หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ทฤษฎีและสมมติฐานในการทดลอง

3.1.1 การหาค่าสภาพนำความร้อน

ใช้วิธี unsteady state method โดยใช้ thermal conducivity probe เนื่องจากวิธีนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีความชื้นสูง และยังใช้เวลาในการทดลองสั้น ส่วนวิธี steady-state method ใช้ระยะเวลาในการทดลองนานและอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจาก moisture migration ส่วนวิธี semi-steady state method เครื่องมือที่ใช้มีความยุ่งยาก และเกิดการสูญเสียความร้อนจากเครื่องมือไปสู่สิ่งแวดล้อม

3.1.2 การหาค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture หรือ indirect mixing method ค่าความร้อนจำเพาะคำนวณจาก สมการสมดุลทางความร้อนระหว่างความร้อนของน้ำและแคลอริมิเตอร์ได้รับหรือสูญเสีย กับความร้อนที่ตัวอย่างได้รับหรือสูญเสีย เหตุผลในการเลือกวิธีนี้ในการหาค่าความร้อนจำเพาะ เนื่องจากวิธีนี้มีการพิจารณาถึงการได้รับความร้อนหรือสูญเสียความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ในกรณีที่ทดลองที่อุณหภูมิจุดสมดุลต่างจากอุณหภูมิบรรยากาศ และมีฉนวนหุ้มป้องกันการสูญเสียความร้อนจากระบบ วิธีนี้ยังเหมาะสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้ตัวอย่างน้อย และตัวอย่างไม่สัมผัสโดยตรงกับสารตัวกลาง ส่วนวิธี method of mixture มีข้อจำกัด ไม่สามารถใช้กับตัวอย่างที่มีความชื้นสูง เช่นกุ้ง เพราะจะสูญเสียน้ำกับสารตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนได้ สำหรับวิธี differential scanning calorimeter มีราคาแพง และต้องใช้ความชำนาญมาก

3.1.3 การหาค่าสภาพแพร่ความร้อน

วิธี slab shape method เป็นการถ่ายโอนความร้อนในทิศทางเดียว เหตุผลในการเลือกใช้วิธีนี้ ในการหาค่าสภาพแพร่ความร้อนเนื่องจาก เนื้อกุ้งเหมาะสมที่จะทำให้เป็นลักษณะแบนราบมากกว่าทำเป็นรูปแบบอื่น ซึ่งกระบวนการผลิตกุ้งแช่แข็งในปัจจุบันจะเรียงกุ้งลงใน plate

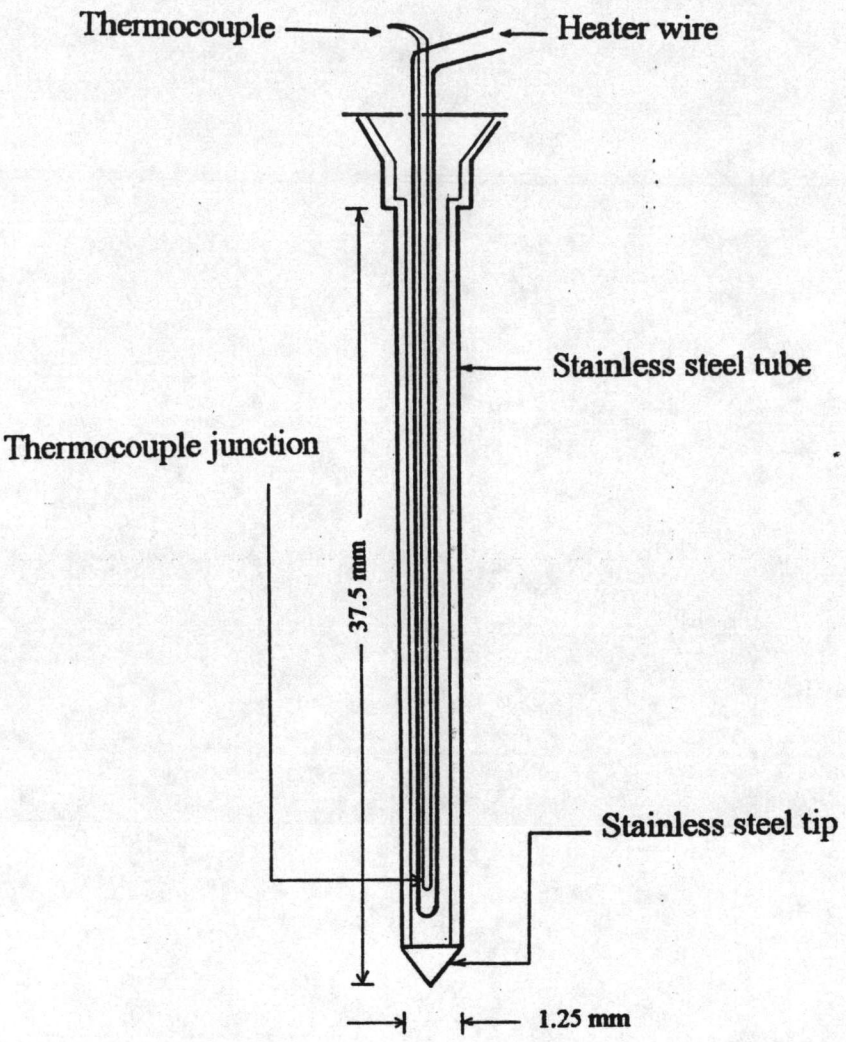
เช่นเดียวกัน นอกจากนั้น วิธีนี้ยังใช้ปริมาณกุ้งน้อย และทำการทดลองสะดวกกว่าวิธีอื่น วิธี line heat source method และ Acalorimeter method จะใช้ปริมาณตัวอย่างมาก การสร้างเครื่องมือ และการคำนวณยุ่งยากกว่า

3.2 ลักษณะของเครื่องมือสำหรับหาสมบัติทางความร้อนของกุ้ง

3.2.3 ค่าสภาพนำความร้อน

ในการหาค่าสภาพนำความร้อนจะใช้ thermal conductivity probe ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Sweat (1974) ตัว probe ที่ใช้ประกอบด้วยเข็มฉีดยาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร ยาว 37.5 มิลลิเมตร ภายในมี thermocouple type T (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ copper และ constantan เท่ากับ 0.08 มิลลิเมตร) และ heater wire ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.20 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.1) ปลายด้านหนึ่งของ thermocouple จะต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ และปลายด้านหนึ่งของ heater wire จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงซึ่งมีความต่างศักย์ 1.5 โวลต์

ตัวอย่างจะบรรจุอยู่ใน thermal conductivity plate ซึ่งมีขนาด 4x18x4 เซนติเมตร ทำจาก stainless steel หนา 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าสภาพนำความร้อนสูง เพราะต้องการให้อุณหภูมิของตัวอย่างและสารตัวกลางเท่ากันโดยเร็ว

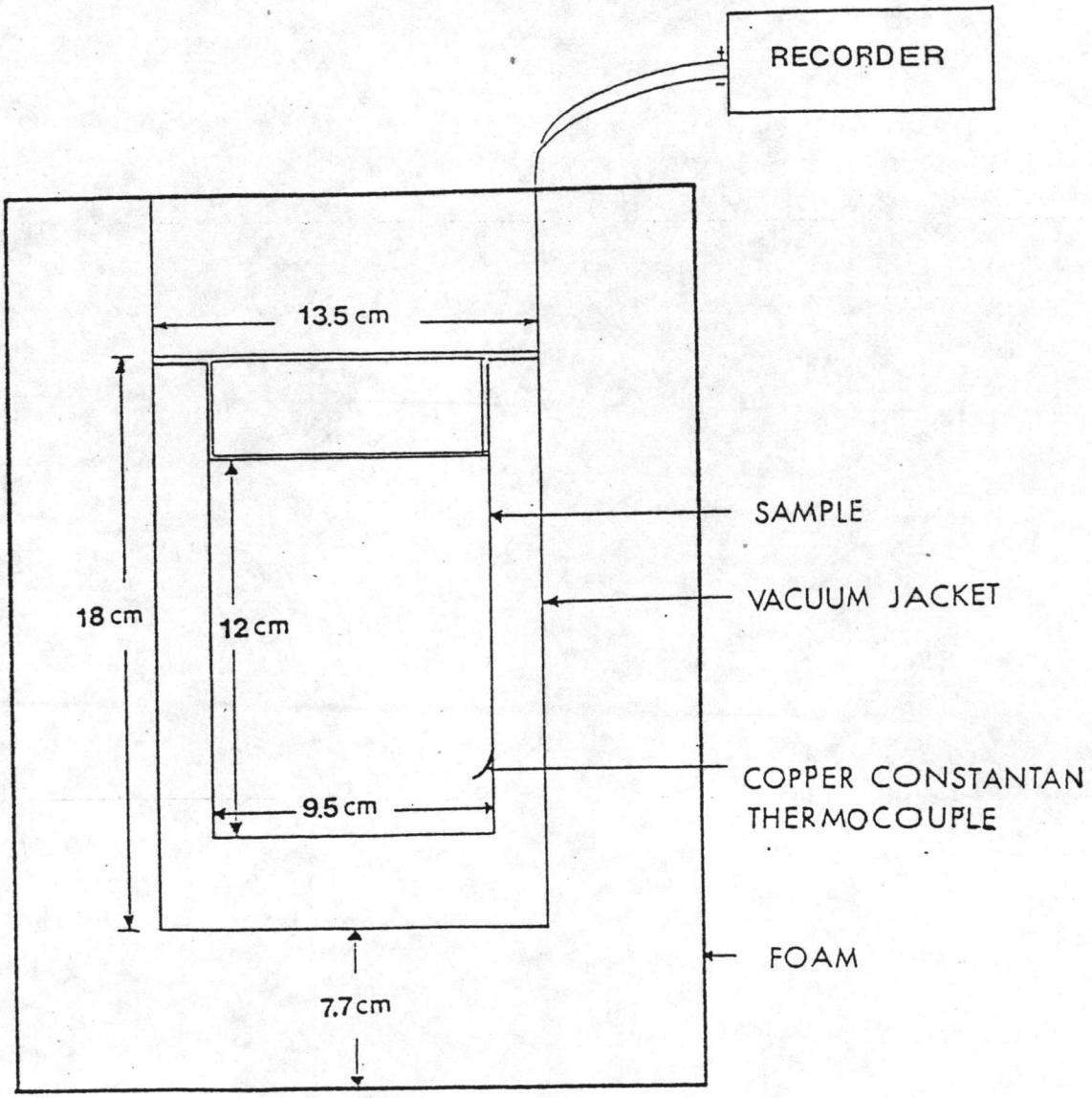


รูปที่ 3.1 ภาพตัดขวางของ thermal conductivity probe

3.2.2 ค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture เครื่องมือที่ใช้คือ แคลอริมิเตอร์ (รูปที่ 3.2) ประกอบขึ้นโดยใช้กระติกน้ำร้อนที่มีลักษณะเป็น vacuum jacket มีช่องบรรจุตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร สูง 12.5 เซนติเมตร ภายในกระติกน้ำร้อนใส่น้ำกลั่นซึ่งมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 0.999 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นสารตัวกลางทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน ตัวอย่างจะถูกบรรจุในถุง LLDPE (linear low density polyethylene) ซึ่งใช้ได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง และสามารถป้องกันไขมันและน้ำได้ มี

ขนาดกว้าง 13 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร และใช้ thermocouple type T ต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ และอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างในถุง LLDPE แคลอริมิเตอร์มีการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากระบบ โดยหุ้มฉนวนด้วยโฟมหนา 7.5 เซนติเมตร และมีเม็ดโฟมบรรจุบริเวณช่องว่างระหว่างกระติกกับแผ่นโฟม



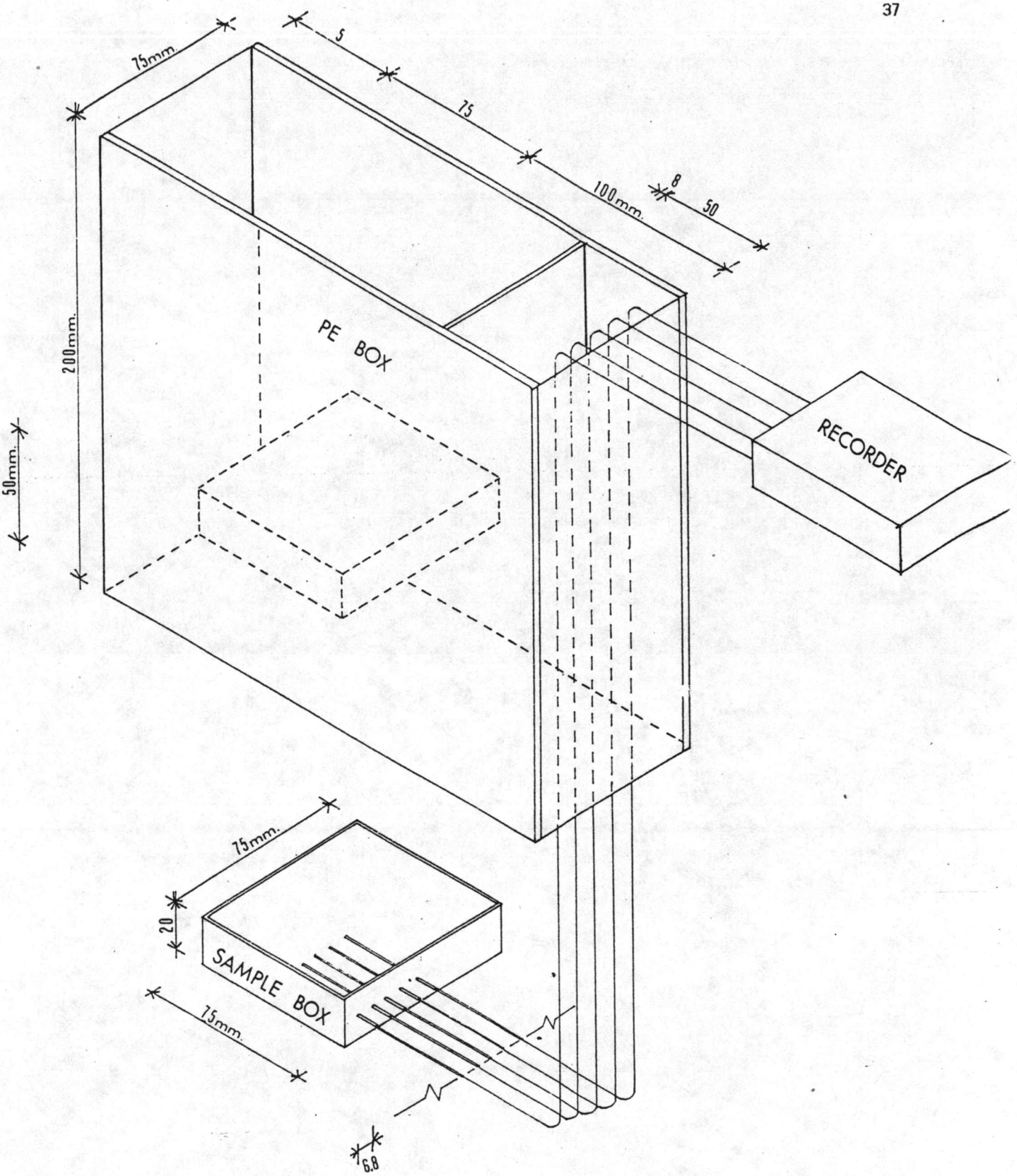
รูปที่ 3.2 ภาพตัดขวางของแคลอริมิเตอร์

T17081887

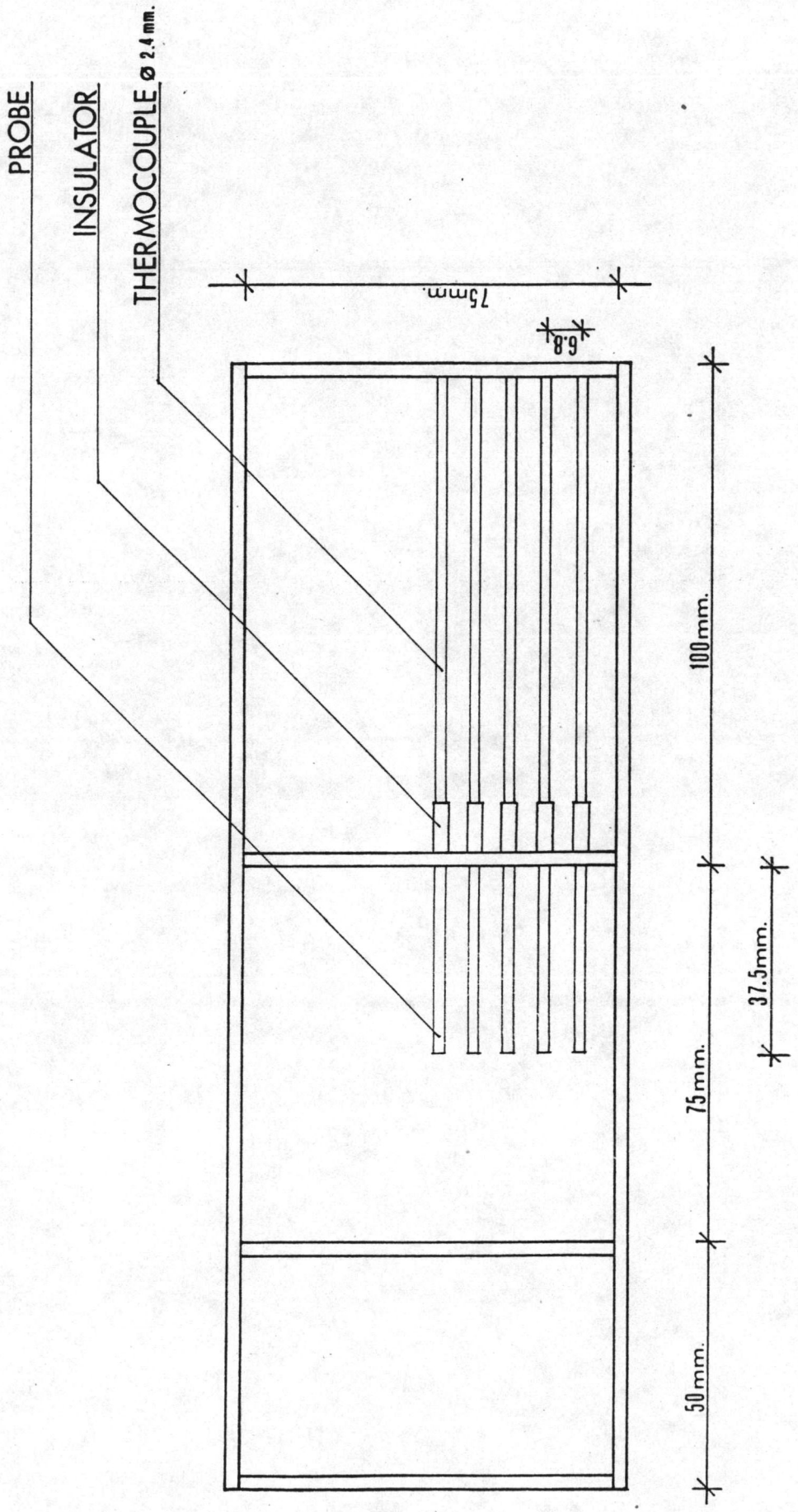
3.2.3 ค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้ thermal diffusivity plate ที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Kubota และคณะ (1983) เพื่อให้เหมาะสมกับตัวอย่าง โดย thermal diffusivity plate มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบนขนาด 7.5x7.5x2 เซนติเมตร ทำด้วยพลาสติก polyethylene (PE) ที่มีค่าสภาพนำความร้อน $7.974x10^{-2}$ วัตต์/เมตร องศาเคลวิน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หนา 0.8 เซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง (-300 ถึง 100 องศาเซลเซียส) และไม่ทำปฏิกิริยากับ propylene glycol โดยมีอากาศที่มีค่าสภาพนำความร้อน 0.02 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นฉนวนหุ้มหนา 5 เซนติเมตรโดยรอบ ส่วนบริเวณ ที่ต้องการให้มีการถ่ายโอนความร้อนจะใช้ stainless steel หนา 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าสภาพนำความร้อนสูงถึง 1601.17 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ภายในกล่องมีช่องสำหรับให้ thermocouple type T ซึ่งทำเป็น probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร สอดอยู่ โดยแต่ละอันห่างกันช่องละ 6.8 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.3 และ 3.4)

อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าสภาพแพร่ความร้อนมีสองอ่าง บรรจุ propylene glycol เป็นสารตัวกลางให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่ำ มีใบพัดกวนเพื่อให้การกระจายความร้อนทั่วถึง และใช้น้ำแข็งแห้งในการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 ลักษณะของ thermal diffusivity plate



รูปที่ 3.4 ภาพตัดขวางของ thermal diffusivity plate

3.3 ตัวอย่าง

3.3.1 กุ้งกุลาดำ ซื้อจากสะพานปลากรุงเทพฯ โดยมีความยาว 17-25 เซนติเมตร มีน้ำหนักในช่วง 25-35 กรัม/ตัว

3.3.2 กุ้งแชบ๊วย ซื้อจากสะพานปลากรุงเทพฯ โดยมีความยาว 20-30 เซนติเมตร มีน้ำหนักในช่วง 30-40 กรัม/ตัว

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้าตามวิธีของ AOAC (1984) และปริมาณ คาร์โบไฮเดรตโดยใช้ผลต่างขององค์ประกอบต่าง ๆ จาก 100

3.5 การเตรียมตัวอย่าง

3.5.1 สำหรับค่าสภาพนำความร้อน

ตัดหัวแกะเปลือกและหางออกจนหมด เอาเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อเท่านั้นนำไปเรียงลงใน thermal conductivity plate โดยเรียงตามแนวยาวของภาชนะจนได้ความกว้าง ยาว และสูง เท่ากับภาชนะ จากนั้นนำไปแช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing หรือ dry-ice freezing จนได้อุณหภูมิตามต้องการ

3.5.2 สำหรับวัดค่าความร้อนจำเพาะ

ตัดหัวแกะเปลือกและหางออกจนหมด เอาเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อเท่านั้น จำนวน 150 กรัมใส่ในถุง LLDPE เสียบ thermocouple ให้ได้บริเวณกึ่งกลางของถุง จากนั้นนำไปแช่แข็ง ด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing จนได้อุณหภูมิตามต้องการ

3.5.3 สำหรับวัดค่าสภาพแพร่ความร้อน

ตัดหัวแกะเปลือกและหางออก เอาเฉพาะเนื้อ นำไปเรียงลงใน thermal diffusivity plate โดยเรียงตามแนวยาว จนได้ความกว้าง, ยาว และสูง เท่ากับภาชนะบรรจุจากนั้นนำไปแช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing จนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ

3.6 วิธีการทดลองหาสมบัติทางความร้อน

3.6.1 การวัดค่าสภาพนำความร้อน

ทำการทดลองโดยใช้ thermal conductivity probe ในการหาค่าสภาพนำความร้อนของกุ้ง โดยใช้หม้อแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงขนาด 1.5 โวลต์ 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) เพื่อคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ใช้จากสมการ

$$q = 4\pi sk \quad \text{.....(26)}$$

จ. ทำการทดลองประมาณ 6 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรม Lotus 1-2-3 Release 3.1 (Copyright 1990 Lotus Development Corporation)

ฉ. เสียบ thermal conductivity probe ลงไปด้านข้าง plate ที่ใส่ตัวอย่างไว้แล้วนำไปทำการแช่แข็ง และรักษาอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการโดยใช้ propylene glycol และน้ำแข็งแห้ง

ช. ต่อสาย thermocouple ของ probe เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิและทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ ค ถึง จ

3.6.2 การวัดค่าความร้อนจำเพาะ

ใช้วิธี modified method of mixture หรือ indirect mixing method โดยใช้แคลอริมิเตอร์ที่ประกอบขึ้น หาค่าความร้อนจำเพาะของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย โดยวิธี

การแช่แข็ง 2 วิธี คือวิธี air-blast freezing และวิธี dry-ice freezing ที่ระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ -30±1 -18±1 และ -10±1 องศาเซลเซียส ซึ่งมีวิธีดังต่อไปนี้

ก. ใส่น้ำกลั่น 400 กรัม ในแคลอริมิเตอร์ที่มีสาย thermocouple ติดอยู่ ปล่อยให้อุณหภูมิของน้ำและแคลอริมิเตอร์คงที่ที่อุณหภูมิห้อง

ข. ใส่น้ำกลั่น 150 กรัม ในถุง LLDPE (linear low density polyethylene) จากนั้นนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 65 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิของน้ำในถุงเท่ากับอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิ ใช้เวลาประมาณ 60 นาที

ค. บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์และน้ำในถุง LLDPE ก่อนผสมโดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

ง. นำถุง LLDPE ที่บรรจุน้ำใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำอยู่ แล้วปิดฝาทันที

จ. เขย่าแคลอริมิเตอร์อย่างสม่ำเสมอโดยใช้เครื่องเขย่า บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ทุก ๆ 1 นาที

ฉ. นำอุณหภูมิและเวลาของน้ำในแคลอริมิเตอร์ที่วัดได้มาสร้างกราฟ อ่านค่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความชันของกราฟ (dT/dt) มีค่า R^2 หลังภาวะสมดุลสูงสุด เป็นอุณหภูมิและเวลาสมดุล (T_F, t_F)

ช. คำนวณค่าความจุความร้อนของแคลอมิเตอร์จากสมการ แต่เปลี่ยนจากตัวอย่างมาเป็นน้ำที่ 65 องศาเซลเซียส

ซ. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ในถุง LLDPE นำไปแช่แข็ง และรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตามต้องการโดยใช้ propylene glycol

ฌ. ใส่น้ำกลั่น 400 กรัม อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสในแคลอริมิเตอร์ บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์เริ่มต้น

ฎ. ใส่ตัวอย่างที่ได้อุณหภูมิตามต้องการลงในแคลอริมิเตอร์และปิดฝาทันที

ฏ. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ จ และ ฉ แต่คำนวณผลการทดลองโดยใช้สมการ ซึ่งมีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งในกุ้งเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากมีการเปลี่ยนสถานะของน้ำแข็งในกุ้งไปเป็นน้ำในระหว่างการทดลอง

$$(C_{pw}W_w + H_c)T_c + C_{ps}W_sT_s + LH = C_{ps}W_sT_f + C_{pw}W_wT_f + H_cT_f - E \quad .....(27)$$

เมื่อ LH = ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งในกุ้ง (cal)

= [ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง (80 cal/g) x ความชื้นของกุ้ง x W_S]

3.6.3 การวัดค่าสภาพแพร่ความร้อน

ใช้ thermal diffusivity plate หาค่าสภาพแพร่ความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. บรรจุตัวอย่างกุ้งลงใน thermal diffusivity plate ปิดฝา เสียบ thermocouple เข้าไปที่ด้านข้าง 5 จุด ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้เพื่อวัดอุณหภูมิ จากนั้นนำไปแช่แข็ง ด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing ตามต้องการ

ข. เตรียมสารละลาย propylene glycol ในอ่างควบคุมอุณหภูมิทั้ง 2 อ่าง โดยใช้น้ำแข็งแห้งเติมลงไป เพื่อปรับอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) และอุณหภูมิสุดท้าย (T_e) ตามต้องการ

ค. นำ thermal diffuisivity plate แช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างคงที่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น (±0.1 องศาเซลเซียส) จากนั้นจึงนำ thermal diffusivity plate แช่ลงในอ่างควบคุมอุณภูมิสุดท้าย (T_e) และเริ่มบันทึกอุณหภูมิของ propylene glycol ในอ่างควบคุมอุณหภูมิและกุ้งทุก ๆ นาทีเป็นเวลา 60 นาที

ง. นำอุณหภูมิที่วัดได้ไปคำนวณค่าสภาพแพร่ความร้อนของกุ้ง โดยใช้โปรแกรมตาม flowchart (ภาคผนวก ก) ค่าสภาพแพร่ความร้อนที่คำนวณได้เป็นค่าที่อุณหภูมิเฉลี่ย (T_{in}) ของอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย

3.7 ขอบเขตในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย

ศึกษาผลของอุณหภูมิ ผลของวิธีการแช่แข็ง และพันธุ์ที่มีต่อสมบัติทางความร้อน ได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสภาพแพร่ความร้อน และค่าสภาพนำความร้อนของกุ้ง โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial design โดยมีตัวแปร 3 ตัว คือ อุณหภูมิ 3 ระดับ, วิธีการแช่แข็ง 2 วิธี และพันธุ์ 2 ระดับ และทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

ก. อุณหภูมิทำการทดลอง ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ได้แก่ 30±1, 18±1 และ 10±1 องศาเซลเซียส

ข. วิธีการแช่แข็ง ได้แก่ แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing และวิธี dry-ice freezing จนได้อุณหภูมิที่ต้องการก่อนวัดค่าสมบัติทางความร้อน

ค. พันธุ์ ได้แก่ กุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Febricious และกุ้งแชบ๊วย *Penaeus merguiensis* de Man

3.8 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำค่าสมบัติทางความร้อน คือ ค่าสภาพนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าสภาพแพร่ความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยที่ได้จากการทดลอง ที่แต่ละระดับอุณหภูมิและวิธีการแช่แข็งต่าง ๆ กันมาวิเคราะห์ผลดังนี้

3.8.1 หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสมบัติทางความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย ที่ภาวะอุณหภูมิและวิธีการแช่แข็งต่างกัน

3.8.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของพันธุ์ วิธีการแช่แข็ง และอุณหภูมิต่อสมบัติทางความร้อนของกุ้ง โดยใช้โปรแกรม STATGRAPHICS Version 5.0 (Statistical Graphics Corporation Portions Copyright 1991 STSC, Inc.)

3.8.3 หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนของกุ้งกับพันธุ์ วิธีการแช่แข็งและอุณหภูมิ โดยการทำ multiple regression ของข้อมูลทั้งหมด และพิจารณาความสำคัญของเทอมต่าง ๆ ในสมการโดยใช้ analysis of variance ในการตัดเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้วยโปรแกรม STATGRAPHICS