บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ทฤษฎีและสมมติฐานในการทดลอง

3.1.1 การหาค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture หรือ indirect mixing method ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะคำนวณได้จากสมการสมดุลทางความร้อนระหว่างความร้อนที่น้ำและแคลอริมิเตอร์ได้รับหรือสูญเสียกับความร้อนที่ตัวอย่างได้รับหรือสูญเสีย การเลือกใช้วิธีนี้ในการหาค่าความร้อนจำเพาะ เนื่องจากวิธีนี้มีการพิจารณาถึงการได้รับความร้อนหรือสูญเสียความร้อนจากสิ่งแวดล้อมในกรณีที่ทดลองที่อุณหภูมิจุดสมดุลต่างจากอุณหภูมิบรรยากาศ มีการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากระบบโดยใช้แคลอริมิเตอร์ที่มีลักษณะเป็น vacuum jacket ที่มีฉนวนหุ้มอย่างเพียงพอ (Hwang และ Hawakawa, 1979) สะดวกต่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้ปริมาณตัวอย่างไม่มากและตัวอย่างไม่สัมผัสโดยตรงกับสารตัวกลาง

ส่วนวิธี method of mixture นั้นไม่เหมาะสมเนื่องจากปลาหมึกมีความชื้นสูงจึงอาจสูญเสียน้ำให้กับสารตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนได้ สำหรับวิธี differential scanning calorimeter ต้องใช้ความชำนาญมากและเครื่องมือราคาแพง ส่วนวิธี Moline's method ต้องใช้ตัวอย่างปริมาณมากแม้วิธีการจะคล้ายคลึงกับ modified method of mixture

3.1.2 การหาค่าสภาพนำความร้อน

การหาค่าสภาพนำความร้อนเลือกใช้วิธี unsteady state method โดยใช้ thermal conductivity probe เนื่องจากวิธีนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีความชื้นสูงในช่วงแช่แข็งและใช้เวลาในการทดลองสั้น ส่วนวิธี steady state method นั้นใช้เวลานานและค่าที่ได้อาจเกิดการผิดพลาดเนื่องจากเกิด moisture migration รวมทั้งอาจเกิดการสูญเสียความร้อนจากเครื่องมืออีกด้วย ส่วนการหาค่าสภาพนำความร้อนด้วยวิธี semi-steady

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

state method ใช้เครื่องมือยุ่งยาก และควบคุมไม่ให้ความร้อนถ่ายโอนสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก ค่าสภาพนำความร้อนคำนวณจากความชันของเส้นตรงที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln ของเวลากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ(Rao และ Rizvi, 1986)

สำหรับตัวอย่างที่มีขนาดจำกัดจะกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างมีค่ามากกว่า 4 (Qashou และคณะ, 1970) ขนาดของตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสมการ(29) ซึ่งเวลาที่ใช้ในการวัดค่าสภาพนำความร้อนมีค่าประมาณ 1-2 นาทีเนื่องจากสะดวก ให้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำมากกว่าและทำให้ขนาดของตัวอย่างไม่ใหญ่มากเกินความจำเป็น การคำนวณใช้หลักการว่า ถ้า 4 เท่าของ Fourier number มีค่าน้อยกว่า 0.6 ทำให้มีความผิดพลาดน้อยมาก เพราะไม่มีการรบกวนจากกระแสไฟฟ้าไปยังตัวอย่าง แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.6 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางของ heat flow ที่ขอบของตัวอย่าง (Kustermann และคณะ,1981)ดังสมการ

$$4 F_o < 0.6 \quad \text{.....................................(27)}$$

$$F_o = t/(D^2\alpha) \quad \text{.....................................(28)}$$

เมื่อ D คือ ครึ่งหนึ่งของความหนา

$$t_{max} = (0.6 D^2) / (4\alpha) \quad \text{..........................(29)}$$

จากการคำนวณเบื้องต้นพบว่าเวลาที่มากที่สุดในการวัดค่าสภาพนำความร้อนและความหนาของตัวอย่างที่น้อยที่สุดโดยใช้ probe แล้วให้ค่าถูกต้องเป็น 65 วินาที และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับซึ่งภาชนะที่ใส่ตัวอย่างควรมีลักษณะเป็น plate เนื่องจากรูปทรงของปลาหมึกที่เป็นแผ่น นอกจากนี้ยังสามารถเรียงตัวอย่างลงในภาชนะในทิศทางเดียวกันได้ เนื่องจากการเรียงตัวของเนื้อเยื่อมีผลต่อค่าสภาพนำความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 การหาค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้วิธี slab shape method ที่มีการถ่ายโอนความร้อนในทิศทางเดียว (one dimensional heat transfer) และไม่มีแหล่งให้ความร้อนภายในวัตถุ นอกจากนี้ยังกำหนดให้ค่าสภาพแพร่ความร้อนเป็นค่าอิสระไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและอุณหภูมิ เหตุผลในการพิจารณาเลือกใช้วิธีนี้เนื่องจากตัวอย่างอาหารที่ใช้คือ ปลาหมึกมีลักษณะเป็นแผ่น ซึ่งทำเป็นทรงกลมหรือรูปทรงอย่างอื่นได้ยาก และวิธีนี้ใช้ปริมาณตัวอย่างไม่มาก ส่วนวิธี line heat source method จะใช้ตัวอย่างอาหารปริมาณมาก และการสร้างเครื่องมือยุ่งยากมาก และวิธี Acalorimeter method ใช้ตัวอย่างปริมาณมาก ไม่เหมาะสมกับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่นอย่างปลาหมึก ส่วนวิธี temperature profile ใช้หลักการเดียวกับ slab method เพียงแต่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการ

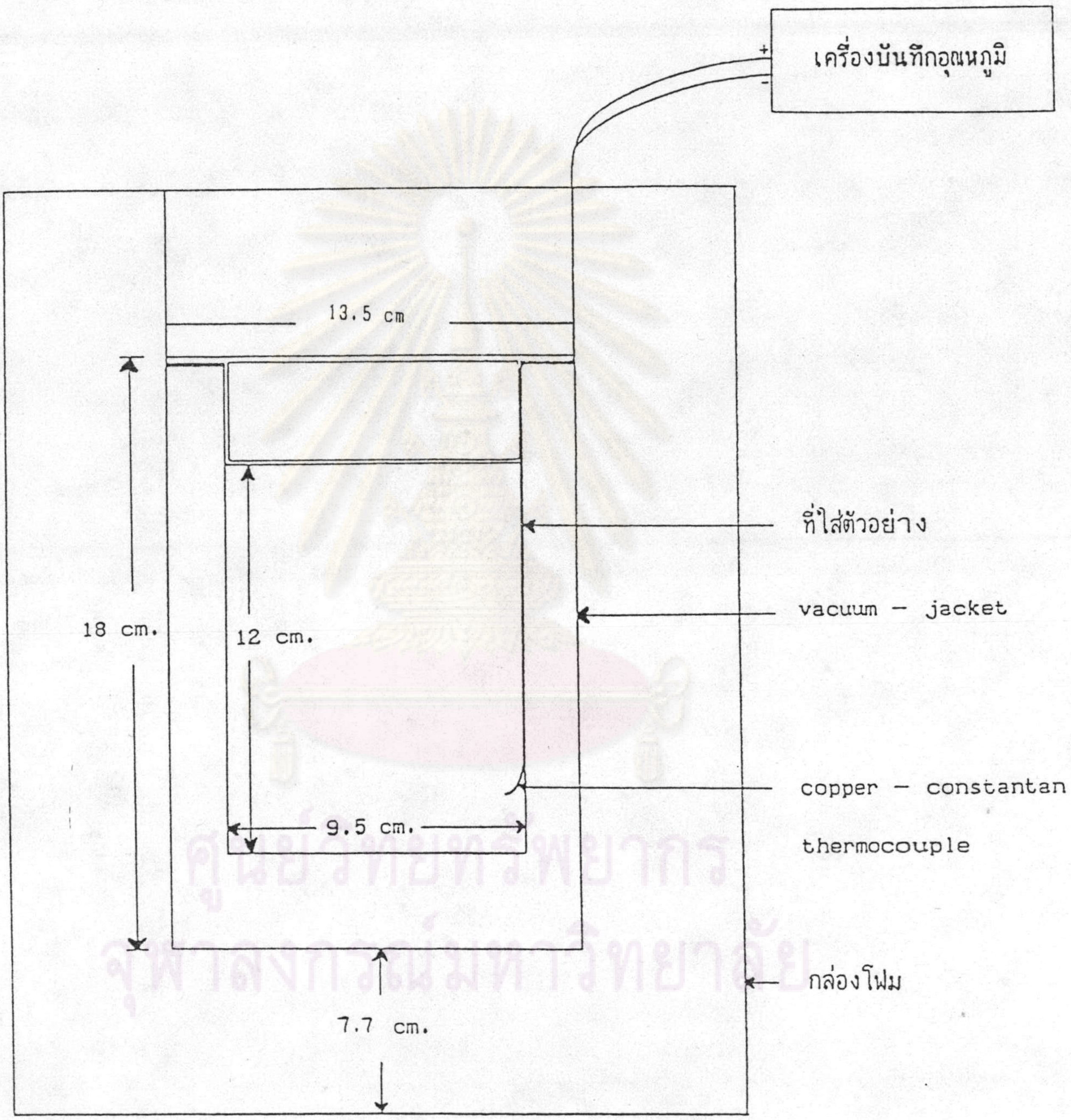
การคำนวณค่าสภาพแพร่ความร้อนของวิธีนี้ใช้ numerical calculation ในการแก้สมการซึ่งมีความยุ่งยาก(รายละเอียดดังแสดงในบทที่ 2) จึงนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ โดยมี flow chart และ main program ดังแสดงในภาคผนวก กและเลือกใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมเพราะสามารถคำนวณได้เร็วกว่าภาษาอื่น

3.2 <u>ลักษณะของเครื่องมือสำหรับหาสมบัติทางความร้อนของปลาหมึก</u>

3.2.1 ค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture หรือ indirect mixing method เครื่องมือที่ใช้คือแคลอริมิเตอร์ (รูปที่ 3.1) ที่ประกอบขึ้นโดยใช้กระติกน้ำร้อนที่มีลักษณะเป็น vacuum jacket ซึ่งช่องบรรจุตัวอย่างจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร ภายในกระติกน้ำร้อนใส่น้ำกลั่นซึ่งมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 0.999 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส(ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส) เป็นสารตัวกลางทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน และใช้ thermocouple type T (copper-constantan) ต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ(CHINO model DR 015 accuracy$\pm$0.1 องศาเซลเซียส) วัดอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ และอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างที่บรรจุในถุง LLDPE (Linear Low Density Polyethylene)ซึ่งใช้ได้ดีในช่วงแช่แข็ง และสามารถป้องกันไขมันและน้ำได้ดีอีกด้วย มีขนาดกว้าง 11 เซนติเมตรยาว 18 เซนติเมตรหนา 0.1 มิลลิเมตร แคลอริมิเตอร์มีการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากระบบโดยหุ้มด้วยโฟมหนา 3 นิ้ว และมี

เม็ดโฟมบรรจุบริเวณช่องว่างระหว่าง vacuum jacket กับแผ่นโฟม

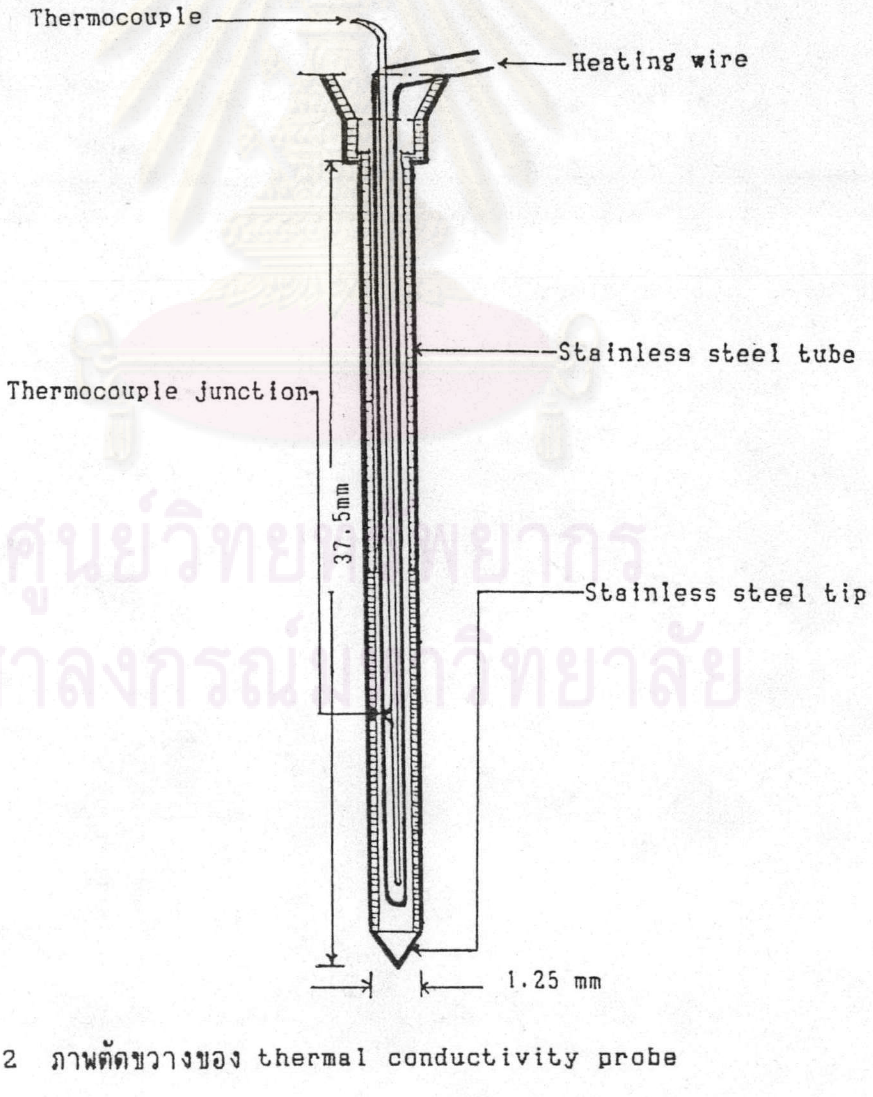


รูปที่ 3.1 ภาพตัดขวางของแคลอริมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

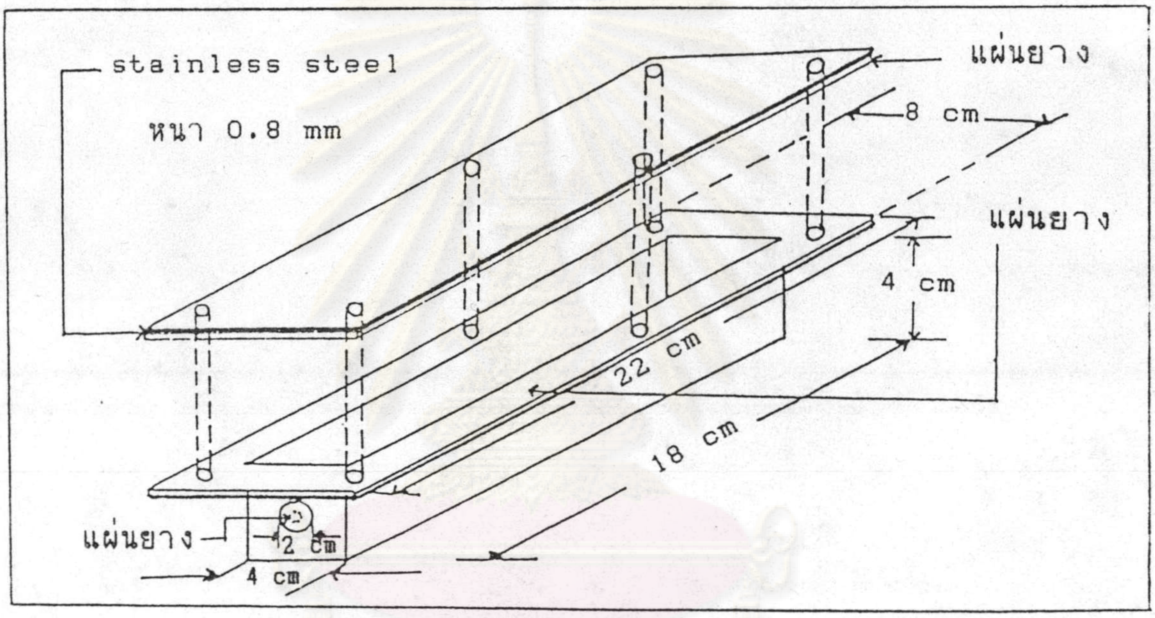
3.2.2 ค่าสภาพนำความร้อน

ใช้ thermal conductivity probe(รูปที่ 3.2) เพื่อหาสภาพนำความร้อนของปลาหมึก probe ที่ใช้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sweat(1974) โดยตัว probe ประกอบด้วยเข็มฉีดยาเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร ยาว 37.5 มิลลิเมตร ซึ่งภายในมี thermocouple type T ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ copper และ constantan เท่ากับ 0.08 มิลลิเมตร ปลายด้านหนึ่งของ thermocouple อยู่บริเวณกึ่งกลาง probe ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ภายใน probe มี nichrome heating wire ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 มิลลิเมตร ซึ่งมีปลายด้านหนึ่งอยู่ปลาย probe และปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงความต่างศักย์ 1.5โวลต์ ช่องว่างภายใน probe บรรจุปรอทเพื่อแทนที่อากาศที่มีค่าสภาพนำความร้อนต่ำ



รูปที่ 3.2 ภาพตัดขวางของ thermal conductivity probe

สำหรับ thermal conductivity plate ที่ใส่ตัวอย่างได้จากการคำนวณตามสมการ(29) พบว่าขนาดของตัวอย่างที่เหมาะสมควรมีขนาด 4x18x4เซนติเมตร โดยมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สามารถเปิดฝาด้านบน และด้านข้างด้านหนึ่งเจาะรูเพื่อให้สามารถเสียบ probe เข้าไป(รูปที่ 3.3) ทำจาก stainlss steel หนา 0.8 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องการวัสดุที่มีสภาพนำความร้อนสูง (เพื่อให้อุณหภูมิภายในตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการโดยเร็ว) ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารและมีความคงรูปดี



รูปที่ 3.3 ลักษณะของ thermal conductivity plate

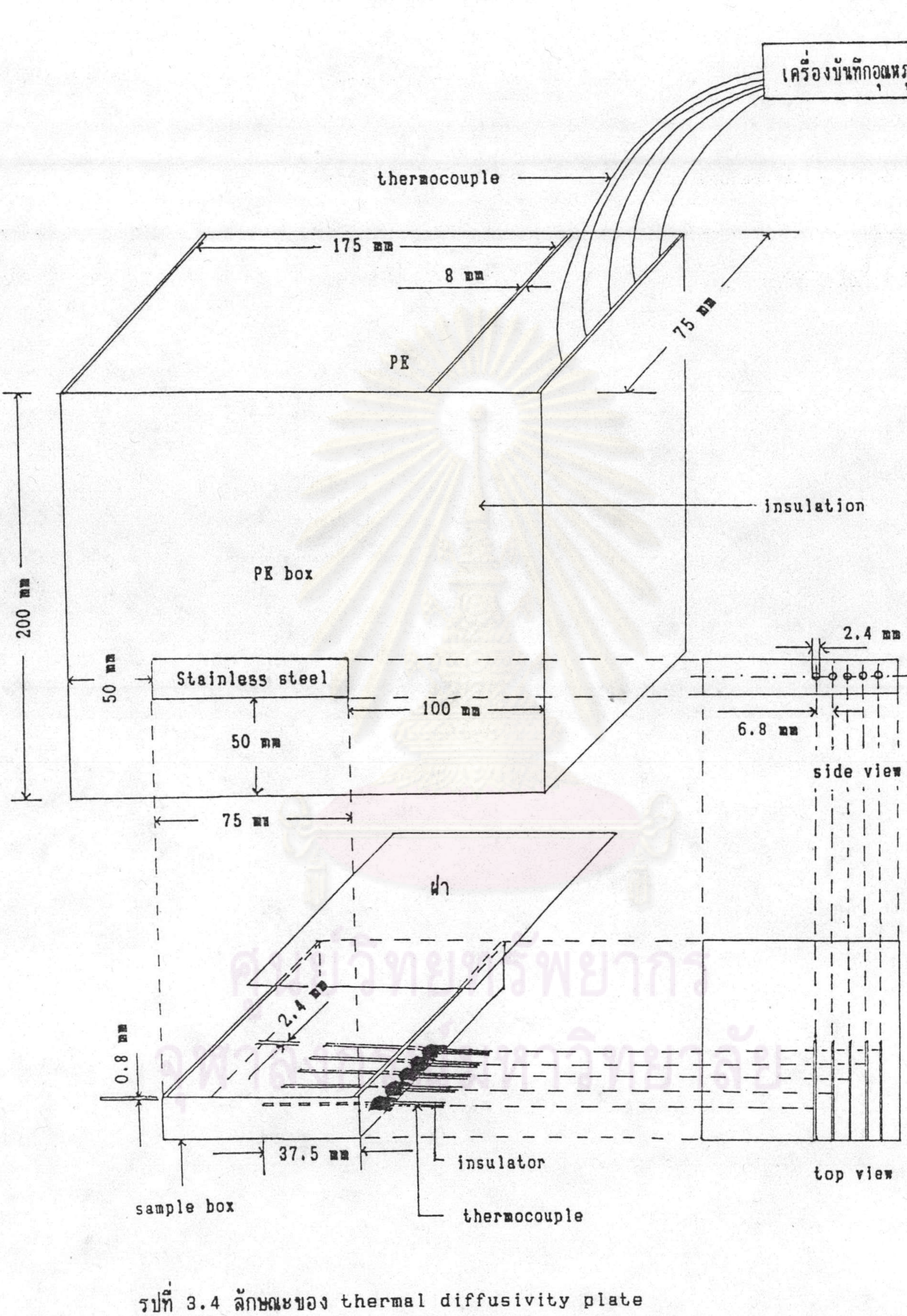
3.2.3 ค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้ thermal diffusivity plate ที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Kubota และคณะ (1983); Nesvadba และ Eunson(1984) เพื่อให้เหมาะสมกับตัวอย่าง ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.4 โดย thermal diffusivity plate มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมจตุรัสแบน ขนาด 7.5 x 7.5 x 2 เซนติเมตร ทำด้วยพลาสติก polyethylene (PE) ที่มีค่าสภาพนำความร้อน 7.9743×10^{-2} W/m °C ที่ 30 °C หนา 0.8 เซนติเมตร ซึ่ง PE สามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง(-300 ถึง 100 องศาเซลเซียส) และไม่ทำปฏิกิริยากับ propylene

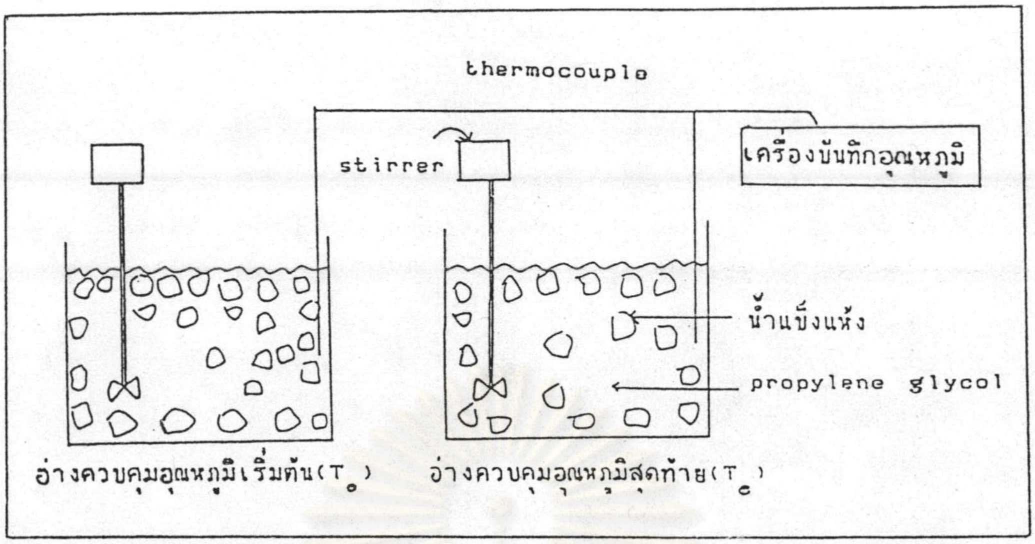
glycol โดยมีอากาศที่มีค่าสภาพนำความร้อน 0.02 W/m °C ที่ 30 °C เป็นฉนวนหุ้มหนา 5 เซนติเมตรโดยรอบ ส่วนบริเวณที่ต้องการให้มีการถ่ายโอนความร้อนจะใช้ stainless steel หนา 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงถึง 1601.17 w/m°C ที่ 20 °C ฝาจะทำด้วยพลาสติก PE เช่นกัน โดยภายในกล่องจะมีการเจาะรู 5 รูเพื่อสอด probe ซึ่งทำจากเข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร ภายในมีสาย thermocouple type T ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ copper และ constantan เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตรสอดอยู่ ให้ปลายสาย thermocouple อยู่ที่ปลาย probe เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิที่คงที่สม่ำเสมอตลอดชิ้นตัวอย่างอาหาร โดยห่างกันรูละ 0.68 เซนติเมตรตามลำดับ

ในการทดลองจะนำกล่องนี้แช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มี propylene glycol เป็นสารตัวกลางในการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยรักษาสภาวะแวดล้อมให้คงที่ และมีการกวนอย่างสม่ำเสมอ(รูปที่ 3.5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 ลักษณะของ thermal diffusivity plate



รูปที่ 3.5 เครื่องมือที่ใช้หาค่าสภาพแพร่ความร้อนโดยวิธี slab ในการทดลอง

3.3 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้เป็นปลาหมึก 2 พันธุ์คือ

3.3.1 ปลาหมึกกล้วย ซื้อจากสะพานปลากรุงเทพฯ โดยมีขนาด 20-25 เซนติเมตร มีน้ำหนักในช่วง 1000-1200 กรัม/ตัว

3.3.2 ปลาหมึกกระดองเป็นปลาหมึกกระดองลายเสือซื้อมาจากสะพานปลากรุงเทพฯ โดยมีขนาด 15-20 เซนติเมตร มีน้ำหนักในช่วง 1000-1200 กรัม/ตัว

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

หาปริมาณความชื้นโดยใช้เครื่อง hot air oven ดัดแปลงจากวิธีวิเคราะห์ของ AOAC 14.004 (1984) ปริมาณโปรตีนโดยใช้เครื่อง micro Kjeldahl ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 2.057 (1984) ปริมาณไขมันโดยใช้เครื่อง soxhlet ตามวิธีของ AOAC 14.089 (1984) ปริมาณเส้นใยดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 7.006 (1984) และปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC 7.009 (1984) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยใช้ผลต่างขององค์ประกอบต่างๆ จาก 100 (ดังแสดงในภาคผนวก ข)

3.5 <u>การหาความหนาแน่นของตัวอย่าง</u> (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2524)

ก. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างและบันทึกไว้

ข. เติมเมล็ดงาลงในภาชนะโลหะจนเต็ม อ่านปริมาตรของเมล็ดงาที่ใช้เติมนั้นโดยใช้กระบอกตวง

ค. วางตัวอย่างลงในภาชนะ เติมเมล็ดงาลงไปจนเต็ม อ่านปริมาตรของเมล็ดงาที่ใช้เติมนั้นโดยใช้กระบอกตวง

ง. คำนวณหาความหนาแน่นของตัวอย่างจากสมการ

ความหนาแน่นของตัวอย่าง = น้ำหนักของตัวอย่าง(g)/(ปริมาตรของเมล็ดงาในข้อ ข -ปริมาตรเมล็ดงาในข้อ ค) .... (30)

3.6 <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

3.6.1 สำหรับวัดค่าความร้อนจำเพาะ

หั่นตัวอย่างโดยเอาเฉพาะส่วนตัว (fillet) ที่ลอกเปลือกชั้นในและเปลือกชั้นนอกออกเป็นชิ้นขนาด 2 x 2 x 1 เซนติเมตรจำนวน 150 กรัมใส่ในถุง LLDPE แล้วนำไปแช่แข็งใน air blast freezer (AUGUSTA ไม่ปรากฎ model และประเทศที่ผลิต) ที่อุณหภูมิของอากาศ -40 องศาเซลเซียส โดยมีความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีไหลผ่านตามขวางของตัวอย่าง พบว่ามีการลดลงของอุณหภูมิน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังนั้นจึงเป็นการแช่แข็งแบบช้า(ไพบูลย์,2529)

ส่วนตัวอย่างที่ต้องทำการละลาย (thawing) จะนำปลาหมึกเฉพาะส่วนตัวที่ลอกเปลือกชั้นในและเปลือกชั้นนอกออกใส่ถุง LLDPE ประมาณ 1 กิโลกรัม แล้วเสียบปลายด้านหนึ่งของ thermocouple type T ไว้ในตัวอย่างปลายอีกด้านต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมินำไปแช่ใน still air freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลายโดยนำตัวอย่างที่อยู่ในถุง LLDPE แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 30$\pm$2 องศาเซลเซียส ปริมาตร 2 ลิตร บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างทุก 1 นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างประมาณ 5 องศาเซลเซียส พบว่าใช้เวลา 55 นาที ซึ่งใช้เป็นเวลาในการละลายครั้งต่อไป จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาหั่น

เป็นขนาด 2 x 2 x 1 เซนติเมตรจำนวน 150 กรัมใส่ในถุง LLDPE แล้วนำไปแช่แข็งด้วย air blast freezer จนได้อุณหภูมิตามต้องการ

3.6.2 สำหรับวัดค่าสภาพนำความร้อน

หั่นตัวอย่างปลาหมึกโดยเอาเฉพาะส่วนตัว (fillet) เช่นเดียวกับข้อ 3.6.1 เป็นชิ้นขนาด 4 x 9 x 1 เซนติเมตร บรรจุใน thermal conductivity plate โดยเรียงตามแนวยาวของภาชนะจนได้ความสูงเท่ากับภาชนะบรรจุ

ส่วนตัวอย่างปลาหมึกที่ต้องการละลายให้ทำเหมือนข้อ 3.6.1 โดยใช้เวลา 55 นาทีในการละลาย หลังจากละลายแล้วจะนำปลาหมึกมาทำการหั่นเป็นขนาด 4 x 9 x 1 เซนติเมตรบรรจุใน thermal conductivity plate และนำไปแช่แข็งด้วย air blast freezer จนได้อุณหภูมิตามต้องการ

3.6.3 การวัดค่าสภาพแพร่ความร้อน

หั่นชิ้นตัวอย่างโดยเอาเฉพาะส่วนตัว (fillet) เป็นชิ้นขนาด 2 x 7.5 x 1 เซนติเมตร แล้วเรียงลงใน thermal diffusivity plate ตามแนวยาวของภาชนะจนแน่นให้ได้ความกว้างเท่ากับภาชนะบรรจุ

ส่วนตัวอย่างปลาหมึกที่ต้องการทำการละลาย(thawing) ให้ทำเหมือนข้อ 3.6.1 หลังจากละลายนำปลาหมึกมาหั่นเป็นขนาด 2 x 7.5 x 1 เซนติเมตร

3.7 <u>วิธีการทดลองหาสมบัติทางความร้อน</u>

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7.1 การวัดค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้แคลอริมิเตอร์ที่ประกอบขึ้น และทดสอบหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์โดยใช้น้ำเป็นสารอ้างอิง (ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 0.999 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. ใส่น้ำ 250 กรัมในแคลอริมิเตอร์ปล่อยให้อุณหภูมิของน้ำและแคลริมิเตอร์คงที่ที่อุณหภูมิห้อง

ข. ใส่น้ำ 150 กรัมในถุง LLDPE จากนั้นนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 30 นาทีหรือจนอุณหภูมิของน้ำในถุงสมดุลกับอุณหภูมิ

ของน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

ค. บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์และในถุง LLDPE เริ่มต้น โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

ง. นำถุงที่บรรจุน้ำใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำอยู่ แล้วปิดฝาทันที

จ. บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ทุก 1 นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีการเขย่าแคลอริมิเตอร์อย่างสม่ำเสมอ

ฉ. สร้างกราฟระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้กับเวลา อ่านค่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความชันของกราฟเส้นตรง (dT/dt) มีค่า R^2 (Coefficient of determination) หลังภาวะสมดุลสูงสุด เป็นอุณหภูมิและเวลาสมดุล (T_F, t_F)

ช. คำนวณค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ จากสมการ(2) แต่เปลี่ยนจากตัวอย่างมาเป็นน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โปรแกรม LOTUS 1-2-3

ซ. นำตัวอย่างที่เตรียมแล้วแช่ใน air blast freezer และรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตามต้องการโดยใช้ propylene glycol และน้ำแข็งแห้ง(เป็นเวลาประมาณ 30 นาที)

ญ. ใส่น้ำ 250 กรัมที่ 65 องศาเซลเซียสในแคลอริมิเตอร์ บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์เริ่มต้น

ฎ. ใส่ตัวอย่างที่ได้อุณหภุมิตามต้องการลงในแคลอริมิเตอร์ แล้วปิดฝาทันที

ฏ. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ จ และ ฉ แต่คำนวณผลการทดลองโดยใช้สมการ(31) ซึ่งมีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งในปลาหมึกมาเกี่ยวข้อง เนื่องจากมีการเปลี่ยนสถานะของน้ำแข็งในปลาหมึกไปเป็นน้ำในระหว่างการทดลอง

$$(C_{PW}W_W + H_C)T_C + C_{PS}W_ST_S + LH = C_{PS}W_ST_F + C_{PW}W_WT_F + H_CT_C - E \qquad \text{...........(31)}$$

เมื่อ LH = ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งในปลาหมึก (cal)

= [ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง (80 cal/g) x ความชื้นปลาหมึกxW_s]

3.7.2 การวัดค่าสภาพนำความร้อน

ใช้ thermal conductivity probe ในการหาค่าสภาพนำความร้อนของปลาหมึก โดยใช้หม้อแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงขนาด 1.5 V เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน หาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ด้วยกลีเซอรีน(ค่าสภาพนำความร้อนเท่ากับ 0.285 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน ที่ 20 องศาเซลเซียส) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. เสียบ thermal conductivity probe ลงในกลีเซอรีนที่มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20 องศาเซลเซียส

ข. ต่อสาย thermocouple ของ probe เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิและรอจนอุณหภูมิของกลีเซอรีนคงที่

ค. ให้พลังงานความร้อนโดยใช้หม้อแปลงไฟเป็น 1.5 โวลต์ แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกลีเซอรีนทุก 1 วินาที เป็นเวลา 60 วินาที

ง. สร้างกราฟของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับ ln (t) จะได้กราฟเส้นตรง หาค่าความชันของกราฟ (s) เพื่อคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ จากสมการ

$$q' = 4\pi sk \quad \text{....................................(32)}$$

จ. ทำการทดลองประมาณ 6 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรม LOTUS 1-2-3

ฉ. เสียบ thermal conductivity probe ลงไปด้านข้าง plate ที่ใส่ตัวอย่างไว้ แล้วนำไปแช่ใน air-blast freezer และรักษาอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการโดยใช้ propylene glycolและน้ำแข็งแห้ง ซึ่งจะวัดในทิศทางขนานกับเส้นใยตามแนวรัศมีของปลาหมึก ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าค่าสภาพนำความร้อนในทิศทางขนานกับเส้นใยตามแนวรัศมีของปลาหมึกมีค่ามากกว่าในทิศทางตั้งฉากร้อยละ 5-10

ช. ต่อสาย thermocouple ของ probe เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิและทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ ค ถึง จ

3.7.3 การวัดค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้ thermal diffusivity plate ที่มี probe เสียบอยู่ 5 จุด และอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ประกอบขึ้น โดยใช้สารละลาย propylene glycol และน้ำแข็งแห้งเป็นตัวกลางในการควบคุมอุณหภูมิในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. บรรจุตัวอย่างลงใน thermal diffusivity plate ปิดฝา แล้วเสียบ thermocouple เข้าไปที่ด้านข้าง 5 จุดตามตำแหน่งที่กำหนดไว้เพื่อวัดอุณหภูมิจากนั้นนำไปแช่ใน air blast freezer

ข. นำสารละลาย propylene glycol ไปแช่ในตู้แช่แข็งจนได้อุณหภูมิตามต้องการแล้วจึงนำมาใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 2 อ่าง อาจใช้น้ำแข็งแห้งช่วยลดอุณหภูมิ โดยใส่น้ำแข็งแห้งลงในสารละลาย propylene glycol ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ให้ได้อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o)และอุณหภูมิสุดท้าย(T_a)ตามต้องการ

ค. นำ thermal diffusivity plate แช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างคงที่สม่ำเสมอทั่วชิ้น (±0.1 องศาเซลเซียส) จากนั้นจึงนำ thermal diffusivity plate แช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิสุดท้าย (T_a) และเริ่มบันทึกอุณหภูมิของ propylene glycol ในอ่างควบคุมอุณหภูมิและปลาหมึกทุกนาทีเป็นเวลานาน 60 นาที

ง. นำอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละเวลา ไปคำนวณค่าสภาพแพร่ความร้อนของปลาหมึกโดยใช้หลักการของ numerical calculation ซึ่งมีความยุ่งยากจึงนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนโดยใช้ภาษา C.เพื่อหาค่าสภาพแพร่ความร้อนโดยค่าที่คำนวณได้เป็นค่าที่อุณหภูมิเฉลี่ย(T_m)ของอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย

3.8 <u>ขอบเขตในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของปลาหมึกกล้วยและปลาหมึกกระดอง</u>

ศึกษาผลของอุณหภูมิ ภาวะการละลาย (thawing) และพันธุ์ที่มีต่อสมบัติทางความร้อน ได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสภาพนำความร้อน และค่าสภาพแพร่ความร้อนของปลาหมึก โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial design (จรัญ,2527) โดยมีตัวแปร 3 ตัว คืออุณหภูมิ 4 ระดับ, ภาวะการละลาย 2 ระดับ และพันธุ์ 2 ระดับ และ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

ก. อุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำได้แก่ -40$\pm$1,-30$\pm$1, -18$\pm$1, และ -10$\pm$1 องศาเซลเซียส

ข. ภาวะการละลาย(thawing) ได้แก่ไม่ผ่านการละลายและผ่านการละลาย ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการละลายคือตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งด้วย air blast freezer จนได้อุณหภูมิตามต้องการก่อนวัดค่าสมบัติทางความร้อน ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการละลายหมายถึง นำตัวอย่างที่แช่แข็งจาก still air freezer มาทำการละลาย จากนั้นนำไป แช่แข็งด้วย air blast freezer จนได้อุณหภูมิตามต้องการก่อนวัดค่าสมบัติทางความร้อน

ค. พันธุ์ ได้แก่ ปลาหมึกกล้วยพันธุ์ *Loligo formosana* และ ปลาหมึกกระดองพันธุ์ *Sepia pharaonis*

3.9 รวบรวมผลการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำค่าสมบัติทางความร้อนคือ ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสภาพนำความร้อนค่า และค่าสภาพแพร่ความร้อนของปลาหมึกกล้วยและปลาหมึกกระดองที่ได้จากการทดลองที่แต่ละระดับอุณหภูมิ และภาวะการละลายต่างๆกันของปลาหมึกกล้วยและปลาหมึกกระดองมาวิเคราะห์ผลดังนี้

3.9.1 หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางความร้อนของปลาหมึกกล้วยและปลาหมึกกระดอง ที่ภาวะการละลายและอุณหภูมิต่างกัน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ค

3.9.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของพันธุ์ ภาวะการละลาย และอุณหภูมิต่อสมบัติทางความร้อนของปลาหมึกโดยใช้โปรแกรม STAT PAK (STATISTICAL ANALYSIS PACKAGE:NORTHWEST ANALYTICAL, INC. PORTLAND, OREGON. 1983)

3.9.3 หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนของปลาหมึกกับพันธุ์ ภาวะการละลายและอุณหภูมิ โดยการทำ multiple regression ของข้อมูลทั้งหมด โดยใช้โปรแกรม LOTUS 1-2-3 และพิจารณาความสำคัญของเทอมต่างๆ ในสมการโดยใช้ analysis of variance ในการตัดเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($p > 0.05$) ด้วยโปรแกรม S.P.S. (DATABASIC,Inc. Mt. Pleasant MI 48888)