# บทที่ 2

# วารสารปริทัศน์

## 2.1 กล้วย

### 2.1.1 กล้วยไข่ (สุเทพ, 2514)

กล้วยไข่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Musa suerier เป็นที่นิยมรับประทานสด เพราะมีกลิ่นหอม รสหวาน เปลือกบาง มีมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน มีน้ำหนักประมาณ 50 กรัม/ผล พื้นที่การเพาะปลูกทั้งหมดในประเทศ 96,488 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 691 กิโลกรัม/ไร่/ปี (สถิติการเพาะปลูก ไม้ผล-ไม้ยืนต้น ปีการเพาะปลูก 2530/31)

### 2.1.2 กล้วยน้ำว้า (ผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้า, 2526)

กล้วยน้ำว้ามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Musa sapientum Linn. เป็นผลไม้ที่มีวิตามิน และเกลือแร่อยู่หลายชนิด ใช้รับประทานสดเมื่อสุก และอาจใช้ประกอบอาหารหวานได้ เป็นผลไม้ที่มีตลอดปี มีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม/ผล เปลือกหนาปานกลาง พื้นที่การเพาะปลูกทั้งหมดในประเทศ 933,400 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 605 กิโลกรัม/ไร่/ปี (สถิติการเพาะปลูก ไม้ผล-ไม้ยืนต้น ปีการเพาะปลูก 2530/31)

จากการค้นคว้ารายงานวิจัยพบว่า ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ของกล้วยไข่และกล้วยน้ำว้า มีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.1 (ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทย, 2530)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยไข่และกล้วยน้ำว้า

| องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณ (ร้อยละ) | กล้วยไข่ | กล้วยน้ำว้า |
|---|---|---|
| ความชื้น | 62.8 | 71.6 |
| ไขมัน | 0.2 | 0.3 |
| เส้นใย | 0.4 | 0.6 |
| โปรตีน | 1.5 | 1.2 |
| คาร์โบไฮเดรต | 34.4 | 26.1 |

## 2.2 วิธีการวัดค่าสมบัติทางความร้อน

### 2.2.1 การวัดค่าความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะ เป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของสสารมวล 1 หน่วย ไป 1 องศา การวัดค่าความร้อนจำเพาะอาจทำได้หลายวิธี คือ

2.2.1.1 **Method of Mixture** ทำโดยการผสมตัวอย่าง และสารตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทราบค่าความร้อนจำเพาะ (ปกติจะใช้น้ำซึ่งมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1 cal/g - °C) ลงในแคลอริมิเตอร์ (รูปที่ 2.1) แล้ววัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปต่อเวลาจนถึงสมดุล นำไปสร้างกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของน้ำในแคลอริมิเตอร์ และคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะโดยใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานดังสมการ (2.1)

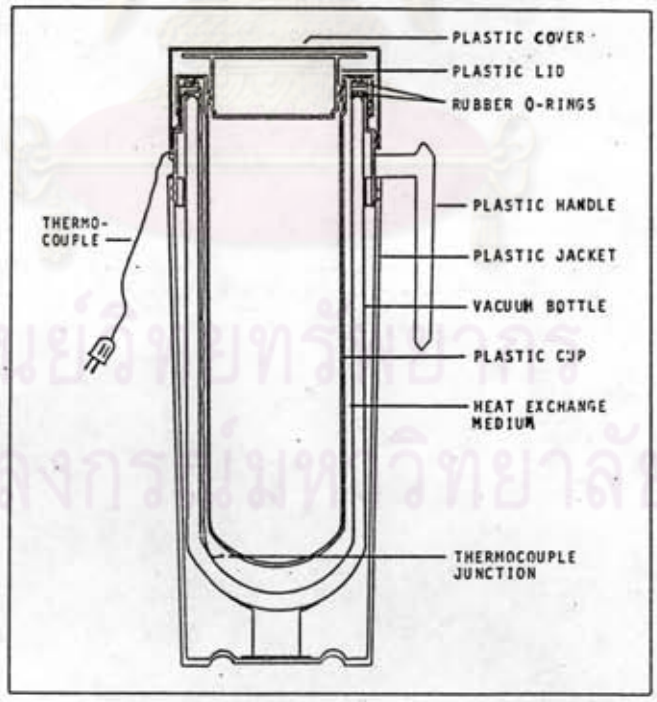
$$C_{pc}.W_c.T_{oc}+C_{pw}.W_w.T_{ow}+H_k.T_{ok} = C_{pc}.W_c.T_{fc}+C_{pw}.W_w.T_{fw}+H_k.T_{fk}-Z \quad ...(2.1)$$

ในการคำนวณนั้นจะต้องมีการคำนวณค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ซึ่งความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ($H_k$) หมายถึงปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ขึ้น 1 องศา ซึ่งใช้เป็น correction factor ในการกำหนดค่าความร้อนจำเพาะของ

ตัวอย่าง (Hwang and Hayakawa, 1979) โดยวิธีการทดลองเหมือนกับการหาค่าความร้อนจำเพาะของตัวอย่าง เพียงแต่เปลี่ยนตัวอย่างเป็นน้ำกลั่นซึ่งทราบค่าความร้อนจำเพาะแทน

ในการทดลองใช้เวลาประมาณ 20 - 40 นาที เพื่อให้ถึงจุดสมดุลระหว่างตัวอย่างกับน้ำในแคลอริมิเตอร์ หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำจะเกิดขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนหรือการได้รับความร้อนจากสภาวะแวดล้อม ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะมีอัตราการสูญเสียหรือได้รับความร้อนไม่เท่ากัน ความถูกต้องของวิธีนี้ขึ้นกับสมมติฐานที่ว่า ไม่มีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้นในขณะทดลองซึ่งสามารถทำได้โดย ทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นของแคลอริมิเตอร์ต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ แล้วนำตัวอย่างที่มีอุณหภูมิสูงใส่ลงไป (ควรใช้ตัวอย่างปริมาณมาก) จะทำให้การได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมของแคลอริมิเตอร์ในตอนแรกของการทดลองไปชดเชยกับการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงหลัง (Mohsenin, 1980)

วิธีนี้ไม่เหมาะกับตัวอย่างที่สามารถละลายได้ในสารตัวกลาง เพราะจะมีค่าความร้อนของการละลายเข้ามาเกี่ยวข้องและตัวอย่างยังถูกทำลาย (Marakami, 1980)




รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของ specific heat calorimeter

2.2.1.2 Modified Method of Mixture (Indirect Mixing Method) วิธีนี้มีหลักการคล้ายกับ method of mixture แต่ตัวอย่างและสารตัวกลางจะไม่สัมผัสกัน โดยใส่ตัวอย่างในภาชนะบรรจุแยกจากสารตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน วัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาจนถึงสมดุล และคำนวณค่าความร้อนจำเพาะโดยใช้หลักการอนุรักษ์-พลังงาน วิธีนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องการละลายของตัวอย่างในสารตัวกลาง จึงกำจัดปัญหาเกี่ยวกับค่าความร้อนของการละลาย (Kulacki and Kennedy, 1978; Hwang and Hayakawa, 1979) นอกจากนี้วิธี modified method of mixture สามารถใช้หาค่าความร้อนจำเพาะในอาหารที่มีความชื้นสูงได้ในขณะที่ method of mixture เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำ และยังมีการเตรียมตัวอย่างง่ายแล้วตัวอย่างในแคลอริมิเตอร์สามารถเก็บไว้หาความชื้นได้

2.2.1.3 Method of Guarded-Plate วิธีนี้ตัวอย่างถูกให้ความร้อนบริเวณผิวและมีฉนวนล้อมรอบตัวอย่าง เพื่อรักษาอุณหภูมิของตัวอย่างให้เท่ากับแหล่งให้ความร้อนดังรูปที่ 2.2 ซึ่งความร้อนจะได้รับจากกระแสไฟฟ้าในเวลาที่กำหนด (t) และสมมติว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนจากระบบ วิธีนี้มีการออกแบบเครื่องมือที่ยุ่งยาก และกระแสไฟฟ้าที่ให้ความ-ร้อนอาจไม่คงที่ ความร้อนจำเพาะของตัวอย่างคำนวณได้จากสมการ (2.2) ซึ่งสมการนี้จะใช้คำนวณในระบบอังกฤษ (Mohsenin, 1980)

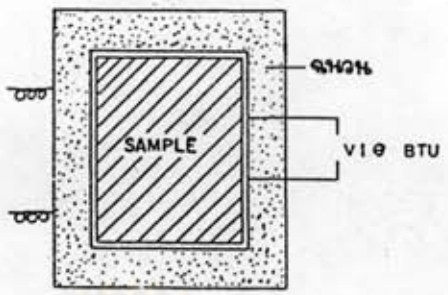
$$C_p = 3.41VIt \;/\; W(T_2-T_1) \qquad \ldots(2.2)$$

เมื่อ $C_p$ = ความร้อนจำเพาะ (Btu/lb - °F)

$W$ = น้ำหนักตัวอย่าง (lb) ; $t$ = เวลา (h)

3.41 = Conversion Factor จาก Watts เป็น Btu/h

$T_2-T_1$ = อุณหภูมิ (°F) ที่เปลี่ยนไปเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ $t$




รูปที่ 2.2 รูปพื้นฐานของ guarded plate สำหรับหาค่าความร้อนจำเพาะ

2.2.1.4 Differential Scanning Calorimeter (DSC) เป็นวิธีที่เปรียบเทียบอัตราการดูดความร้อนของตัวอย่างกับสารมาตรฐานที่ทราบค่าความร้อนจำเพาะ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ sapphire ($Al_2O_3$) เนื่องจากเป็นสารที่ค่อนข้างเสถียรและมีความชื้นคงที่ โดยเครื่อง DSC จะบันทึกผลในรูป thermogram ซึ่งจะแสดงค่าพลังงานที่ได้รับหรือสูญเสียไปขณะที่มีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ความร้อนที่ตัวอย่างดูดซับหรือคายออกคำนวณได้จากพื้นที่ใต้ thermogram วิธีนี้มีข้อดีคือให้ผลถูกต้องและรวดเร็ว ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยเป็นจำนวนมิลลิกรัม ตัวอย่างอาหารที่เคยใช้วิธี DSC หาค่าความร้อนจำเพาะได้แก่ ยาสุบ (Chakrabarti and Johnson, 1972) ถั่วลิสง (Young and Whitaker, 1973) และแป้งถั่วเหลือง (Wallapapan et al., 1984) เป็นต้น แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือเครื่องมือมีราคาแพงมากต้องการการเตรียมตัวอย่างอย่างระมัดระวังและต้องใช้ผู้ทดลองที่มีความชำนาญ

2.2.2 การวัดค่าสภาพนำความร้อน

การนำความร้อน เป็นการถ่ายโอนความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปอีกโมเลกุลหนึ่ง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์รูปแบบแรกของการถ่ายโอนความร้อนในของแข็งหรือระหว่างของแข็ง อัตราเร็วของการถ่ายโอนความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสภาพนำความร้อน และเป็นสมบัติเฉพาะของวัตถุแต่ละชนิด

โดยทั่วไปการวัดค่าสภาพนำความร้อนอาจทำได้ 2 วิธีคือ steady - state method และ transient method ซึ่งการถ่ายโอนความร้อนแบบ steady-state นี้เป็นการถ่ายโอนความร้อนที่ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนต่อหนึ่งหน่วยเวลามีค่าคงที่ ดังนั้นอุณหภูมิ

ที่จุดใดจุดหนึ่งในระบบจะมีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนไปกับเวลา ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนนี้เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อระบบอยู่ในสภาวะสมดุล ส่วนการถ่ายโอนความร้อนแบบ transientปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจะแปรเปลี่ยนกับเวลา อุณหภูมิที่จุดใดจุดหนึ่งในระบบมีค่าไม่คงที่และแปรเปลี่ยนไปกับเวลาลักษณะการถ่ายโอนความร้อนนี้จะเกิดขึ้นในระยะเริ่มต้น เมื่อระบบยังอยู่ในสภาวะไม่สมดุล

2.2.2.1 Steady - State Method การหาค่าสภาพนำความร้อนของอาหารโดย steady - state method (Reidy and Rippen, 1971)

ก) การใช้ guarded hot plate วิธีนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายและให้ผลค่อนข้างถูกต้อง เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งหรืออาหารแช่แข็งที่มีลักษณะเป็นแผ่น (slab) โดยมีแหล่งให้ความร้อน (heat source) เป็นตัวให้ความร้อนแก่ตัวอย่างและมีแหล่งรับความร้อน (heat sink) เป็นตัวรับความร้อนมี guard heater สำหรับป้องกันการสูญเสียความร้อน ค่าสภาพนำความร้อนวัดหลังจากที่ตัวอย่างถึงสภาวะสมดุลแล้วซึ่งอาจใช้เวลานานหลายชั่วโมง วิธีนี้ให้ผลที่มีความถูกต้องต่ำสำหรับอาหารที่มีความชื้นสูง เนื่องจากเกิดการสูญเสียความชื้นในระหว่างการทดลอง ตัวอย่างอาหารที่ใช้วิธีนี้ในการหาค่าสภาพนำความร้อนได้แก่ เจลาตินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไขมันและเนื้อสัตว์ชนิดต่าง ๆ (Lentz, 1961) freeze-dried gel (Saravacos and Pilsworth, 1965) และ tomato paste ที่ความเข้มข้น 27 - 44 °Brix (Drusas and Saravacos, 1985) เป็นต้น

ข) การใช้ concentric cylinder ต่างจากวิธีที่ใช้ guarded hot plate โดยที่แหล่งให้ความร้อนมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ซึ่งมีการถ่ายโอนความร้อนในแนวรัศมี ส่วนใหญ่จะใช้กับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงหรือเม็ดเล็กๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารผง (Reidy and Rippen, 1971) เป็นต้น

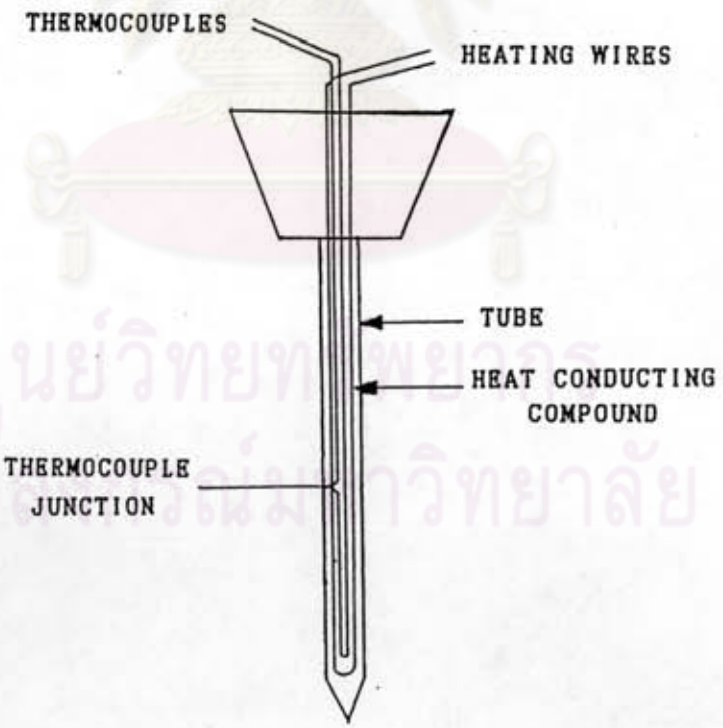
การหาค่าสภาพนำความร้อนโดย steady - state method เป็นวิธีที่มีการคำนวณง่าย เหมาะสำหรับอาหารที่มีความชื้นต่ำ และสามารถใช้ได้กับตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก แต่ข้อเสียที่สำคัญคือ ใช้เวลาในการทดลองนาน และไม่เหมาะสำหรับอาหารที่มีความชื้นสูง (Reidy and Rippen, 1971)

2.2.2.2 Transient Method วิธีการทั่วไปคือการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะสมดุล และบันทึกอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อน การหาค่าสภาพนำความร้อนโดย transient method นี้ใช้เทคนิคที่มีความซับซ้อน

น้อยกว่าและเป็นวิธีที่ง่ายกว่า steady - state method นอกจากนี้ยังใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นสูง (Reidy and Rippen, 1971)

การหาค่าสภาพนำความร้อนโดย transient method ที่นิยมใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน คือ probe method (Sweat, 1974) ซึ่งพัฒนาดัดแปลงมาจาก line heat source method การวัดทำโดยการเสียบ thermal conductivity probe ที่มีลักษณะเป็นท่อกลวง ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก (เกือบเป็นศูนย์ ตามทฤษฎี) ซึ่งภายในมี heater wire เป็นแหล่งให้ความร้อน และ thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิ (รูปที่ 2.3) เข้าไปในตัวอย่างเนื้อเดียวกันขนาดใหญ่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นคงที่ ให้ความร้อนปริมาณที่แน่นอนแก่ตัวอย่าง และวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างกับเวลา นำค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับค่า ln ของเวลามาสร้างกราฟ และคำนวณค่าสภาพนำความร้อนจากสมการ (2.3)

$$k = Q / 4 \pi m \qquad \ldots(2.3)$$




รูปที่ 2.3 Thermal conductivity probe

2.2.3 การวัดค่าสภาพแพร่ความร้อน

ค่าสภาพแพร่ความร้อน เป็นสมบัติทางความร้อนที่เกี่ยวกับอัตราการแพร่ผ่านความร้อนเกิดจากการที่วัตถุดูดซับความร้อนเอาไว้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และรวมไปถึงความสามารถของวัตถุที่จะนำความร้อนไปยังโมเลกุลที่อยู่ใกล้ ๆ (Dickerson et al., 1968) สภาพแพร่ความร้อนเป็นสมบัติทางความร้อนที่สามารถแสดงในเทอมสมบัติทางความร้อนอื่น ๆ คือ

$$\alpha = k/\rho C_p \qquad \ldots(2.4)$$

จากสมการ (2.4) เทอมทางขวามือของสมการ ตัวหารแสดงถึงความสามารถในการดูดซับความร้อน และตัวตั้งแสดงถึงความสามารถในการนำความร้อน

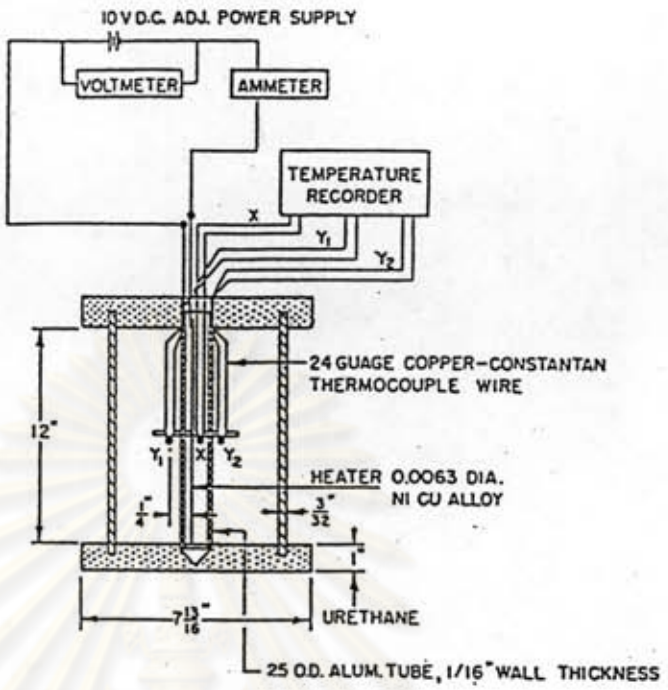
สภาพแพร่ความร้อนมีความสำคัญในกระบวนการแปรรูปอาหาร เพราะเป็นตัวแปรที่ใช้บอกความเร็วของการกระจายความร้อนไปในเนื้ออาหาร ทำให้สามารถคาดคะเนอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป ค่าสภาพแพร่ความร้อนอาจหาได้จากการทดลองหรือจากสมการ (2.4) เมื่อทราบค่าสภาพนำความร้อน ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะ การทดลองหาค่าสภาพแพร่ความร้อนอาจทำได้โดยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

2.2.3.1 การใช้ thermal conductivity probe (Mohsenin, 1980; Marakami, 1980) โดยใช้ thermocouple 2 อัน วางห่างจาก heater wire ซึ่งเป็นแหล่งให้ความร้อนเป็นระยะทาง "r" (รูปที่ 2.4) วัดอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายหลังจากให้ปริมาณความร้อนในช่วงเวลาหนึ่ง คำนวณค่าสภาพแพร่ความร้อนจากสมการ (2.5)

$$\alpha = r^2 / 4\beta^2 t \qquad \ldots(2.5)$$

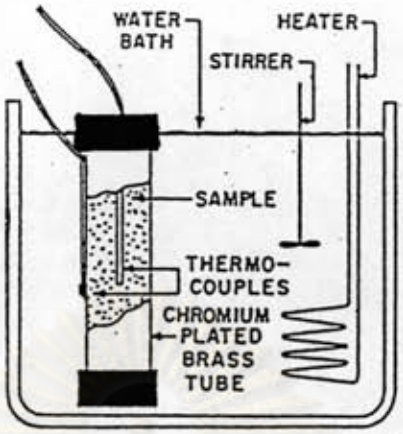
$$\Delta T = Q / 2\pi k \left[-0.58/2 - \ln\beta - \left\{\sum_{n=1}^{4} (-1)^n \beta^{2n} / (n!)(2n)\right\}\right] \ldots(2.6)$$

โดย $\beta$ คำนวณได้จากสมการ (2.6) เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 1 - 4 วิธีนี้เหมาะสำหรับสารชีวภาพ (biological material) เพราะใช้เวลาในการทดลองน้อยคือประมาณ 5 นาที แต่มีข้อเสียคือการสร้างเครื่องมือและการคำนวณยุ่งยาก



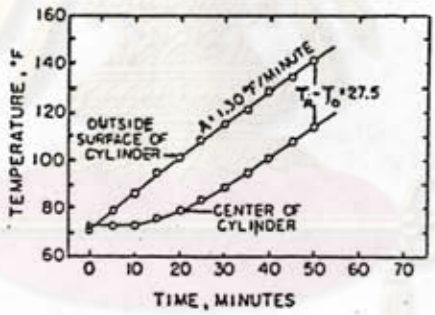

**รูปที่ 2.4** **Thermal conductivity probe สำหรับหาค่าสภาพแพร่ความร้อน** (Mohsenin, 1980)

2.2.3.2 การใช้ thermal diffusivity tube (Dickerson, 1965) เครื่องมือประกอบด้วย thermal diffusivity tube ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกยาวทำด้วยวัสดุที่มีค่าสภาพนำความร้อนสูง ได้แก่ chromium - plated brass มีฝา teflon ปิดที่ปลายทั้งสองด้านหรืออาจทำด้วย chromium-plated copper ปิดด้วย rubber stopper ที่ปลาย (Bhowmik and Hayakawa, 1979) ใช้สำหรับบรรจุตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาค่าสภาพแพร่ความร้อน โดยท่อที่ใช้ต้องมีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าห้า เพื่อให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีความยาวไม่จำกัดมากที่สุด มี thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของตัวอย่างในท่อและที่ผนังด้านนอกของท่อ ใช้อ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิพร้อมเครื่องกวนเป็นอุปกรณ์สำหรับให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในท่อด้วยอัตราคงที่ (รูปที่ 2.5) บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างในท่อและที่ผนังด้านนอกของท่อกับเวลา นำค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ไปสร้างกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (รูปที่ 2.6) และคำนวณหาค่าสภาพแพร่ความร้อนจากสมการ (2.7)




รูปที่ 2.5 Thermal diffusivity tube สำหรับหาค่าสภาพแพร่ความร้อน

(Dickerson, 1965)




รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการแพร่ความร้อน

(Dickerson, 1965)

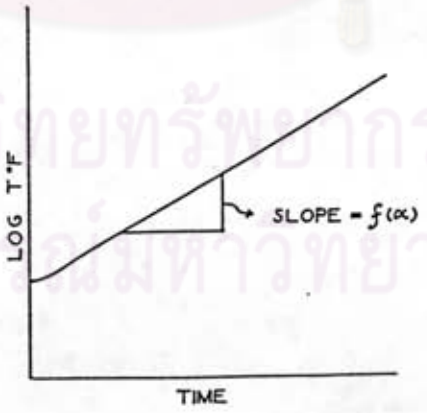
$$\alpha = Ar^2 / 4(T_R - T_o) \qquad ...(2.7)$$

เมื่อ $T_R - T_o$ = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของ thermal diffusivity tube และอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของตัวอย่างในท่อ

ตัวอย่างที่ใช้ thermal diffusivity tube หาค่าสภาพแพร่ความร้อน ได้แก่ ผลไม้ต่างๆ เช่น เชอรี มะเขือเทศ แอปเปิล (Bhowmik and Hayakawa, 1979) และผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม (Rizvi et al., 1980) เป็นต้น นอกจากนี้ Bhowmik และ Hayakawa (1979)ได้สรุปไว้ว่าวิธีนี้เหมาะสมกับตัวอย่างของแข็งเพราะไม่ต้องคำนึงถึงค่าการพาความร้อนที่จะเกิดขึ้น

**2.2.3.3 Analytical Solution Method** (Reidy and Rippen, 1971) วิธีนี้ทำโดยนำอาหารบรรจุกระป๋อง ซึ่งเป็นภาชนะที่ใช้ในการผลิตปิดผนึกและเสียบ thermocouple ไว้ที่จุดกึ่งกลาง นำไปให้ความร้อนแล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ นำมาสร้างกราฟระหว่างค่า logarithm ของอุณหภูมิกับเวลา อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อเวลา (t) ผ่านไปนานพอ ค่า logarithm ของอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับเวลา (t) (รูปที่ 2.7) โดยความชันจะมีความสัมพันธ์อยู่ในเทอมของสภาพแพร่ความร้อน

Chowdary (1988) ใช้วิธีนี้วัดค่าสภาพแพร่ความร้อนของมะม่วงสดโดยบรรจุในกระป๋องขนาดต่างๆ กัน พบว่าค่าสภาพแพร่ความร้อนที่ได้ใกล้เคียงกัน และ Taimmanenate (1980)ได้ใช้วิธีนี้วัดค่าสภาพแพร่ความร้อนของอาหารเด็ก พบว่าวิธีนี้ใช้ได้ดีกับ homogeneous food




**รูปที่ 2.7** ความสัมพันธ์ระหว่าง logarithm ของ temperature ratio กับเวลา (Reidy and Rippen, 1971)

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อนของอาหารหลายปัจจัยด้วยกัน แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อนของอาหารคือ องค์ประกอบทางเคมี อุณหภูมิ และความหนาแน่น

### 2.3.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่มีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อนได้แก่เส้นใย ไขมัน ความชื้น อาหารที่มีองค์ประกอบต่างกันจะมีค่าสมบัติทางความร้อนต่างกัน โดยเฉพาะความชื้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี และมีค่าความร้อนจำเพาะสูงคือ 1 cal/g - °C ดังนั้นเมื่อปริมาณความชื้นในอาหารสูงจะส่งผลให้ค่าสมบัติทางความร้อนของอาหารนั้น ๆ มีค่าสูงตามไปด้วยตัวอย่างเช่น ค่าความร้อนจำเพาะของยาสูบ และถั่วลิสงเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่ม (Chakrabarti and Johnson, 1972 ; Reidy and Rippen, 1971) ค่าสภาพนำความร้อนของนมพร่องมันเนยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น (Hori, 1983) และค่าสภาพแพร่ความร้อนของเนื้อเทียมแปรผันโดยตรงกับความชื้นในช่วงอุณหภูมิ 71.1 - 93.3 °C (Rizvi et al., 1980) เป็นต้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับสมบัติทางความร้อนของอาหารมีลักษณะต่างๆ กันขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ดังสมการในตารางที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับสมบัติทางความร้อนของอาหารต่างๆ

| ผลิตภัณฑ์ | ความชื้น (ร้อยละ) | สมการ * | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|
| สับปะรด | 60-85 | $C_p = 3108 + 6.72M$ | สิรินาถ, 2533 |
| ข้าวเจ้า | 10-17 | $C_p = 1201.2 + 37.8M$ | Haswell, 1954 |
| ผักและผลไม้ | มากกว่า 80 | $k = 0.148 + 0.00493M$ | Sweat, 1974 |
| สับปะรด | 60-85 | $k = 1.694 - 0.0391M + 0.0003M^2$ | สิรินาถ, 2533 |
| เนื้อสัตว์ | 60-80 | $k = 0.0798 + 0.00517M$ | Sweat, 1975 |
| ข้าวสาลี | 5-20 | $k = 0.1169 + 0.0011M$ | Kazarian and Hall, 1965. |
| ข้าวเปลือก | 9.9-19.3 | $k = 0.0865 + 0.0013M$ | Wratten et al., 1969 |
| สับปะรด | 60-85 | $\alpha x10^7 = 4.910 - 0.1103M + 0.0008M^2$ | สิรินาถ, 2533 |
| ข้าวเปลือก | 9.9-19.3 | $\alpha x10^7 = 1.342 + 0.0249M$ | Wratten et al., 1969 |

* $C_p$ มีหน่วยเป็น J/Kg-K

$k$ มีหน่วยเป็น W/m-K

$\alpha$ มีหน่วยเป็น $m^2/s$

$M$ คือร้อยละของความชื้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ทิศทางของเส้นใยในอาหารยังมีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อนของอาหารด้วย โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ การวัดค่าสภาพนำความร้อนตามทิศทางเดียวกับเส้นใยและตามขวางเส้นใย จะมีผลทำให้ค่าสภาพนำความร้อนต่างกัน (Baghe-Khandan et al., 1982)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะกับองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร อาจแสดงโดยสมการ (2.8) (Mohsenin, 1980)

$$C_p = 0.5 X_f + 0.3 X_m + 1.0 X_w \quad ...(2.8)$$

2.3.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อนของอาหาร พบว่าค่าความร้อนจำเพาะของยาสูบเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงกับอุณหภูมิในช่วง 40 - 45 °C (Chakrabarti and Johnson,1972) และค่าความร้อนจำเพาะของถั่วลิสงก็เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเช่นกัน (Young and Whitaker, 1973) โดยทั่วไปพบว่าอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจะมีค่าสภาพนำความร้อนสูงกว่าที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Polley et al., 1980) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำแข็งมีค่าสภาพนำความร้อนสูงกว่าน้ำที่อุณหภูมิห้อง กล่าวคือค่าสภาพนำความร้อนของน้ำแข็งมีค่าเท่ากับ 2.32 W/m-K ที่อุณหภูมิ -10 °C ขณะที่น้ำที่อุณหภูมิ 20 °C มีค่าสภาพนำความร้อนเท่ากับ 0.585 W/m-K แต่อาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ปกติจะมีค่าความร้อนจำเพาะต่ำกว่าที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง เนื่องจากค่าความร้อนจำเพาะของน้ำแข็งมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำที่อุณหภูมิห้อง สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสมบัติทางความร้อนของอาหารแสดงดังตารางที่ 2.3

2.3.3 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของวัตถุมีผลต่อการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งมีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อน คือถ้าวัตถุมีความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้ค่าสภาพนำความร้อนสูงขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะและค่าสภาพแพร่ความร้อนต่ำลง (Mohsenin, 1980)

ตารางที่ 2.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสมบัติทางความร้อนของอาหารต่าง ๆ

| ผลิตภัณฑ์ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | สมการ * | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|
| สับปะรด | 60-100 | $C_p = 3658.2 - 4.62\ T + 0.042\ T^2$ | สิรินาถ, 2533 |
| มะพร้าว | 25-55 | $C_p = 1966.44 + 30.66\ T$ | Marakami, 1980 |
| ถั่วลิสง | 7-38 | $C_p = 1478.4 + 45.36\ T$ | Suter et al., 1975 |
| มะพร้าว | 25-55 | $k = 0.1150 + 0.0008\ T$ | Marakami, 1980 |
| ถั่วลิสง | 7-38 | $k = 0.0324 + 2.94 \times 10^{-4}\ T$ | Suter et al., 1975 |
| มันฝรั่ง | 20-85 | $k = 0.624 + 0.0019\ T$ | Lamberge and Hallstron, 1986 |
| สับปะรด | 60-100 | $k = 0.563 - 0.0346T + 0.00054T^2$ | สิรินาถ, 2533 |
| มะพร้าว | 7-38 | $\alpha \times 10^7 = 1.478 - 1.043 \times 10^{-2}\ T$ | Marakami, 1980 |
| ถั่วลิสง | 5-20 | $\alpha \times 10^7 = 0.838 - 2.903 \times 10^{-3}\ T$ | Suter et al., 1975 |
| สับปะรด | 60-100 | $\alpha \times 10^7 = 1.426 - 0.0073T + 9.3 \times 10^{-5} T^2$ | สิรินาถ, 2533 |

* $C_p$ มีหน่วยเป็น J/Kg-K

$k$ มีหน่วยเป็น W/m-K

$\alpha$ มีหน่วยเป็น $m^2/s$

$T$ มีหน่วยเป็น $^\circ C$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย