สมบัติทางความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย

นายสรายุทธ ชำนิกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-583-904-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17086887

THERMAL PROPERTIES OF GIANT TIGER PRAWN (*Penaeus monodon* Febricius) AND BANANA PRAWN (*Penaeus merguiensis* de Man)

MR. SARAYOUT CHUMNIKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-583-904-3

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สรายุทธ ชำนิกุล: สมบัติทางความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย (THERMAL PROPERTIES OF GIANT TIGER PRAWN (*Penaeus monodon* Febricius) AND BANANA PRAWN (*Penaeus merguiensis* de Man)) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล, ผศ.ดร. กัลยา เลาหสงคราม, ผศ.ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, 86 หน้า, ISBN 974-583-904-3

งานวิจัยนี้เน้นศึกษาการสร้างและปรับปรุงอุปกรณ์สำหรับหาค่าสมบัติทางความร้อนของกุ้งให้เหมาะสม และศึกษาผลของพันธุ์ (*Penaeus monodon* Febricius และ *Penaeus merguiensis* de Man) วิธีการแช่แข็ง (โดยใช้วิธี air-blast freezing และ dry-ice freezing) และ อุณหภูมิ (-30±1 -18±1 และ -10±1 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อสมบัติทางความร้อนซึ่งได้แก่ สภาพนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ และสภาพแพร่ความร้อนและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนของกุ้งกับพันธุ์ วิธีการแช่แข็ง และอุณหภูมิโดยหาค่าสภาพนำความร้อนด้วยวิธี thermal conductivity probe ค่าความร้อนจำเพาะด้วยวิธี modified method of mixture และค่าสภาพแพร่ความร้อนด้วย thermal diffusivity plate ค่าสภาพนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และสภาพแพร่ความร้อนในช่วงแช่แข็งของกุ้งกุลาดำที่แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing มีค่าเท่ากับ 1.109 - 1.288 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน 0.423 - 1.148 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส และ 5.116×10^{-7} - 6.942×10^{-7} เมตร^2/วินาที ตามลำดับ และกุ้งกุลาดำที่แช่แข็งด้วยวิธี dry-ice freezing มีค่าเท่ากับ 1.066 -1.291 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน 0.433 - 1.147 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส และ 5.837×10^{-7} - 7.851×10^{-7} เมตร^2/วินาที ตามลำดับ สำหรับค่าสภาพนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าสภาพแพร่ความร้อนในช่วงแช่แข็งของกุ้งแชบ๊วยที่แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing มีค่าเท่ากับ 1.116 - 1.304 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน 0.516 - 1.206 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส และ 5.908×10^{-7} - 7.141×10^{-7} เมตร^2/วินาที และกุ้งแชบ๊วยที่แช่แข็งด้วยวิธี dry-ice freezing มีค่าเท่ากับ 1.122 - 1.313 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน 0.509 - 1.198 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส และ 5.942×10^{-7} - 7.800×10^{-7} เมตร^2/วินาที ตามลำดับ ค่าสภาพนำความร้อนและค่าสภาพแพร่ความร้อนมีความสัมพันธ์แบบ polynomial กับพันธุ์ วิธีการแช่แข็ง และอุณหภูมิ ส่วนค่าความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์แบบ polynomial กับพันธุ์และอุณหภูมิ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C326710 MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: THERMAL PROPERTIES / GIANT TIGER PRAWN / BANANA PRAWN SARAYOUT CHUMNIKUL: THERMAL PROPERTIES OF GIANT TIGER PRAWN (*Penaeus monodon* Febricius)) AND BANANA PRAWN (*Penaeus merguiensis* de Man) THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.CHAIYUTE THUNPITHAYAKUL, Ph.D., ASST.PROF. KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., ASST. PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D. 86 pp. ISBN 974-583-904-3

This research focused on; firstly, designing and improving the proper equipment for measuring the thermal conductivity (k), specific heat (C_p) and thermal diffusivity (α) of giant tiger prawn and banana prawn and secondly, studying the effects of breeds (*Penaeus monodon* Febricius and *Penaeus merguiensis* de Man), freezing methods (air-blast freezing and dry-ice freezing) and temperatures (-30 ± 1 -18 ± 1 and -10 ± 1 ^{o}C) on their thermal properties. The k, C_p and α were measured by thermal conductivity probe, modified method of mixture and thermal diffusivity plate, respectively. The corresponding k, C_p and α of giant tiger prawn frozen by air-blast freezing were 1.109 - 1.288 W/m K, 0.423 - 1.148 cal/g ^{o}C, and 5.116×10^{-7} - 6.942×10^{-7} m^2/s while the giant tger prawn frozen by dry-ice freezing were 1.066 - 1.291 W/m K, 0.433 - 1.147 cal/g ^{o}C, and 5.837×10^{-7} - 7.851×10^{-7} m^2/s respectively. The values of k, C_p and α of banana prawn frozen by air-blast freezing were 1.116 - 1.304 W/m K, 0.516 - 1.206 cal/g ^{o}C, and 5.908×10^{-7} - 7.141×10^{-7} m^2/s and those of banana prawn frozen by dry-ice freezing were 1.122 - 1.313 W/m K, 0.509 - 1.198 cal/g ^{o}C, and 5.942×10^{7} - 7.800×10 m^2/s, respectively. The k and α were found to be polynomial functions with breeds, freezing methods and temperature, while the C_p was found to be polynomial functions with breeds and temperature.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย
โดย	นายสรายุทธ ชำนิกุล
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เสาหสงคราม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณอวยพร ลีพลากร และ คุณนิวัติ ถิรวัฒน์ ที่ได้ช่วยสร้างเครื่องมือในงานวิจัยนี้ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณสมาน ศรีชัยธำรง และ คุณสุราช อินทำมา แห่งบริษัท ลิควิค คาร์บอนิค ประเทศไทย จำกัด ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องน้ำแข็งแห้งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและทุนสภาวิจัยที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนอุดหนุนการวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน และน้องๆ นิสิตปริญญาโททุกท่านที่ช่วยขณะทำการทดลองและให้กำลังใจมาโดยตลอด และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่สนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

คำอธิบายสัญญลักษณ์ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1
2. วารสารปริทัศน์ 3
   - การวัดสมบัติทางความร้อนของอาหารทะเล 3
   - ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของอาหารทะเล 26
   - กุ้ง 28
3. วิธีการทดลอง 32
   - ทฤษฎีและสมมติฐานการทดลอง 32
   - ลักษณะของเครื่องมือสำหรับหาสมบัติทางความร้อนของกุ้ง 33
   - ตัวอย่าง 39
   - การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 39
   - การเตรียมตัวอย่าง 39
   - วิธีการทดลองหาสมบัติทางความร้อน 40
   - ขอบเขตในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย 42
   - วิเคราะห์ผลทางสถิติ 43
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 44
   - องค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง 44
   - การตรวจสอบเครื่องมือในการหาสมบัติทางความร้อนของกุ้ง 45
   - ผลของพันธุ์ วิธีการแช่แข็งและอุณหภูมิต่อสมบัติทางความร้อนของกุ้ง 47

บทที่ (ต่อ) หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 69
- สรุปผลการทดลอง 69
- ข้อเสนอแนะ 71
เอกสารอ้างอิง 72
ภาคผนวก ก 78
ภาคผนวก ข 79
ภาคผนวก ค 83
ประวัติผู้เขียน 86

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำความร้อนและความหนาแน่นขององค์ประกอบต่างๆ ในอาหารกับอุณหภูมิ 4

2.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความร้อนของอาหารทะเลบางชนิดกับองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 27

2.3 สมการหรือค่าสมบัติทางความร้อนกุ้ง 31

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกุ้งกุลาดำ 44

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกุ้งแชบ๊วย 45

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของพันธุ์ วิธีการแช่แข็งและอุณหภูมิต่อค่าสภาพนำความร้อนของกุ้ง 47

4.4 ค่าเฉลี่ยสภาพนำความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยแช่แข็งที่แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing ในช่วงอุณหภูมิ -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 51

4.5 สมการ regression ของค่าสภาพนำความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยที่แช่แข็งด้วย วิธี air-blast freezing หรือ วิธี dry-ice freezing ในช่วงอุณหภูมิ -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 55

4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของพันธุ์ วิธีการแช่แข็งและอุณหภูมิต่อค่าความร้อนจำเพาะของกุ้ง 56

4.7 ค่าเฉลี่ยความร้อนจำเพาะของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยแช่แข็งที่แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing ในช่วงอุณหภูมิ -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 57

4.8 สมการ regression ของค่าความร้อนจำเพาะของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยที่แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing ในช่วงอุณหภูมิ -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 61

4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของพันธุ์ วิธีการแช่แข็งและอุณหภูมิต่อค่าสภาพแพร่ความร้อนของกุ้ง 62

ตารางที่ (ต่อ) หน้า

4.10 ค่าเฉลี่ยสภาพแพร่ความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยแช่แข็งที่แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing ในช่วงอุณหภูมิ -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 65

4.11 สมการ regression ของค่าสภาพแพร่ความร้อนของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยที่แช่แข็งด้วยวิธี air-blast freezing หรือวิธี dry-ice freezing ในช่วงอุณหภูมิ -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 68

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ภาพตัดขวางของ Parallel plate apparatus 6

2.2 Concentric sphere apparatus 7

2.3 ภาพตัดขวางของ concentric cylinder apparatus 8

2.4 การติดตั้งเครื่องมือในการวัดค่าสภาพนำความร้อนแบบ semi - steady state 10

2.5 ภาพตัดขวางของ thermal conductivity probe 12

2.6 ภาพตัดขวางของ Specific heat calorimeter 13

2.7 เครื่องมือที่ใช้หาค่าความร้อนจำเพาะโดยวิธีของ Moline และคณะ 15

2.8 รูปแบบของ Differential Scanning Calorimeter 16

2.9 DSC Thermogram สำหรับการคำนวณค่าความร้อนจำเพาะ 16

2.10 เครื่องมือที่ใช้หาค่าสภาพแพร่ความร้อนของตัวอย่างโดยวิธี Acalorimeter 18

2.11 ตำแหน่งของ thermocouple และ heater ในกล่องอะลูมิเนียม 19

2.12 เครื่องมือที่ใช้หาค่าสภาพแพร่ความร้อนโดยการวัด Temperature profiles 21

2.13 Thermal diffusivity tube สำหรับหาค่าสภาพแพร่ความร้อน 22

2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการแพร่ความร้อน 23

2.15 ตัวอย่าง slab ที่ใช้ในการทดลอง 25

2.16 เครื่องมือที่ใช้หาค่าสภาพแพร่ความร้อนโดยวิธี slab shape 25

2.17 ลักษณะของกุ้งกุลาดำ 29

2.18 ลักษณะของกุ้งแชบ๊วย 30

3.1 ภาพตัดขวางของ thermal conductivity probe 34

3.2 ภาพตัดขวางของแคลอริมิเตอร์ 35

3.3 ลักษณะของ thermal diffusivity plate 37

3.4 ภาพตัดขวางของ thermal diffusivity plate 38

4.1 ผลของวิธีการแช่แข็งต่อค่าสภาพนำความร้อนของกุ้งกุลาดำในช่วงอุณหภูมิ
-30±1 -18±1 และ -10±1 องศาเซลเซียส 49

รูปที่ (ต่อ) หน้า

4.2 ผลของวิธีการแช่แข็งต่อค่าสภาพนำความร้อนของกุ้งแชบ๊วยในช่วงอุณหภูมิ -30±1 -18±1 และ -10±1 องศาเซลเซียส 50

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-30 ถึง -10 องศาเซลเซียส) ของกุ้งกุลาดำ 53

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-30 ถึง -10 องศาเซลเซียส) ของกุ้งแชบ๊วย 54

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-30 ถึง -10 องศาเซลเซียส) ของกุ้งกุลาดำ 59

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-30 ถึง -10 องศาเซลเซียส) ของกุ้งแชบ๊วย 60

4.7 ผลของวิธีการแช่แข็งต่อค่าสภาพแพร่ความร้อนของกุ้งกุลาดำในช่วงอุณหภูมิ -30±1 -18±1 และ -10±1 องศาเซลเซียส 63

4.8 ผลของวิธีการแช่แข็งต่อค่าสภาพแพร่ความร้อนของกุ้งแชบ๊วยในช่วงอุณหภูมิ -30±1 -18±1 และ -10±1 องศาเซลเซียส 64

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพแพร่ความร้อนกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-30 ถึง -10 องศาเซลเซียส) ของกุ้งกุลาดำ 66

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพแพร่ความร้อนกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-30 ถึง -10 องศาเซลเซียส) ของกุ้งแชบ๊วย 67

คำอธิบายสัญญลักษณ์

A = พื้นที่หน้าตัดของการถ่ายโอนความร้อน

B = ความชันของกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลง ระหว่างอุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของ thermal diffusivity tube กับเวลา

C_e = Euler's constant (0.5772157)

C_p = ความร้อนจำเพาะ

C_{pa} = ความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียม

C_{pB} = ความร้อนจำเพาะของของเหลวใน chamber B

C_{ps} = ความร้อนจำเพาะของตัวอย่าง

C_{pt} = ความร้อนจำเพาะของ stainless steel

C_{pw} = ความร้อนจำเพาะของน้ำ

$C_{p'}$ = ความร้อนจำเพาะของสารมาตรฐานอ้างอิง

D_s = ความหนาของตัวอย่าง

D_r = ความหนาของสารมาตรฐานอ้างอิง

d = deflection สำหรับตัวอย่าง

d' = deflection สำหรับสารมาตรฐานอ้างอิง

dT/dt = ความชันของกราฟเส้นตรงช่วงหลังจากภาวะสมดุล

E = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียหรือได้รับจากสิ่งแวดล้อมขณะทดลอง

f = ค่าความชันของ heating curve

H_c = ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

I = กระแสไฟฟ้าที่ให้

k = ค่าสภาพนำความร้อน

k_r = สภาพนำความร้อนของสารมาตรฐานอ้างอิง

k_s = สภาพนำความร้อนของตัวอย่าง

L = ความยาวทรงกระบอก

M_A = น้ำหนักของภาชนะบรรจุอะลูมิเนียม

M_b = น้ำหนักของภาชนะบรรจุ (empty pan)

M_s = น้ำหนักของตัวอย่างและภาชนะบรรจุ

M_{st} = น้ำหนักของสารมาตรฐานอ้างอิงและภาชนะบรรจุ

m' = มวลของสารมาตรฐานอ้างอิง

m = มวลของตัวอย่าง

Q = ปริมาณความร้อน

q' = ปริมาณความร้อนต่อหน่วยความยาว

R = ความต้านทานของขดลวดให้ความร้อน

r = รัศมี

s = ความชันของกราฟเส้นตรง (dT/d (ln t))

T = อุณหภูมิ

T_c = อุณหภูมิเริ่มต้นของแคลอริมิเตอร์

T_e = อุณหภูมิสุดท้าย

T_f = อุณหภูมิ ณ จุดสมดุล

T_r = อุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของ thermal diffusivity tube

T_o = อุณหภูมิเริ่มต้น

T_s = อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่าง

T_{sf} = อุณหภูมิของของเหลวใน chamber B ที่เวลา t

T_{so} = อุณหภูมิของของเหลวใน chamber B ที่เวลาเริ่มต้น

T_3 = อุณหภูมิของผิวตัวอย่างที่ติดกับ chamber A ในเวลา t

T_4 = อุณหภูมิของผิวตัวอย่างที่ติดกับ chamber B ในเวลา t

T_t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการกวนของ stirrer ในเวลา t

T_w = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ

t = เวลา

t_f = เวลา ณ จุดสมดุล

V = ความต่างศักย์ที่ใช้

W = ปริมาณความชื้น

W_w = น้ำหนักของน้ำ

W_a = น้ำหนักของอะลูมิเนียม

W_b = น้ำหนักของของเหลวใน chamber B

W_s = น้ำหนักของตัวอย่าง

W_t = น้ำหนักของ stirrer ใน chamber B

W_w = น้ำหนักของน้ำ

x = ระยะทาง

x_i = อัตราส่วนโดยน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆในอาหาร 100 กรัม

Y = Dimensionless temperature ratio

α = ค่าสภาพแพร่ความร้อน

ρ = ความหนาแน่น