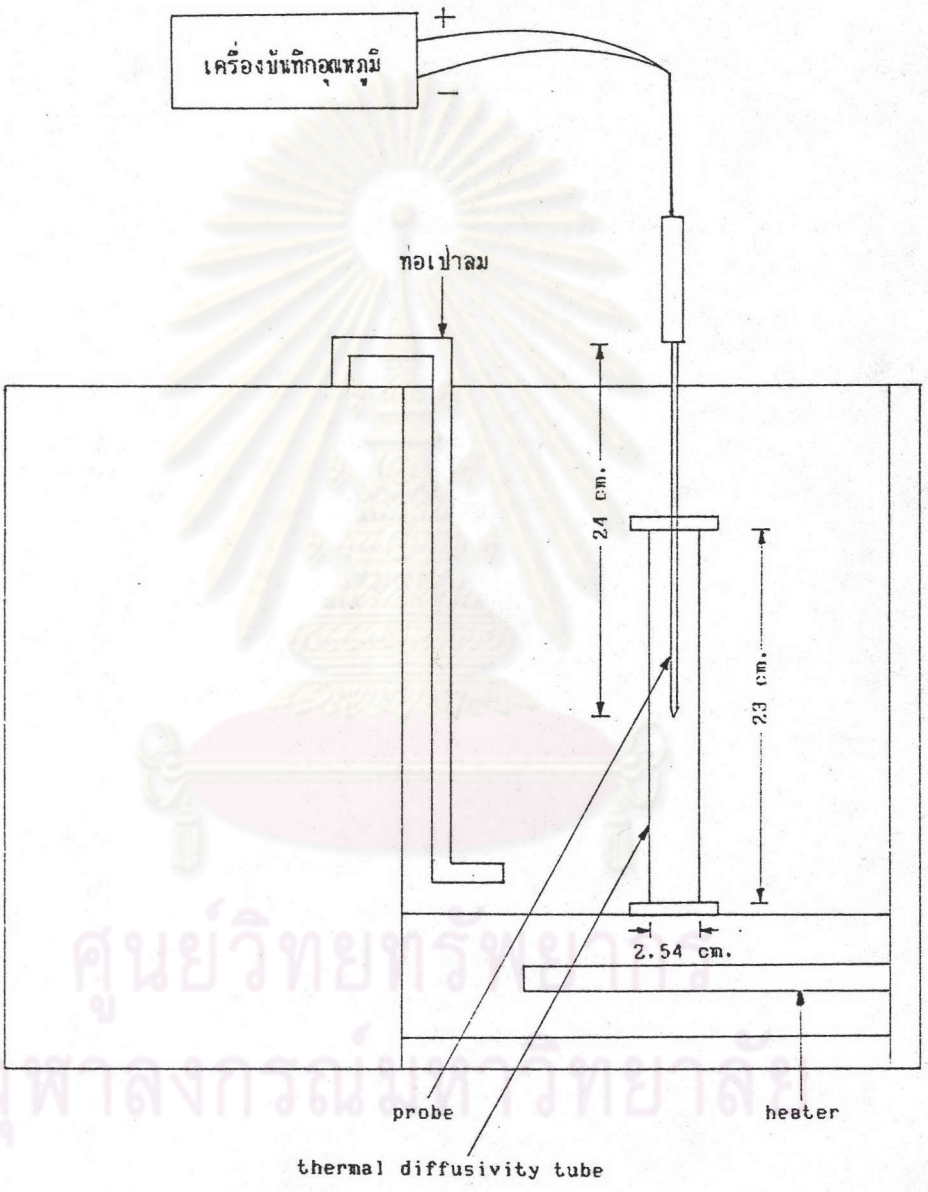
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 ค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้ thermal diffusivity tube ที่ดัดแปลงจากวิธีของ Dickerson (1965) เพื่อให้มีความเหมาะสมกับตัวอย่าง ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.3 โดย thermal diffusivity tube มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ทำด้วย stainless steel หนา 1.5 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.54 เซนติเมตร สูง 23.0 เซนติเมตร ฝาทำด้วย stainless steel หนา 1.0 มิลลิเมตร และมีปะเก็นยางหนา 2 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการรั่วไหล การวัดอุณหภูมิของตัวอย่างบริเวณกลางท่อใช้ probe ทำจาก stainless steel ลักษณะคล้ายกับ thermal conductivity probe แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 มิลลิเมตร ภายในมีสาย thermocouple type T สอดอยู่ให้ปลายสาย thermocouple อยู่ที่ปลาย probe

อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าสภาพแพร่ความร้อน มีความจุ 22 ลิตร มีการให้ความร้อนในอัตราคงที่ 4 ระดับ คือ 0.2, 1.0, 1.3 และ 1.5 องศาเซลเซียส/นาที โดยใช้น้ำมัน และ propylene glycol เป็นสารตัวกลางให้ความร้อนในการหาค่าสภาพแพร่ความร้อนในช่วงอุณหภูมิสูง และช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ตามลำดับ นอกจากนั้นยังมีท่อเป่าลมเพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วถึงและสม่ำเสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ภาพตัดขวางของ thermal diffusivity tube

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i17163353

3.3 ตัวอย่าง

3.3.1 มะละกอ

พันธุ์ที่ใช้ในการทดลองคือมะละกอพันธุ์แขกดำ ซื้อจากตลาดบางรัก โดยผลมะละกอสุกที่ใช้ในการทดลองมีความยาว 30-35 เซนติเมตร มีน้ำหนักในช่วง 1700-2000 กรัม/ผล ลักษณะเปลือกมีสีเขียวเข้มและมีสีแดงบางแห่ง เนื้อแน่น มีความชื้นในช่วงร้อยละ 89-91

3.3.2 มะม่วง

พันธุ์ของมะม่วงที่ใช้ในการทดลองคือพันธุ์แก้ว ซื้อจากตลาดบางรัก มะม่วงสุกที่ใช้มีน้ำหนักในช่วง 240-260 กรัม กว้างประมาณ 8 เซนติเมตร ยาวประมาณ 11 เซนติเมตร มีความถ่วงจำเพาะในช่วง 1.04-1.05 และมีความชื้นในช่วงร้อยละ 79-81

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (1984) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยใช้ผลต่างขององค์ประกอบต่าง ๆ จาก 100

3.5 การหาความหนาแน่นของตัวอย่าง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2524)

ก. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง และบันทึกไว้

ข. เติมเมล็ดงาลงในภาชนะโลหะจนเต็ม อ่านปริมาตรของเมล็ดงาที่ใช้เติมนั้นโดยใช้กระบอกตวง

ค. วางตัวอย่างลงในภาชนะ เติมเมล็ดงาลงไปจนเต็ม อ่านปริมาตรของเมล็ดงาที่ใช้เติมนั้นโดยใช้กระบอกตวง

ง. คำนวณความหนาแน่นของตัวอย่างจากสมการ

ความหนาแน่นของตัวอย่าง = น้ำหนักของตัวอย่าง / (ปริมาตรของเมล็ดงาในข้อ ข. - ปริมาตรของเมล็ดงาในข้อ ค.) ...(26)

3.6 การเตรียมตัวอย่าง

3.6.1 การวัดค่าความร้อนจำเพาะ

หั่นตัวอย่างมะละกอสด (ความชื้นประมาณร้อยละ 89-91) เป็นชิ้นขนาด 2.0 x 3.0 x 2.0 เซนติเมตร^3 ส่วนตัวอย่างมะละกอที่มีความชื้นต่ำ (ความชื้นในช่วงร้อยละ 69-71 และ 79-81) เตรียมโดยหั่นมะละกอสดให้มีขนาด 4.5 x 6.0 x 2.5 เซนติเมตร^3 แล้วนำไปอบในตู้ทำแห้งแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นในระดับที่ต้องการ จากนั้นจึงนำไปหั่นเป็นชิ้นให้ได้ขนาด 2.0 x 3.0 x 2.0 เซนติเมตร^3

ตัวอย่างมะม่วงเตรียมเช่นเดียวกับตัวอย่างมะละกอ แต่มะม่วงที่ความชื้นต่ำคือความชื้นร้อยละ 59-61 และ 69-71 นำไปอบในตู้ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นตามต้องการ

3.6.2 การวัดค่าสภาพนำความร้อน

สำหรับการวัดค่าสภาพนำความร้อนของตัวอย่างมะละกอสดและมะม่วงสด ทำโดยหั่นตัวอย่างตามแนวขวางให้เป็นชิ้นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร สูง 2.0 เซนติเมตร ส่วนมะละกอที่มีความชื้นต่ำ (ความชื้นร้อยละ 69-71 และ 79-81) และมะม่วงที่มีความชื้นต่ำ (ความชื้นร้อยละ 59-61 และ 69-71) เตรียมจากผลไม้สดโดยหั่นตัวอย่างให้เป็นชิ้นขนาด 4.5 x 6.0 x 2.5 เซนติเมตร^3 แล้วนำไปอบในตู้ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 80 และ 70 องศาเซลเซียส สำหรับมะละกอและมะม่วงตามลำดับ จนได้ความชื้นตามต้องการ จากนั้นจึงนำมาหั่นเป็นชิ้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร สูง 2.0 เซนติเมตร

3.6.3 การวัดค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้วิธีเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 3.6.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 วิธีการทดลองหาสมบัติทางความร้อน

3.7.1 การวัดค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture หรือ indirect mixing method โดยใช้แคลอริมิเตอร์ที่ประกอบขึ้น หาค่าความร้อนจำเพาะของมะละกอและมะม่วง ใน 2 ช่วงอุณหภูมิ คือ ในช่วงอุณหภูมิสูง (60-65, 80-85 และ 95-100 องศาเซลเซียส) และในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ (-30±1, -18±1 และ -10±1 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีวิธีดังต่อไปนี้

3.7.1.1 การหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

ก. ใส่น้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ในแคลอริมิเตอร์ที่มีสาย thermocouple ติดอยู่เพื่อใช้วัดอุณหภูมิของน้ำ ปิดฝา ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำและแคลอริมิเตอร์เข้าสู่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิห้อง บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์

ข. ใส่น้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ในถุงโพลีเอทธิลีนขนาด 11.5 x 18.5 เซนติเมตร^2 ที่มีสาย thermocouple ติดอยู่ นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำในถุงโพลีเอทธิลีนเกิดสมดุลทางความร้อนกับน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ บันทึกอุณหภูมิของน้ำในถุงโพลีเอทธิลีน

ค. นำถุงโพลีเอทธิลีนที่บรรจุน้ำใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำอยู่แล้วปิดฝาทันที

ง. เขย่าแคลอริมิเตอร์ 12 ครั้ง ทุก ๆ 2 นาที และบันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ทุก ๆ 1 นาที นาน 2 ชั่วโมง

จ. นำอุณหภูมิและเวลาของน้ำในแคลอริมิเตอร์ที่วัดได้มาพลอตกราฟ เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาสมดุล (T_F , t_F) โดยพิจารณาจากช่วงกราฟที่มีค่า R^2 สูงสุด และหาความชันของเส้นกราฟ (dT/dt) ภายหลังภาวะสมดุล

ฉ. คำนวณค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์จากสมการ (27)

$$C_{PW}W_{GS}T_{GS} + C_{PW}W_{W}T_{W} + H_{C}T_{C} = C_{PW}W_{GS}T_{F} + C_{PW}W_{W}T_{F} + H_{C}T_{F} - L \quad ..(27)$$

เมื่อ $L = (C_{PW}W_{W} + H_{C} + C_{PW}W_{GS})(dT/dt)t_{F}$

3.7.1.2 การหาค่าความร้อนจำเพาะในช่วงอุณหภูมิสูง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.7.1.1 แต่ใส่ตัวอย่างลงในถุงโพลีเอทธิลีนและนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิจนได้อุณหภูมิที่ต้องการ โดยที่อุณหภูมิของตัวอย่างต้องสมดุลกับอุณหภูมิของน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และคำนวณค่าความร้อนจำเพาะของตัวอย่างจากสมการ (17)

3.7.1.3 การหาค่าความร้อนจำเพาะในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.7.1.2 แต่ใช้ตัวอย่างบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีน แช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส แล้วนำมาปรับให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ แต่เนื่องจากในระหว่างการทดลองมีการเปลี่ยนสถานะจากน้ำแข็งไปเป็นน้ำ จึงต้องมีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งในตัวอย่าง (LH) มาเกี่ยวข้อง สมการที่ใช้คำนวณค่าความร้อนจำเพาะของตัวอย่างจึงเป็น

$$C_{PS}W_{S}T_{F} + C_{PW}W_{W}T_{F} + H_{C}T_{F} + LH = C_{PS}W_{S}T_{S} + C_{PW}W_{W}T_{W} + H_{C}T_{C} - L \quad ..(28)$$

3.7.2 การวัดค่าสภาพนำความร้อน

ใช้ thermal conductivity probe หาค่าสภาพนำความร้อนของมะละกอและมะม่วง โดยใช้แหล่งความร้อนจากเครื่องแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นกระแสตรง 1.5 โวลต์ ซึ่งจะต้องมีการหาค่าพลังงานที่ให้แก่ probe (q) ก่อน โดยใช้กลีเซอรีน (มีค่าสภาพนำความร้อนเท่ากับ 0.285 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน ที่ 20 องศาเซลเซียส) จากนั้นจึงหาค่าสภาพนำความร้อนของตัวอย่างใน 2 ช่วงอุณหภูมิ คือ ช่วงอุณหภูมิสูง (60-65, 80-85 และ 95-100 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ (-30 ± 1, -18 ± 1 และ -10 ± 1 องศาเซลเซียส) ดังนี้

3.7.2.1 การหาค่าพลังงานความร้อนที่ให้แก่ probe

ก. ต่อสาย thermocouple และ heating wire ของ thermal conductivity probe เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ และเครื่องแปลงไฟฟ้า ตามลำดับ

ข. จุ่ม probe ลงในกลีเซอรีนที่มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20 องศาเซลเซียส

ค. ให้พลังงานความร้อนแก่ probe ผ่านทาง heating wire

ง. บันทึกอุณหภูมิทุก 1 วินาที เป็นเวลา 1 นาที

จ. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ ln (t) และคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ให้แก่ probe จากสมการ

$$q = 4\pi Sk \qquad .....(29)$$

ฉ. ทำการทดลองหาค่าพลังงานความร้อนประมาณ 10 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.7.2.2 การหาค่าสภาพนำความร้อนในช่วงอุณหภูมิสูง

ทดลองเช่นเดียวกับการหาค่าพลังงานความร้อนที่ให้แก่ probe แต่ใช้ชิ้นมะละกอหรือมะม่วง บรรจุในท่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร แทนกลีเซอรีน โดยจะนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จนได้อุณหภูมิคงที่ตามต้องการ เสียบ probe ลงในตัวอย่างที่บรรจุในท่อ ให้พลังงานความร้อนแก่ probe เพื่อวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป และคำนวณค่าสภาพนำความร้อนจากสมการ (21) ทำการทดลองซ้ำประมาณ 5-6 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยสภาพนำความร้อน

3.7.2.3 การหาค่าสภาพนำความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.7.2.2 แต่นำตัวอย่างไปแช่ในตู้แช่แข็งให้มีอุณหภูมิตามต้องการ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7.3 การวัดค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้ thermal diffusivity tube หาค่าสภาพแพร่ความร้อนของมะละกอและมะม่วง ทั้งในช่วงอุณหภูมิสูง คือที่ 60-67, 80-87 และ 95-101 องศาเซลเซียส และในช่วงอุณหภูมิต่ำ คือที่ -30 ถึง -13, -18 ถึง -4 และ -10 ถึง 0 องศาเซลเซียส ดังนี้

3.7.3.1 การหาค่าสภาพแพร่ความร้อนในช่วงอุณหภูมิสูง

ก. นำชิ้นตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของ thermal diffusivity tube บรรจุลงในท่อจนเต็ม ปิดฝาให้แน่น เสียบ thermocouple ลงไปจนปลายอยู่กลางท่อเพื่อวัดอุณหภูมิของตัวอย่าง

ข. นำท่อไปตั้งแช่กลางอ่างควบคุมอุณหภูมิที่บรรจุน้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี (น้ำมันพืชมรกต, บริษัท มรกตอินดัสตรี้ส์ จำกัด) ซึ่งใช้เป็นสารตัวกลางให้ความร้อนและมีสาย thermocouple ติดอยู่เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำมัน จนตัวอย่างในท่อมีอุณหภูมิตามต้องการ จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนเกิดสมดุลทางความร้อน คืออุณหภูมิของตัวอย่างในท่อเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมัน บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างและน้ำมัน

ค. เปิดเครื่องทำความร้อนของอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันด้วยปริมาณคงที่

ง. บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างในท่อและอุณหภูมิของน้ำมันในอ่างควบคุมอุณหภูมิทุก 1 นาที นาน 1 ชั่วโมง

จ. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา และคำนวณค่าสภาพแพร่ความร้อนจากสมการ (25)

3.7.3.2 การหาค่าสภาพแพร่ความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

ก. บรรจุตัวอย่างลงใน thermal diffusivity tube จนเต็มท่อ ปิดฝา และเสียบ thermocouple ให้ปลายอยู่บริเวณกลางท่อ นำไปแช่ในตู้แช่แข็งจนมีอุณหภูมิตามต้องการ

ข. นำสารตัวกลางให้ความร้อนคือ propylene glycol ที่แช่ในตู้แช่แข็งจนมีอุณหภูมิต่ำสุดใส่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้น้ำแข็งแห้ง (dry ice) ช่วยในการลดอุณหภูมิของ propylene glycol จนได้อุณหภูมิในระดับที่ต้องการ

ค. นำท่อที่บรรจุตัวอย่างตั้งแช่ใน propylene glycol ของอ่างควบคุมอุณหภูมิ ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างกลางท่อเท่ากับอุณหภูมิของ propylene glycol ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่าง และ propylene glycol

ง. เปิดเครื่องทำความร้อนของอ่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ propylene glycol มีการเพิ่มอุณหภูมิคงที่

จ. บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างในท่อ และ propylene glycol ทุก 1 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ฉ. คำนวณค่าสภาพแพร่ความร้อน โดยใช้สมการ (25) เช่นเดียวกับในช่วงอุณหภูมิสูง

3.8 ขอบเขตในการศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อสมบัติทางความร้อน

ศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นที่มีต่อสมบัติทางความร้อน ได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสภาพนำความร้อน และค่าสภาพแพร่ความร้อนของมะละกอและมะม่วง โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

ก. อุณหภูมิ แบ่งเป็น 2 ช่วงอุณหภูมิ คือ ช่วงอุณหภูมิสูงได้แก่ 60-65, 80-85 และ 95-100 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความร้อนจำเพาะ และค่าสภาพนำความร้อน และ 60-67, 80-87 และ 95-101 องศาเซลเซียส สำหรับค่าสภาพแพร่ความร้อน และช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำได้แก่ -30$\pm$1, -18$\pm$1 และ -10$\pm$1 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความร้อนจำเพาะ และค่าสภาพนำความร้อน และ -30 ถึง -13, -18 ถึง -4 และ -10 ถึง 0 องศาเซลเซียส สำหรับค่าสภาพแพร่ความร้อน

ข. ปริมาณความชื้น ปริมาณความชื้นของมะละกอแบ่งเป็น 3 ระดับ คือมะละกอสดความชื้นร้อยละ 89-91 มะละกออบแห้งความชื้นร้อยละ 79-81 และ ร้อยละ 69-71 ส่วนปริมาณความชื้นของมะม่วงแบ่งเป็น 3 ระดับ คือมะม่วงสดความชื้นร้อยละ 79-81 มะม่วงอบแห้งความชื้นร้อยละ 69-71 และ ร้อยละ 59-61

ในการทดลองวางแผนการทดลองแบบ factorial (จรัญ จันทลักขณา, 2527) โดยในแต่ละช่วงอุณหภูมิศึกษาตัวแปร 2 ตัว คือ อุณหภูมิ 3 ระดับ และความชื้น 3 ระดับ ซึ่งในแต่ละระดับของอุณหภูมิและความชื้น ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.9 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำค่าสมบัติทางความร้อนคือค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสภาพนำความร้อน และค่าสภาพแพร่ความร้อนที่ได้จากการทดลองที่แต่ละระดับอุณหภูมิและปริมาณความชื้นต่าง ๆ มาวิเคราะห์ผลดังนี้

3.9.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อสมบัติทางความร้อนของมะละกอและมะม่วงโดยใช้โปรแกรม FLASH CAT (STATISTICAL ANALYSIS PACKAGE: CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK, THAILAND)

3.9.2 หาค่าเฉลี่ยและความแตกต่างของค่าสมบัติทางความร้อนของมะละกอและมะม่วงที่อุณหภูมิและความชื้นต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ดังรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ข

3.9.3 หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนของมะละกอและมะม่วงกับอุณหภูมิและความชื้น โดยการทำ multiple regression ของข้อมูลทั้งหมด และพิจารณาความสำคัญของเทอมต่าง ๆ ในสมการโดยใช้ analysis of variance ในการตัดเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้วยโปรแกรม S.P.S. (DATABASIC, Inc. Mt. Pleasant MI 48858)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย